



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος

Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών & Επικίνδυνων Αποβλήτων

Δ/ντής: Ευάγγελος Γιδάρκος, Καθηγητής

73100-Χανιά, Τηλ.: +302821037789, Fax: +302821037789

Email: gidarako@mred.tuc.gr

Διπλωματική εργασία

**«Προσδιορισμός γραμμικών – μη γραμμικών απωλειών φορτίου για την
αξιολόγηση δικτύου γεωτρήσεων»**



Μπολομύτης Βλάσης - Δημήτριος

Εξεταστική Επιτροπή:

Καθηγητής Γιδάρκος Ευάγγελος (επιβλέπων)

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου σε όλους εκείνους που συνέβαλλαν ουσιαστικά, άμεσα ή έμμεσα, στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Πρώτα από όλους, θεωρώ υποχρέωση μου να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Ευάγγελο Γιδάρako, διευθυντή του Εργαστηρίου Διαχείρισης Τοξικών & Επικίνδυνων Αποβλήτων, που με εμπιστεύτηκε και μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα θέμα ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και σημασίας. Επίσης, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω και για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στον απόφοιτο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Παπούλια Παναγιώτη για τη συνεχή καθοδήγηση, την αμέριστη υποστήριξη, τις ουσιώδεις συμβουλές, την αδιάκοπη ενθάρρυνση που μου παρείχε και τη κατανόηση που υπέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επιπρόσθετα, θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για τις προσπάθειες που κατέβαλε για την άμεση προσαρμογή μου στο καινούργιο αυτόν χώρο για μένα.

Θα ήταν μεγάλη μου παράληψη, να μην ευχαριστήσω το Μηχανικό Περιβάλλοντος κ. Παπαθεοδοσίου Θεόδωρο και τον απόφοιτο του τμήματος Γεωλογίας του Παν/μίου Αθηνών κ. Παπαθεοδοσίου Αλέξανδρο για την ουσιαστική βοήθεια, τις εύστοχες υποδείξεις τους αλλά και το χρόνο που διέθεσαν για την εκτέλεση των δοκιμαστικών αντλήσεων. Επίσης, θα ήθελα να τους ευχαριστήσω για την ομαλή συνύπαρξή μας στο χώρο που πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις.

Εγκάρδιες ευχαριστίες αρμόζουν στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, που δέχτηκαν να συμμετέχουν και να αξιολογήσουν τη διπλωματική μου εργασία.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την ηθική υποστήριξη που μου παρείχαν, όχι μόνο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και σε όλη τη πενταετή φοίτηση μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης.

Με βαθιά εκτίμηση,

Μπολομύτης Βλάσης-Δημήτριος,

Χανιά, 2017

Περίληψη

Στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις της ΠΥΡΚΑΛ, του νομού Ελευσίνας, έχει αναπτυχθεί ένα δίκτυο γεωτρήσεων με στόχο αφενός μεν την παρακολούθηση της υφιστάμενης ρύπανσης (ελεύθερη ελαιώδη φάση), αφετέρου δε το περιορισμό του πλουμίου και την σταδιακή αποκατάσταση της περιοχής.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στην αξιολόγηση του εν λόγω δικτύου γεωτρήσεων και για αυτό το λόγο, διεξήχθησαν δοκιμαστικές άντλήσεις κατά βαθμίδες σε ένα ιδιαίτερα μεγάλο τμήμα του. Οι δοκιμές έγιναν με μεταβαλλόμενη παροχή, συνεχόμενη (χωρίς δηλ. να σταματήσει η άντληση και αυξάνοντας τη παροχή μεταξύ των διακριτών σταδίων). Κάθε στάδιο είχε διάρκεια μιας ώρας και ενδιάμεσα των σταδίων η άντληση δεν διακοπτόταν αλλά αυξανόταν η παροχή.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμής καταγραφόταν η πτώση στάθμης, η παροχή άντλησης και η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Από την επεξεργασία των δεδομένων προσδιορίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, παράμετροι αναγκαίοι στον καθορισμό των απωλειών φορτίου του υδροφορέα και των απωλειών φορτίου των γεωτρήσεων. Με βάση τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν τόσο τα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων όσο και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι ένα ιδιαίτερα σημαντικό τμήμα του δικτύου των γεωτρήσεων, που έχει διαμορφωθεί στη περιοχή παρουσιάζει κατασκευαστικά προβλήματα ή σοβαρή υποβάθμιση.

Abstract

In the industrial premises of PYRKAL, in the municipality of Eleusina, a well network has been developed to monitor and restore the pollution (LNAPLs) caused by the neighboring processing and storage facilities of petroleum products.

This thesis aims to evaluate the existing well network constructed in the area. For this reason, pumping tests were carried out in a very large part of it. The tests were conducted with variable discharge and continuous one (without stopping the pumping and increasing the discharge between the discrete steps). Each step lasted one hour and intermediate stages the pumping were not interrupted but the discharge was increased.

During the tests the drawdown, the discharge and the electric conductivity were recorded. Out of the processing of these data the specific drawdown and the specific capacity were calculated. The latter parameters were needed in the determination of the formation loss and the well loss. Based on these results the technical characteristics of wells as well as the hydraulic characteristics of the aquifer were evaluated.

In conclusion, it appears that a very important part of the well network, which is configured in the region shows construction problems or severe degradation.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	7
2. Υπόγειοι υδροφορείς	8
2.1 Υδρολογικός κύκλος	8
2.2 Υπόγειο νερό.....	9
2.2.1 Κορεσμένη-Ακόρεστη ζώνη.....	9
2.2.2 Αποθήκευση νερού στο υπέδαφος.....	10
2.3 Παράμετροι εδαφών και υπόγειων υδροφορέων	13
2.3.1 Πορώδες εδάφους	13
2.3.2 Αποθηκευτικότητα	14
2.3.3 Νόμος Darcy.....	15
2.3.4 Υδραυλική αγωγιμότητα - υδροπερατότητα.....	16
2.3.5 Μεταβιβαστικότητα	16
3. Τεχνική ανόρυξης γεώτρησης.....	18
3.1 Γεώτρηση	18
3.2 Διάτρηση πετρωμάτων	18
3.2.1 Κρουστική μέθοδος διάτρησης	18
3.2.2 Περιτροφική μέθοδος διάτρησης	19
3.2.3 Άλλες μέθοδοι διάτρησης.....	21
3.2.4 Βάθος γεώτρησης	21
3.3 Συμπλήρωση γεώτρησης	22
3.3.1 Σωλήνωση γεώτρησης	22
3.3.2 Χαλίκωση γεώτρησης.....	24
3.3.3 Τελική διαμόρφωση γεώτρησης	25
3.4 Ανάπτυξη γεώτρησης	25
3.5 Δοκιμαστικές αντλήσεις	26
3.6 Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία γεώτρησης	26
3.7 Γήρανση γεώτρησης	27
3.8 Καθαρισμός φίλτρων	28
4. Δοκιμαστικές αντλήσεις – αξιολόγηση δικτύου γεωτρήσεων	30
4.1 Δοκιμαστικές αντλήσεις	30
4.2 Κώνος πτώσης στάθμης.....	30
4.3 Ροή προς αντλούμενη γεώτρηση – Υδραυλικοί παράμετροι	32
4.3.1 Βασικές αρχές	32
4.3.2 Μόνιμη ακτινική ροή ή κατάσταση ισορροπίας	33
4.4 Σχέση πτώση στάθμης – παροχής	38
4.5 Αντληση κατά βαθμίδες	39
4.6 Απώλειες φορτίου γεώτρησης και υδροφορέα	40
4.7 Βαθμός ανάπτυξης	44
4.8 Βαθμός απόδοσης γεώτρησης	45

5. Περιγραφή υπό μελέτη περιοχής.....	46
5.1 Γεωγραφική περιγραφή	46
5.1.1 Γεωγραφική θέση	46
5.1.2 Γεωλογική στρωματογραφία	46
5.1.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά	46
5.2 Εντοπισμός και εξέλιξη της υφιστάμενης ρύπανσης	47
5.3 Δίκτυο γεωτρήσεων.....	48
6. Σχεδιασμός δοκιμαστικών αντλήσεων.....	51
6.1 Σκοπός δοκιμαστικών αντλήσεων	51
6.2 Εξοπλισμός	51
6.2.1 Επιφανειακές πνευματικές αντλίες	51
6.2.2 Δεξαμενή ογκομέτρησης.....	53
6.2.3 Ελαστικός σωλήνας ελαιωδών.....	53
6.2.4 Ελαστικός σωλήνας πεπιεσμένου αέρα.....	54
6.2.5 Ρυθμιστής πίεσης και ροής αέρα.....	54
6.2.6 Φορητό όργανο μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαίου (interface meter).....	55
6.2.7 Φορητό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (TLC meter).....	56
6.3 Συνδεσμολογία εξοπλισμού	56
6.4 Προ-άντληση.....	57
6.5 Δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες	58
7. Αποτελέσματα αντλητικών δοκιμών.....	60
7.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων	60
7.1.1 Προσδιορισμός παροχής άντλησης.....	60
7.1.2 Προσδιορισμός πτώσης στάθμης	61
7.1.3 Προσδιορισμός ειδικής πτώσης στάθμης και ειδικής παροχής.....	62
7.1.4 Προσδιορισμός συντελεστών γραμμικών, μη-γραμμικών απωλειών φορτίου	62
7.1.5 Προσδιορισμός απόδοσης και βαθμού ανάπτυξης γεωτρήσεων.....	62
7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων	63
7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων	77
8. Συμπεράσματα & Προτάσεις	81
8.1 Συμπεράσματα	81
8.2 Προτάσεις	81

1. Εισαγωγή

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις ή αντλητικές δοκιμές παίζουν ένα ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην υδρολογική έρευνα ενός πεδίου, καθώς μέσω αυτών μπορούν να ληφθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, την υπόγεια ροή, αλλά και την απόδοση μιας γεώτρησης. Πιο συγκεκριμένα, στόχος μια δοκιμαστικής άντλησης μπορεί μεταξύ άλλων να είναι:

- ο καθορισμός των υδραυλικών ιδιοτήτων του υδροφόρου στρώματος (π.χ. συντελεστές αποθηκευτικότητας, μεταβιβαστικότητας, υδραυλικής αγωγιμότητας),
- ο καθορισμός των υδραυλικών χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης (π.χ. κρίσιμη παροχή),
- η εκτίμηση των επιπτώσεων της άντλησης σε γειτονικές γεωτρήσεις ή στο περιβάλλον γενικότερα,
- ο προσδιορισμός της απόδοσης μιας υφιστάμενης γεώτρησης.

Μια γεώτρηση που έχει σχεδιαστεί και αναπτυχθεί με εφαρμογή των βασικών κανόνων της τεχνικής ανόρυξης γεωτρήσεων έχει συνήθως μεγάλη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, σε αρκετές περιπτώσεις μετά από κάποιο χρονικό διάστημα λειτουργίας μπορεί να εμφανίσει συμπτώματα γήρανσης, όπως η μείωση της παροχής άντλησης, η μείωση της απόδοσης της, η αύξηση της ‘ανώμαλης’ απώλειας φορτίου και η μείωση της ειδικής ικανότητάς της (Σούλιος, 2008). Τα συμπτώματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε (Βαφειάδη, 1980):

- Μηχανικά αίτια: Έμφραξη φίλτρων της γεώτρησης εξαιτίας συσσώρευσης λεπτόκοκκου υλικού.
- Χημικά αίτια: Απόθεση αλάτων (ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, υδροξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου) στους φιλτροσωλήνες της γεώτρησης.
- Βιολογικά αίτια: Ανάπτυξη βακτηρίων στο περιβάλλον της γεώτρησης και έμφραξη των φίλτρων της.

Εντούτοις, μέσω της διεξαγωγής δοκιμαστικών αντλήσεων κατά βαθμίδες και του υπολογισμού των απωλειών φορτίου της γεώτρησης είναι δυνατή η αξιολόγηση τόσο των τεχνικών χαρακτηριστικών της όσο και της απόδοσης της.

2. Υπόγειοι υδροφορείς

2.1 Υδρολογικός κύκλος

Το νερό της Γης κυκλοφορεί συνεχώς μεταξύ υδρόσφαιρας, ατμόσφαιρας, ξηράς και θάλασσας. Η παρουσία και η κυκλοφορία του στην επιφάνεια της γης, καθώς και πάνω και κάτω από αυτή περιγράφεται από τον υδρολογικό κύκλο.

Ο υδρολογικός κύκλος δεν έχει αρχή, αλλά μπορεί να ξεκινήσει κανείς, από τη θάλασσα. Ο ήλιος, που κινεί το κύκλο του νερού, θερμαίνει το νερό στη θάλασσα, το οποίο εν μέρει εξατμίζεται και ανυψώνεται με τη μορφή ατμού στον αέρα. Νερό εξατμίζεται ακόμα από τις λίμνες, τα ποτάμια και το έδαφος. Η διαπνοή των φυτών είναι μία ακόμη λειτουργία που αποδίδει υδρατμούς στην ατμόσφαιρα. Η εξάτμιση και διαπνοή από τη ξηρά συχνά δεν διακρίνονται και έτσι μιλούμε για εξατμισοδιαπνοή. Μια μικρή ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα προκύπτει και από την εξάχνωση, μέσω της οποίας μόρια πάγου και χιονιού μετατρέπονται απευθείας σε υδρατμούς χωρίς να περάσουν από την υγρή φάση.

Ανοδικά ρεύματα αέρα ανεβάζουν τους υδρατμούς στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, όπου οι μικρότερες πιέσεις που επικρατούν έχουν αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας. Επειδή όμως σε χαμηλή θερμοκρασία ο αέρας δεν μπορεί να συγκρατεί όλη τη μάζα των υδρατμών, ένα μέρος του συμπυκνώνεται και σχηματίζει τα σύννεφα. Τα ρεύματα του αέρα κινούν τα σύννεφα γύρω από την υδρόγειο. Παράλληλα τα σταγονίδια νερού που σχηματίζουν τα σύννεφα συγκρούονται, μεγαλώνουν, και τελικά πέφτουν από τον ουρανό ως κατακρημνίσματα. Με τον όρο κατακρημνίσματα περιλαμβάνονται όλες οι μορφές με τις οποίες το νερό φτάνει στη Γη (βροχή, χιόνι, χαλάζι κ.λπ.). Η μεγαλύτερη ποσότητα κατακρημνισμάτων πέφτει απευθείας στους ωκεανούς.

Από την ποσότητα που πέφτει στη στεριά, ένα σημαντικό μέρος καταλήγει πάλι στους ωκεανούς, ρέοντας υπό την επίδραση της βαρύτητας, ως επιφανειακή απορροή. Η μεγαλύτερη ποσότητα της επιφανειακής απορροής μεταφέρεται στους ωκεανούς από τα ποτάμια. Η επιφανειακή απορροή μπορεί επίσης να καταλήξει στις λίμνες, που αποτελούν, μαζί με τους ποταμούς, τις κυριότερες αποθήκες γλυκού νερού.

Ωστόσο, το νερό των κατακρημνισμάτων δεν ρέει αποκλειστικά μέσα στους ποταμούς. Κάποιες ποσότητες διαπερνούν το έδαφος με τη λειτουργία της διήθησης. Η διαδικασία της διήθησης έχει να κάνει με την προς τα κάτω κίνηση του νερού από την επιφάνεια προς τα εδαφικά στρώματα. Μέρος του νερού αυτού μπορεί να ξαναβρεί το δρόμο του προς τα επιφανειακά υδάτινα σώματα ως εκφόρτιση υπόγειου νερού. Όταν βρίσκει διόδους προς την επιφάνεια της Γης εμφανίζεται με τη μορφή πηγών. Ένα άλλο μέρος του υπόγειου νερού

πηγαίνει βαθύτερα και εμπλουτίζει τους υπόγειους υδροφορείς (ενότητα 2.2.1). Ακόμα και το νερό αυτό όμως συνεχίζει να κινείται και με την πάροδο του χρόνου μέρος του ξαναπαίρνει στους ωκεανούς, όπου ο κύκλος του νερού ολοκληρώνεται.



Σχήμα 2.1: Απλοποιημένη γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου (Πηγή : Γεωλογική υπηρεσία Η.Π.Α).

2.2 Υπόγειο νερό

Όπως προαναφέρθηκε, το υπόγειο νερό εισέρχεται στους υδροφόρους σχηματισμούς του φλοιού της γης είτε άμεσα με τις βροχοπτώσεις από την επιφάνεια του εδάφους είτε έμμεσα, από σώματα επιφανειακού νερού, όπως τα ποτάμια, οι λίμνες (διήθηση) και μετά ταξιδεύει αργά σε ποικίλες αποστάσεις μέχρι να επιστρέψει στην επιφάνεια είτε με φυσική ροή είτε με την παρέμβαση των φυτών ή του ανθρώπου. Με τον τρόπο αυτό, οι υδροφόροι σχηματισμοί δρουν σαν αγωγοί για τη μεταβίβαση και σαν αποθήκες για την αποθήκευση του νερού (Βουδούρης, 2013).

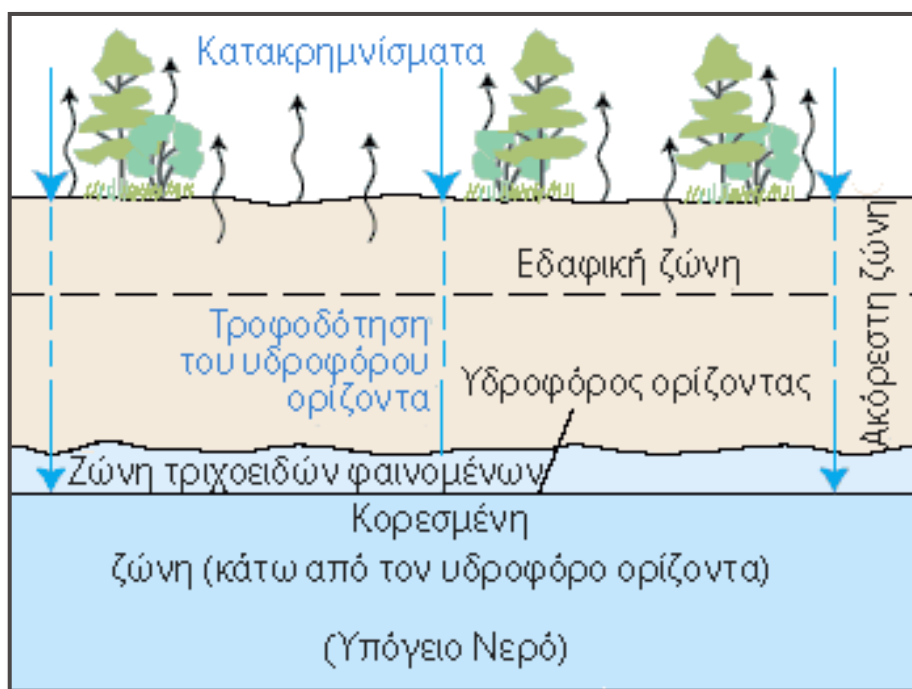
2.2.1 Κορεσμένη-Ακόρεστη ζώνη

Η παρουσία του νερού στο υπέδαφος μπορεί να διακριθεί σε δύο ζώνες:

- Ζώνη αερισμού
- Ζώνη κορεσμού ή κορεσμένη ζώνη

Η ζώνη αερισμού (ακόρεστη ζώνη) αποτελείται από διάκενα που κατέχονται μερικώς από νερό και μερικώς από αέρα (διαφασική ροή). Στη ζώνη αυτή το νερό ονομάζεται 'ρηχό' νερό ή εδαφικό νερό, κατακρατείται από διάφορους μηχανισμούς (π.χ. τριχοειδής ανύψωση) και αντιπροσωπεύει το νερό κατακράτησης. Το νερό κατακράτησης είναι το νερό που δεν υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και συνεπώς δεν παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία. Η ροή που εμφανίζεται στην ακόρεστη ζώνη, κατά τη διάρκεια ισχυρών καταιγίδων, αναφέρεται ως υποδερμική ροή (Βουδούρης, 2015).

Στη ζώνη κορεσμού όλα τα διάκενα του εδάφους ή του πετρώματος σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια είναι γεμάτα με νερό. Το νερό που είναι αποθηκευμένο στη ζώνη αυτή ονομάζεται υπόγειο νερό και βρίσκεται κάτω από υδροστατική πίεση (μονοφασική ροή). Αντιπροσωπεύει ουσιαστικά το υδροφόρο στρώμα και η επάνω επιφάνεια της ζώνης αυτής είναι η ελεύθερη επιφάνεια. Η ζώνη αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί είναι η ζώνη που μας τροφοδοτεί με νερό (Βουδούρης, 2015).



Σχήμα 2.2: Σχηματική αναπαράσταση κορεσμένης – ακόρεστης ζώνης (Πηγή : Γεωλογική Υπηρεσία Η.Π.Α.).

2.2.2 Αποθήκευση νερού στο υπέδαφος

Όταν το νερό συναντήσει έναν αδιαπέρατο σχηματισμό τότε έχουμε τη δημιουργία διαφόρων γεωλογικών μονάδων. Κάθε γεωλογική μονάδα, η οποία μπορεί να αποθηκεύσει μία αξιόλογη ποσότητα νερού και να τη μεταφέρει με ρυθμό υδρολογικά σημαντικό, ονομάζεται υπόγειος υδροφορέας ή απλά υδροφορέας (Dingman, 1994). Ο όγκος υπόγειου νερού, που βρίσκεται εντός ενός ή περισσότερων υδροφόρων μιας περιοχής, ονομάζεται υπόγειο υδατικό σύστημα. Τα

στρώματα που δεν έχουν ούτε την ικανότητα αποθήκευσης ούτε μεταφοράς αναφέρονται ως στεγανά (aquifuge). Ημιπερατό (aquitard) είναι ένα στρώμα χαμηλής περατότητας, που μπορεί να αποθηκεύσει υπόγειο νερό και να το μεταφέρει, με σχετικά μικρό ρυθμό, από έναν υδροφορέα σε έναν άλλο. Τέλος, υπάρχει και το ανυδροφόρο (aquiclude) στρώμα το οποίο είναι κορεσμένο με νερό αλλά σχετικά αδιαπέρατο με αποτέλεσμα να τροφοδοτεί τα υδρομαστευτικά έργα με ασήμαντες ποσότητες νερού (Βουδούρης, 2015).

Ο ρόλος των υπόγειων υδροφορέων είναι σημαντικός στην ανάπτυξη και διαχείριση των υδατικών πόρων μιας περιοχής, γιατί αποθηκεύουν νερό (δεξαμενές νερού), μεταφέρουν νερό από μια περιοχή σε μία άλλη (αγωγή μεταφοράς νερού), τροφοδοτούν τα υδρομαστευτικά έργα (γεωτρήσεις, πηγάδια) και τέλος, φιλτράρουν και αυτοκαθαρίζουν τα υποβαθμισμένο ποιοτικά νερό που εισάγεται σε αυτούς (Βουδούρης, 2013).

Οι υπόγειοι υδροφορείς βάσει της φύσης του άνω ορίου τους, μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- ελεύθεροι υδροφορείς,
- περιορισμένοι υδροφορείς,
- ημιαρετσιανοί υδροφορείς.

Ελεύθεροι υδροφορείς

Στους ελεύθερους υδροφορείς η ανώτερη επιφάνεια τους είναι ο υδροφόρος ορίζοντας (Κουτσογιάννης & Ξανθόπουλος, 1999). Κατά κανόνα το όριο αυτό είναι μεταβλητό στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα, οι υδροφορείς τέτοιου τύπου έχουν ως δάπεδο στεγανό στρώμα και στην οροφή τους δεν παρεμβάλλεται αδιαπέρατος γεωλογικός σχηματισμός. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η υδροστατική πίεση να είναι ίση με την ατμοσφαιρική γιατί η υδροστατική στάθμη του υπόγειου νερού συμπίπτει με την επάνω επιφάνεια της ζώνης κορεσμού.

Οι μεταβολές της στάθμης του νερού αντιστοιχούν σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού στον υδροφορέα και συνεπώς το πάχος του ελεύθερου υδροφορέα αυξομειώνεται ανάλογα με την τροφοδοσία ή τις αντλήσεις. Η τροφοδοσία των ελεύθερων υδροφορέων γίνεται από το νερό που διηθείται άμεσα από το υπερκείμενο έδαφος ή από κοντινά επιφανειακά υδάτινα σώματα, κινούμενο κατακόρυφα υπό την επίδραση της βαρύτητας.

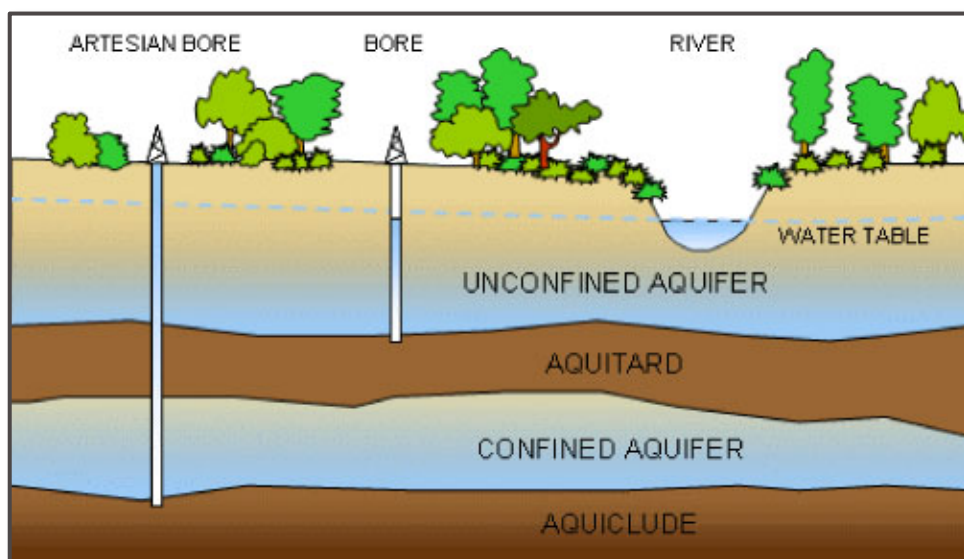
Το νερό των ελεύθερων υδροφορέων αναφέρεται και ως φρεάτιο νερό. Ειδική περίπτωση ελεύθερων υδροφορέων είναι οι επικρεμάμενοι υδροφορείς, όπου συνήθως δημιουργούνται πάνω από αργιλικούς φακούς. Οι υδροφορείς αυτοί είναι μικρής δυναμικότητας και εξαντλούνται σχετικά γρήγορα όταν εκμεταλλεύονται με γεωτρήσεις.

Περιορισμένοι υδροφορείς

Στους υδροφορείς αυτούς το νερό είναι εγκλωβισμένο ανάμεσα στα αδιαπέρατα στρώματα, του δαπέδου και της οροφής (Βουδούρης, 2013). Είναι κορεσμένοι σε όλο το πάχος τους και η πίεση του νερού είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Για το λόγο αυτό, η πιεζομετρική επιφάνεια, η οποία είναι μία εικονική επιφάνεια και συμπίπτει με το επίπεδο της υδροστατικής επιφάνειας του υδροφορέα βρίσκεται υψηλότερα από τη βάση της αδιαπέρατης οροφής. Αυτό διαπιστώνεται με την ανόρυξη γεώτρησης σε αυτούς.

Οι μεταβολές της στάθμης σε γεωτρήσεις αυτού του είδους οφείλονται κυρίως σε μεταβολές της υδροστατικής πίεσης και όχι τόσο σε μεταβολές του όγκου του αποθηκευμένου νερού. Επομένως, οι περιορισμένοι υδροφορείς παρουσιάζουν μικρές μεταβολές της αποθήκευσης και δρουν κατά κύριο λόγο σαν αγωγοί για τη μεταβίβαση του νερού από τις περιοχές τροφοδοσίας στις θέσεις φυσικής (πηγές) ή τεχνητής (γεωτρήσεις) εκροής.

Στην περίπτωση που η πιεζομετρική επιφάνεια πέσει κάτω από την αδιαπέρατη οροφή, ο υδροφορέας τότε έχει χαρακτηριστικά ελεύθερου υδροφορέα (Βουδούρης, 2013). Τα όρια των περιορισμένων υδροφορέων είναι σταθερά στο χρόνο και η τροφοδοσία τους με νερό γίνεται συνήθως από μια περιοχή που έρχεται σε επαφή με το έδαφος χωρίς να μεσολαβεί αδιαπέρατο υλικό.



Σχήμα 2.3: Σχηματική παράσταση περιορισμένων και ελεύθερων υδροφορέων (πηγή: www.3Ccommunityforcreativecivilengineer.com).

Ημιαρτεσιανοί υδροφορείς

Ένα συνηθισμένος τύπος υδροφορέα είναι οι υδροφορείς με διαρροές. Εάν, ένας υδροφορέας είτε είναι ελεύθερος, είτε περιορισμένος χάνει ή κερδίζει νερό διαμέσου ημιπερατών

συνοριακών στρωμάτων ονομάζεται υδροφορέας με διαρροές (Todd, 1980). Εμφανίζουν δηλαδή κατακόρυφη υδραυλική επικοινωνία με τους υποκείμενους ή υπερκείμενους υδροφορείς, ανάλογα με τη σχετική θέση της πιεζομετρικής και της υδροστατικής επιφάνειας.

Οι υδροφορείς με διαρροές είναι γνωστοί και ως ημιαρτεσιανοί (Καλλέργη, 1999). Συνήθως, αυτό το είδος υδροφόρων παρουσιάζει χαρακτηριστικά και περιορισμένου και ελεύθερου υδροφορέα.

Ο εντοπισμός των υδροφορέων είναι μία αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα διαδικασία, η οποία απαιτεί την συνεργασία διάφορων επιστημονικών πεδίων. Η δυσκολία αυτή οφείλεται α) στην ανομοιομορφία των γεωλογικών σχηματισμών, β) στα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφορέων και γ) στην κίνηση του νερού σε δύο ή τρεις χωρικές διαστάσεις.

2.3 Παράμετροι εδαφών και υπόγειων υδροφορέων

2.3.1 Πορώδες εδάφους

Το πορώδες (n) αποτελεί την πιο σημαντική παράμετρο γιατί καθορίζει την αποθηκευτικότητα και την κίνηση του νερού στο υπέδαφος. Το πορώδες του εδάφους είναι ένα μέτρο των διακένων (πόρων, ρωγμών, κενών) που περιέχονται σε αυτό και εκφράζεται με το λόγο του συνολικού όγκου των διακένων (V_v) προς τον ολικό όγκο (V_t) του εδάφους (Kruseman & Ridder, 1990). Επομένως, εκφράζει το ολικό πορώδες του εδάφους. Το ολικό πορώδες υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$n = \frac{V_v}{V_t} \quad (2.1)$$

Επίσης, υπάρχει και το ενεργό πορώδες, το οποίο αναφέρεται μόνο στα διάκενα που επικοινωνούν μεταξύ τους και επιτρέπουν έτσι τη ροή του νερού υπό την επίδραση της βαρύτητας. Το ενεργό πορώδες, εκφράζει τον λόγο αυτών των διακένων προς το συνολικό όγκο του σχηματισμού (Καλλέργης, 1999).

Το πορώδες μπορεί να είναι πρωτογενές ή δευτερογενές. Το πρωτογενές πορώδες οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια σχηματισμού του εδάφους, ενώ δευτερογενές είναι το πορώδες που οφείλεται στα διάκενα που δημιουργήθηκαν μετά το σχηματισμό του εδάφους από διάφορες εξωτερικές διαδικασίες (π.χ. τεκτονισμός, αποσάθρωση). Όταν στο έδαφος υπάρχει μόνο το ένα είδος πορώδους αναφερόμαστε σε απλό πορώδες, ενώ όταν συνυπάρχουν το πρωτογενές και το δευτερογενές πορώδες, τότε αναφερόμαστε σε διπλό πορώδες.

Το πορώδες καθορίζεται κυρίως από δύο παράγοντες: α) την κοκκομετρία (όσο πιο μικρή είναι η τιμή της διαμέτρου των κόκκων τόσο πιο μικρό είναι το πορώδες) και β) τη διάταξη και το σχήμα των κόκκων (κόκοι με ομοιόμορφο σχήμα εμφανίζουν συνήθως μεγάλο πορώδες).

Το πορώδες μπορεί να εκφραστεί και μέσα από τον δείκτη πόρων (e). Ο δείκτης πόρων ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των διακένων (V_n) προς τον όγκο της στερεής φάσης του εδαφικού δείγματος (V_σ).

$$e = \frac{V_n}{V_\sigma} \quad (2.2)$$

Ο δείκτης πόρων συνδέεται με το ολικό πορώδες (n) από τη σχέση:

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad (2.3)$$

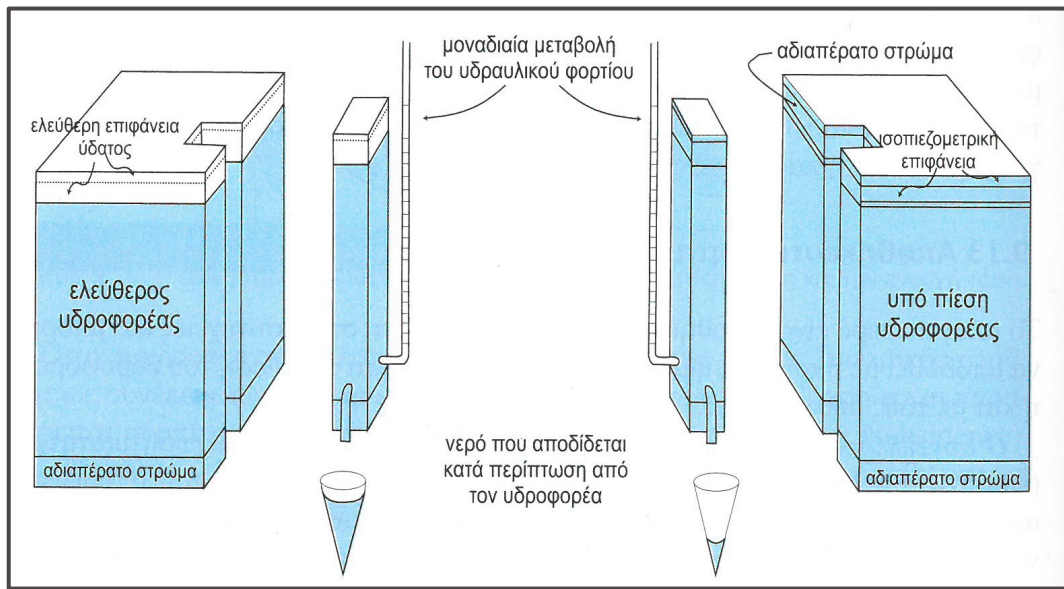
Επιπρόσθετα, το πορώδες μπορεί να εκφραστεί μέσω της ειδικής κατακράτησης και της ειδικής απόδοσης. Το άθροισμα της ειδικής απόδοσης και της ειδικής κατακράτησης αποτελεί το ολικό πορώδες. Η ειδική απόδοση ενός γεωλογικού σχηματισμού είναι ο λόγος του βαρυτικού νερού προς τον όγκο του σχηματισμού αυτού. Βαρυτικό νερό είναι εκείνο που υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία. Αντίθετα, η ειδική κατακράτηση, υπολογίζεται από το λόγο του νερού κατακράτησης προς τον όγκο του γεωλογικού σχηματισμού. Το νερό κατακράτησης είναι εκείνο το οποίο δεν υπακούει στους νόμους της βαρύτητας και δεν παίρνει μέρος στην υπόγεια κυκλοφορία (Βουδούρης, 2013).

2.3.2 Αποθηκευτικότητα

Όπως προαναφέρθηκε, το υπόγειο νερό είναι αποθηκευμένο στα διάκενα του εδάφους και μπορεί να αποδοθεί με βαρύτητα ή με διόγκωση του νερού και συμπίεση του υδροφόρου ή και με τους δύο τρόπους. Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας (S) εκφράζει τον όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί από ένα πρίσμα ενός υδροφορέα με μοναδιαία επιφάνεια ανά μονάδα μεταβολής του υδραυλικού φορτίου (Driscoll, 1987).

Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας είναι καθαρός αριθμός και παίρνει τιμές που εξαρτώνται από τον τύπο του υδροφορέα (Βουδούρης, 2013). Ειδικότερα, στους ελεύθερους υδροφορείς παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 0.01 έως 0.3, ενώ στους περιορισμένους υδροφορείς παίρνει τιμές μεταξύ 10^{-6} και 5×10^{-3} . Η διαφορά αυτή οφείλεται στον διαφορετικό μηχανισμό απελευθέρωσης νερού από τα ανώτερα είδη υδροφορέων. Στους ελεύθερους υδροφορείς η απελευθέρωση νερού γίνεται με βαρύτητα. Σε αυτό το είδος υδροφορέων η μοναδιαία πτώση στάθμης αποστραγγίζεται από μοναδιαίο πρίσμα όγκου νερού ισοδύναμο με το ειδικό πορώδες (Βουδούρης, 2015).

Αντίθετα, στους περιορισμένους υδροφορείς η αφαίρεση ή η προσθήκη νερού οφείλεται σε διόγκωση του νερού και συμπίεση του υδροφόρου. Επομένως, η αποθηκευτικότητα είναι συνάρτηση της ελαστικότητας του υδροφορέα και της συμπιεστότητας του περιεχομένου υπόγειου νερού σε αυτόν. Ο υδροφορέας συμπιέζεται με ελάττωση του όγκου των κενών και έτσι απελευθερώνεται μια ποσότητα νερού, η οποία είναι αποθηκευμένη στον υδροφορέα. Πρακτικά, σημαίνει ότι για να πάρουμε μεγάλες ποσότητες νερού από τον υδροφορέα απαιτούνται μεγάλες πτώσεις της πιεζομετρικής στάθμης και μεγάλη έκταση υδροφόρου (Βουδούρης, 2015).



Σχήμα 2.4: Αποθηκευτικότητα σε ελεύθερους και περιορισμένους υδροφορείς (Πηγή : Βουδούρης, 2013).

2.3.3 Νόμος Darcy

Με το νόμο του Darcy υπολογίζεται η φαινόμενη ταχύτητα του ρευστού στο έδαφος. Η ταχύτητα αυτή υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$u = -k \times i \quad (2.4)$$

Όπου:

- u : η ταχύτητα Darcy (φαινόμενη ταχύτητα),
- k : η υδραυλική αγωγιμότητα,
- i : η υδραυλική κλίση, που αντιπροσωπεύει τη μεταβολή φορτίου ανά μονάδα μήκους διαδρομής.

Το αρνητικό πρόσημο στην εξίσωση Darcy υποδηλώνει ότι η ροή γίνεται από περιοχές υψηλότερου προς περιοχές χαμηλότερου υδραυλικού φορτίου.

Η πραγματική ταχύτητα του ρευστού σχετίζεται με το πορώδες του εδάφους και προκύπτει από το λόγο της ταχύτητας Darcy προς το ενεργό πορώδες (n_e).

2.3.4 Υδραυλική αγωγιμότητα - υδροπερατότητα

Η υδραυλική αγωγιμότητα ή υδροπερατότητα (K) εκφράζει την ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία κινείται το νερό μέσα στους διάφορους λιθολογικούς σχηματισμούς. Ουσιαστικά, δείχνει την ποσότητα του νερού που θα διέλθει από διατομή κάτω από υδραυλική κλίση ίση με ένα.

Η υδραυλική αγωγιμότητα εξαρτάται κυρίως από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (σχήμα, μέγεθος, διάταξη κόκκων) και τις ιδιότητες του ρευστού (Driscoll, 1987). Έχει, δε, διαστάσεις ταχύτητας LT^{-1} και υπολογίζεται από το νόμο του Darcy.

Ανάλογα με την υδροπερατότητα οι γεωλογικοί σχηματισμοί χαρακτηρίζονται ως (Καλλέργης, 1999) :

- Πολύ υδροπερατοί όταν $K \geq 10^{-1} \text{ m/s}$
- Υδροπερατοί όταν $10^{-6} \leq K \leq 10^{-1} \text{ m/s}$
- Λίγο υδροπερατοί όταν $10^{-9} \leq K \leq 10^{-6} \text{ m/s}$
- Πρακτικά στεγανοί όταν $K \leq 10^{-9} \text{ m/s}$

Η διαπερατότητα (K_s) εκφράζει την ικανότητα των εδαφών να μεταβιβάζουν μέσα από τη μάζα τους ένα ρευστό. Η διαπερατότητα σε αντίθεση με την υδραυλική αγωγιμότητα, είναι μία παράμετρος που εξαρτάται μόνο από τα χαρακτηριστικά του πορώδους μέσου (σχήμα, μέγεθος, διάταξη κόκκων) και καθόλου από τις ιδιότητες του ρευστού. Η παράμετρος αυτή έχει διαστάσεις επιφάνειας (L^2 , π.χ. m^2) και συνδέεται με την υδραυλική αγωγιμότητα με το παρακάτω τύπο:

$$k = K_s \times \frac{\gamma}{\mu} \quad (2.5)$$

Όπου:

- μ : το δυναμικό ιξώδες και
- γ : το ειδικό βάρος του ρευστού.

2.3.5 Μεταβιβαστικότητα

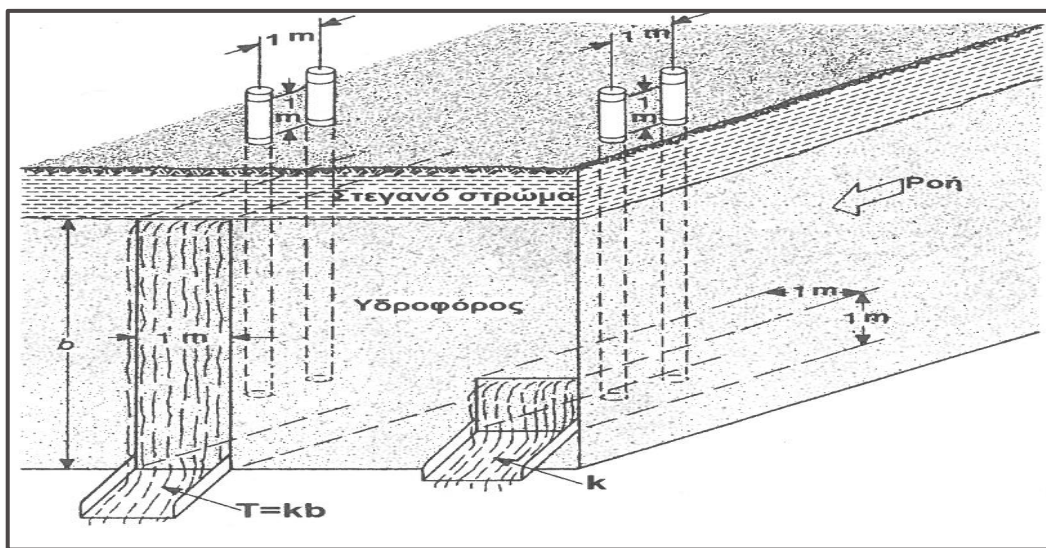
Η μεταβιβαστικότητα ή συντελεστής μεταβιβαστικότητας (T) είναι μία σημαντική υδραυλική παράμετρος που μας επιτρέπει να εκτιμήσουμε, σε πρώτη προσέγγιση, τη δυνατότητα απόληψης υπόγειου νερού από έναν υδροφορέα (Βουδούρης, 2015).

Ορίζεται ως το γινόμενο της υδραυλικής αγωγιμότητας επί το κορεσμένο με νερό πάχος του υδροφόρου στρώματος ($T = kb$) και εκφράζει τον όγκο του νερού που περνά από μία μοναδιαία διατομή ($A=1 \text{ m} \times D \text{ m}$) του υδροφόρου στρώματος με υδραυλική κλίση ίση με τη μονάδα (Σχήμα 2.5).

Η μεταβιβαστικότητα έχει διαστάσεις L^2/T , με συνήθεις μονάδες m^2/s ή m^2/day . Μια ορισμένη τιμή του συντελεστή T μπορεί να αντιστοιχεί σε ένα λεπτό υδροφόρο στρώμα με μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα ή αντίθετα σε μεγάλο πάχος στρώμα με μικρή υδραυλική αγωγιμότητα. Δηλαδή, μεγάλη μεταβιβαστικότητα υποδηλώνει είτε μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα είτε μεγάλο πάχος υδροφόρου στρώματος.

Επίσης, η τιμή του συντελεστή T είναι μέτρο της δυναμικότητας ενός υδροφορέα. Μικρές τιμές του T ($T < 12.5 \text{ m}^2/\text{day}$) υποδηλώνουν ότι ο υδροφορέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για οικιακή χρήση. Αν $T > 125 \text{ m}^2/\text{day}$ ο υδροφορέας μπορεί να αξιοποιηθεί για την ύδρευση οικισμών, άρδευση, βιομηχανική χρήση κτλ. Τέλος, αν $T > 1250 \text{ m}^2/\text{day}$ τότε υπάρχουν μεγάλες δυνατότητες εκμετάλλευσης του υδροφορέα. Στην περίπτωση αυτή, ο υδροφορέας μπορεί να αξιοποιηθεί σε ευρεία κλίμακα για την κάλυψη των υδατικών αναγκών μέσα από τη χρήση γεωτρήσεων (Βουδούρης, 2015).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η μεταβιβαστικότητα στους ελεύθερους υδροφορείς δεν είναι μια καλά καθορισμένη έννοια, αν και γίνεται ευρεία χρήση της (Καλλέργη, 1999). Αυτό συμβαίνει επειδή το πάχος του ελεύθερου υδροφόρου στρώματος δεν είναι σταθερό και μεταβάλλεται με το χρόνο. Έτσι, για τους ελεύθερους υδροφορείς είναι προτιμότερη η χρήση άλλων φυσικών ιδιοτήτων του νερού και του πορώδους μέσου.



Σχήμα 2.5: Σχηματική παράσταση των συντελεστών υδροπερατότητας (K) και μεταβιβαστικότητας (T) (Πηγή : Καλλέργη 1999).

3. Τεχνική ανόρυξης γεώτρησης

3.1 Γεώτρηση

Γεώτρηση ονομάζεται η διανοιχθείσα στο έδαφος κατακόρυφη οπή (με πιθανή πλάγια ή/και οριζόντια κατάληξη), που φθάνει σε σημαντικό βάθος και σκοπός της είναι η έρευνα του υπεδάφους ή ο εντοπισμός και η παραγωγή υπόγειων κοιτασμάτων νερού, φυσικού αερίου, πετρελαίου, κ.α..

Η επιτυχής κατασκευή μίας γεώτρησης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων και οι τοπικές συνθήκες. Για αυτό τον λόγο η κατασκευή της πρέπει να αντιμετωπίζεται κάθε φορά σαν μία ιδιαίτερη, ξεχωριστή περίπτωση (Βαφειάδη, 1980). Γενικά, τα βασικά στάδια κατασκευής μιας γεώτρησης περιλαμβάνουν:

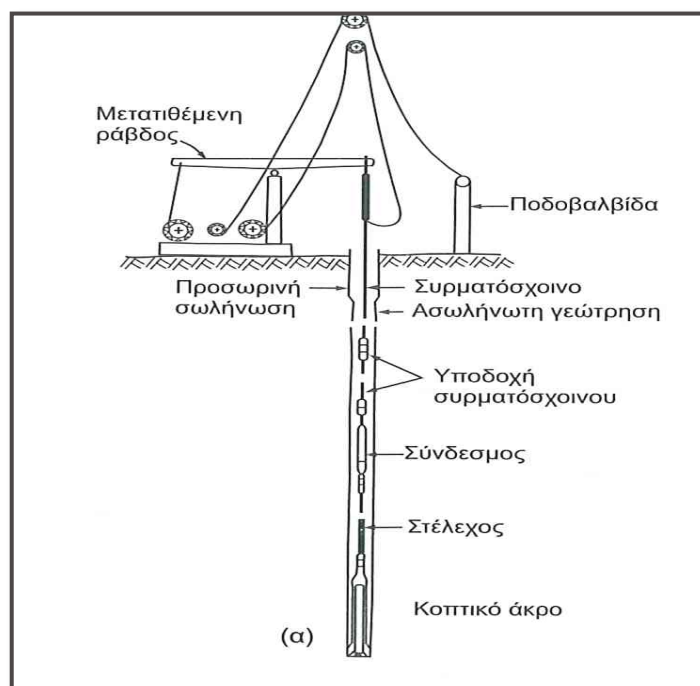
- ο εργασίες διάτρησης των πετρωμάτων,
- ο εργασίες συμπλήρωσης της γεώτρησης (σωλήνωση, χαλίκωση),
- ο εργασίες τελικής διαμόρφωσης της γεώτρησης (π.χ. κατασκευή τσιμεντένιας βάσης, τοποθέτηση προστατευτικού τριγώνου κ.α.),
- ο εργασίες ανάπτυξης της γεώτρησης,
- ο διεξαγωγή δοκιμαστικών αντλήσεων.

3.2 Διάτρηση πετρωμάτων

Για την κατασκευή μιας γεώτρησης είναι απαραίτητη η θραύση των πετρωμάτων του εδάφους. Αυτή μπορεί να επιτευχθεί με διάφορες τεχνικές, ωστόσο, για την επιλογή της βέλτιστης συνεκτιμώνται: α) οι ιδιότητες των προς διάτρηση πετρωμάτων, β) η διάμετρος και το βάθος της οπής, γ) ο ρυθμός και το κόστος διάτρησης.

3.2.1 Κρουστική μέθοδος διάτρησης

Η πιο συνήθης κρουστική μέθοδος διάτρησης είναι η διάτρηση με συρματόσχοινο. Στην εν λόγω τεχνική πραγματοποιείται διάτρηση του εδάφους με τη βοήθεια ενός κοπτικού άκρου (κοπίδι), το οποίο κρέμεται από συρματόσχοινο. Το κοπτικό άκρο, υπό την επίδραση του βάρους του (ελεύθερη πτώση), προκαλεί κρούσεις στο έδαφος προκαλώντας θραύση των πετρωμάτων. Τα συντρίμια αφαιρούνται από το βάθος της διανοιγόμενης οπής με ειδικό εξοπλισμό γνωστό ως κάδος καθαρισμού (Καλλέργη, 1999).



Σχήμα 3.1 : Κρουστική μέθοδος με συρματόσχοινο (Πηγή : Καλλέργη, 1999).

Άλλες τεχνικές, παραλλαγές της κρουστικής μεθόδου διάτρησης με συρματόσχοινο, είναι η κρουστική διάτρηση με στελέχη (το κοπτικό όργανο συνδέεται με μεταλλικούς ράβδους – στελέχη, τα οποία αντικαθιστούν το συρματόσχοινο), η υδραυλική κρουστική διάτρηση (υδραυλικό σύστημα, συνδεδεμένο με το κοπτικό άκρο, προκαλεί ταυτόχρονα κατακόρυφη και περιστροφική κίνηση του κοπτικού γύρω από τον άξονα του) και η κρουστική διάτρηση με σωλήνα (κάδος καθαρισμού προωθείται βαθμιαία υπό την επίδραση του βάρους του και υδραυλικής πίεσης – η συγκεκριμένη τεχνική είναι κατάλληλη για χαλαρούς σχηματισμούς) (Σούλιος, 2008).

Όλες οι πιο πάνω τεχνικές διάτρησης χρησιμοποιούν νερό για την αποφυγή της υπερθέρμανσης του κοπτικού μέσου (τριβές κατά την κρούση ή/και την περιστροφή του κοπτικού άκρου), την απομάκρυνση των τριμμάτων που παράγονται κατά τη διάτρηση και την ενίσχυση της ευστάθειας των τοιχωμάτων της γεώτρησης στις περιπτώσεις των πολύ χαλαρών σχηματισμών.

3.2.2 Περιστροφική μέθοδος διάτρησης

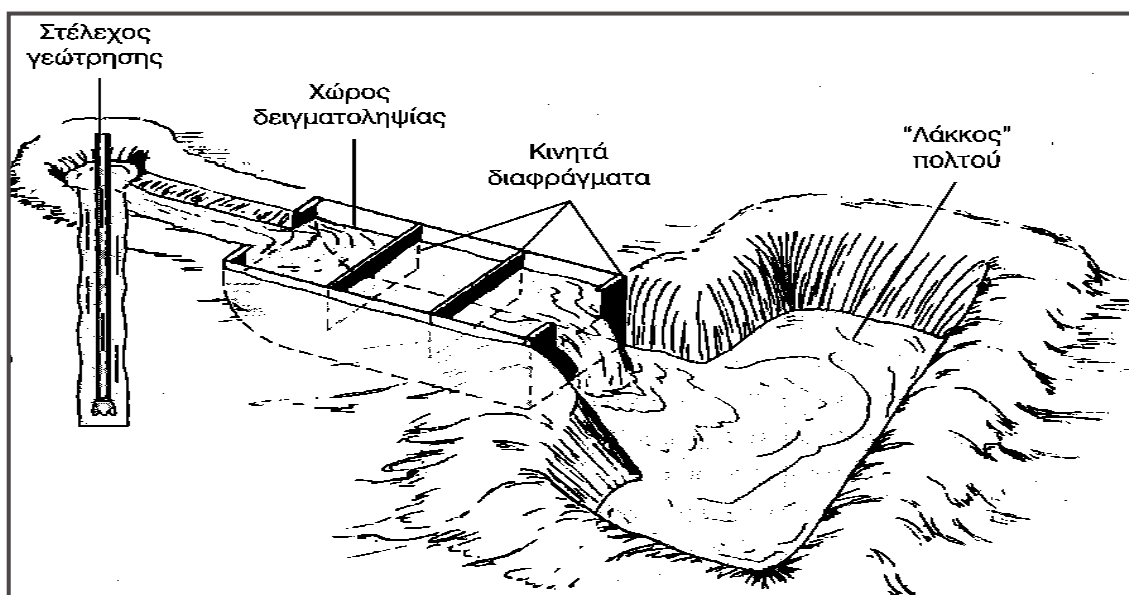
Στην περιστροφική μέθοδο διάτρησης η θραύση των πετρωμάτων στηρίζεται στην περιστροφική κίνηση του κοπτικού άκρου, η οποία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός κινητήρα. Ταυτόχρονα, πραγματοποιείται συνεχής κυκλοφορία γεωτρητικού ρευστού τόσο για την ψύξη του κοπτικού μέσου όσο και για την απομάκρυνση των θραυσμάτων, που παράγονται κατά τη διάτρηση.

Βάσει του γεωτρητικού ρευστού, που χρησιμοποιείται, η περιστροφική μέθοδος διάτρησης δύναται να κατηγοριοποιηθεί σε δύο βασικές κατηγορίες (Σούλιος, 2008):

- ο την περιστροφική διάτρηση με υγρά και
- ο την περιστροφική διάτρηση με αέρα.

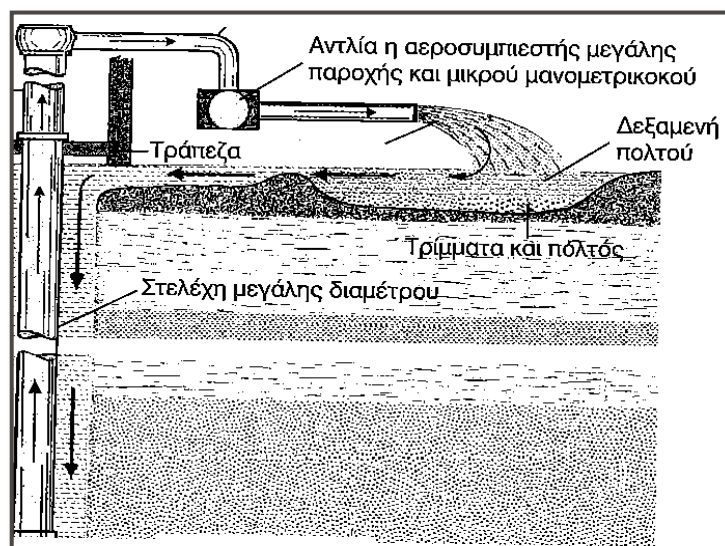
Στην περιστροφική μέθοδο διάτρησης με υγρά ως μέσο ψύξης του κοπτικού άκρου και απομάκρυνσης των τριμμάτων που παράγονται κατά τη διάτρηση χρησιμοποιείται ειδικό υγρό, ο πολτός ή ρευστό κυκλοφορίας, το οποίο αποτελείται κυρίως από νερό και διάφορα πρόσμικτα (π.χ. μπετονίτη).

Ο πολτός αυτός δημιουργείται μέσα σε ένα ‘λάκκο’ που κατασκευάζεται πλησίον της γεώτρησης. Στην συνέχεια, με τη βοήθεια μιας αντλίας ανεβαίνει στο πάνω άκρο της διατρητικής στήλης και διαβιβάζεται στο εσωτερικό των στελεχών του γεωτρήπανου. Η κάθοδος του πολτού από τη διατρητική στήλη στο κοπίδι και στην συνέχεια η άνοδος στην επιφάνεια από τον κενό χώρο μεταξύ της διατρητικής στήλης και των τοιχωμάτων ονομάζεται θετικός τρόπος κυκλοφορίας. Μετά την άνοδο του πολτού στην επιφάνεια και αφού περάσει από διαφράγματα, όπου συγκρατούνται τα μεγαλύτερα θραύσματα, οδηγείται στο ‘λάκκο’, όπου καθιζάνουν τα λεπτότερα τρίμματα (Βουδούρης, 2015).



Σχήμα 3.2: Λάκκος πολτού θετικής κυκλοφορίας (Πηγή : Βουδούρης, 2015).

Από την άλλη μεριά, υπάρχει και η ανάστροφη κυκλοφορία πολτού, η αρνητική. Στην περίπτωση αυτή, ο πολτός αντλείται μέσω αντλίας από την κεφαλή της γεώτρησης και εκχώνεται στο ‘λάκκο’, όπου αποθέτονται τα θραύσματα. Από εκεί με ειδική αύλακα που συνδέει το ‘λάκκο’ με την οπή της γεώτρησης εισρέει εκ νέου σε αυτήν (Σούλιος, 2008).



Σχήμα 3.3: Λάκκος πολτού αρνητικής κυκλοφορίας (Πηγή : Καλλέργη, 1999).

Στην περιστροφική μέθοδο διάτρηση με αέρα χρησιμοποιείται ο ίδιος εξοπλισμός, με τη μόνη διαφορά ότι η αντλία πολτού αντικαθίσταται με αεροσυμπιεστή. Ο αεροσυμπιεστής στέλνει δια μέσου των στελεχών πεπιεσμένο αέρα στην κεφαλή της γεώτρησης, συμπαρασύροντας και ανυψώνοντας με τον τρόπο αυτό τα θραύσματα που παράγονται από το κοπτικό άκρο. Για την μείωση της σκόνης, που δημιουργείται από τον πεπιεσμένο αέρα, αλλά και την αποφυγή της υπερθέρμανσης των κοπτικών μέσων προστίθεται λίγο νερό με αποτέλεσμα να δημιουργείται αφρός (Σούλιος, 2008).

3.2.3 Άλλες μέθοδοι διάτρησης

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε αναφορά στις πλέον βασικές μεθόδους διάτρησης πετρωμάτων. Ωστόσο, κατά την διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί νεότερες τεχνικές, οι οποίες λόγω κόστους αγοράς και λειτουργίας του εξοπλισμού δεν έχουν ευρεία εφαρμογή. Μερικές από αυτές είναι (Σούλιος, 2008):

- ο ηχητική διάτρηση,
- ο διάτρηση με εκτόξευσης νερού υψηλής πίεσης,
- ο στροβιλοδιάτρηση.

3.2.4 Βάθος γεώτρησης

Το βάθος της γεώτρησης αν και αρχικά προκαθορίζεται με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία (πιθανά δεδομένα από άλλες γεωτρήσεις στον ίδιο υδροφορέα δύναται να διευκολύνουν τον ορθό προγραμματισμό των νέων γεωτρήσεων), τελικά, καθορίζεται κατά τη διάρκεια επίβλεψης της διάτρησης. Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν το βάθος διάτρησης είναι μεταξύ άλλων (Βαφειάδης, 1980):

- Η ύπαρξη επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων. Σε αυτή την περίπτωση είναι σκόπιμο η διάτρηση να προωθείται όσο το δυνατόν βαθύτερα, ώστε να υδρομαστεύονται όσο το δυνατόν περισσότερα υδροφόρα στρώματα, αν όχι όλα.
- Ο εντοπισμός συνεχούς αργιλικής ή αργιλοαμμώδους απόθεσης. Το γεγονός της ύπαρξης τέτοιων αποθέσεων μπορεί να αποτελέσει αιτία διακοπής της διατρήσεως.

3.3 Συμπλήρωση γεώτρησης

Όταν ολοκληρωθεί η διάτρηση του εδάφους, η οπή που έχει ανοιχθεί πρέπει να αποκτήσει χαρακτηριστικά γεώτρησης. Αυτό πραγματοποιείται με μια σειρά εργασιών (συμπλήρωση γεώτρησης), με τις οποίες επιδιώκεται αφενός η επίτευξη βέλτιστης υδραυλικής επικοινωνίας μεταξύ γεώτρησης και υδροφόρου στρώματος και αφετέρου η παρεμπόδιση εισόδου σε αυτήν λεπτόκοκκου υλικού. Οι εργασίες αυτές περιλαμβάνουν την σωλήνωση, την χαλίκωση και εργασίες διασφάλισης και προστασίας της γεώτρησης (Καλλέργη, 1999).

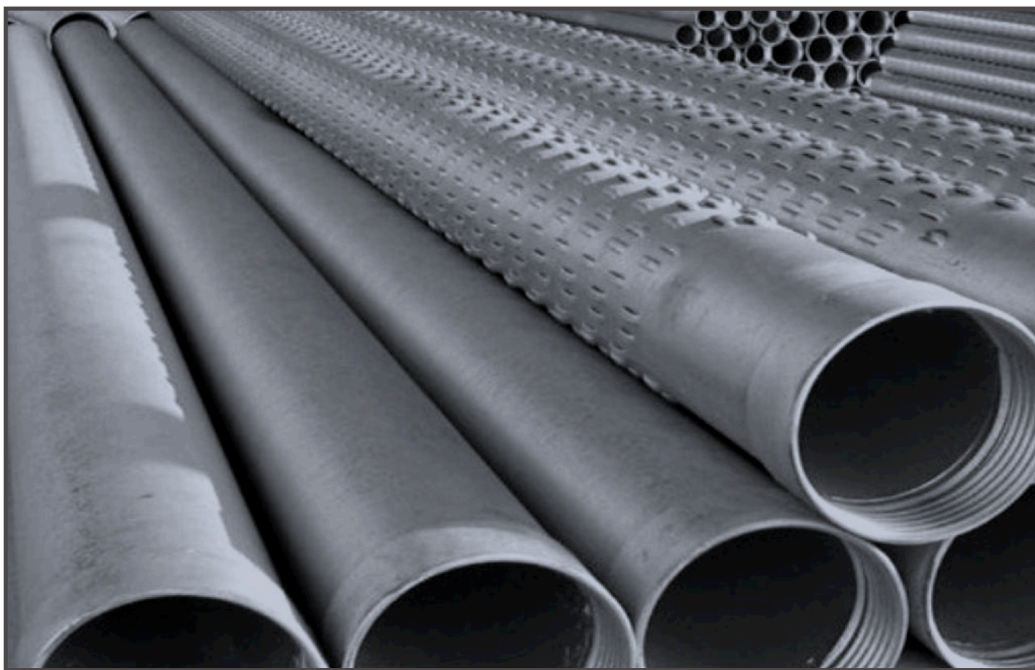
3.3.1 Σωλήνωση γεώτρησης

Η σωλήνωση είναι μια απαραίτητη διαδικασία, που προστατεύει την γεώτρηση από καταρρεύσεις των τοιχωμάτων της, εμποδίζει την είσοδο σε αυτήν επιφανειακών νερών και εξασφαλίζει ένα ευθύγραμμο δρόμο επικοινωνίας ανάμεσα στην επιφάνεια και το υδροφόρο στρώμα. Διακρίνεται, δε, σε τρία είδη (Βουδούρης, 2015):

- την επιφανειακή ή περιφραγματική σωλήνωση,
- την τυφλή σωλήνωση και
- τους φιλτροσωλήνες.

Η επιφανειακή σωλήνωση τοποθετείται κατά τη διάρκεια της διάτρησης, ξεκινώντας από την κεφαλή της γεώτρησης (επιφάνεια εδάφους) και καταλήγοντας στα πρώτα σταθερά αδιαπέρατα στρώματα του υπεδάφους. Στόχος της τοποθέτησης της είναι η συγκράτηση ασταθούς εδαφικού υλικού κατά την διάρκεια της διάτρησης, η ελαχιστοποίηση της απόπλυσης και της διάβρωσης των τοιχωμάτων της γεώτρησης από τον πολτό και το κοπτικό άκρο, η διευκόλυνση της τοποθέτησης ή/και της αφαίρεσης άλλων σωλήνων και η παρεμπόδιση εισόδου στον υδροφορέα εδαφικού υλικού, επιφανειακών νερών και ρύπων (Καλλέργη, 1999). Η επιφανειακή σωλήνωση, που συχνά αναφέρεται και ως περιφραγματική σωλήνωση, μπορεί να είναι είτε μόνιμη είτε προσωρινή, ενώ μπορεί να μην χρησιμοποιηθεί και καθόλου όταν δεν υπάρχουν προβλήματα ευστάθειας των τοιχωμάτων της γεώτρησης.

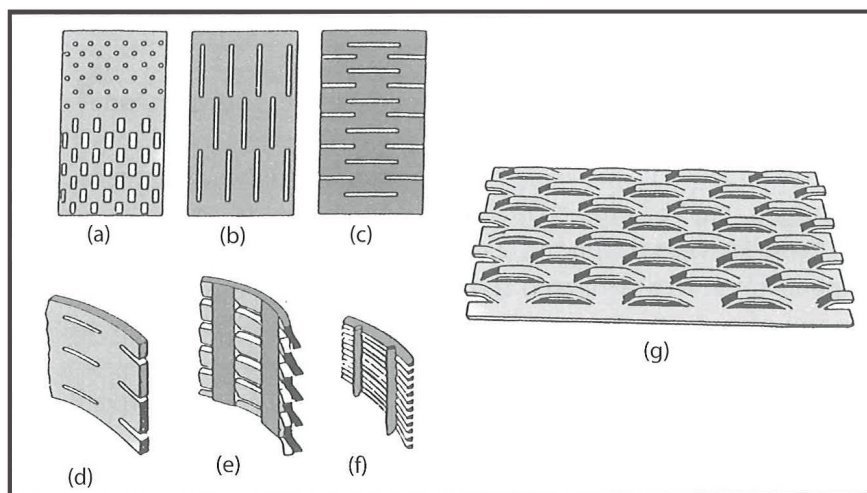
Αντίθετα, οι τυφλές σωλήνες και οι φιλτροσωλήνες αποτελούν τη μόνιμη σωλήνωση των γεωτρήσεων, με τη βασική τους διαφορά να εντοπίζεται στο γεγονός ότι οι τυφλοί σωλήνες είναι αδιαπέρατοι, ενώ οι φιλτροσωλήνες διαθέτουν ανοίγματα μέσω των οποίων πραγματοποιείται η διέλευση των υπόγειων υδάτων.



Σχήμα 3.3: Τυφλοί σωλήνες και φιλτροσωλήνες (Πηγή : Βουδούρης, 2015).

Η διάμετρος της σωλήνωσης ποικίλει ανάλογα με το σκοπό ανόρυξης μιας γεώτρησης και εξαρτάται από την διάμετρο διάτρησης. Συνήθως και πλην ελαχίστων εξαιρέσεων, η διάμετρος σωλήνωσης κυμαίνεται από 2 έως 16 inch (Σούλιος, 2008). Το, δε, υλικό κατασκευής της μπορεί να είναι: α) σίδηρο (συνήθως γαλβανισμένο για μεγαλύτερη αντοχή), β) πλαστικό (PVC) ή γ) άλλα ειδικά, ανθεκτικά υλικά, τα οποία αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Οι πλαστικοί σωλήνες τοποθετούνται και εξάγονται γρήγορα, είναι φτηνοί και ανθεκτικοί, αλλά δεν έχουν μεγάλη αντοχή στον εφελκυσμό. Ταυτόχρονα, δεν αντιδρούν με σκληρά ή όξινα νερά, με αποτέλεσμα να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (>50 χρόνια). Αντίθετα, οι σιδερένιοι σωλήνες έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής, ειδικά αν το νερό είναι σκληρό και διαβρωτικό (Βουδούρης, 2015).

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που παίζει καθοριστικό ρόλο στη καλή λειτουργία μιας γεώτρησης είναι ο τύπος των ανοιγμάτων που φέρουν οι φιλτροσωλήνες (Σχήμα 3.4) και ο οποίος εξαρτάται από τη λιθολογική και κυρίως την κοκκομετρική σύσταση των υδροφόρων σχηματισμών (Καλλέργη, 1999). Για παράδειγμα, αν το υδροφόρο στρώμα αποτελείται από λεπτόκοκκο υλικό χρησιμοποιούνται φιλτροσωλήνες με λεπτές ή γεφυρωτές σχισμές. Αντίθετα σε περιπτώσεις σχηματισμών ανδρόκοκκου υλικού ή σε ρωγμώδεις σχηματισμούς (χωρίς αργιλικό υλικό στις ρωγμές) προτιμούνται φιλτροσωλήνες με σχετικά μεγάλες οπές (Σούλιος, 2008). Τέλος, η ολική επιφάνεια των ανοιγμάτων (open area) κυμαίνεται μεταξύ του 15 και 20% και δεν πρέπει να ξεπερνά το 30 με 40% της συνολικής επιφάνειας των φιλτροσωλήνων (Βουδούρης, 2015).



Σχήμα 3.4: Τύποι φυλτροσωλήνων: a) κυκλικές ή ορθογώνιες τρύπες, b) κατακόρυφες σχισμές, c) και d) οριζόντιες σχισμές, e) περιδωτές σχισμές, f) συνεχείς σχισμές περιέλιξης (φίλτρα Johnson) και g) γεφυρωτές σχισμές (Πηγή : Βουδούρης, 2015).

3.3.2 Χαλίκωση γεώτρησης

Με την ολοκλήρωση της σωλήνωσης της γεώτρησης ακολουθεί απόθεση χαλικιού, ώστε να πληρωθεί ο δακτυλιοειδής χώρος μεταξύ της σωλήνωσης και των τοιχωμάτων της διανοιχθείσας οπής. Η χαλίκωση ξεκινά από τον πυθμένα της γεώτρησης και φθάνει έως ένα ορισμένο βάθος από το στόμιο της. Το εναπομείναν τμήμα καλύπτεται από μπεντονίτη και σκυρόδεμα (υγειονομική σφράγιση).

Η χαλίκωση πρέπει να πραγματοποιείται με χρήση χαλικιού που να πληροί τις αναγκαίες προδιαγραφές, οι οποίες σχετίζονται με την σύσταση, την κοκκομετρία και το σχήμα των κόκκων. Πιο συγκεκριμένα (Σούλιος, 2008):

- Η σύσταση των κόκκων πρέπει να είναι πυριτική ή χαλαζιακή. Δεν γίνονται αποδεκτοί ασβεστολιθικής σύστασης κόκκοι εξαιτίας της έντονης διαλυτότητας τους στο νερό. Επιπλέον, το χαλίκι πρέπει να είναι απαλλαγμένο από ξένες προσμίξεις, δηλαδή να έχει υποστεί κοσκίνιση και πλύσιμο.
- Η κοκκομετρική σύσταση του χαλικιού καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου στρώματος και πρέπει να αποτρέπει την διέλευση λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού στο εσωτερικό του, ενώ παράλληλα, να επιτρέπει την κυκλοφορία του νερού. Σε γενικές γραμμές, η κοκκομετρική σύσταση του χαλικιού πρέπει να συνδέεται με αυτήν των υδροφόρων στρωμάτων. Μία άποψη, η οποία έχει επικρατήσει, είναι ότι η μικρότερη διάμετρος των κόκκων του χαλικιού πρέπει να είναι ίση με το διπλάσιο της μικρότερης διαμέτρου των κόκκων του υδροφόρου στρώματος.
- Το σχήμα των κόκκων πρέπει να είναι αποστρογγυλεμένο και η υφή λεία, προκειμένου να μειωθούν οι απώλειες φορτίου.

3.3.3 Τελική διαμόρφωση γεώτρησης

Όπως προαναφέρθηκε και στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, μετά το πέρας της χαλίκωσης τοποθετείται μπετονίτης και σκυρόδεμα από ένα ορισμένο βάθος έως την επιφάνεια του εδάφους (υγειονομική σφράγιση). Ταυτόχρονα, εκτελούνται όλες οι αναγκαίες εργασίες για την διασφάλιση και προστασία της γεώτρησης, οι οποίες μπορούν να περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων:

- ο τοποθέτηση πώματος ασφαλείας στη σωλήνωση της γεώτρησης
- ο τοποθέτηση προστατευτικού τριγώνου, κ.α.

Τέλος, στην περίπτωση που η γεώτρηση δεν αξιοποιηθεί για οποιονδήποτε λόγο, τότε ο υπεύθυνος μηχανικός είναι υποχρεωμένος να τη σφραγίσει ή να την καταστρέψει με βάση την ισχύουσα νομοθεσία (ΦΕΚ 292/2003).

3.4 Ανάπτυξη γεώτρησης

Η ανάπτυξη της γεώτρησης (well development) περιλαμβάνει το σύνολο των εργασιών που εκτελούνται μετά το πέρας της τελικής διαμόρφωσης και έχουν ως στόχο τον καθαρισμό της γεώτρησης, την κοκκομετρική αναδιάταξη των κόκκων του χαλικόφιλτρου και συνεπώς την αύξηση της υδροπερατότητας του και την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής της γεώτρησης.

Η ανάπτυξη των γεωτρήσεων γίνεται με διάφορους τρόπους. Οι σημαντικότερες τεχνικές είναι οι ακόλουθες (Σούλιος, 2008) :

- ο Ανάπτυξη με άντληση. Πραγματοποιείται άντληση με υψηλές παροχές για την απομάκρυνση λεπτόκοκκου υλικού από τους φιλτροσωλήνες.
- ο Ανάπτυξη με μηχανικό εμβολισμό. Γίνεται χρήση εμβόλου, το οποίο εκτελεί παλινδρομική κίνηση εντός της γεώτρησης, καταστρέφοντας με τον τρόπο αυτό τα συσσωματώματα που έχουν δημιουργηθεί και επικαθίσει στα τοιχώματα των φιλτροσωλήνων.
- ο Ανάπτυξη με διοχέτευση αέρα. Αέρας διοχετεύεται με πίεση, απομακρύνοντας λεπτόκοκκα υλικά από το πυθμένα και τα τοιχώματα των φιλτροσωλήνων.
- ο Ανάπτυξη με εκτόξευση νερού. Νερό εκτοξεύεται με πίεση κάθετα στα τοιχώματα των φιλτροσωλήνων για την απομάκρυνση άμμου και θραυσμάτων που έχουν παραμείνει στα τοιχώματα των φιλτροσωλήνων.
- ο Ανάπτυξη με χημικά. Προσθήκη χημικών ουσιών, όπως εξαμεταφωσφορικό άλας, για την κροκίδωση του μπετονίτη (στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε πολτός μπετονίτη κατά τη διαδικασία της διάτρησης) και την καθίζηση του στο πυθμένα της γεώτρησης.

Σε κάθε περίπτωση είναι δυνατόν να εφαρμοστεί όχι μόνο μία, αλλά συνδυαστικά περισσότερες από μια μέθοδοι για την επίτευξη μέγιστου δυνατού αποτελέσματος.

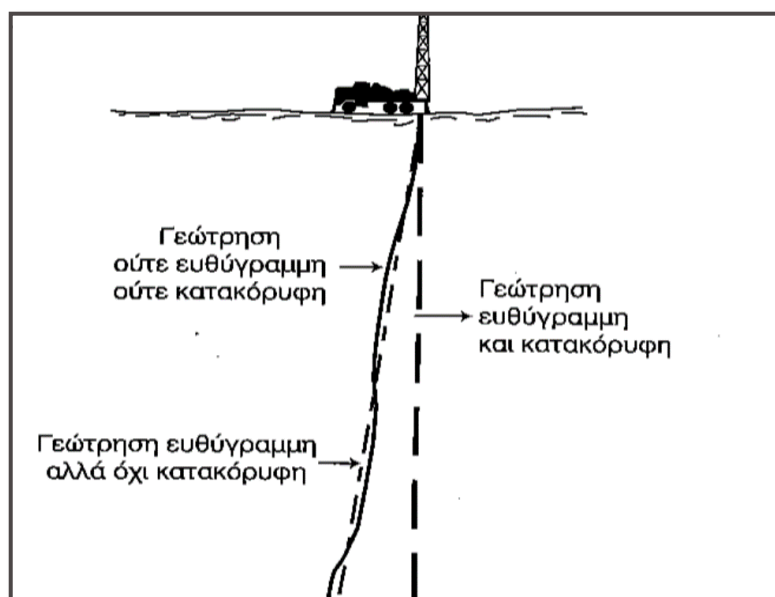
3.5 Δοκιμαστικές αντλήσεις

Μετά το άνοιγμα, τη συμπλήρωση και την ανάπτυξη των γεωτρήσεων, πραγματοποιούνται σε αυτές δοκιμαστικές αντλήσεις. Οι δοκιμαστικές αντλήσεις παρέχουν στοιχεία με τα οποία εκτιμάται αφενός η απόδοση των γεωτρήσεων (γραμμικές – μη γραμμικές απώλειες) και αφετέρου υπολογίζονται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφόρου στρώματος (π.χ. υδραυλική αγωγιμότητα, αποθηκευτικότητα, μεταβιβαστικότητα) (Βαφειάδη, 1980).

Οι αντλητικές δοκιμές γίνονται είτε με μεταβαλλόμενη παροχή (άντληση κατά βαθμίδες) είτε με σταθερή και για την επεξεργασία τους απαιτείται να λαμβάνονται σε καθορισμένα χρονικά διαστήματα μετρήσεις πτώσης στάθμης (ή/και ανόδου στάθμης) και παροχής.

3.6 Κατακορυφότητα και ευθυγραμμία γεώτρησης

Μια γεώτρηση πρέπει να είναι ευθύγραμμη και κατακόρυφη, αν και στην πράξη είναι αδύνατη η επίτευξη απόλυτης ευθυγραμμίας και κατακορυφότητας κατά την διάνοιξη γεωτρήσεων σε μεγάλα βάθη. Ωστόσο, μεγάλη απόκλιση από την απόλυτη ευθυγραμμία και κατακορυφότητα δημιουργεί σοβαρά τεχνικά προβλήματα, τα οποία μπορούν να οδηγήσουν στη μη αποτελεσματική λειτουργία μιας γεώτρησης.

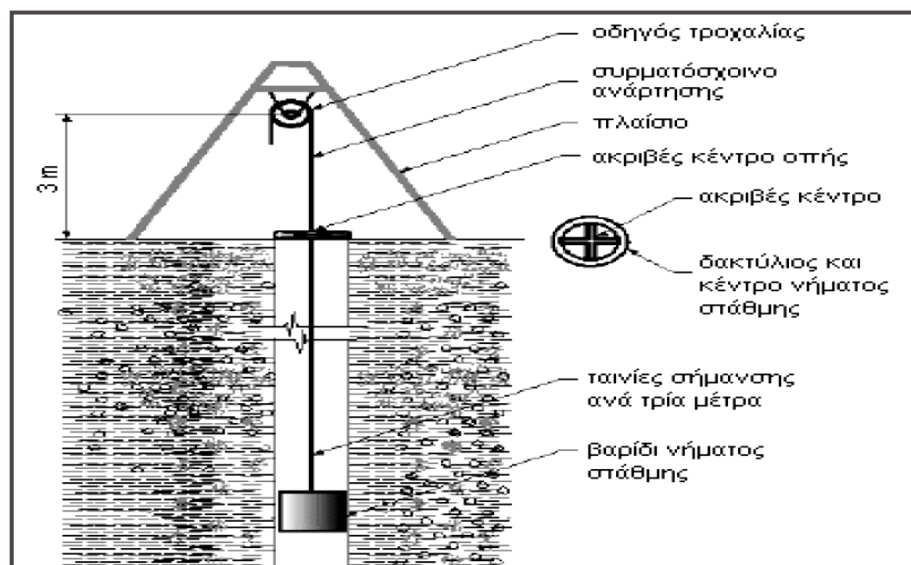


Σχήμα 3.4: Η έννοια της ευθυγραμμίας και της κατακορυφότητας στις γεωτρήσεις (Πηγή : Driscoll, 1966).

Ευθύγραμμη είναι εκείνη η γεώτρηση στην οποία κάθε τμήμα της σωλήνωσης συνδέεται με το προηγούμενο και το επόμενο, με τρόπο που να εξασφαλίζεται πλήρη ευθυγραμμία.

Αντίθετα, κατακόρυφη είναι η γεώτρηση που το κέντρο της δεν αποκλίνει από μια υποθετική κατακόρυφη γραμμή που ξεκινά από την επιφάνεια του εδάφους και κατευθύνεται προς το κέντρο της γης. Μια γεώτρηση μπορεί να είναι ευθύγραμμη αλλά όχι κατακόρυφη. Στην περίπτωση όμως που είναι κατακόρυφη θα είναι και ευθύγραμμη (Βουδούρης, 2015).

Για την μέτρηση της κατακορυφότητας και της ευθυγραμμίας μιας γεώτρησης υπάρχουν διάφορες διατάξεις. Η πιο συνηθισμένη διάταξη αποτελείται από ένα μεταλλικό κυλινδρικό δακτύλιο μήκους 30 cm και διαμέτρου μικρότερης από την εσωτερική διάμετρο της σωλήνωσης (ή της γεώτρησης, ανάλογα που γίνεται η μέτρηση) κατά 12.7 mm. Ο μεταλλικός δακτύλιος φέρει στο κέντρο του ένα άγκιστρο από το οποίο αναρτάται με καλώδιο διατομής 3mm. Το καλώδιο πρέπει να συμπίπτει ακριβώς με τον άξονα της γεώτρησης, δηλαδή να περνά από το κέντρο της. Ο κυλινδρικός δακτύλιος τοποθετείται στο σημείο που η κατακόρυφη απόσταση του άγκιστρου από την κεφαλή της σωλήνωσης είναι 3 μέτρα. Στην συνέχεια, αφήνεται καλώδιο μέχρις ότου το άγκιστρο κατέβει άλλα 3 μέτρα. Αν το καλώδιο μετακινηθεί από το κέντρο της γεώτρησης προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, μετράται η απόσταση της μετατόπισής του. Στη συνέχεια, κατεβαίνει ξανά ο δακτύλιος ακόμα 3 μέτρα και μετράται εκ νέου η απόσταση της μετατόπισης του καλωδίου από το κέντρο της γεώτρησης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ελεγχθεί όλο το επιθυμητό μήκος της γεώτρησης (Καλλέργη, 1999).



Σχήμα 3.5: Διάταξη για τον έλεγχο της κατακορυφότητας (Πηγή : ΕΛΟΤ 23-12-2009).

3.7 Γήρανση γεώτρησης

Μία καλά σχεδιασμένη και ανεπτυγμένη γεώτρηση έχει μεγάλη διάρκεια ζωής, η οποία συνήθως ξεπερνά τα 40 έτη. Ωστόσο, μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας μπορεί να παρουσιάσει συμπτώματα γήρανσης. Τα συμπτώματα αυτά περιλαμβάνουν κατά κύριο λόγο α)

τη μείωση της παροχής άντλησης, β) τη μείωση της απόδοσης της γεώτρησης και γ) την αύξηση της ‘ανώμαλης’ απώλειας φορτίου, η οποία οδηγεί στη μείωση της ειδικής ικανότητας της γεώτρησης (Σούλιος, 2008).

Ορισμένα από τα παραπάνω συμπτώματα είναι πιθανόν να μην οφείλονται στην ίδια τη γεώτρηση αλλά στο υδροφόρο στρώμα. Για παράδειγμα, η υπεράντληση του υδροφόρου μπορεί να οδηγήσει στην μείωση των διαθέσιμων αποθεμάτων νερού και στην μείωση της παροχής άντλησης. Ωστόσο, τις περισσότερες φορές η εμφάνιση τέτοιων συμπτωμάτων σχετίζεται με τη γήρανση της γεώτρησης.

Η γήρανση των γεωτρήσεων μπορεί να οφείλεται σε ένα ή περισσότερα αίτια, τα σημαντικότερα εκ’ των οποίων είναι (Βαφειάδη, 1980):

- ο Μηχανικά αίτια: Έμφραξη των φίλτρων εξαιτίας συσσώρευσης λεπτόκοκκου υλικού όπως άμμου, ιλύος, αργίλου γύρω από το φιλτροσωλήνα ή ενσφήνωση κόκκων άμμου στις σχισμές των φίλτρων από τη συνεχή ροή του ρευστού του υδροφόρου προς την γεώτρηση κατά την διάρκεια της άντλησης.
- ο Χημικά αίτια: Απόθεση αλάτων (ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, υδροξείδια του σιδήρου και του μαγγανίου) στους φιλτροσωλήνες, η οποία μπορεί να οδηγήσει σταδιακά στην μείωση της περατότητάς τους.
- ο Βιολογικά αίτια: Δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης βακτηρίων στο περιβάλλον της γεώτρησης (π.χ. σιδηροβακτήρια) εξαιτίας της ύπαρξης αρκετού οξυγόνου και άφθονης τροφής. Τέτοιου είδους βακτήρια πολλαπλασιάζονται με μεγάλη ταχύτητα και τα συσσωματώματα της μάζας τους δύναται να φράξουν τα φίλτρα και τους πόρους διέλευσης του ρευστού προς τη γεώτρηση.

Συμπερασματικά, θα λέγαμε ότι η δυσμενής επίδραση των μηχανικών, χημικών και βιολογικών δράσεων στην έμφραξη των πόρων εισόδου του νερού του υδροφόρου στη γεώτρηση κατά την διάρκεια των αντλήσεων είναι αναπόφευκτη. Ωστόσο, η κατασκευή μίας γεώτρησης με τους κανόνες της τεχνικής μειώνει σε σημαντικό βαθμό τη δυσμενή επίδραση των παραπάνω δράσεων και επιμηκύνει τη διάρκεια ζωής της.

3.8 Καθαρισμός φίλτρων

Ο καθαρισμός των φίλτρων μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους. Είτε οι φιλτροσωλήνες να ανασυρθούν στην επιφάνεια, να καθαριστούν και να επανατοποθετηθούν είτε να καθαριστούν στη θέση τους (in-situ). Οποσδήποτε, ο καθαρισμός στην πρώτη περίπτωση είναι πιο αποτελεσματικός, όμως η εργασία της εξαγωγής των φιλτροσωλήνων απαιτεί χρόνο, αξιόλογη δαπάνη και πάντα εγκυμονεί ο κινδύνους αχρήστευσης της γεώτρησης (Βαφειάδη, 1980).

Ο “in-situ” καθαρισμός των φίλτρων είναι ταχύτερος, φθηνότερος και δεν εγκυμονεί κινδύνους. Σε πρώτο στάδιο εφαρμόζονται τεχνικές άντλησης και μηχανικός καθαρισμός (χρήση ειδικών βουρτσών και δίσκων) για την απομάκρυνση λεπτόκοκκου εδαφικού υλικού και αλάτων από την εσωτερική πλευρά των φίλτρων. Κατόπιν, με εκτόξευση νερού υπό πίεση κάθετα προς τα φίλτρα, απομακρύνονται τα ιζήματα (Βαφειάδη, 1980).

Ο καθαρισμός των φίλτρων συνεχίζεται με χημική δράση, όπου η χρήση υδροχλωρικού οξέος διαλύει τα διάφορα άλατα που έχουν αποτεθεί στους φίλτροσωλήνες. Ωστόσο, το υδροχλωρικό οξύ έχει διαβρωτική δράση και για αυτό το λόγο η εφαρμογή του πρέπει να είναι προσεκτική και να ακολουθείται πάντα αυτής εντατική άντληση (Σούλιος, 2008).

Για φίλτρα, των οποίων η περατότητα έχει μειωθεί εξαιτίας παρουσίας αποθέσεων οργανικής σύστασης, ενδείκνυται η χρησιμοποίηση διαλύματος σουλφανιλικού οξέος. Το σουλφανιλικό οξύ είναι στερεό κοκκώδες υλικό, το οποίο όταν διαλύεται στο νερό δίνει ένα δραστικό διάλυμα, που είναι λιγότερο διαβρωτικό για τις σωληνώσεις από εκείνο του υδροχλωρικού οξέος (Βαφειάδη, 1980). Επιπρόσθετα, αρκετά αποτελεσματική μέθοδος θεωρείται η πλύση των γεωτρήσεων με ισχυρή διάλυση χλωρίου. Ως πηγή χλωρίου χρησιμοποιείται συνήθως υποχλωριώδες ασβέστιο (ο χρόνος δράσεως του διαλύματος διαρκεί τουλάχιστον 10 ώρες).

Τέλος, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι όλες οι παραπάνω εφαρμογές, που χρησιμοποιούνται ως μέσο για την διάλυση της κρούστας των φίλτρων, δεν πραγματοποιούνται μεμονωμένα ή μία μόνο φορά, αλλά μπορούν να συνδυαστούν μεταξύ τους και να εφαρμόζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Εφόσον το αποτέλεσμα του καθαρισμού των φίλτρων δεν είναι ικανοποιητικό ή ο χρόνος επανάληψης της διαδικασίας καθαρισμού των φίλτρων μίας γεώτρησης είναι σχετικά μικρός, τότε εγκαταλείπεται η γεώτρηση και ανοίγεται νέα (Σούλιος, 2008).

4. Δοκιμαστικές αντλήσεις – αξιολόγηση δικτύου γεωτρήσεων

4.1 Δοκιμαστικές αντλήσεις

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην υδρολογική έρευνα ενός πεδίου, καθώς μέσω αυτών μπορούν να ληφθούν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα, την υπόγεια ροή, αλλά και την απόδοση μιας γεώτρησης. Πιο συγκεκριμένα, οι δοκιμαστικές αντλήσεις αποσκοπούν (Βουδούρης, 2015):

- ο στο καθορισμό των υδρολογικών παραμέτρων του υδροφόρου στρώματος (π.χ. συντελεστές αποθηκευτικότητας, μεταβιβαστικότητας και υδραυλικής αγωγιμότητας),
- ο στον εντοπισμό των υδρογεωλογικών ορίων του υδροφορέα (δηλαδή τον εντοπισμό των περιοχών εμπλουτισμού ή περιοχών που καταλήγει ο υδροφορέας),
- ο στο καθορισμό των υδρολογικών χαρακτηριστικών της αντλούμενης γεώτρησης (π.χ. παροχή εκμετάλλευσης, κρίσιμη παροχή),
- ο στην εκτίμηση των επιπτώσεων της άντλησης σε γειτονικές γεωτρήσεις ή στο περιβάλλον γενικότερα (πηγές, χείμαρρους, λίμνες κ.λπ.),
- ο στο προσδιορισμό της απόδοσης μιας γεώτρησης και την αξιολόγηση των τεχνικών χαρακτηριστικών της (π.χ. τρόπος κατασκευής, τέλεια ή ατελής γεώτρηση, τοποθέτηση φίλτρων, βαθμός ανάπτυξης κ.λπ.),
- ο στο προσδιορισμό του βαθμού ανάπτυξης μιας νέας γεώτρησης.

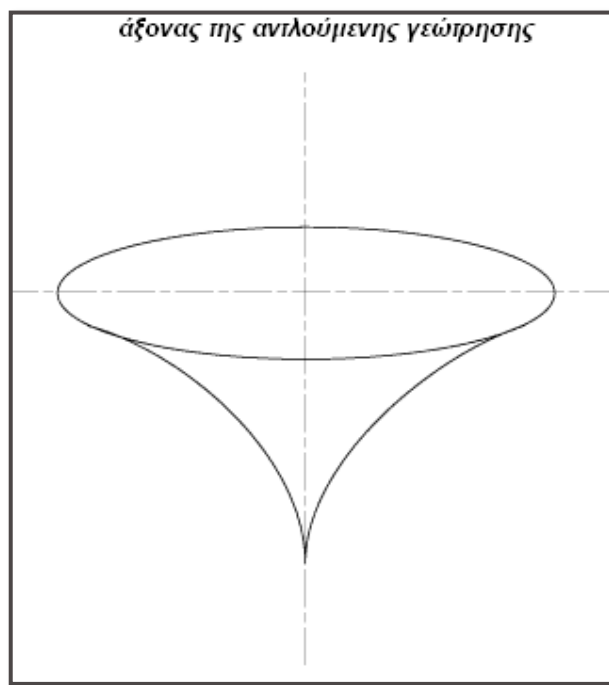
Ωστόσο, οι αντλητικές δοκιμές απαιτούν χρόνο και είναι αρκετά δαπανηρές. Η ερμηνεία, δε, των δεδομένων τους δεν είναι πάντα εύκολη, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η γεωλογική δομή και η υπόγεια ροή είναι περίπλοκες. Για το λόγο αυτό πρέπει να σχεδιάζονται σωστά έτσι ώστε να εξάγονται αξιόπιστα αποτελέσματα.

Γενικά, πριν ξεκινήσει κάθε δοκιμή πρέπει να γίνεται συλλογή όλων εκείνων των γεωλογικών χαρακτηριστικών που μπορούν να επηρεάσουν την άντληση (π.χ. το πορώδες), των χαρακτηριστικών της αντλούμενης γεώτρησης (π.χ. κώνος πτώσης στάθμης, ακτίνα επίδρασης) και των χαρακτηριστικών του υδροφορέα (π.χ. ελεύθερος ή περιορισμένος). Τα στοιχεία αυτά είναι αναγκαία γιατί καθορίζουν βασικές σχεδιαστικές παραμέτρους της αντλητικής δοκιμής (π.χ. ο χρόνος της αντλητικής δοκιμής).

4.2 Κώνος πτώσης στάθμης

Σε μια αντλούμενη γεώτρηση η στάθμη του υπόγειου νερού γύρω από αυτήν πέφτει, σχηματίζοντας έναν ανεστραμμένο κώνο πτώσης στάθμης (cone of depression), το σχήμα και η έκταση του οποίου (Σχήμα 4.1) εξαρτώνται από την παροχή άντλησης και τα υδραυλικά

χαρακτηριστικά του υδροφορέα (Βουδούρης, 2015). Ο υποβιβασμός, δηλαδή η απόσταση από την αρχική στάθμη του νερού, ονομάζεται πτώση στάθμης (drawdown) με διάσταση μήκους και συνήθως μετράται σε m.



Σχήμα 4.1: Κώνος πτώσης στάθμης σε μια αντλούμενη γεώτρηση.

Αρχικά με την έναρξη της άντλησης αφαιρείται το νερό που βρίσκεται στην άμεση γειτονιά της γεώτρησης, δημιουργώντας τον κώνο πτώσης στάθμης γύρω από αυτή. Με την συνέχιση της άντλησης, ο κώνος αυτός εξαπλώνεται και βαθαίνει. Πιο συγκεκριμένα, ο κώνος πτώσης στάθμης αναπτύσσεται σε τρία στάδια (Καλλέργη, 1999):

- Στο αρχικό στάδιο, επικρατούν συνθήκες μη μόνιμης ροής με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης σε όλη την έκταση του κώνου και τη γρήγορη μεταβολή του σχήματος.
- Στο ενδιάμεσο στάδιο, η στάθμη συνεχίζει να πέφτει, αλλά το κεντρικό τμήμα του κώνου παίρνει ένα σταθερό σχήμα. Επομένως, γίνεται αντιληπτό ότι επικρατούν συνθήκες μεταβατικής ροής.
- Στο τελικό στάδιο, παρατηρείται σταθεροποίηση της στάθμης και του σχήματος του κώνου, οπότε διαπιστώνεται ότι επικρατούν συνθήκες μόνιμης ροής και επομένως βρισκόμαστε σε κατάσταση ισορροπίας (Kruseman and Ridder, 1990).

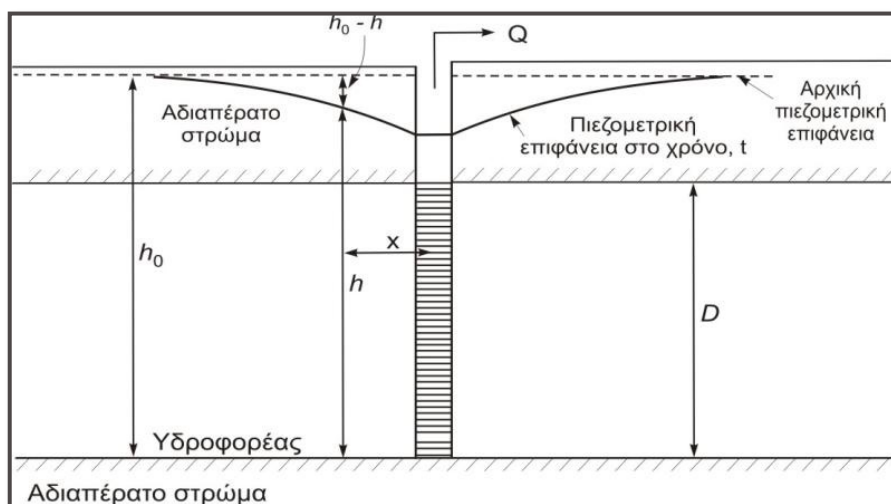
Είναι λοιπόν πρόδηλο ότι οι μετρήσεις (π.χ. παροχής, πτώσης στάθμης) που διεξάγονται κατά την διάρκεια μιας αντλητικής δοκιμής πρέπει να πραγματοποιούνται σε συνθήκες μόνιμης ροής (κατάσταση ισορροπίας) με στόχο την εξαγωγή αξιόπιστων συμπερασμάτων.

4.3 Ροή προς αντλούμενη γεώτρηση – Υδραυλικοί παράμετροι

4.3.1 Βασικές αρχές

Για τη μελέτη της ροής στα υδρομαστευτικά έργα (π.χ. γεωτρήσεις) και τον προσδιορισμό των υδραυλικών παραμέτρων των υπόγειων υδροφορέων, πρέπει να γίνουν μερικές παραδοχές σχετικά με τις υδραυλικές συνθήκες στα υδροφόρα στρώματα και τις γεωτρήσεις άντλησης και παρατήρησης. Οι παραδοχές αυτές είναι οι εξής (Fetter, 1994):

- ο υδροφορέας είναι ισότροπος και ομοιογενής,
- ο υδροφορέας είναι άπειρης έκτασης με οριζόντιο αδιαπέρατο υπόβαθρο,
- η αρχική πιεζομετρική στάθμη βρίσκεται σε ηρεμία πριν την έναρξη της άντλησης,
- όλες οι αλλαγές στη θέση της πιεζομετρικής επιφάνειας οφείλονται μόνο στην επίδραση της άντλησης,
- ισχύει ο νόμος του Darcy, δηλαδή η ροή είναι στρωτή,
- το υπόγειο νερό έχει σταθερή πυκνότητα και ιξώδες,
- η ροή του υπόγειου νερού είναι οριζόντια (χωρίς κατακόρυφη συνιστώσα),
- όλη η ροή του υπόγειου νερού είναι ακτινική προς τη γεώτρηση και αυτό σημαίνει ότι οι τιμές της αποθηκευτικότητας και της μεταβιβαστικότητας είναι ανεξάρτητες από τη διεύθυνση της ροής,
- η διάμετρος της γεώτρησης είναι πολύ μικρή σε σχέση με το πάχος του υδροφορέα, κάτι που αποδεικνύει ότι η αποθήκευση του νερού στη γεώτρηση είναι ασήμαντη και
- η γεώτρηση αποτελεί ένα τέλειο υδρομαστευτικό έργο, δηλαδή διατρύει όλο το υδροφόρο στρώμα μέχρι το αδιαπέρατο υπόβαθρο και έχει φίλτρα σε όλο το πάχος του (σχήμα 4.2).



Σχήμα 4.2: Τέλεια γεώτρηση που αντλεί ένα περιορισμένο υδροφορέα (Πηγή: Βουδούρης, 2015).

Οι παραπάνω παραδοχές είναι γενικές και ορισμένες από αυτές, κατά κανόνα, μπορεί να μην ισχύουν, όπως για παράδειγμα η ισοτροπία και η ομοιογένεια του υδροφορέα. Στην περίπτωση που ο υδροφορέας είναι έντονα ανισότροπος και η εξεταζόμενη γεώτρηση είναι ατελής, τότε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων επηρεάζεται σημαντικά.

4.3.2 Μόνιμη ακτινική ροή ή κατάσταση ισορροπίας

Αν η άντληση μιας γεώτρησης διαρκέσει αρκετά, η στάθμη του υπόγειου νερού φτάνει σε κατάσταση ισορροπίας (μόνιμη ροή), δηλαδή δεν παρατηρείται περαιτέρω πτώση στάθμης με το πέρασμα του χρόνου. Στην κατάσταση αυτή, ο κώνος πτώσης στάθμης σταματά να επεκτείνεται, γιατί έχει φτάσει στο όριο εμπλουτισμού.

Η οριζόντια απόσταση από την αντλούμενη γεώτρηση, πέραν από την οποία δεν γίνονται αισθητά τα αποτελέσματα της άντλησης, δηλαδή δεν παρατηρείται πτώση στάθμης, ονομάζεται **ακτίνα επίδρασης ή επιρροής** της γεώτρησης (Καλλέργης, 1999).

Η υδραυλική κλίση του κώνου πτώσης στάθμης προκαλεί 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 το ρυθμό με τον οποίο ο υδροφορέας μεταφέρει νερό σε αυτή. Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται ως συνθήκες μόνιμης ροής ή ισορροπίας (Βουδούρης, 2015). Πρακτικά, υπό πραγματικές συνθήκες άντλησης, δεν αποκαθίσταται ποτέ μόνιμη ροή, όμως μετά από ένα σχετικά μεγάλο χρονικά διάστημα άντλησης δεχόμαστε ότι επικρατούν μόνιμες συνθήκες ροής, καθώς τα στοιχεία της ροής μεταβάλλονται με πολύ βραδύ ρυθμό.

Μόνιμη ροή σε περιορισμένους υδροφορείς

Σε έναν περιορισμένο υδροφορέα που επικρατούν συνθήκες μόνιμης ροής, εκτός από τις βασικές παραδοχές που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.3.1, ισχύουν επιπρόσθετα οι εξής:

- η γεώτρηση αντλείται με σταθερό ρυθμό (σταθερή παροχή) και
- η στάθμη του υπόγειου νερού δεν αλλάζει περαιτέρω με το χρόνο άντλησης (κατάσταση ισορροπίας).

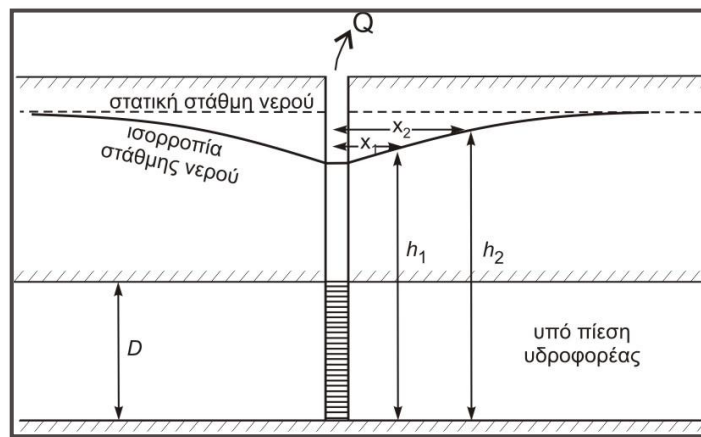
Ο Dupuit (1863) ήταν ο πρώτος που συνδύασε το νόμο του Darcy με την εξίσωση της συνέχειας, με σκοπό να εξάγει μια εξίσωση για μια αντλούμενη γεώτρηση με ακτινική ροή του νερού προς αυτή. Η αντλούμενη γεώτρηση θεωρείται ότι έχει κυλινδρικό σχήμα και η ροή του νερού προς αυτή λαμβάνει χώρα από την παράπλευρη επιφάνεια (A) του κυλίνδρου ($A=2\pi rD$), όπου r είναι η ακτίνα της γεώτρησης και D το πάχος του υδροφόρου στρώματος. Από το νόμο του Darcy (ενότητα 2.3.3), παραλείποντας το πρόσημο, ισχύει:

$$Q = k * i * A \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q = k * \left(\frac{dh}{dr} \right) * (2\pi r D) \quad (4.1)$$

Όπου:

- Q: η παροχή άντλησης,
- k: η υδραυλική αγωγιμότητα,
- r: η ακτίνα της γεώτρησης,
- D: το πάχος του υδροφόρου στρώματος,
- Dh/dr: η υδραυλική κλίση (i) και
- π: μαθηματική σταθερά (3,14).



Σχήμα 4.3: Μόνιμη ροή σε περιορισμένο υδροφορέα (Πηγή: Βουδούρης, 2015).

Αν ολοκληρώσουμε τη σχέση 4.1 με όρια: α) απόσταση $x_1=r$ (ακτίνα γεώτρησης) με το αντίστοιχο φορτίο να είναι h (πτώση στάθμης $s_{w1}=H-h$) και β) απόσταση $x_2=R$ (ακτίνα επίδρασης) με το αντίστοιχο φορτίο να είναι H (πτώση στάθμης $s_{w2}=0$), η εξίσωση του Dupuit παίρνει τη μορφή (οι πράξεις παραλείπονται):

$$T = \frac{Q}{2.73(H-h)} \log \frac{R}{r} \quad (4.2)$$

Όπου:

- T: ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας ($T=k*D$),
- Q: η παροχή άντλησης,
- H: το φορτίο πριν την άντληση, πρακτικά η στάθμη του υπόγειου νερού,
- h: το φορτίο (στάθμη νερού) εντός της γεώτρησης μετά την αποκατάσταση μόνιμης ροής,
- (H-h): η πτώση στάθμης στη γεώτρηση,
- R: η ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης και
- r: η ακτίνα της γεώτρησης.

Η εξίσωση του Dupuit γενικά είναι δύσχρηστη γιατί προϋποθέτει την γνώση της ακτίνας επιρροής της γεώτρησης, ο υπολογισμός της οποίας είναι μια διαδικασία δύσκολη, χρονοβόρα, που απαιτεί μετρήσεις στάθμης σε πολλά πιεζόμετρα περιμετρικά της γεώτρησης.

Ο Thiem (1906) τροποποίησε τους τύπους του Dupuit και τους κατέστησε εφαρμόσιμους στη πράξη. Λαμβάνοντας υπόψη ότι $T=k \cdot D$ και λύνοντας την εξίσωση 4.1 ως προς dh προκύπτει:

$$dh = \frac{Q}{2\pi T} \frac{dr}{r} \quad (4.3)$$

Έχοντας δεδομένα στάθμης από δύο γεωτρήσεις παρατήρησης (δηλ. στάθμη h_1 σε απόσταση x_1 από την αντλούμενη γεώτρηση και στάθμη h_2 σε απόσταση x_2) και ολοκληρώνοντας τα δύο μέλη της εξίσωσης 4.3 με αυτές τις οριακές συνθήκες προκύπτει (σχήμα 4.3):

$$\int_{h_1}^{h_2} dh = \frac{Q}{2\pi T} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dr}{r} \Rightarrow h_2 - h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{x_2}{x_1}$$

Μετατρέποντας το νεπέριο λογάριθμο σε δεκαδικό ($\ln a = 2.3 \log a$) και λύνοντας ως προς το συντελεστή μεταβιβαστικότητας T προκύπτει η εξίσωση:

$$T = \frac{Q}{2.73(h_2 - h_1)} \log \frac{x_2}{x_1} \quad (4.4)$$

Αν H είναι η αρχική στάθμη πριν την έναρξη της άντλησης, τότε $s_{w1}=H-h_1$ και $s_{w2}=H-h_2$ είναι οι αντίστοιχες πτώσεις στάθμης, οπότε:

$$h_2 - h_1 = (H - s_{w2}) - (H - s_{w1}) = s_{w1} - s_{w2}$$

Επομένως, η εξίσωση 4.4 μετασχηματίζεται ως εξής:

$$T = \frac{Q}{2.73(s_{w1} - s_{w2})} \log \frac{x_2}{x_1} \quad (4.5)$$

Όπου:

- T : ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας,
- x_1, x_2 : οι αποστάσεις των δύο πιεζομέτρων ($x_2 > x_1$),
- s_{w1}, s_{w2} : οι πτώσεις στάθμης σε αποστάσεις x_1 και x_2 και
- Q : η παροχή άντλησης της εξεταζόμενης γεώτρησης.

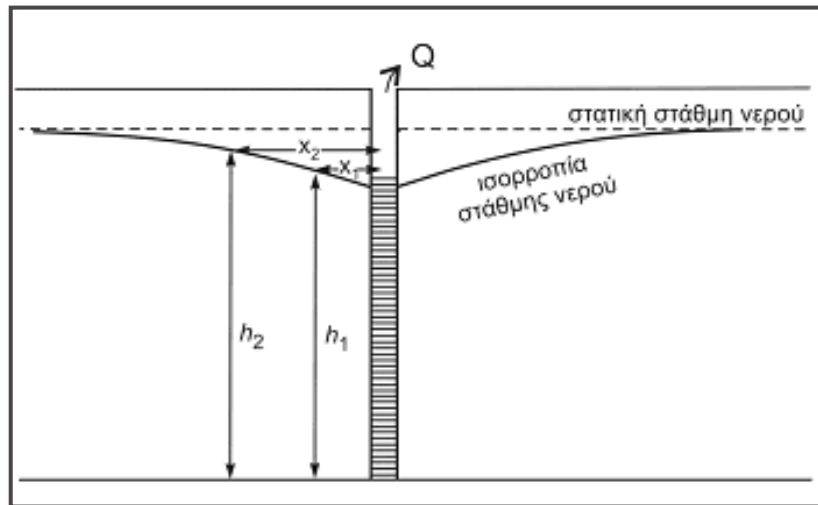
Μόνιμη ροή σε ελεύθερους υδροφορείς

Ο τύπος του Dupuit στα ελεύθερα υδροφόρα στρώματα έχει την εξής μορφή (η απόδειξη παραλείπεται):

$$k = \frac{Q \log \frac{R}{r}}{1.366(H^2 - h^2)} \quad (4.6)$$

Όπου:

- k: ο συντελεστής υδροπερατότητας,
- Q: η παροχή άντλησης,
- H: το φορτίο σε απόσταση R ίση με την ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης, που είναι ίσο με το κορεσμένο πάχος του υδροφόρου στρώματος και
- h: το φορτίο σε απόσταση r ίση με την ακτίνα της γεώτρησης.



Σχήμα 4.4: Μόνιμη ροή σε ελεύθερο υδροφορέα που αντλείται με παροχή Q (Πηγή: Βουδούρης, 2015).

Επειδή η εξίσωση του Dupuit είναι δύσχρηστη, ο Thiem παρήγαγε μια εξίσωση για συνθήκες μόνιμης ροής σε ελεύθερους υδροφορείς. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν οι βασικές παραδοχές που αναφέρθηκαν στην ενότητα 4.3.1, καθώς επίσης ότι η γεώτρηση αντλείται με σταθερή παροχή (σχήμα 4.4).

Η ακτινική ροή σε έναν ελεύθερο υδροφορέα περιγράφεται από την εξίσωση:

$$Q = k * \left(\frac{dh}{dr} \right) * (2\pi rh) \quad (4.7)$$

Τα σύμβολα της εξίσωσης 4.7 καθορίστηκαν στην περιγραφή της εξίσωσης 4.1 με τη μόνη διαφορά να παρατηρείται στον συμβολισμό του πάχους του υδροφόρου στρώματος. Αυτό συμβαίνει επειδή σε έναν ελεύθερο υδροφορέα το κορεσμένο πάχος μεταβάλλεται συναρτήσει της απόστασης (στους περιορισμένους υδροφορείς το πάχος του υδροφορέα παραμένει σταθερό).

Τροποποιώντας την εξίσωση 4.7 προκύπτει ότι:

$$h * dh = \frac{Q}{2\pi k} \frac{dr}{r} \quad (4.8)$$

Έχοντας δεδομένα στάθμης από δύο γεωτρήσεις παρατήρησης (δηλ. στάθμη h_1 σε απόσταση x_1 από την αντλούμενη γεώτρηση και στάθμη h_2 σε απόσταση x_2) και ολοκληρώνοντας τα δύο μέλη της εξίσωσης 4.8 με αυτές τις οριακές συνθήκες προκύπτει (σχήμα 4.4):

$$\int_{h_1}^{h_2} h dh = \frac{Q}{2\pi k} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dr}{r} \Rightarrow h_2^2 - h_1^2 = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{x_2}{x_1}$$

Λύνοντας την παραπάνω σχέση ως προς k προκύπτει:

$$k = \frac{Q}{\pi(h_2^2 - h_1^2)} \ln \frac{x_2}{x_1} \quad (4.9)$$

Όπου:

- Q : η παροχή άντλησης και
- h_2, h_1 : τα φορτία σε αποστάσεις x_2, x_1 από την εξεταζόμενη γεώτρηση.

Αν H είναι η αρχική στάθμη της γεώτρησης πριν ξεκινήσει η άντληση (ταυτίζεται με το αρχικό κορεσμένο πάχος D του υδροφορέα, άρα $H=D$), τότε για τη διαφορά $h_2^2 - h_1^2$ ισχύει:

$$h_2^2 - h_1^2 = (h_2 - h_1)(h_2 + h_1)$$

Επειδή,

$$h_1 = D - s_{w1} \text{ και } h_2 = D - s_{w2}$$

Τότε,

$$(h_2 - h_1) = (D - s_{w2}) - (D - s_{w1}) = s_{w1} - s_{w2}$$

$$(h_2 + h_1) = (D - s_{w2}) + (D - s_{w1}) = 2D - s_{w1} - s_{w2}$$

Με βάση τις ανωτέρω σχέσεις και μετατρέποντας το νεπέριο λογάριθμο σε δεκαδικό, ο τύπος του Thiem στην περίπτωση των ελεύθερων υδροφορέων παίρνει την μορφή:

$$k = \frac{Q \log \frac{x_2}{x_1}}{1.366(2D - s_{w1} - s_{w2})(s_{w1} - s_{w2})} \quad (4.10)$$

Όπου:

- s_{w1}, s_{w2} : οι πτώσεις στάθμης σε αποστάσεις x_1 και x_2 .

Ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας (T) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T = k \frac{h_1 + h_2}{2} \quad (4.11)$$

Καταλήγοντας, γίνεται αντιληπτό ότι από το τύπο του Thiem μπορεί να υπολογιστεί ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας (k) και ο συντελεστής μεταβιβαστικότητα (T). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη δύο τουλάχιστον πιεζομέτρων. Τα πιεζόμετρα αυτά πρέπει να βρίσκονται σε μικρές αποστάσεις μεταξύ τους, έτσι ώστε να είναι αισθητή η πτώση στάθμης και να μπορεί να μετρηθεί εύκολα. Οι μετρήσεις στάθμης στα πιεζόμετρα πρέπει να γίνονται ταυτόχρονα ή με παρεμβολή μικρού χρονικού διαστήματος.

4.4 Σχέση πτώση στάθμης – παροχής

Σε συνθήκες μόνιμης ροής (κατάσταση ισορροπίας) σε περιορισμένο υδροφορέα υπάρχει γραμμική αναλογία μεταξύ πτώσης στάθμης (s_w) και παροχής (Q). Πράγματι από το τύπο του Dupuit (εξίσωση 4.2) ισχύει:

$$T = \frac{Q}{2.73(H - h)} \log \frac{R}{r}$$

Στην παραπάνω εξίσωση θέτοντας $(H-h)=s_w$ και λύνοντας ως προς s_w , προκύπτει:

$$s_w = \lambda * Q \quad (4.12)$$

Στην εξίσωση 4.12 το λ αποτελεί μια σταθερά που είναι συνάρτηση της ακτίνας επίδρασης (R) της γεώτρησης, της ακτίνας (r) της γεώτρησης και του συντελεστή μεταβιβαστικότητας (T). Η ακτίνα επίδρασης σε συνθήκες μόνιμης ροής παραμένει σταθερή. Συμπερασματικά, από την εξίσωση 4.12 προκύπτει ότι όσο αυξάνεται η παροχή, τόσο αυξάνεται και η πτώση στάθμης.

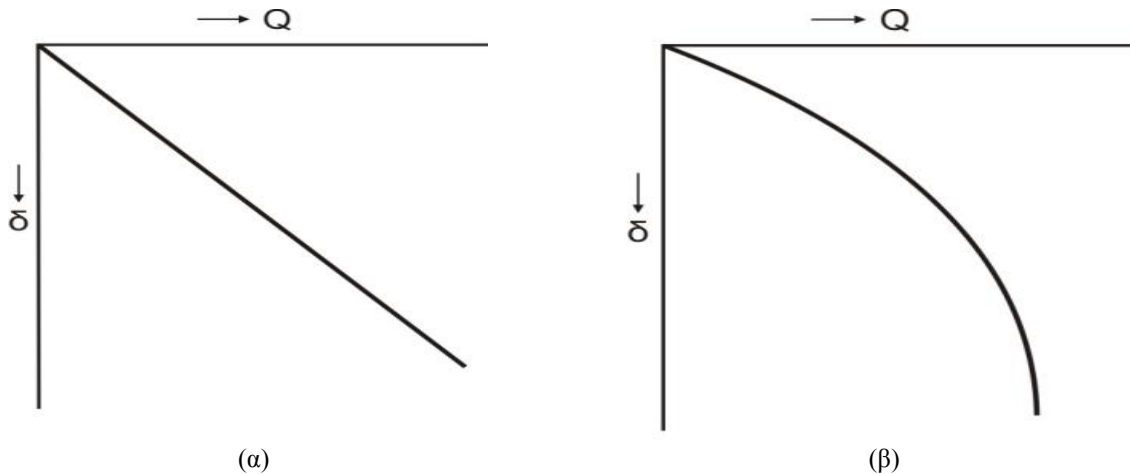
Σε συνθήκες μόνιμης ροής (κατάσταση ισορροπίας) σε ελεύθερο υδροφορέα και από τον τύπο του Dupuit προκύπτει ότι (οι πράξεις παραλείπονται):

$$Q = \lambda * (2H - s_w) * s_w \quad (4.13)$$

Όπου:

- H: το φορτίο σε απόσταση ίση με την ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης που είναι ίσο με το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα και
- λ: σταθερά.

Η σχέση 4.13 αντιπροσωπεύει μια παραβολή, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (β) του σχήματος 4.5. Συμπεραίνεται, λοιπόν, πως στους ελεύθερους υδροφορείς όσο αυξάνεται η παροχή, τόσο περισσότερο αυξάνεται (όχι γραμμικά) και η πτώση στάθμης.



Σχήμα 4.5: Διάγραμμα πτώσης στάθμης – παροχής σε (α) περιορισμένο υδροφορέα και (β) ελεύθερο υδροφορέα σε κατάσταση ισορροπίας (Πηγή: Βουδούρης, 2015).

4.5 Άντληση κατά βαθμίδες

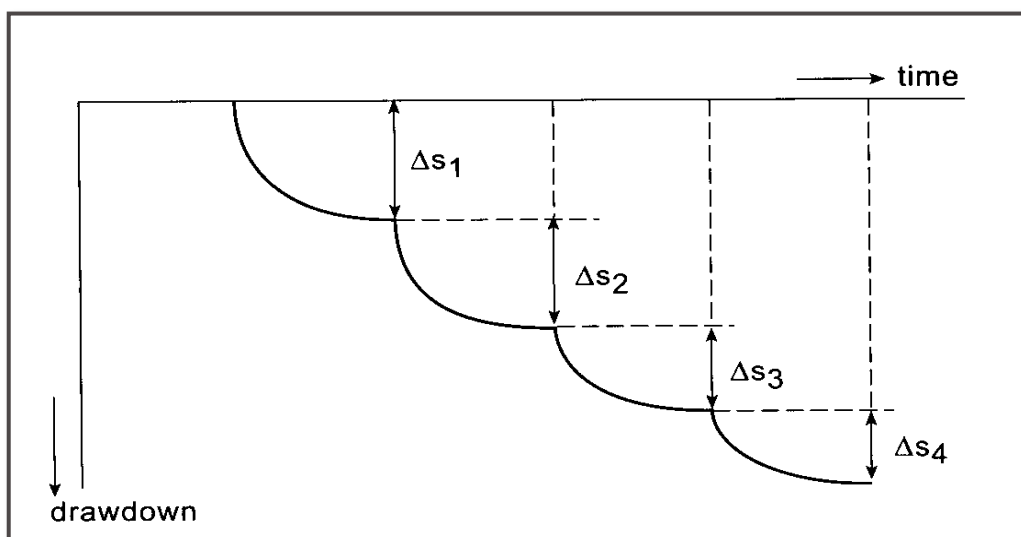
Για να προσδιοριστούν τα διάφορα χαρακτηριστικά μίας γεώτρησης εκτελούνται δοκιμαστικές αντλήσεις κατά βαθμίδες (σχήμα 4.6). Η άντληση κατά βαθμίδες ή κλιμακωτή άντληση γίνεται με μεταβαλλόμενη παροχή,

- είτε συνεχόμενη, χωρίς να σταματήσει η άντληση, αυξάνεται η παροχή,
- είτε διακοπτόμενη, δηλαδή ξεκινάει η άντληση με μια συγκεκριμένη παροχή, μετά διακόπτεται και αφού επανέλθει η στάθμη στα αρχικά της επίπεδα ξαναρχίζει η άντληση με νέα παροχή (Βαφειάδη, 1980).

Οι βαθμίδες άντλησης για να θεωρηθεί μια δοκιμή αξιόπιστη πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 ή 5, μεγάλης χρονικής διάρκειας η κάθε μία (1 έως 3 ώρες).

Σε μία επιτυχημένη κλιμακωτή δοκιμή ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα (Βουδούρης, 2015):

- Γίνεται προ-άντληση (μερικές ώρες πριν ή την προηγούμενη μέρα) για την εκτίμηση της παροχής άντλησης και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης γεώτρησης.
- Το αντλούμενο νερό απομακρύνεται σε κατάλληλη απόσταση (τουλάχιστον 50 m) για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο της επανατροφοδοσίας του υδροφορέα. Κατά κοινή ομολογία, το συγκεκριμένο βήμα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, γιατί η επανατροφοδοσία του υδροφορέα σε συνδυασμό με την ύπαρξη κώνου πτώσης στάθμης οδηγεί σε εσφαλμένες μετρήσεις.
- Το πρόγραμμα της άντλησης (οι βαθμίδες, η τιμή σταθερής παροχής, η διάρκεια κ.λπ.) καθορίζεται με βάση την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της προ-άντλησης.
- Τα στοιχεία της άντλησης (πτώση στάθμης, παροχή) καταγράφονται σε ειδικό έντυπο.
- Πραγματοποιείται δειγματοληψία για χημική και μικροβιολογική εξέταση.
- Καθορίζονται οι γραμμικές απώλειες φορτίου και ο βαθμός ανάπτυξης της γεώτρησης με βάση τα δεδομένα των αντλητικών δοκιμών.



Σχήμα 4.6: Κλιμακωτή αντλητική δοκιμή.

4.6 Απώλειες φορτίου γεώτρησης και υδροφορέα

Για τον υπολογισμό των απωλειών φορτίου των γεωτρήσεων και των απωλειών φορτίου του υδροφορέα χρησιμοποιούνται τα στοιχεία των κλιμακωτών αντλητικών δοκιμασιών με βάση την

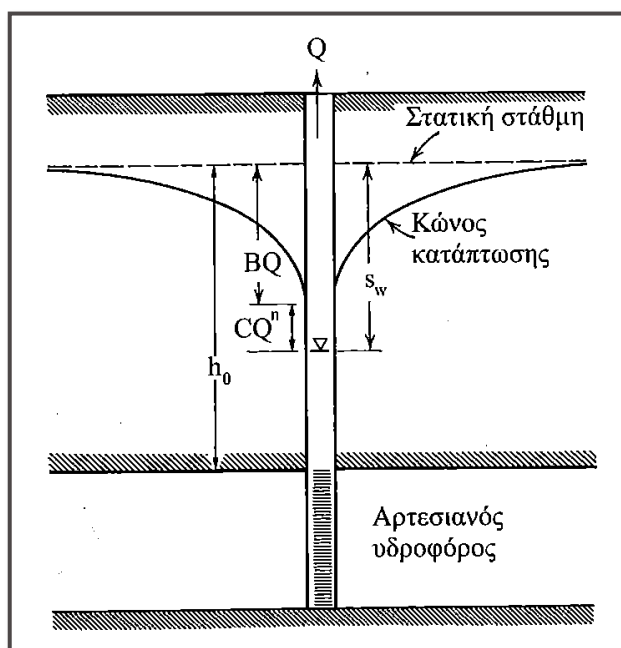
ανάλυση των **Bierschenk & Wilson (1961)**. Η ανάλυση αυτή θεωρεί ότι η πτώση στάθμης σε μία γεώτρηση μπορεί να εκφραστεί ως άθροισμα δύο παραγόντων:

$$s_w = BQ + CQ^n \quad (4.14)$$

Στην παραπάνω εξίσωση ο γραμμικός παράγων (BQ) εκφράζει τις απώλειες φορτίου του υδροφορέα (formation loss) και ο μη γραμμικός (CQ^n) τις απώλειες φορτίου της γεώτρησης (well loss) που αντιστοιχούν σε μια δεδομένη παροχή Q. Τα B και C είναι συντελεστές, οι οποίοι μπορούν να προσδιοριστούν γραφικά.

Οι γραμμικές απώλειες αντιστοιχούν στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα (π.χ. μεταβιβαστικότητα, αποθηκευτικότητα, κ.λπ.) και οι μη γραμμικές απώλειες στα τεχνικά χαρακτηριστικά της γεώτρησης (π.χ. τρόπος κατασκευής, βαθμός ανάπτυξης κ.λπ.). Οι μη γραμμικές απώλειες είναι γνωστές και ως ανώμαλες απώλειες φορτίου.

Μεγάλες μη γραμμικές απώλειες καταγράφονται όταν οι γεωτρήσεις αντλούνται με μεγάλες παροχές ή όταν οι γεωτρήσεις δεν έχουν κατασκευασθεί και αναπτυχθεί σωστά (έμφραξη ανοιγμάτων των φιλτροσωλήνων). Σε μια καλά σχεδιασμένη γεώτρηση πρέπει οι γραμμικές απώλειες να είναι μεγαλύτερες από τις μη γραμμικές.



Σχήμα 4.7: Σχέση απωλειών φορτίου (γραμμικές – μη γραμμικές) και πτώσης στάθμης (Πηγή : Todd, 1980).

Εξίσωση Jacob: Οι μη γραμμικές απώλειες με βάση την εξίσωση 4.14 είναι ανάλογες με τη n-οστή δύναμη της αντλούμενης παροχής (Q^n), όπου $n > 1$. Στην τιμή του n για λόγους ευκολίας δίνεται η τιμή 2 (Jacob, 1947).

Έτσι από την εξίσωση 4.14 και για $n=2$ προκύπτει:

$$s_w = BQ + CQ^n \Rightarrow$$

$$s_w = BQ + CQ^2 \Rightarrow$$

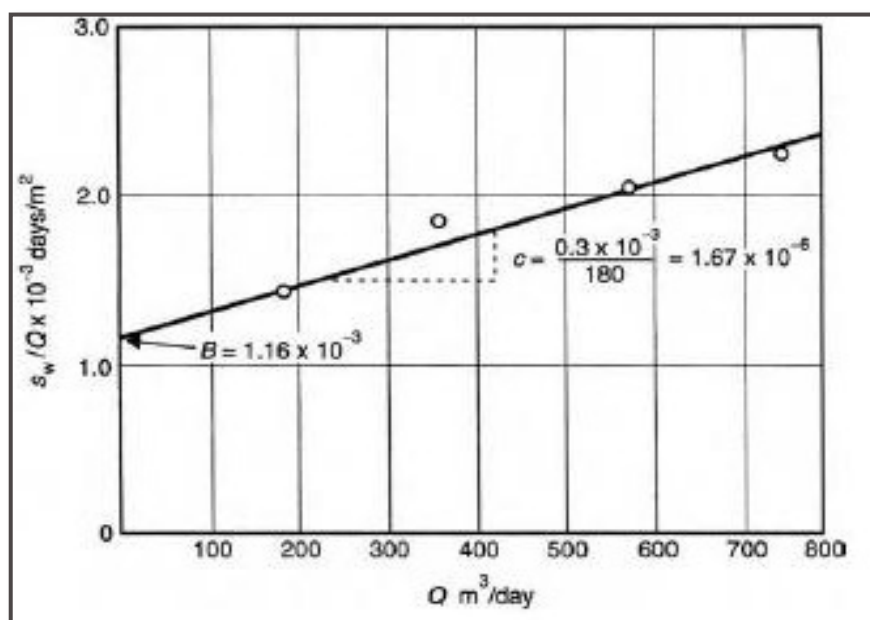
$$\frac{s_w}{Q} = \frac{BQ}{Q} + \frac{CQ^2}{Q} \Rightarrow$$

$$\frac{s_w}{Q} = B + CQ \quad (4.15)$$

Το πυλίκιο s_w/Q είναι γνωστό ως ειδική πτώση στάθμης (specific drawdown).

Επίλυση Bierschenk: Ο Bierschenk (1964) πρότεινε μια γραφική λύση της εξίσωσης Jacob, πρακτικά δηλαδή μια γραφική μέθοδο για τον καθορισμό των συντελεστών B και C . Η εξίσωση 4.15 εκφράζει μια γραμμική σχέση ανάμεσα στα s_w/Q και Q , με δεδομένα από μια κλιμακωτή δοκιμαστική άντληση, όπου η πτώση στάθμης μετράται σε m και η παροχή σε m^3/day .

Πιο συγκεκριμένα το διάγραμμα $f(Q)=s_w/Q$ (σχήμα 4.8) είναι μια ευθεία γραμμή με κλίση C και σταθερά B την τομή της ευθείας με τον κατακόρυφο άξονα. Η κλίση C αντιστοιχεί στον συντελεστή απωλειών της γεώτρησης (well loss efficient) και η τομή της ευθείας με τον κατακόρυφο άξονα τον συντελεστή απωλειών φορτίου της γεώτρησης. Οι διαστάσεις των συντελεστών B και C είναι αντίστοιχα day/m^2 και day^2/m^5 .



Σχήμα 4.8: Προσδιορισμός των συντελεστών B και C (Πηγή : Βουδούρης, 2015).

Αξιολόγηση συντελεστών απωλειών φορτίου B και C: Για την αξιολόγηση μιας γεώτρησης με βάση τους προσδιορισθέντες συντελεστές απωλειών φορτίου B και C θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω γενικές αρχές :

- Οι απώλειες φορτίου του υδροφόρου είναι πάντα μεγαλύτερες από εκείνες της γεωτρήσεως. Στις γεωτρήσεις λοιπόν που δεν ισχύει η σχέση $BQ > CQ^n$, πρέπει να αναζητούνται ανώμαλες απώλειες φορτίου (Βαφειάδη, 1980).
- Κατά κανόνα ο συντελεστής B είναι μικρότερος από το C, και οι τιμές του C είναι συνήθως ανάλογες του B. Αν ο C έχει τιμές μέχρι και το τετραπλάσιο του B, η απόδοση της γεώτρησης είναι πολύ καλή.

Στον πίνακα 4.1, που ακολουθεί, παρουσιάζονται κριτήρια αξιολόγησης του συντελεστή γραμμικών απωλειών φορτίου, προτεινόμενα από τον Βαφειάδη (1980).

Πίνακας 4.1 : Αξιολόγηση συντελεστή απωλειών φορτίου υδροφορέα B (Βαφειάδης, 1980).

Συντελεστής B (sec/m ²)	Αξιολόγηση των τιμών του συντελεστή B
10 – 150	Πολύ καλές τιμές – μικρές απώλειες φορτίου υδροφορέα
150 – 350	Συνήθεις τιμές – συνήθεις απώλειες φορτίου υδροφορέα
350 – 500	Υψηλές τιμές – υψηλές απώλειες φορτίου υδροφορέα

Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται, αντίστοιχα, κριτήρια αξιολόγησης των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης, βασιζόμενα στον συντελεστή μη-γραμμικών απωλειών (Walton, 1962).

Πίνακας 4.2: Αξιολόγηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης με βάση τον συντελεστή απωλειών φορτίου γεώτρησης C (Walton, 1962).

Συντελεστής C (min ² /m ⁵)	Αξιολόγηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης
< 0.5	Καλά σχεδιασμένη και αναπτυγμένη γεώτρηση
0.5 – 1	Μέτρια υποβαθμισμένη γεώτρηση ή έμφραξη φιλτροσωλήνων
1 – 4	Σοβαρά υποβαθμισμένη γεώτρηση ή έμφραξη φιλτροσωλήνων
> 4	Δύσκολη η αποκατάσταση της γεώτρησης στην αρχική της κατάσταση

Ειδική ικανότητα: Η ειδική ικανότητα ή ειδική παροχή (specific capacity) ορίζεται ως το πηλίκο της αντλούμενης παροχής προς την αντίστοιχη πτώση στάθμης (Q/s_w). Το αντίστροφο της ειδικής ικανότητας ονομάζεται ειδική πτώση στάθμης (s_w/Q).

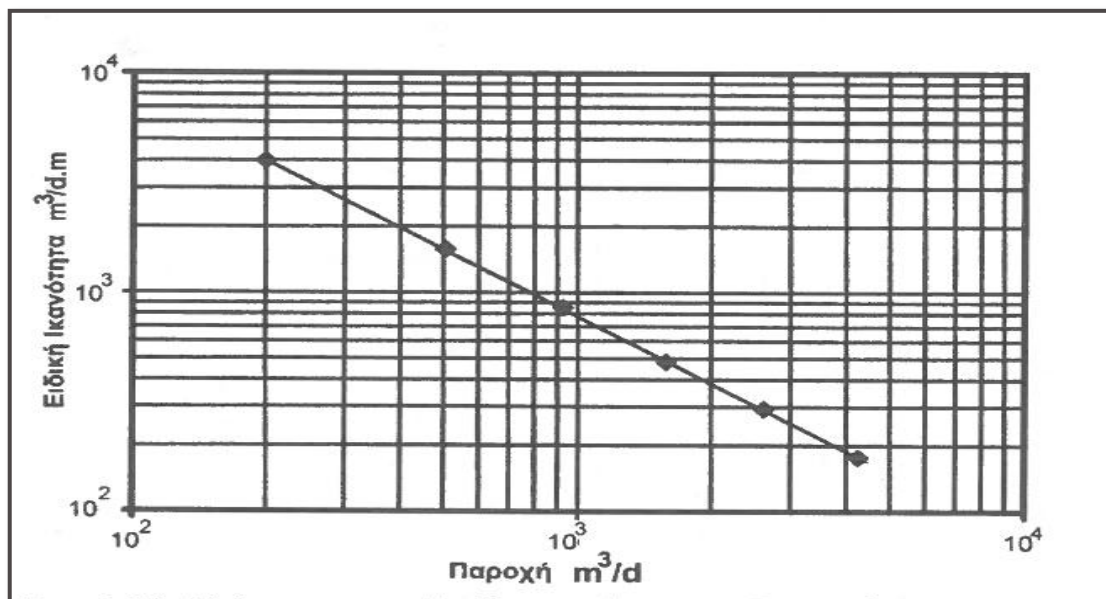
Σε έναν περιορισμένο υδροφορέα, σε κατάσταση ισορροπίας ισχύει ότι $Q/s_w = \lambda$ (όπου λ σταθερά), δηλαδή η ειδική ικανότητα παραμένει σταθερή και ανεξάρτητη της διάρκειας

άντλησης, με την προϋπόθεση όμως ότι η στάθμη του δεν πέφτει κάτω από την αδιαπέρατη οροφή.

Σε έναν ελεύθερο υδροφορέα σε κατάσταση ισορροπίας ισχύει ο τύπος του Dupuit, σύμφωνα με τον οποίο η ειδική ικανότητα ισούται με:

$$\frac{Q}{s_w} = \lambda * (2H - s_w) \quad (4.16)$$

Σύμφωνα με τη σχέση 4.16 η ειδική ικανότητα μειώνεται με την πτώση στάθμης, λόγω της μείωσης του πάχους του υδροφόρου στρώματος με την άντληση.



Σχήμα 4.9: Μείωση της ειδικής ικανότητας γεώτρησης, με την αύξηση της παροχής (Πηγή : Καλλέργη, 1999).

Γενικά, η μείωση της ειδικής ικανότητας σε έναν ελεύθερο υδροφορέα υποδηλώνει, είτε μείωση της μεταβιβαστικότητας (T) λόγω της πτώσης στάθμης, είτε αύξηση των μη γραμμικών απωλειών (π.χ. έμφραξη φίλτρων).

4.7 Βαθμός ανάπτυξης

Ο συντελεστής ή βαθμός ανάπτυξης μιας γεώτρησης (well development factor) προτάθηκε από τον Bierschenk (1964) και συνδυάζει τις γραμμικές και μη-γραμμικές απώλειες φορτίου για να αξιολογήσει την ανάπτυξη μιας γεώτρησης.

$$\text{Συντελεστής ανάπτυξης} = \frac{C}{B} * 100 \quad (4.17)$$

Στον πίνακα, που ακολουθεί, παρουσιάζονται κριτήρια αξιολόγησης του βαθμού ανάπτυξης μιας γεώτρησης (Bierschenk, 1964).

Πίνακας 4.3 : Βαθμός ανάπτυξης γεωτρήσεων με βάση τους συντελεστές B και C (Καλλέργη, 1999).

Τιμή συντελεστή ανάπτυξης	Βαθμός ανάπτυξης γεώτρησης
< 0.1	Εξαιρετικός
0.1 – 0.5	Καλός
0.5 - 1	Μέτριος
> 1	Χαμηλός

4.8 Βαθμός απόδοσης γεώτρησης

Ο βαθμός απόδοσης της γεώτρησης, E_w , εκφράζεται από την αναλογία των απωλειών του υδροφόρου προς τις συνολικές απώλειες, όπως φαίνεται από την εξίσωση 4.18 (Kruseman and Ridder, 1990):

$$E_w = \frac{BQ}{BQ+CQ^2} * 100 \quad (4.18)$$

Όπου:

- BQ: γραμμικές απώλειες δηλαδή ή απώλειες φορτίου του υδροφορέα,
- CQ^2 : μη-γραμμικές απώλειες ή απώλειες φορτίου της γεώτρησης.

Η απόδοση είναι ένα μέτρο αξιολόγησης για τη μελλοντική συμπεριφορά της γεώτρησης με δεδομένο ότι η απόδοση μειώνεται με το πέρασμα του χρόνου, λόγω έμφραξης των φίλτρων. Μια καλά κατασκευασμένη και ανεπτυγμένη γεώτρηση έχει απόδοση μεγαλύτερη από 70% (Βουδούρης, 2015).

Σύμφωνα με το Todd (1980), μια άλλη εμπειρική μέθοδος για την εκτίμηση της απόδοσης μιας γεώτρησης είναι να παρατηρηθεί η επάνοδος της στάθμης στην αρχική της θέση μετά τη διακοπή της άντλησης. Όταν οι απώλειες της γεώτρησης είναι μεγάλες, το αρχικό τμήμα της επανόδου παρουσιάζει απότομη άνοδο της στάθμης, λόγω στράγγισης νερού στην γεώτρηση από τον υδροφόρο. Έτσι, αν μετά τη διακοπή της άντλησης, η στάθμη του νερού επανέλθει στο 90% ή και περισσότερο του αρχικού ύψους πριν την άντληση μέσα σε 5 λεπτά, τότε η απόδοση της γεώτρησης είναι πολύ χαμηλή.

5. Περιγραφή υπό μελέτη περιοχής

5.1 Γεωγραφική περιγραφή

5.1.1 Γεωγραφική θέση

Η περιοχή της Ελευσίνας βρίσκεται στα δυτικά του νομού Αττικής και αποτελεί έναν από τους μεγαλύτερους δήμους του νομού. Εντός των διοικητικών ορίων της και σε απόσταση 3.100 μέτρων από το κέντρο της πόλης και 25 Km δυτικά της Αθήνας, βρίσκονται οι εγκαταστάσεις της ΠΥΡΚΑΛ, οι οποίες κατά το παρελθόν χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή και αποθήκευση πυρομαχικών και εκρηκτικών υλών.

5.1.2 Γεωλογική στρωματογραφία

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης εντάσσεται στην Υποπελαγονική ζώνη και το υπέδαφος της αποτελείται από τρεις σχηματισμούς.

- Ο πρώτος σχηματισμός αποτελεί τις ανδρόκοκκες ανθρωπογενείς αποθέσεις. Οι αποθέσεις αυτές καλύπτουν μια ευρεία περιοχή και αποτελούνται κυρίως από ασβεστολιθικές λατύπες χρώματος γκρι και κόκκινου.
- Ο δεύτερος σχηματισμός αποτελεί τα κορήματα, τα οποία αποτελούνται από ιλυώδεις και αργιλώδεις άμμους και χαλίκια.
- Τέλος, ο τρίτος σχηματισμός εμφανίζεται στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης έκτασης. Συνίσταται από ασβεστόλιθο, άσπρου ή γκρι χρώματος, κατά θέσεις κερματισμένου και ελαφρά αποσαθρωμένου.

5.1.3 Υδρολογικά χαρακτηριστικά

Ο κόλπος της Ελευσίνας παρουσιάζει λόγω της μορφολογίας του ιδιαίτερα υδρολογικά χαρακτηριστικά, τα οποία διαφέρουν αισθητά από τα αντίστοιχα του Σαρωνικού κόλπου. Λόγω του μικρού βάθους και της δυσκολίας με την οποία ανανεώνει τη θαλάσσια μάζα του, μέσω της επικοινωνίας με τον Σαρωνικό, τα υδρολογικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται άμεσα από τις ετήσιες μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα.

Στην ευρύτερη περιοχή δεν απαντώνται επιφανειακά νερά και πηγές, ενώ υπάρχουν μόνο μερικά πηγάδια με υφάλμυρο νερό. Η στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα ποικίλει ανάλογα με τη λιθολογία, όπως προκύπτει μέσα από πλήθος γεωτεχνικών ερευνητικών εργασιών που έχουν εκτελεστεί στην περιοχή. Ωστόσο κυμαίνεται από 1.5 έως 25 μέτρα κατατάσσοντας τον υδροφόρο ορίζοντα της περιοχής στους ρηχούς.

5.2 Εντοπισμός και εξέλιξη της υφιστάμενης ρύπανσης

Η περιοχή της ΠΥΡΚΑΛ γειτνιάζει με εγκαταστάσεις επεξεργασίας και αποθήκευσης πετρελαϊκών προϊόντων, διαφυγές των οποίων σε συνδυασμό με υπάρχοντες ρύπους από τη λειτουργία της ΠΥΡΚΑΛ (παραγωγή όπλων και εκρηκτικών) έχουν προκαλέσει διατάραξη του φυσικού οικοσυστήματος.

Πιο συγκεκριμένα, τον Μάιο του 2004, σε συγκεκριμένη θέση στη παράκτια ζώνη της ΠΥΡΚΑΛ, εντοπίστηκε εκροή μη υδατικής φάσης υγρών (NAPLs). Η παρατηρούμενη ελαιώδους φάσης αποτελούνταν από πετρελαϊκούς υδρογονάνθρακες.



Εικόνα 5.1: Παράκτια ζώνη ΠΥΡΚΑΛ (εικόνα εκ του παρελθόντος).

Εξαιτίας της ρύπανσης αυτής, εκπονήθηκαν διάφορες μελέτες, οι οποίες κατέδειξαν την ανάγκη λήψης άμεσων μέτρων για την εξυγίανση του υπόγειου νερού / υπεδάφους και από το 2004 άρχισε ο σχεδιασμός και η εφαρμογή σχεδίου αποκατάστασης, με στόχο:

- την ανάκτηση της ελεύθερης ελαιώδους φάσης
- την εξυγίανση του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

Ωστόσο, το εφαρμοζόμενο σχέδιο δεν είχε τα αναμενόμενα αποτελέσματα, γεγονός που οδήγησε στην ανάληψη του προγράμματος (1^η Ιανουαρίου 2010) από το Πολυτεχνείο Κρήτης και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικινδύνων Αποβλήτων.

Αναλαμβάνοντας την υλοποίηση του έργου, εξειδικευμένο προσωπικό του Πολυτεχνείου Κρήτης με επιστημονικό υπεύθυνο τον καθηγητή κ. Ευάγγελο Γιδαράκο εκπόνησε άμεσα τις αναγκαίες μελέτες για τον χαρακτηρισμό της περιοχής και της υφιστάμενης ρύπανσης. Ταυτόχρονα, προχώρησε άμεσα στον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός ολοκληρωμένου

σχεδίου για τον έλεγχο της κίνησης των ελαιωδών, τον περιορισμό της επιπλέουσας ελαιώδους στοιβάδας και την προστασίας της ακτογραμμής.

Βασικός πυλώνας του ανωτέρω σχεδίου ήταν η λειτουργία Κινητής Μονάδας Βιο-αναρρόφησης. Η μονάδα σχεδιάστηκε, εγκαταστάθηκε και λειτουργεί από τον Ιούνιο του 2010, αποτελώντας την βασική εφαρμογή στην περιοχή. Με την λειτουργία της παρέχεται η δυνατότητα εξειδικευμένης άντλησης της ελεύθερης ελαιώδους φάσης από όλα τα διαθέσιμα σημεία άντλησης ελαιωδών της παράκτιας ζώνης.

Η βιο-αναρρόφηση αποτελεί την ενδεδειγμένη τεχνολογία αποκατάστασης για την περιοχή δεδομένης της ιδιαιτερότητας της υδρογεωλογίας της (ρηχός, παράκτιος υδροφορέας, καρστικοποιημένο υπέδαφος), της φύσης της κύριας περιβαλλοντικής ρύπανσης (ελεύθερη ελαιώδη φάση – LNAPLs) και των επιβαρυνμένων περιβαλλοντικών μέσων, που περιλαμβάνουν τόσο την κορεσμένη όσο και την ακόρεστη ζώνη του υπεδάφους.

Η συγκεκριμένη τεχνολογία χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα αποτελεσματική στην αποκατάσταση υπόγειων υδάτων με παρουσία επιπλέουσας ελαιώδους στοιβάδας, καθώς με την εφαρμοζόμενη υποπίεση επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση ανάκτησης ελεύθερης ελαιώδους φάσης με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των αντλούμενων ποσοτήτων υπόγειων υδάτων. Συνάμα, η εφαρμογή της δεν προκαλεί ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα σε αντίθεση με συμβατικές μεθόδους άντλησης. Το τελευταίο αποτελεί και την πλέον σημαντική παράμετρο στην επιλογή της βέλτιστης τεχνολογίας απορρύπανσης σε παράκτιους υδροφορείς ή σε περιοχές με κίνδυνο καθιζήσεων. Παράλληλα, μέσω της άντλησης εδαφικού αέρα ενισχύεται η εξάτμιση και η βιοαποδόμηση πτητικών και ημιπτητικών οργανικών ρύπων από την ακόρεστη ζώνη του υπεδάφους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ταυτόχρονη εξυγίανση τόσο της κορεσμένης όσο και της ακόρεστης ζώνης του υπεδάφους

Σήμερα, με το σύνολο των εφαρμογών που έχουν πραγματοποιηθεί στην παράκτια ζώνη της ΠΥΡΚΑΛ, επίκεντρο των οποίων αποτελεί η λειτουργία της Κινητής μονάδας Βιο-αναρρόφησης, έχει επιτευχθεί ένας αποκλειστικός έλεγχος της κίνησης των ελαιωδών και πλήρης διασφάλιση και προστασία του θαλάσσιου περιβάλλοντος έναντι πιθανών διαφυγών.

5.3 Δίκτυο γεωτρήσεων

Στην περιοχή της ΠΥΡΚΑΛ έχει διαμορφωθεί ένα δίκτυο συνολικά 47 γεωτρήσεων, που προσφέρεται τόσο για την παρακολούθηση της εξέλιξης της υφιστάμενης ρύπανσης, όσο και για την εφαρμογή τεχνολογιών αποκατάστασης.

Από τις εν λόγω γεωτρήσεις, οι 25 διανοίχτηκαν πριν την ανάληψη του προγράμματος από το Πολυτεχνείο Κρήτης (παλαιά σειρά γεωτρήσεων – ΠΥ1 έως ΠΥ25) και τοποθετούνται

γεωγραφικά ως εξής: 10 γεωτρήσεις στο ΒΔ τμήμα της ΠΥΡΚΑΛ, 1 γεώτρηση στο κεντρικό τομέα της ΠΥΡΚΑΛ και 14 γεωτρήσεις στην παράκτια ζώνη.

Με την ανάληψη του προγράμματος από το Πολυτεχνείο Κρήτης κρίθηκε αναγκαία η επέκταση του υπάρχοντος δικτύου γεωτρήσεων. Για αυτό το λόγο διανοίχθηκαν 22 νέες γεωτρήσεις (νέα σειρά γεωτρήσεων – ΠΚ26 έως ΠΚ 47), από τις οποίες οι 8 διανοίχθηκαν στην παράκτια ζώνη για την ενίσχυση του υπάρχοντος υδραυλικού φράγματος και οι υπόλοιπες στο ΒΔ τμήμα της ΠΥΡΚΑΛ.

Στον πίνακα, που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά τα στοιχεία του υφιστάμενου δικτύου γεωτρήσεων της περιοχής της ΠΥΡΚΑΛ.

Πίνακας 5.1: Στοιχεία υφιστάμενων γεωτρήσεων στην περιοχή της ΠΥΡΚΑΛ.

A/A	Θέση γεώτρησης	Γεώτρηση	Διάμετρος γεώτρ. (inch)	Βάθος γεώτρ. (m)
1	ΒΔ	ΠΥ1	4	9,00
2	ΒΔ	ΠΥ2	4	10,00
3	ΒΔ	ΠΥ3	4	8,00
4	ΒΔ	ΠΥ4	4	11,00
5	ΒΔ	ΠΥ5	4	10,50
6	ΒΔ	ΠΥ6	4	10,50
7	ΒΔ	ΠΥ7	4	10,80
8	ΒΔ	ΠΥ8	4	10,00
9	ΒΔ	ΠΥ9	4	10,00
10	ΒΔ	ΠΥ10	4	8,00
11	Κέντρ.	ΠΥ11	4	29,00
12	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ12	4	7,70
13	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ13	4	9,00
14	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ14	4	9,00
15	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ15	4	10,50
16	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ16	4	9,00
17	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ17	4	9,00
18	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ18	4	9,00
19	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ19	4	9,00
20	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ20	4	9,00
21	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ21	4	9,00
22	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ22	4	9,00
23	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ23	4	6,00
24	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ24	4	6,00
25	Παράκτ. ζώνη	ΠΥ25	4	5,00
26	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ26	8	8,35
27	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ27	8	8,70
28	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ28	8	7,95
29	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ29	8	7,85
30	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ30	8	7,60
31	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ31	8	7,90
32	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ32	8	7,75
33	Παράκτ. ζώνη	ΠΚ33	8	6,50
34	ΒΔ	ΠΚ34	8	14,50
35	ΒΔ	ΠΚ35	8	13,50
36	ΒΔ	ΠΚ36	8	13,30

Κεφάλαιο 5 – Περιγραφή υπό μελέτη περιοχής

A/A	Θέση γεώτρηση	Γεώτρηση	Διάμετρος γεώτρ. (inch)	Βάθος γεώτρ. (m)
37	ΒΔ	ΠΚ37	8	12,60
38	ΒΔ	ΠΚ38	8	12,60
39	ΒΔ	ΠΚ39	8	16,75
40	ΒΔ	ΠΚ40	8	15,60
41	ΒΔ	ΠΚ41	8	11,80
42	ΒΔ	ΠΚ42	8	16,80
43	ΒΔ	ΠΚ43	8	18,55
44	Β	ΠΚ44	8	5,00
45	Β	ΠΚ45	8	6,15
46	Β	ΠΚ46	8	3,10
47	Β	ΠΚ47	8	5,95

6. Σχεδιασμός δοκιμαστικών αντλήσεων

6.1 Σκοπός δοκιμαστικών αντλήσεων

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διενέργεια δοκιμαστικών αντλήσεων κατά βαθμίδες σε επιλεγμένες γεωτρήσεις της υπό μελέτη περιοχής και ο προσδιορισμός των γραμμικών (απώλειες φορτίου υδροφορέα - formation loss) και μη γραμμικών (απώλειες φορτίου γεώτρησης - well loss) απωλειών φορτίου. Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η αξιολόγηση των τεχνικών χαρακτηριστικών των γεωτρήσεων (τρόπος κατασκευής, τέλεια ή ατελείς γεώτρηση, τοποθέτηση φίλτρων, βαθμός ανάπτυξης, έμφραξη φίλτρων κ.λπ.) και ο προσδιορισμός του βαθμού ανάπτυξης και απόδοσής τους.

6.2 Εξοπλισμός

Η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού είναι κρίσιμη για την επιτυχή εκτέλεση των δοκιμαστικών αντλήσεων. Για τον λόγο αυτό και αφού εκτιμήθηκαν κρίσιμοι παράμετροι των αντλητικών δοκιμών (π.χ. αντλούμενη παροχή, χρόνος άντλησης) πραγματοποιήθηκε η επιλογή του βέλτιστου εξοπλισμού, ο οποίος περιελάμβανε:


- ο επιφανειακές πνευματικές αντλίες μιας (1") και μιάμισης (1 1/2") ίντσας,
- ο πλαστική δεξαμενή ογκομέτρησης (500 L),
- ο ελαστικό σωλήνα αποστολής ελαιωδών,
- ο ελαστικό σωλήνα αναρρόφησης ελαιωδών,
- ο ελαστικό σωλήνα πεπιεσμένου αέρα,
- ο ρυθμιστή πίεσης και ροής αέρα,
- ο φορητό όργανο μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαίου (interface meter),
- ο φορητό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

6.2.1 Επιφανειακές πνευματικές αντλίες

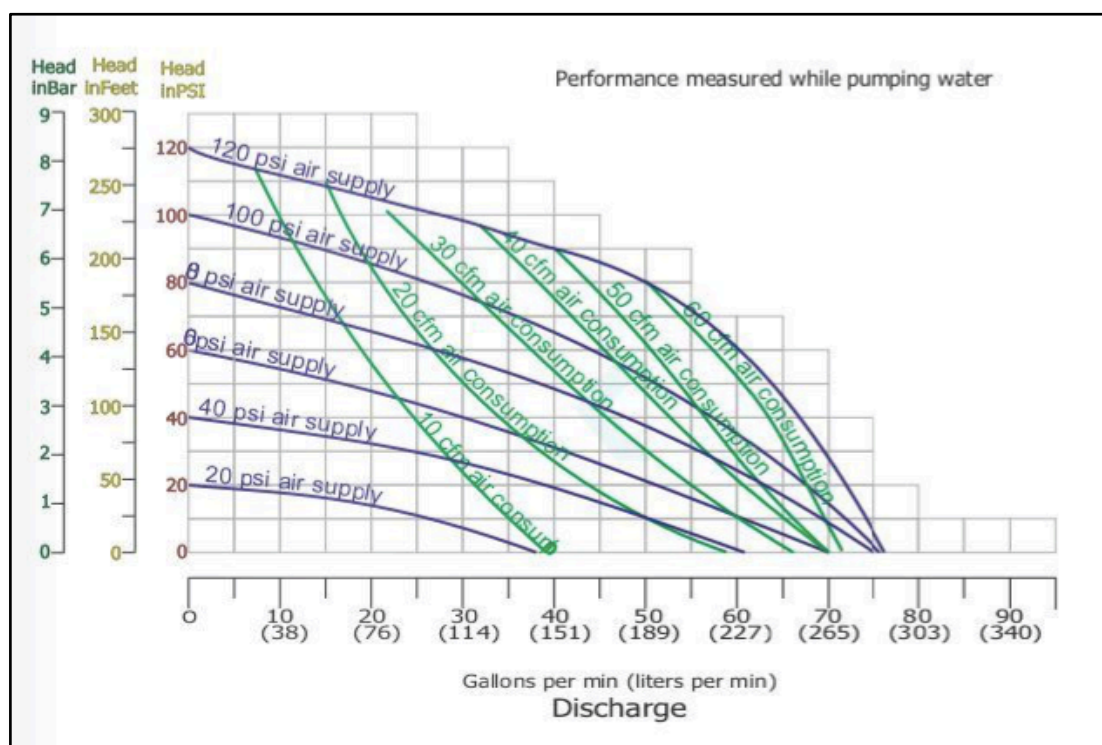
Ως πνευματική αντλία ορίζεται η αντλία στην οποία η ενέργεια μεταδίδεται στο υγρό από αέρα (ή κάποιο άλλο αέριο) που έρχεται σε άμεση επαφή με το υγρό. Οι πνευματικές αντλίες, γνωστές και ως αεροκίνητες πνευματικές αντλίες διπλού διαφράγματος, χρησιμοποιούνται κυρίως για την άντληση νερού ή πετρελαίου από γεωτρήσεις μικρού βάθους (Μουρουδής, 1994).

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν επιφανειακές, πνευματικές αντλίες, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Τεχνικά χαρακτηριστικά χρησιμοποιούμενων επιφανειακών πνευματικών αντλιών.

Model No	DP25ALN	DP40ALN	Picture
Wetted Material	Aluminium	Aluminium	
Non wetted part	Aluminium	Aluminium	
Elastomer	Neoprene	Neoprene	
Ball material	Neoprene	Neoprene	
Seat material	Neoprene	Neoprene	
O-ring	N.A.	N.A.	
Air inlet details	¼" inch NPT	¼" inch NPT	
Fluid inlet	1" inch NPT	1 ½" inch NPT	
Fluid outlet	1" inch NPT	1 ¼" inch NPT	
Suction lift	5,2 mtrs	5,5 mtrs	
Max particle size	3,2mm	4,8mm	
Construction	Clamp	Clamp	
Max delivery	114 liters/min	210 liters/min	

Στο γράφημα που ακολουθεί δίνεται η χαρακτηριστική καμπύλη της πνευματικής αντλίας DP40ALN.



Εικόνα 6.1: Χαρακτηριστική καμπύλη πνευματικής αντλίας DP40 ALN.

6.2.2 Δεξαμενή ογκομέτρησης

Σαν δεξαμενή ογκομέτρησης χρησιμοποιήθηκε πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 500 L. Η επιλογή πλαστικής δεξαμενής έγινε εξαιτίας των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται τα εξής:

- καταλληλότητα για την αποθήκευση νερού αλλά και πετρελαιοειδών,
- κυλινδρικό σχήμα, το οποίο καθιστά εύκολη τη μετακίνηση της και
- υλικό κατασκευής, που προσδίδει μεγάλη αντοχή στην έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία.




Εικόνα 6.2: Πλαστική δεξαμενή ογκομέτρησης.

6.2.3 Ελαστικός σωλήνας ελαιωδών

Για την μεταφορά των αντλούμενων ποσοτήτων νερού / ελαιωδών χρησιμοποιήθηκαν ειδικοί ελαστικοί σωλήνες καυσίμου, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.


Πίνακας 6.2: Τεχνικά χαρακτηριστικά ελαστικών σωλήνων καυσίμου.

Model	Carboflex	Εικόνα
Σωλήνας	NBR Μαύρος, Κόκκινη Ρίγα με Χαλυβ. Σπирάλ	
Εφαρμογή	Αναρρόφηση και Κατάθλιψη Πετρελαιοειδών	
Πίεση λειτουργ.	10/30 BAR	
Διάμετρος	1 ¼"	
Διαστάσεις	32/43 Συσκευασία: 50 μέτρων	

6.2.4 Ελαστικός σωλήνας πεπιεσμένου αέρα

Για την τροφοδοσία των πνευματικών αντλιών με πεπιεσμένο αέρα χρησιμοποιήθηκαν ελαστικοί σωλήνες με συνθετικά νήματα υψηλής τάσεως εφελκυσμού, ανθεκτικοί στην κρούση και στον πεπιεσμένο αέρα, κατάλληλοι για βιομηχανικές εφαρμογές. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 6.3.

Πίνακας 6.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά ελαστικού σωλήνα πεπιεσμένου αέρα.

Model	Ελαστικός σωλήνας αέρος (Μπλέ)	Εικόνα
Εφαρμογή	Παροχή πεπιεσμένου αέρα	
Πίεση λειτουργ.	20 BAR	
Θερμοκρασία	50°C	
Διάμετρος	3/8"	
Διαστάσεις	10/16 Συσκευασία: 50 μέτρων	

6.2.5 Ρυθμιστής πίεσης και ροής αέρα

Για τον έλεγχο της ροής και της πίεσης του παρεχόμενου αέρα και κατ' επέκταση την ομαλή λειτουργία της πνευματικής αντλίας χρησιμοποιήθηκαν ρυθμιστές ροής και πίεσης. Η αξιοπιστία των προαναφερθέντων οργάνων παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην επίτευξη σταθερής παροχής άντλησης (αναγκαίας για την διενέργεια αξιόπιστων δοκιμαστικών αντλήσεων).



Εικόνα 6.3: Ρυθμιστές πίεσης και ροής.

6.2.6 Φορητό όργανο μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαίου (interface meter)

Το όργανο μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαίου (interface meter) εφαρμόζεται σε γεωτρήσεις και χρησιμοποιείται για την μέτρηση του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα αλλά και τον προσδιορισμό του πάχους της επιπλέουσας ή της βυθισμένης ελαιώδους στοιβάδας (LNAPLs και DNAPLs αντίστοιχα). Η μέτρηση βασίζεται σε έναν αισθητήρα, ο οποίος με ακρίβεια χιλιοστού δύναται να προσδιορίσει την διεπιφάνεια νερού/ελαίου.

Το όργανο αποτελείται από υψηλής ποιότητας μετροταινία, αισθητήρα, οδηγό ταινίας, βομβητή και λυχνία.

Ο αισθητήρας, που αποτελείται από δύο ηλεκτρόδια συνδεδεμένα με μονωμένους ηλεκτρικούς αγωγούς (σύρματα), τα οποία βρίσκονται κατά μήκος της μετροταινίας, βυθίζεται εντός της γεώτρησης. Όταν ο αισθητήρας έρθει σε επαφή με το ρευστό εκπέμπεται ηχητικό σήμα (αν έρθει σε επαφή με νερό το ηχητικό σήμα είναι διακεκομμένο, ενώ αν έρθει σε επαφή με ελαιώδη ο ήχος είναι παρατεταμένος) και ταυτόχρονα ενεργοποιείται η φωτεινή ένδειξη της λυχνίας. Η ένδειξη της μετροταινίας παρέχει το βάθος της στάθμης του νερού ή των ελαιωδών.

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο παίζει και ο οδηγός της ταινίας, ο οποίος έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να:

- ο βελτιώνει την ακρίβεια της ανάγνωσης της στάθμης του υγρού,
- ο διευκολύνει την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων,
- ο αποτρέπει το κόσψιμο της ταινίας από το πλαίσιο του υδροληπτικού έργου,
- ο επιτρέπει στην ταινία ευθύγραμμη αιώρηση, σε απόσταση από τα τοιχώματα της γεώτρησης.



Εικόνα 6.4: Φορητό όργανο μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαίου (interface meter).

6.2.7 Φορητό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (TLC meter)

Κατά την διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων πραγματοποιούνταν σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων υδάτων με χρήση φορητού οργάνου μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (TLC meter).



Εικόνα 6.5: Φορητό όργανο μέτρησης ηλεκτρικής αγωγιμότητας και θερμοκρασίας υπόγειων υδάτων (TLC meter).

Σκοπός των συγκεκριμένων μετρήσεων ήταν η πρόληψη της μεταβολής των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων από ενδεχόμενη διείσδυση θαλασσινού νερού και μεταβολή της ισορροπίας γλυκού – θαλασσινού νερού προς την στεριά (παράκτιος υδροφορέας).

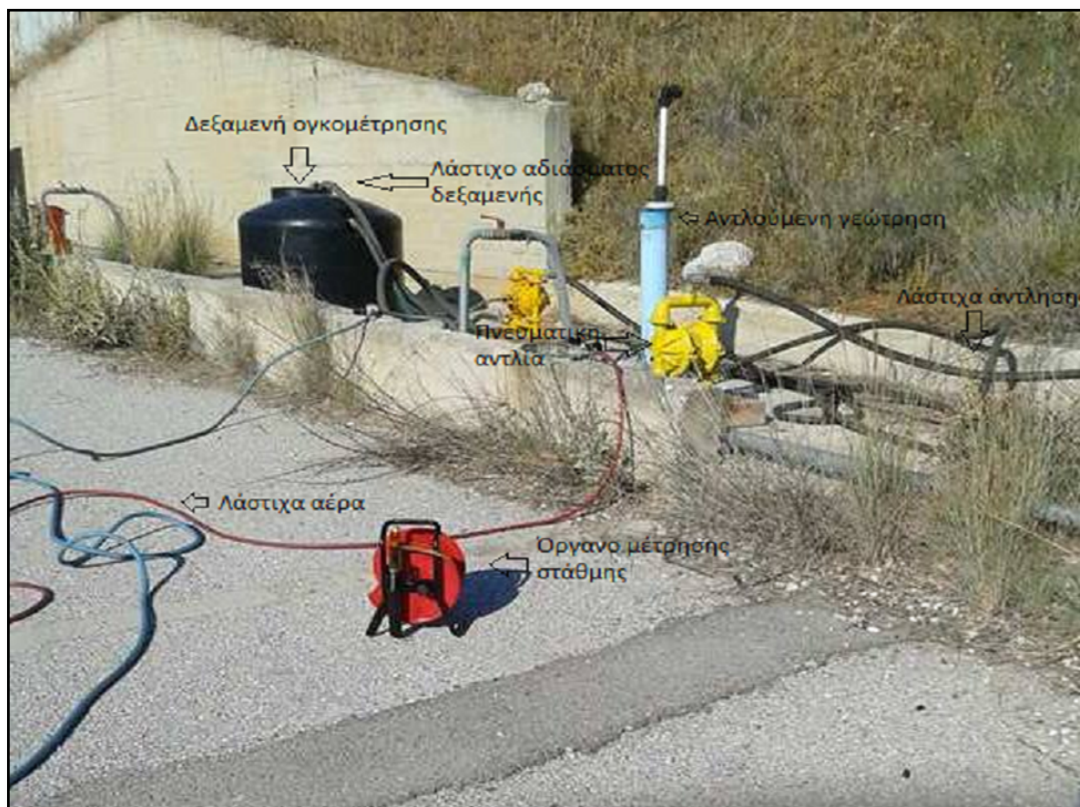
6.3 Συνδεσμολογία εξοπλισμού

Για την διεξαγωγή των δοκιμαστικών αντλήσεων χρησιμοποιήθηκαν συνδυαστικά τρεις πνευματικές αντλίες, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε γεώτρησης (παροχή άντλησης). Δύο πνευματικές αντλίες μιας (1") ίντσας και μια πνευματική αντλία μιάμισης (1 ½") ίντσας.

Η κάθε επιφανειακή, πνευματική αντλία συνδέονταν με την εξεταζόμενη γεώτρηση (αναρρόφηση) και με την πλαστική, ογκομετρική δεξαμενή (κατάθλιψη) μέσω ελαστικών σωλήνων κατάλληλων για άντληση πετρελαιοειδών. Ο ελαστικός σωλήνας αναρρόφησης τοποθετούνταν εντός της εξεταζόμενης γεώτρησης σε βάθος περίπου ενός μέτρου (1 m) από τον πυθμένα της. Ελαστικός σωλήνας πεπιεσμένου αέρα, στον οποίο είχαν τοποθετηθεί ρυθμιστής πίεσης και ροής, συνδέονταν με την πνευματική αντλία για την τροφοδοσία της.

Με τον τρόπο αυτό, οι αντλούμενες ποσότητες υπόγειων υδάτων ή/και ελαιωδών μεταφέροντας στην πλαστική δεξαμενή με στόχο την συλλογή - προσωρινή αποθήκευση των αντλούμενων υγρών και τον προσδιορισμό της παροχής άντλησης.

Όταν η δεξαμενή είχε πληρωθεί πλήρως με υγρό και είχε προσδιοριστεί και καταγραφεί η παροχής άντλησης, οι συλλεχθείσες ποσότητες υπόγειων υδάτων ή/και ελαιωδών μεταφέρονταν μέσω της εγκατεστημένης Μονάδας Βιο-αναρρόφησης στο βιολογικό καθαρισμό των Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων Ελευσίνας των Ελληνικών Πετρελαίων.



Εικόνα 6.6: Διάταξη εξοπλισμού.

6.4 Προ-άντληση

Σε κάθε γεώτρηση πριν την κύρια άντληση πραγματοποιούνταν μία προκαταρκτική άντληση (προ-άντληση). Η προκαταρκτική άντληση λάμβανε χώρα την προηγούμενη μέρα της κύριας άντλησης, διαρκούσε περίπου μία ώρα και στόχος της ήταν:

- ο έλεγχος του εξοπλισμού και της ομαλής του λειτουργίας
- η εκτίμηση της παροχής άντλησης και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της εξεταζόμενης γεώτρησης για τον ορθό σχεδιασμό της κύριας αντλητικής δοκιμής.

Η έναρξη της προ-άντλησης γινόταν με μικρή παροχή, η οποία αυξανόταν προοδευτικά κατά βαθμίδες. Μετά το τέλος της διαδικασίας καταγράφονταν η επαναφορά πτώσης στάθμης. Με τον τρόπο αυτό κατέστη δυνατό να εκτιμηθούν οι ιδιαιτερότητες της εκάστοτε γεώτρησης και να σχεδιαστεί αποτελεσματικά η κύρια αντλητική δοκιμή.

6.5 Δοκιμαστική άντληση κατά βαθμίδες

Οι δοκιμαστικές αντλήσεις κατά βαθμίδες ακολουθούσαν της προ-άντλησης, η οποία λάμβανε χώρα την προηγούμενη ημέρα και ήταν απαραίτητη για τον ορθό σχεδιασμό της κύριας αντλητικής δοκιμής.

Οι κύριες δοκιμές διεξάγονταν με μεταβαλλόμενη παροχή, συνεχόμενη (δηλ. μεταξύ των διακριτών σταδίων αυξάνονταν η παροχή άντλησης, δίχως να διακόπτεται η άντληση). Πιο συγκεκριμένα, κάθε δοκιμαστική άντληση περιελάμβανε (κατ' ελάχιστον) τέσσερα διακριτά στάδια με διαφορετικές παροχές. Κάθε στάδιο είχε διάρκεια μιας ώρας και ενδιάμεσα των σταδίων η άντληση δεν διακόπτονταν αλλά αυξάνονταν η παροχή άντλησης.

Κατά την διάρκεια της δοκιμής διεξάγονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις της παροχής άντλησης, της πτώσης στάθμης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων υδάτων. Πιο συγκεκριμένα:

- Για τον προσδιορισμό της παροχής άντλησης χρησιμοποιήθηκε πλαστική, ογκομετρική δεξαμενή 500 L και καταγράφονταν ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση της. Σε κάθε στάδιο πραγματοποιούνταν περισσότερες από μια μετρήσεις της παροχής άντλησης.
- Με χρήση οργάνου μέτρησης διεπιφάνειας νερού/ελαιωδών (interface meter), που περιγράφηκε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, διεξάγονταν μετρήσεις του βάθους των ελαιωδών και της διεπιφάνειας νερού/ελαιωδών. Τα αποτελέσματα καταγράφονταν σε ειδικό έντυπο (Εικόνα 6.7) με στόχο τον προσδιορισμό σε πρώτη φάση της πτώσης στάθμης και σε δεύτερη φάση την επαναφορά της.
- Με χρήση φορητού οργάνου μέτρησης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας προσδιορίζονταν και καταγράφονταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα των υπόγειων υδάτων. Τα αποτελέσματα καταγράφονταν σε ειδικό έντυπο (Εικόνα 6.8).

Measured by : Name of Well : Well Depth : Pump Setting : Length of Each Step : Number of Steps : Reference point :									Height above ground : Oil Density : Depth to Oil Level : Depth to Water Level : Depth to Static Water Level : Pump on : Pump off :								
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Recovery		
Q :			Q :			Q :			Q :					
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1			61			121			181			241		
2			62			122			182			242		
3			63			123			183			243		
4			64			124			184			244		
5			65			125			185			245		
6			66			126			186			246		
7			67			127			187			247		
8			68			128			188			248		
9			69			129			189			249		
10			70			130			190			250		
12			72			132			192			255		
14			74			134			194			260		
16			76			136			196			265		
18			78			138			198			270		
20			80			140			200			275		
22			82			142			202			280		
24			84			144			204			285		
26			86			146			206			290		
28			88			148			208			295		
30			90			150			210			300		
35			95			155			215			315		
40			100			160			220			330		
45			105			165			225			345		
50			110			170			230			360		
55			115			175			235			375		
60			120			180			240			390		

Εικόνα 6.7: Ειδικό έντυπο καταγραφής αποτελεσμάτων δοκιμαστικών αντλήσεων κατά βαθμίδες.

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης: Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:						
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση

Εικόνα 6.8: Ειδικό έντυπο καταγραφής μετρήσεων ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

7. Αποτελέσματα αντλητικών δοκιμών

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων, όπως αυτά προέκυψαν μετά από επεξεργασία των δεδομένων των αντλητικών δοκιμών.

7.1 Επεξεργασία αποτελεσμάτων

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η αξιολόγηση του δικτύου γεωτρήσεων της περιοχής της ΠΥΡΚΑΛ. Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις κατά βαθμίδες και προσδιορίστηκαν οι συντελεστές γραμμικών και μη-γραμμικών απωλειών φορτίου.

Οι δοκιμές διεξήχθησαν με μεταβαλλόμενη παροχή, συνεχόμενη. Κατά την διάρκεια των δοκιμών εκτελούνταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις του χρόνου πλήρωσης ογκομετρικής δεξαμενής, του βάθους των ελαιωδών, του βάθους της διεπιφάνειας υπόγειων υδάτων / ελαιωδών και της ηλεκτρική αγωγιμότητα των υπόγειων υδάτων. Στόχος των εν λόγω μετρήσεων ήταν ο προσδιορισμός:

- ο της παροχής άντλησης,
- ο της πτώσης στάθμης,
- ο της ειδικής πτώσης στάθμης και της ειδικής παροχής,
- ο των συντελεστών γραμμικών και μη-γραμμικών απωλειών φορτίου (γραφική επίλυση της εξίσωσης των Bierschenk & Wilson (1961),
- ο της απόδοσης και του βαθμού ανάπτυξης των γεωτρήσεων.

7.1.1 Προσδιορισμός παροχής άντλησης

Για τον προσδιορισμό της παροχής άντλησης έγινε χρήση πλαστική, ογκομετρική δεξαμενή 500 L και καταγράφονταν ο χρόνος που απαιτούνταν για την πλήρωση της. Σε κάθε στάδιο της αντλητικής δοκιμής πραγματοποιούνταν περισσότερες από μια μετρήσεις της παροχής άντλησης και την τελική παροχή αποτελούσε ο μέσος όρος τους (Εξίσωση 7.1).

$$Q = \frac{\sum_n^1 \left(\frac{V}{t} \right)}{n} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{\sum_n^1 \left(\frac{500L}{t} \right)}{n} \quad (7.1)$$

7.1.2 Προσδιορισμός πτώσης στάθμης

Βάσει των μετρήσεων του βάθους των ελαιωδών και του βάθους της διεπιφάνειας υπόγειων υδάτων / ελαιωδών, που λάμβαναν χώρα κατά την διάρκεια των δοκιμών προσδιορίστηκε η πτώση στάθμης συναρτήσει του χρόνου άντλησης (Εξίσωση 7.2).

$$S_w = (H_{H_2O} - h_{oil} * \rho_{oil})_{\text{τελ.}} - (H_{H_2O} - h_{oil} * \rho_{oil})_{\text{αρχ.}} \quad (7.2)$$

Όπου:

- S_w : η πτώση στάθμης,
- $H_{H_2O_{\text{αρχ.}}}$: το βάθος του νερού πριν την έναρξη της άντλησης,
- $h_{oil_{\text{αρχ.}}}$: το ύψος στήλης ελαίου (ή πάχος ελαιωδών) πριν την έναρξη της άντλησης,
- $H_{H_2O_{\text{τελ.}}}$: το βάθος του νερού κατά τη διάρκεια της άντλησης,
- $h_{oil_{\text{τελ.}}}$: το ύψος στήλης ελαίου (ή πάχος ελαιωδών) κατά τη διάρκεια της άντλησης,
- ρ_{oil} : η πυκνότητα των ελαιωδών.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Το ύψος στήλης ελαίου (ή πάχος ελαιωδών) δίνεται από την σχέση:

$$h_{oil} = H_{H_2O} - H_{oil} \quad (7.3)$$

Όπου:

- h_{oil} : το ύψος στήλης ελαίου (ή πάχος ελαιωδών),
- H_{H_2O} : το βάθος του νερού,
- H_{oil} : το βάθος των ελαιωδών.

2. Στην εξίσωση 7.2 το γινόμενο της πυκνότητας με το ύψος στήλης ελαίου εκφράζει το ύψος στήλης νερού, που αντιστοιχεί σε πάχος ελαιωδών (h_{oil}) και δίνεται από την εξίσωση 7.4.

$$\rho_{H_2O} * h_{H_2O} = \rho_{oil} * h_{oil} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{H_2O} = (\rho_{oil} * h_{oil}) / \rho_{H_2O} = \rho_{oil} * h_{oil} \quad (7.4)$$

Όπου:

- ρ_{H_2O} : η πυκνότητα του νερού ($\rho_{H_2O}=1 \text{ kg/L}$),
- ρ_{oil} : η πυκνότητα του ελαίου,
- h_{H_2O} : το ύψος στήλης νερού,
- h_{oil} : το ύψος στήλης ελαίου (ή πάχος ελαιωδών).

3. Η πυκνότητα των ελαιωδών (ρ_{oil}) για κάθε εξεταζόμενη γεώτρηση προσδιορίστηκε μέσω χημικών αναλύσεων στο χημείο των Βιομηχανικών Εγκαταστάσεων Ελευσίνας των Ελληνικών Πετρελαίων. Στην περίπτωση που το πάχος της ελεύθερης ελαιώδους φάσης εντός της εξεταζόμενης γεώτρησης ήταν τόσο μικρό ώστε να μην είναι δυνατή η δειγματοληψία ικανής ποσότητας ελαιωδών για την διεξαγωγή χημικών αναλύσεων λαμβάνονταν υπόψιν η πυκνότητα των ελαιωδών γειτονικών γεωτρήσεων με συναφή προϊόν (ελαιώδη φάση).

7.1.3 Προσδιορισμός ειδικής πτώσης στάθμης και ειδικής παροχής

Ο προσδιορισμός της ειδικής πτώσης στάθμης (specific drawdown) και της ειδικής παροχής (specific capacity) πραγματοποιήθηκε κάνοντας χρήση των εξισώσεων 7.5 και 7.6, λαμβάνοντας υπόψιν την παροχή άντλησης και την πτώση στάθμης σε κατάσταση ισορροπίας.

$$\text{Ειδική πτώση στάθμης} = \frac{S_w}{Q} \quad (7.5) \quad \text{Ειδική παροχή} = \frac{Q}{S_w} \quad (7.6)$$

7.1.4 Προσδιορισμός συντελεστών γραμμικών, μη-γραμμικών απωλειών φορτίου

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 4, για τον προσδιορισμό των απωλειών φορτίου του υδροφορέα (formation loss) και των απωλειών φορτίου των εξεταζόμενων γεωτρήσεων (well loss) κατασκευάστηκε το γράφημα:

$$\frac{S_w}{Q} = CQ + B \quad (7.7)$$

Το διάγραμμα $S_w/Q = f(Q)$ είναι μια ευθεία με κλίση C (συντελεστής απωλειών φορτίου γεώτρησης) και τομή με τον κατακόρυφο άξονα το σημείο B (συντελεστής απωλειών φορτίου υδροφορέα).

Με τον τρόπο αυτό (γραφική επίλυση της εξίσωσης των Bierschenk & Wilson) προσδιορίστηκαν οι γραμμικές απώλειες, που αντιστοιχούν στα υδραυλικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα και οι μη-γραμμικές απώλειες, που αντιστοιχούν στα τεχνικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων.

7.1.5 Προσδιορισμός απόδοσης και βαθμού ανάπτυξης γεωτρήσεων

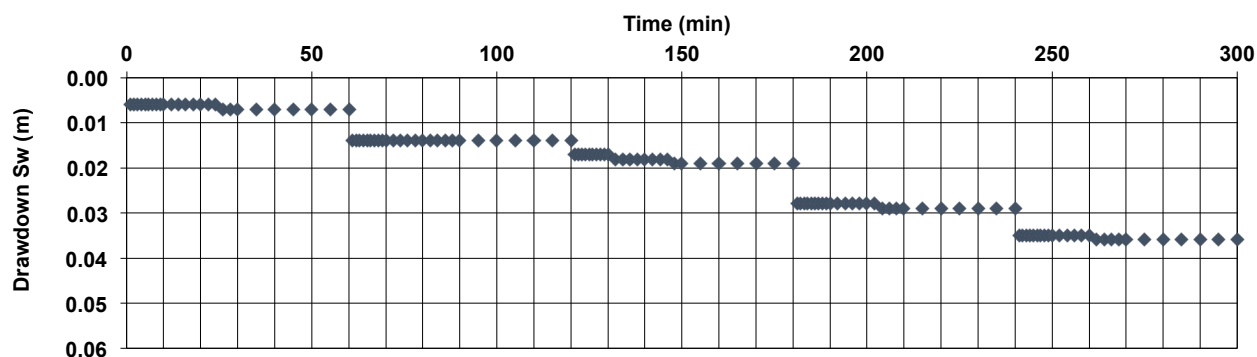
Τέλος, με εφαρμογή των εξισώσεων 7.8 και 7.9, οι οποίες περιγράφηκαν αναλυτικά στο κεφάλαιο 4, προσδιορίστηκαν ο βαθμός απόδοσης και ο συντελεστής ανάπτυξης των γεωτρήσεων.

$$\text{Βαθμός απόδοσης} = \frac{BQ}{BQ + CQ^2} * 100 \quad (7.8) \quad \text{Συντελεστής ανάπτυξης} = \frac{C}{B} * 100 \quad (7.9)$$

7.2 Παρουσίαση αποτελεσμάτων

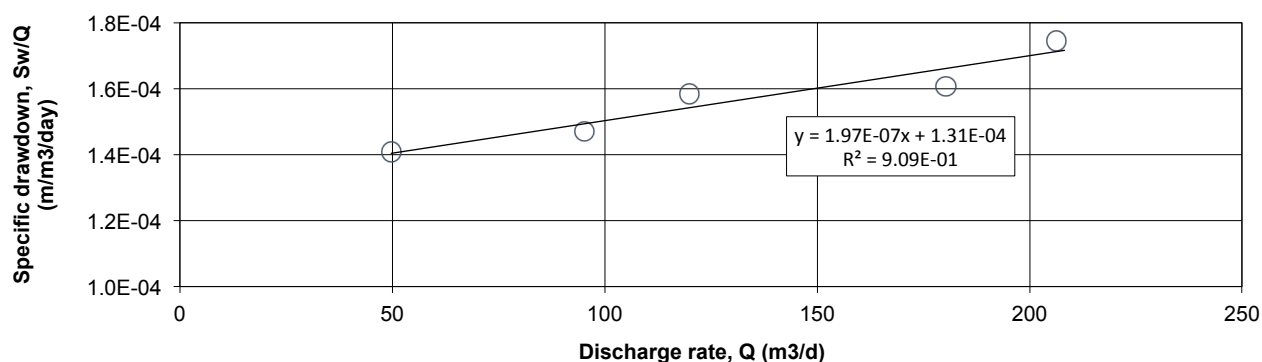
7.2.1 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΚ26

Τα αποτελέσματα της αντλητικής δοκιμής για την γεώτρηση ΠΚ26 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.1 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους δίνονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.1: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΚ26.

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την διεξαχθείσα δοκιμαστική άντληση υπολογίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.2) και προσδιορίστηκαν οι απώλειες φορτίου του υδροφορέα ($1.31 \times 10^{-4} \text{ day/m}^2$) και οι απώλειες φορτίου της εξεταζόμενης γεώτρησης ($1.97 \times 10^{-7} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, καθορίστηκαν η απόδοση και ο βαθμός ανάπτυξης της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

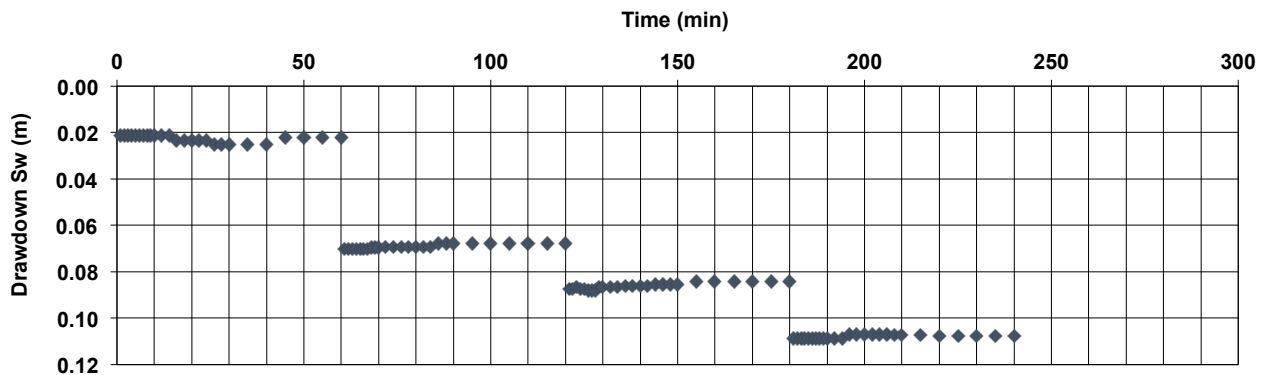


Διάγραμμα 7.2: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΚ26.

Συμπερασματικά προκύπτει ότι η γεώτρηση ΠΚ26 είναι μια καλά σχεδιασμένη και αναπτυγμένη γεώτρηση, η οποία χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό απόδοσης. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφόρου στρώματος κρίνονται ιδιαίτερα χαμηλές, υποδηλώνοντας υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού υποβάθρου.

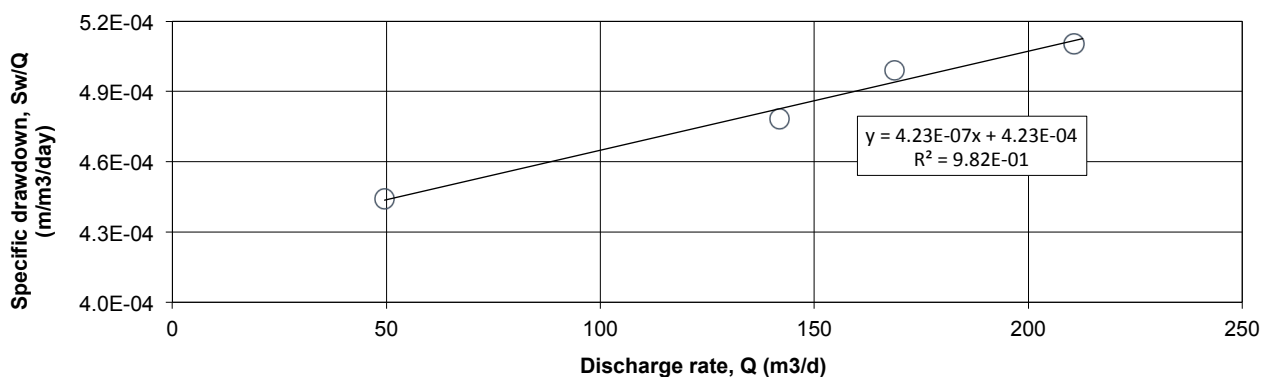
7.2.2 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΚ27

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης για την γεώτρησης ΠΚ27 παρουσιάζονται συνοπτικά μέσω του διαγράμματος 7.3 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.3: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΚ27.

Με βάση τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν από την αντλητική δοκιμή προσδιορίστηκε η ειδική πτώση στάθμη και κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.4). Μέσω του εν λόγω γραφήματος προσδιορίστηκαν ο συντελεστής γραμμικών απωλειών ($4.23 \times 10^{-4} \text{ day/m}^2$) και ο συντελεστής μη γραμμικών απωλειών ($4.23 \times 10^{-7} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, εκτιμήθηκαν η απόδοση και ο βαθμός ανάπτυξης της εξεταζόμενης γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

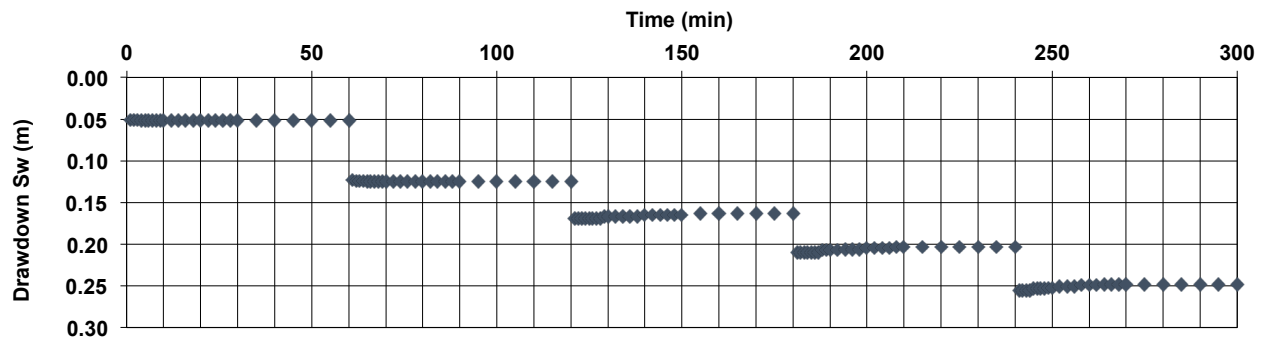


Διάγραμμα 7.4: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΚ27.

Βάσει των αποτελεσμάτων η γεώτρηση ΠΚ27 χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης και υψηλό βαθμό ανάπτυξης. Συνάμα, οι απώλειες φορτίου του υδροφόρου στρώματος θεωρούνται αρκετά χαμηλές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε ενδεχόμενο υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού.

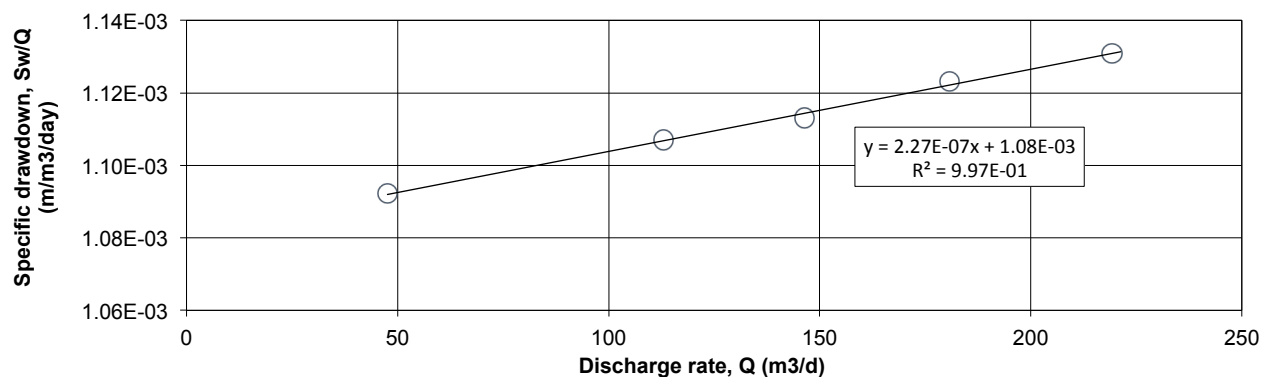
7.2.3 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΚ28

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης για τη γεώτρηση ΠΚ28 παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.5 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.5: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΚ28.

Βάσει των δεδομένων της αντλητικής δοκιμής υπολογίστηκε η ειδική πτώσης στάθμης, η ειδική παροχή και κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.6). Από το γράφημα προσδιορίστηκαν ο συντελεστής γραμμικών απωλειών ($1.08 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και ο συντελεστής μη γραμμικών απωλειών ($2.27 \times 10^{-7} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, εκτιμήθηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοσης της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

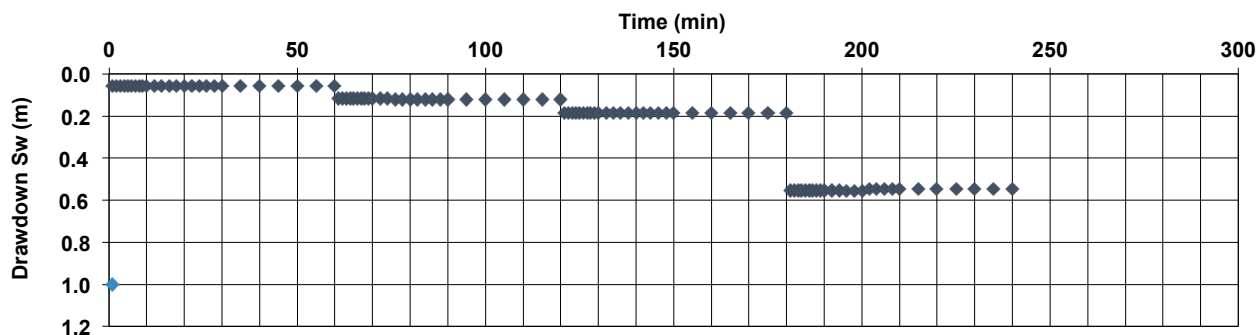


Διάγραμμα 7.6: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΚ28.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της δοκιμής, η γεώτρηση ΠΚ28 είναι μία καλά σχεδιασμένη και ανεπτυγμένη γεώτρηση με εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης. Οι εκτιμώμενες απώλειες φορτίου του υδροφορέα αξιολογούνται ως ιδιαίτερα χαμηλές, υποδηλώνοντας πιθανό υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού.

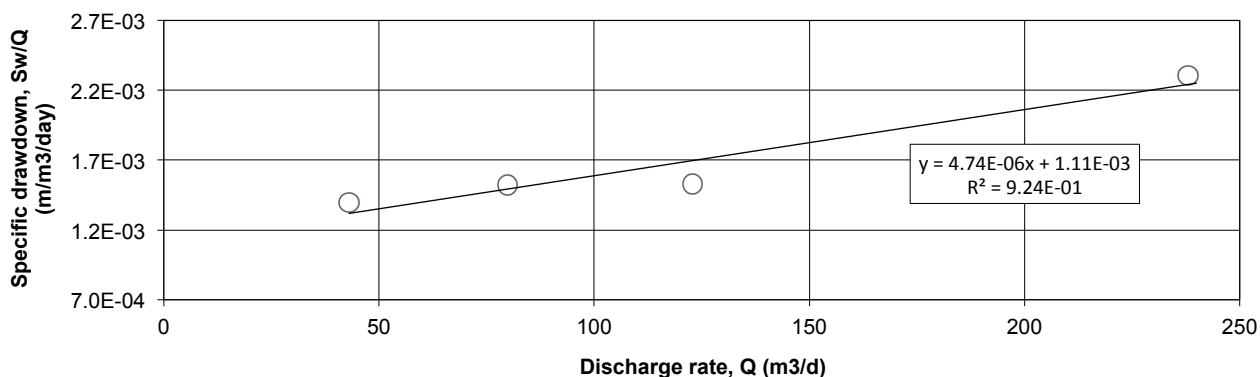
7.2.4 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΚ29

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την δοκιμαστική άντληση για την γεώτρησης ΠΚ29 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.7 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.7: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΚ29.

Βάσει των συλλεχθέντων δεδομένων υπολογίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.8) και προσδιορίστηκαν οι απώλειες φορτίου του υδροφορέα ($1.11 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και οι απώλειες φορτίου της εξεταζόμενης γεώτρησης ($4.74 \times 10^{-6} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, καθορίστηκαν η απόδοση και ο βαθμός ανάπτυξης της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

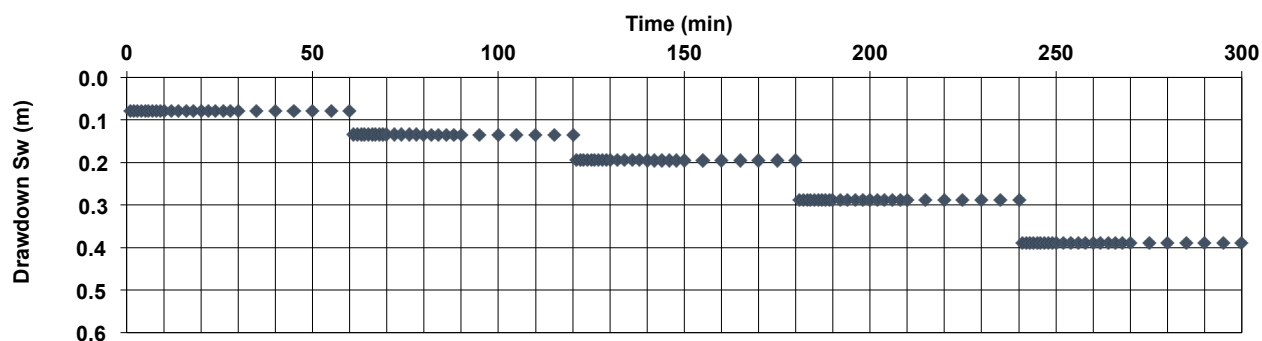


Διάγραμμα 7.8: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΚ29.

Συμπερασματικά, η γεώτρηση ΠΚ29 χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ανάπτυξης και υψηλό βαθμό απόδοσης. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφορέα κρίνονται ιδιαίτερα χαμηλές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού υποβάθρου (στο σημείο της γεώτρησης ΠΚ29).

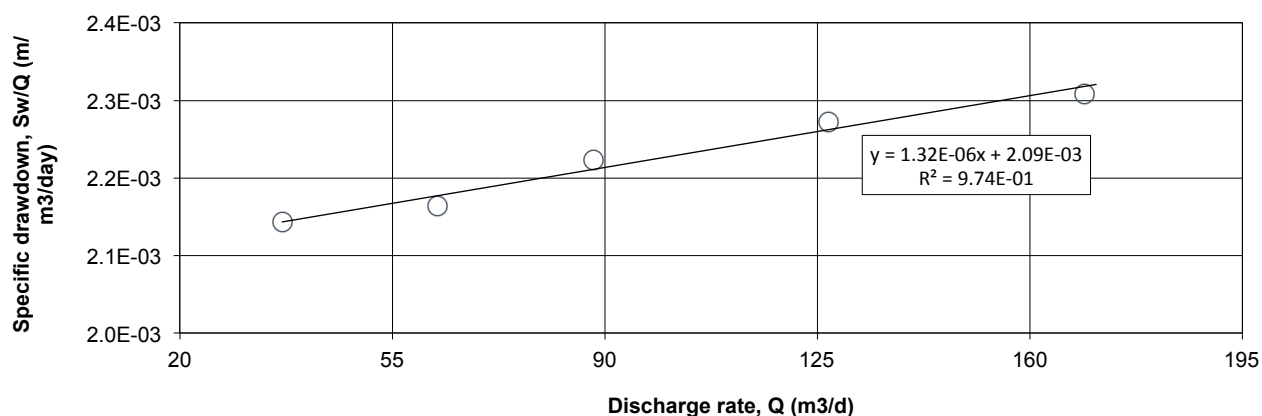
7.2.5 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΚ32

Τα αποτελέσματα της δοκιμής άντλησης για τη γεώτρηση ΠΚ32 παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.9 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.9: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΚ32.

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν υπολογίστηκε η ειδική πτώση στάθμης, η ειδική παροχή και κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.10). Η σταθερά και η κλίση της παραπάνω εξίσωσης καθόρισαν τον συντελεστή γραμμικών απωλειών ($2.09 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και τον συντελεστή μη γραμμικών απωλειών ($1.32 \times 10^{-6} \text{ day}^2/\text{m}^5$), μέσω των οποίων καθορίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

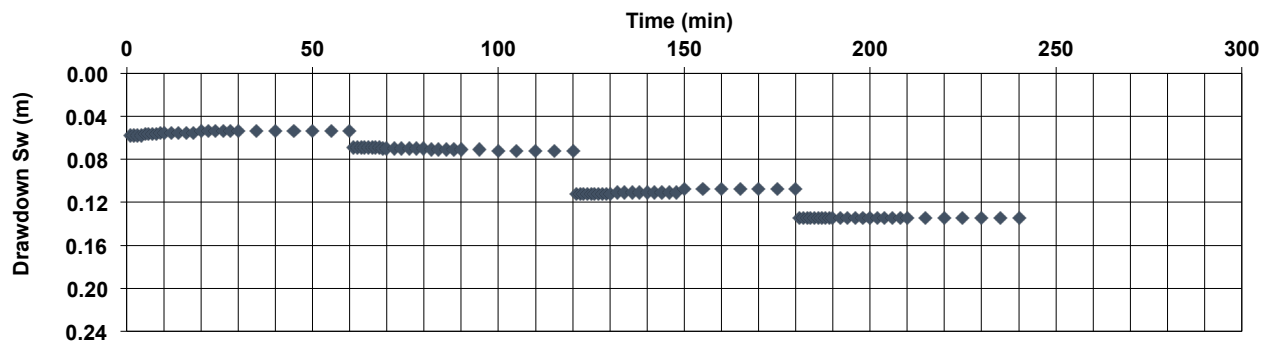


Διάγραμμα 7.10: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΚ32.

Με βάση τα αποτελέσματα η γεώτρηση ΠΚ32 χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλό βαθμό απόδοσης και ανάπτυξης, ενώ το υδροφόρο στρώμα παρουσιάζει συνήθεις απώλειες φορτίου.

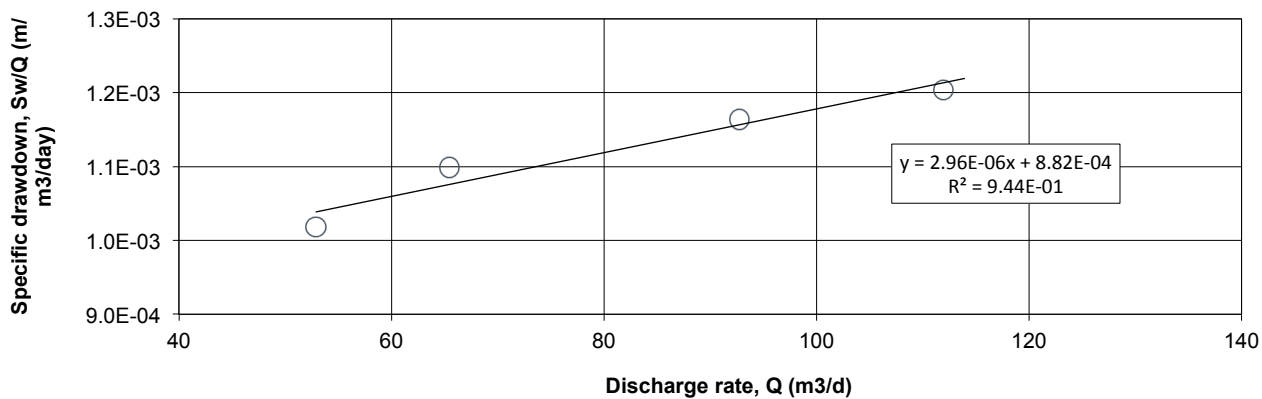
7.2.6 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ13

Τα αποτελέσματα της κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ13 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.11 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.11: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ13.

Μετά από επεξεργασία των δεδομένων της αντλητικής δοκιμής υπολογίστηκε η ειδική πτώση στάθμη και κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.12). Από το γράφημα προσδιορίστηκαν ο συντελεστής γραμμικών απωλειών ($8.82 \times 10^{-4} \text{ day/m}^2$) και ο συντελεστής μη γραμμικών απωλειών ($2.96 \times 10^{-6} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, βάσει των συντελεστών αυτών καθορίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

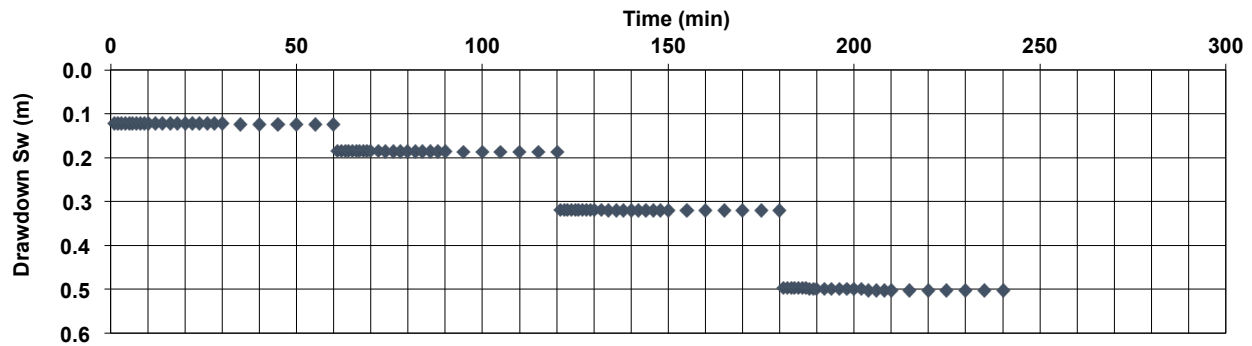


Διάγραμμα 7.12: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ13.

Τα στοιχεία που συλλέχθηκαν κατέδειξαν ότι η γεώτρηση ΠΥ13 χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό απόδοσης και υψηλό βαθμό ανάπτυξης. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφορέα χαρακτηρίζονται χαμηλές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί σε υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού υποβάθρου.

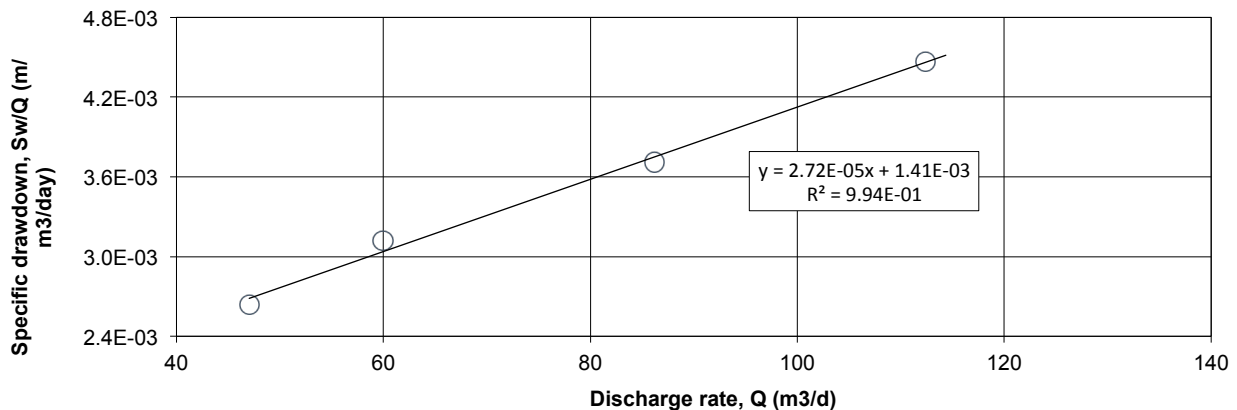
7.2.7 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ14

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης για τη γεώτρηση ΠΥ14 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.13 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.13: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ14.

Με βάση τα δεδομένα της αντλητικής δοκιμής υπολογίστηκε η ειδική πτώση στάθμης και κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.14), από την ανάλυση του οποίου εκτιμήθηκαν οι απώλειες φορτίου του υδροφορέα ($1.41 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και οι απώλειες φορτίου της εξεταζόμενης γεώτρησης ($2.72 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, καθορίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

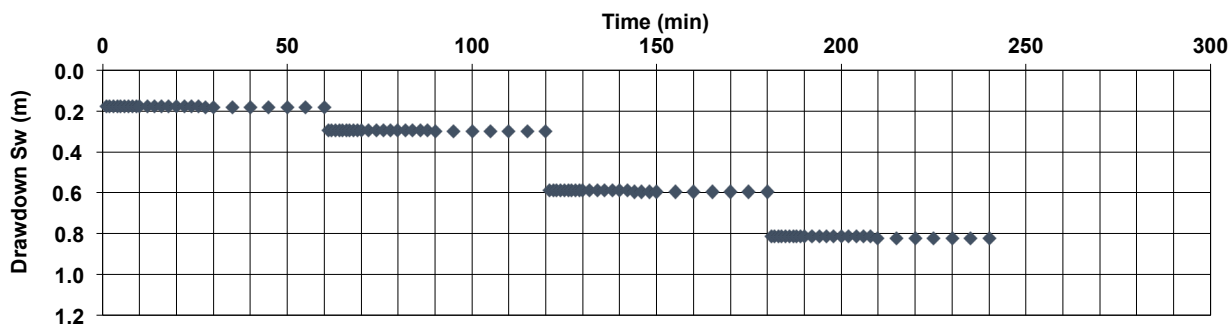


Διάγραμμα 7.14: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ14.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την εξεταζόμενη γεώτρηση καταδεικνύουν ότι η γεώτρηση ΠΥ14 είναι μια σοβαρά υποβαθμισμένη γεώτρηση, η οποία δύσκολα θα μπορέσει να επανέλθει στη πρότερη κατάσταση της. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφορέα θεωρούνται αρκετά χαμηλές, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στον υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού.

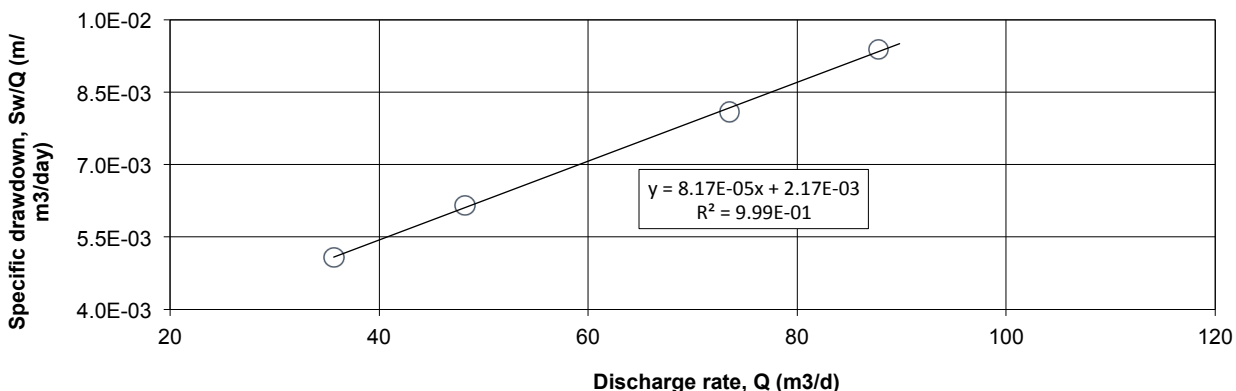
7.2.8 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ15

Τα αποτελέσματα της αντλητικής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ15 παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.15 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.15: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ15.

Βάσει των δεδομένων που συλλέχθηκαν προσδιορίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.16) και προσδιορίστηκαν ο συντελεστής γραμμικών απωλειών ($2.17 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και ο συντελεστής μη γραμμικών απωλειών ($8.17 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Επιπρόσθετα, εκτιμήθηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της εξεταζόμενης γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

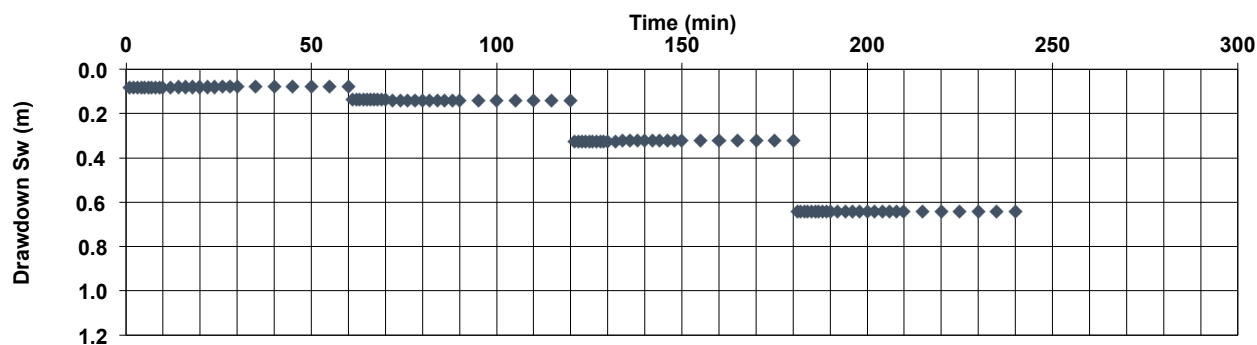


Διάγραμμα 7.16: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ15.

Βάσει των αποτελεσμάτων η γεώτρηση ΠΥ15 παρουσιάζει υψηλές γραμμικές απώλειες, μειωμένη απόδοση και εξαιρετικά χαμηλό βαθμό ανάπτυξης με αποτέλεσμα να θεωρείται γεώτρηση με έντονα κατασκευαστικά προβλήματα ή σοβαρή υποβάθμιση. Τέλος, οι απώλειες φορτίου του υδροφορέα, όπως αυτές προσδιορίστηκαν με γραφική επίλυση της εξίσωσης $S_w/Q = f(Q)$ κρίνονται συνήθεις.

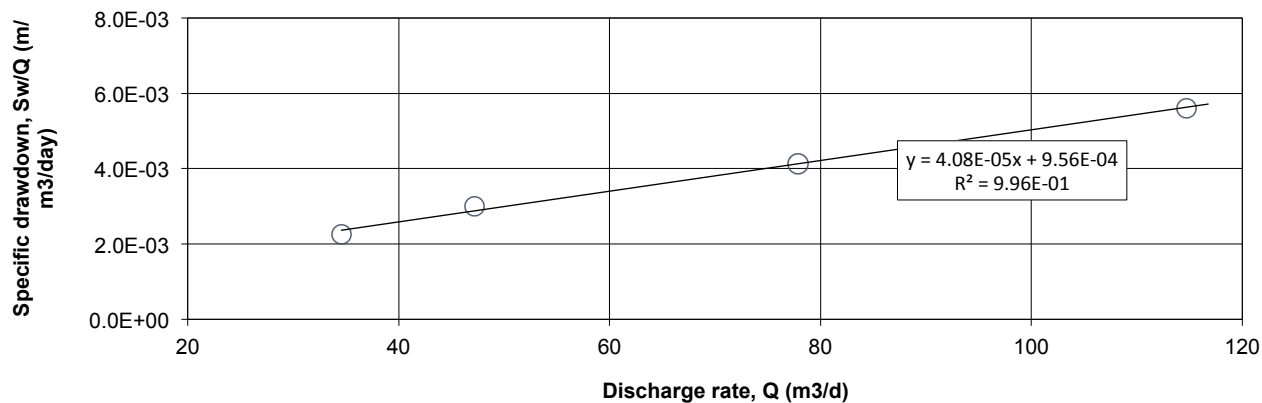
7.2.9 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ16

Τα αποτελέσματα της αντλητικής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ16 παρουσιάζονται συνοπτικά μέσω του διαγράμματος 7.17 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.17: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ16.

Από τα δεδομένα της κλιμακωτής δοκιμής υπολογίστηκε η ειδική πτώση στάθμης και κατασκευάστηκε το γράφημα της εξίσωσης $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.18). Με γραφική επίλυση της ανωτέρω υπολογίστηκαν οι συντελεστές γραμμικών ($9.56 \times 10^{-4} \text{ day/m}^2$) και μη γραμμικών απωλειών ($4.08 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$), βάσει των οποίων εκτιμήθηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

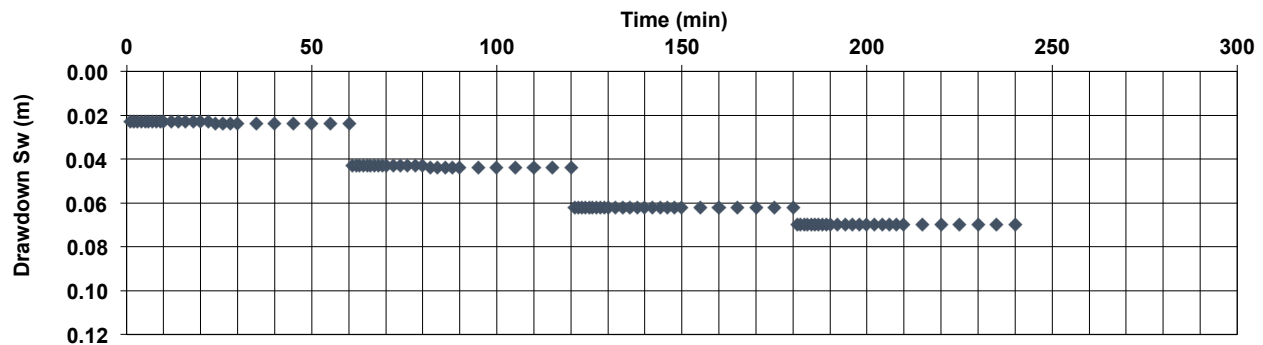


Διάγραμμα 7.18: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ16.

Συμπερασματικά και βάσει των αποτελεσμάτων της αντλητικής δοκιμής η γεώτρηση ΠΥ16 χαρακτηρίζεται ως μια γεώτρηση σοβαρά υποβαθμισμένη γεώτρηση, με εξαιρετικά χαμηλό βαθμό ανάπτυξης και απόδοσης. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφορέα, όπως αυτές προσδιορίστηκαν από τα δεδομένα της κλιμακωτής δοκιμής, χαρακτηρίζονται χαμηλές.

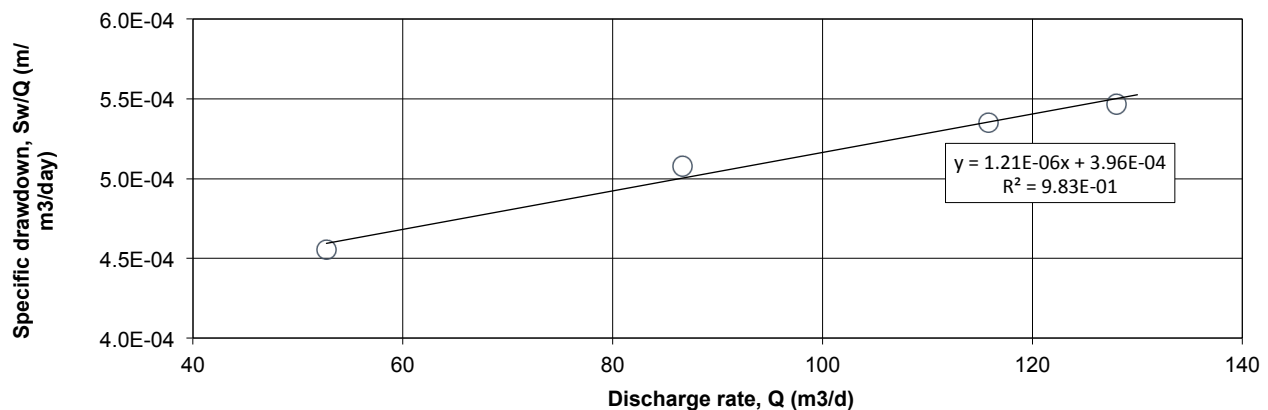
7.2.10 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ17

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης για τη γεώτρηση ΠΥ17 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.19 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.19: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ17.

Βάσει των αποτελεσμάτων της αντλητικής δοκιμής προσδιορίστηκαν η ειδική πτώσης στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.20) και καθορίστηκαν οι συντελεστές γραμμικών ($3.96 \times 10^{-4} \text{ day/m}^2$) και μη γραμμικών απωλειών φορτίου ($1.21 \times 10^{-6} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Συνάμα, προσδιορίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

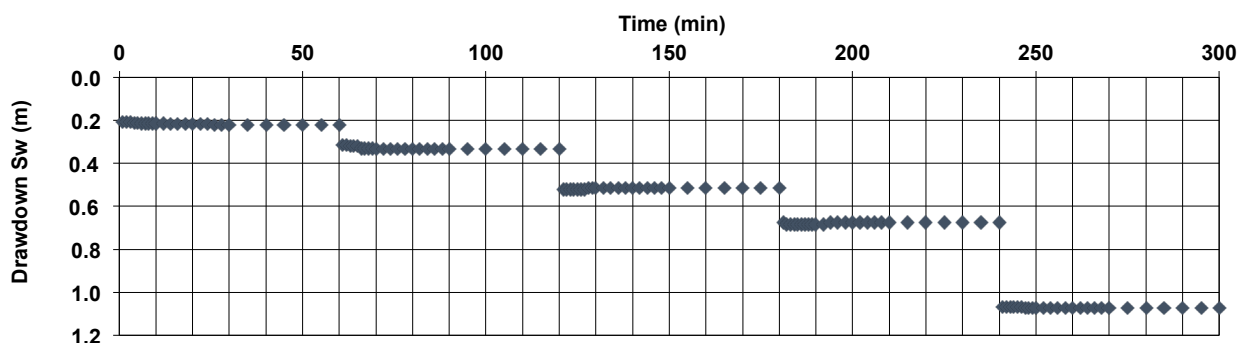


Διάγραμμα 7.20: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ17.

Συμπερασματικά, η κλιμακωτή δοκιμή κατέδειξε ότι η γεώτρηση ΠΥ17 χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό απόδοσης και ανάπτυξης, ενώ οι απώλειες φορτίου του υδροφορέα αξιολογήθηκαν ως χαμηλές. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε πιθανό υψηλό βαθμό ρωγμάτωσης του υπερκείμενου ασβεστολιθικού σχηματισμού.

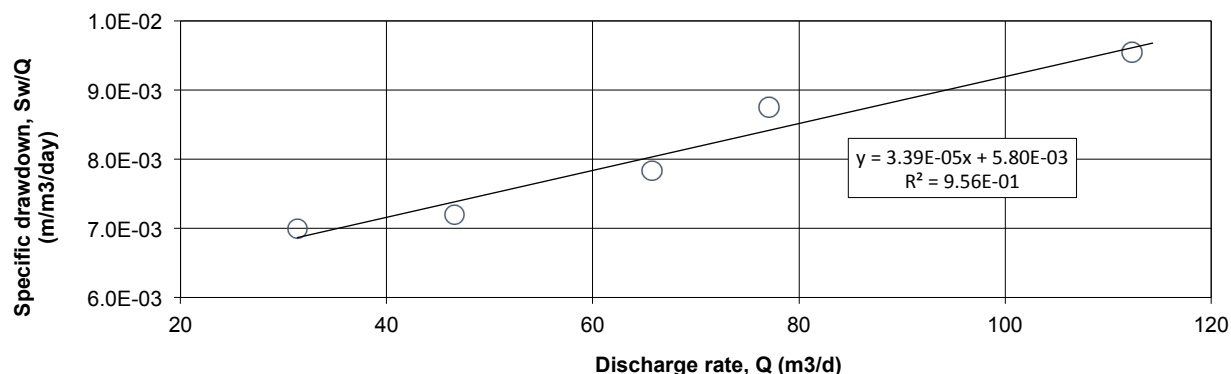
7.2.11 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ18

Τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης για τη γεώτρηση ΠΥ18 παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.21 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.21: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ18.

Με επεξεργασία των δεδομένων που συλλέχθηκαν από την κλιμακωτή δοκιμή προσδιορίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.22) και προσδιορίστηκαν οι συντελεστές γραμμικών ($5.80 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και μη γραμμικών απωλειών ($3.39 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Επίσης, προσδιορίστηκαν η απόδοση και ο βαθμός ανάπτυξης της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

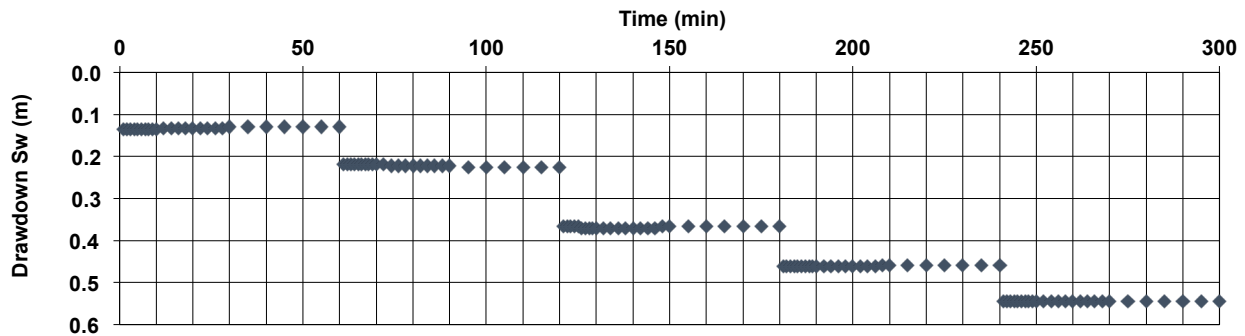


Διάγραμμα 7.22: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ18.

Βάσει των αποτελεσμάτων διαπιστώνεται ότι η γεώτρηση ΠΥ18 χαρακτηρίζεται από μέτριο βαθμό ανάπτυξης και σχετικά χαμηλή απόδοση. Αναφορικά με τις απώλειες φορτίου του υδροφορέα, όπως αυτές προσδιορίστηκαν με γραφική επίλυση της εξίσωσης Jacob ($S_w = BQ + CQ^2$), αυτές κρίνονται ιδιαίτερα μεγάλες.

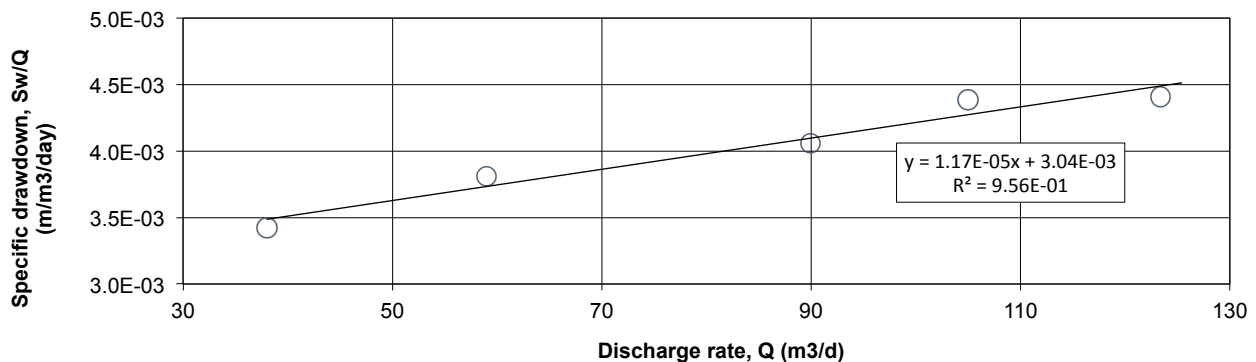
7.2.12 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ19

Τα αποτελέσματα της αντλητικής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ19 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.23 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.23: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ19.

Βάσει των δεδομένων της αντλητικής δοκιμής προσδιορίστηκε η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή. Επιπρόσθετα, με γραφική επίλυση της εξίσωσης Jacob ($S_w = BQ + CQ^2$) προσδιορίστηκαν ο συντελεστής απωλειών του υδροφορέα ($3.04 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και ο συντελεστής απωλειών της εξεταζόμενης γεώτρησης ($1.17 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, υπολογίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

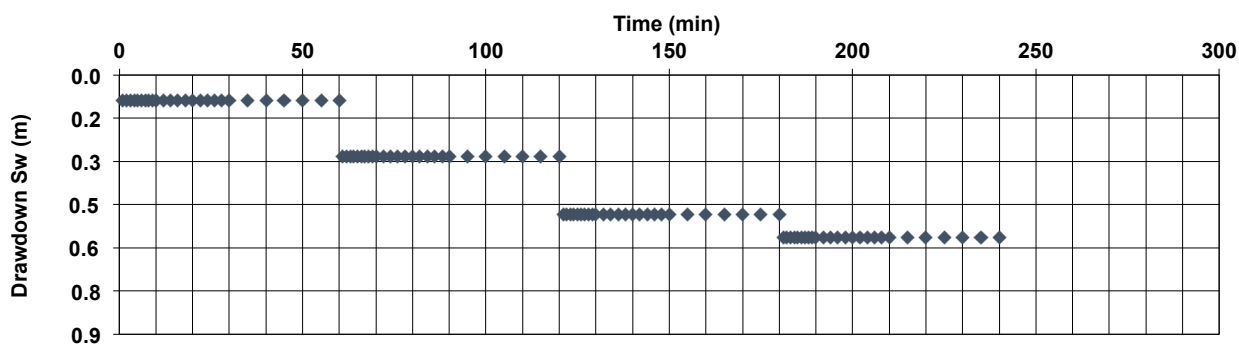


Διάγραμμα 7.24: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ19.

Όπως κατέδειξαν τα αποτελέσματα της δοκιμαστικής άντλησης η γεώτρηση ΠΥ19 χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό ανάπτυξης και πολύ καλή απόδοση. Οι, δε, απώλειες φορτίου του υδροφόρου στρώματος χαρακτηρίζονται συνήθεις για αντίστοιχους γεωλογικούς σχηματισμούς.

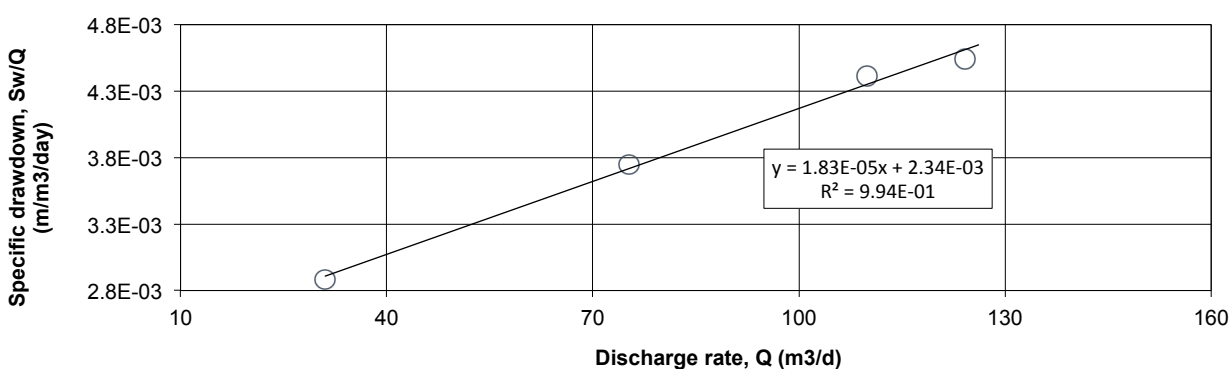
7.2.13 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ22

Στο διάγραμμα 7.25 γίνεται συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων της αντλητικής δοκιμής για την γεώτρηση ΠΥ22 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.24: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ22.

Βάσει των δεδομένων της δοκιμαστικής άντλησης υπολογίστηκαν η ειδική πτώση στάθμης και η ειδική παροχή, κατασκευάστηκε το γράφημα $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.25) και προσδιορίστηκαν οι συντελεστές γραμμικών ($2.34 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και μη γραμμικών απωλειών φορτίου ($1.83 \times 10^{-5} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Επιπρόσθετα, προσδιορίστηκαν ο βαθμός ανάπτυξης και η απόδοση της εξεταζόμενης γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).

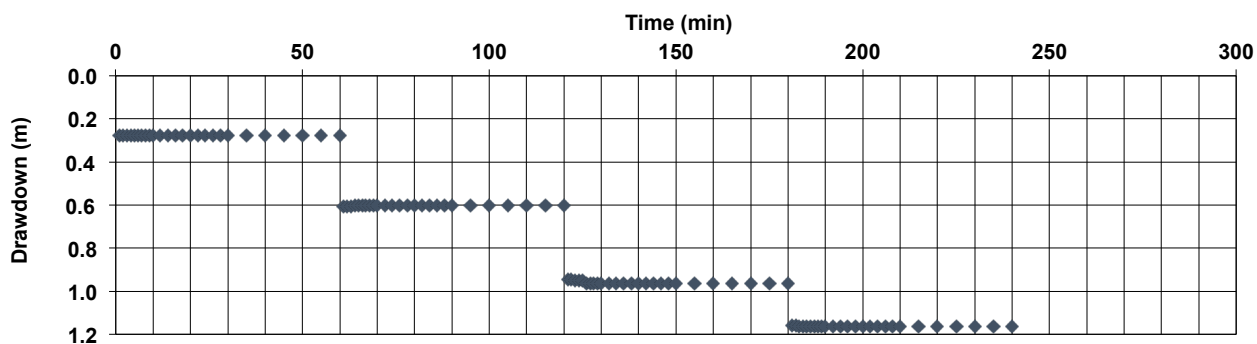


Διάγραμμα 7.25: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ22.

Συμπερασματικά και σύμφωνα με τα αποτελέσματα της δοκιμής η γεώτρηση ΠΥ22 χαρακτηρίζεται από μέτριο βαθμό ανάπτυξης και σχετικά χαμηλή απόδοση. Οι, δε, απώλειες του υδροφόρου στρώματος κρίνονται συνήθεις για αντίστοιχους γεωλογικούς σχηματισμούς.

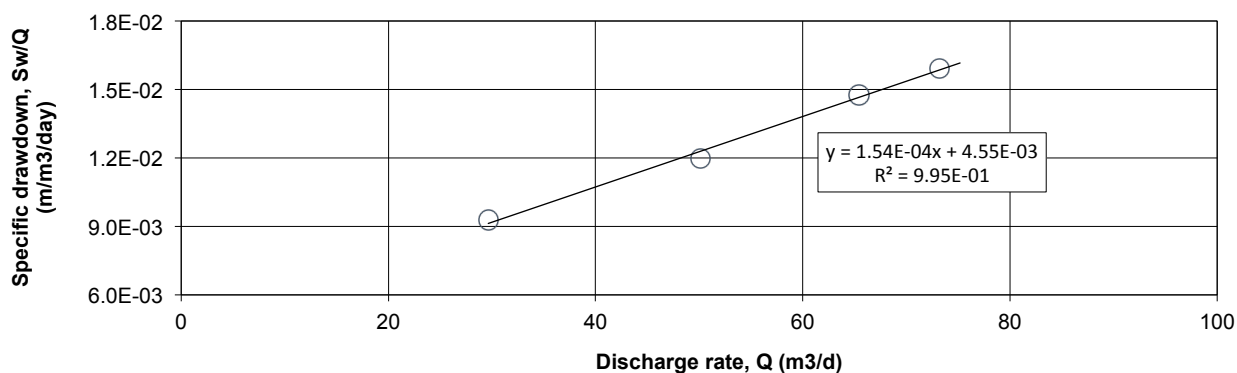
7.2.14 Αποτελέσματα γεώτρηση ΠΥ23

Τα αποτελέσματα της κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ23 παρουσιάζονται συνοπτικά στο διάγραμμα 7.26 (αναλυτικά τα αποτελέσματα και η επεξεργασία τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Α).



Διάγραμμα 7.26: Αποτελέσματα κλιμακωτής δοκιμής για τη γεώτρηση ΠΥ23.

Η επεξεργασία των δεδομένων οδήγησε στον προσδιορισμό των παραμέτρων της ειδικής πτώσης στάθμης και ειδικής παροχής, στη κατασκευή του γραφήματος $S_w/Q = f(Q)$ (Διάγραμμα 7.27) και στον προσδιορισμό των συντελεστών γραμμικών απωλειών ($4.43 \times 10^{-3} \text{ day/m}^2$) και μη γραμμικών απωλειών ($1.54 \times 10^{-4} \text{ day}^2/\text{m}^5$). Τέλος, καθορίστηκαν η απόδοση και ο βαθμός ανάπτυξης της γεώτρησης (βλέπε υποκεφάλαιο 7.3).



Διάγραμμα 7.27: Προσδιορισμός των παραμέτρων B και C για τη Γεώτρηση ΠΥ23.

Με βάση τα αποτελέσματα της αντλητικής δοκιμής η γεώτρηση ΠΥ23 παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλή απόδοση και χαρακτηρίζεται ως μια γεώτρηση με έντονα κατασκευαστικά προβλήματα ή σοβαρή υποβάθμιση. Αναφορικά με τις απώλειες φορτίου του υδροφορέα αυτές χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα υψηλές.

7.3 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Βάσει των αποτελεσμάτων των δοκιμαστικών αντλήσεων, τα οποία παρουσιάστηκαν αναλυτικά στα προηγούμενα υποκεφάλαια προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

Α. Μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας: Δεν διαπιστώθηκε καμία μεταβολή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπόγειων υδάτων κατά την διάρκεια των δοκιμαστικών αντλήσεων, γεγονός που υποδηλώνει ότι δεν συντελέστηκε καμία μεταβολή των φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδάτων από ενδεχόμενη διείσδυση θαλασσινού νερού και μετατόπιση της ισορροπίας γλυκού / θαλασσινού νερού προς τη στεριά.

Β. Σχέση ειδικής πτώσης στάθμης – παροχής: Η παρατηρούμενη μείωση της ειδικής ικανότητας με τη πτώση στάθμης (Chart of specific Capacity – Παράρτημα Α) υποδηλώνει είτε μείωση της μεταβιβαστικότητας (Τ) λόγω της πτώσης στάθμης (μείωση του πάχους του υδροφόρου στρώματος με την άντληση), είτε αύξηση των μη γραμμικών απωλειών.

Γ. Συντελεστές γραμμικών και μη γραμμικών απωλειών: Οι συντελεστές απωλειών φορτίου υδροφορέα (Β) και απωλειών φορτίου γεώτρησης (C), όπως αυτοί προσδιορίστηκαν με γραφική επίλυση της εξίσωσης των Bierschenk & Wilson (1961), παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο Πίνακα 7.1.

Πίνακας 7.1: Συντελεστές απωλειών φορτίου υδροφορέα (Β) και απωλειών φορτίου γεώτρησης (C).

Γεώτρηση	Συντελεστής Β (day/m ²)	Συντελεστής C (day ² /m ⁵)	Συντελεστής Β (sec/m ²)	Συντελεστής C (min ² /m ⁵)
ΠΚ26	1.31 x 10 ⁻⁴	1.97 x 10 ⁻⁷	11.32	0.41
ΠΚ27	4.23 x 10 ⁻⁴	4.23 x 10 ⁻⁷	36.55	0.88
ΠΚ28	1.08 x 10 ⁻³	2.27 x 10 ⁻⁷	93.31	0.47
ΠΚ29	1.11 x 10 ⁻³	4.74 x 10 ⁻⁶	95.90	9.83
ΠΚ32	2.09 x 10 ⁻³	1.32 x 10 ⁻⁶	180.58	2.74
ΠΥ13	8.82 x 10 ⁻⁴	2.96 x 10 ⁻⁶	76.20	6.14
ΠΥ14	1.41 x 10 ⁻³	2.72 x 10 ⁻⁵	121.82	56.40
ΠΥ15	2.17 x 10 ⁻³	8.17 x 10 ⁻⁵	187.49	169.41
ΠΥ16	9.56 x 10 ⁻⁴	4.08 x 10 ⁻⁵	82.60	84.60
ΠΥ17	3.96 x 10 ⁻⁴	1.11 x 10 ⁻⁶	34.21	2.51
ΠΥ18	5.80 x 10 ⁻³	3.39 x 10 ⁻⁵	501.12	70.30
ΠΥ19	3.04 x 10 ⁻³	1.17 x 10 ⁻⁵	262.66	24.26
ΠΥ22	2.34 x 10 ⁻³	1.83 x 10 ⁻⁵	202.18	37.95

Οι συντελεστές γραμμικών απωλειών (απώλειες φορτίου υδροφορέα) παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση και κυμαίνονται από 1,31x10⁻⁴ στην γεώτρηση ΠΚ26 έως 5,8x10⁻³ στην γεώτρηση ΠΥ18. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην φύση του υπερκείμενου γεωλογικού σχηματισμού.

Πιο συγκεκριμένα, ο σχηματισμός που εμφανίζεται στο μεγαλύτερο τμήμα της εξεταζόμενης έκτασης συνίσταται από ασβεστόλιθο, άσπρου ή γκρι χρώματος, κατά θέσεις κερματισμένου και ελαφρά αποσαθρωμένου. Έτσι σε θέσεις όπου ο ασβεστολιθικός σχηματισμός παρουσιάζει έντονη καρστική διάβρωση εμφανίζονται εξαιρετικά χαμηλές τιμές συντελεστή γραμμικών απωλειών, ενώ σε θέσεις όπου ο ασβεστολιθικός σχηματισμός παραμένει λιγότερο διαπερατός οι τιμές του συντελεστή απωλειών φορτίου του υδροφορέα εμφανίζονται σημαντικά υψηλότερες.

Γενικά, ένας υγιής ασβεστολιθικός όγκος αποτελεί ένα αδιαπέρατο σχηματισμό. Όμως σπάνιες είναι οι περιπτώσεις όπου ασβεστόλιθοι μετά τον σχηματισμό τους στο θαλάσσιο χώρο και την ανάδυσή τους με τις διεργασίες της ορογένεσης παραμένουν τεκτονικά ανέπαφοι. Έτσι δημιουργούνται συστήματα διακλάσεων και ρηγμάτων μέσω των οποίων είναι δυνατόν να κατεισδύει το επιφανειακό νερό και να κινείται ως υπόγειο διανύοντας μεγάλες αποστάσεις. Τα συστήματα αυτά αποτελούν ένα δευτερογενές πορώδες στο πέτρωμα, το οποίο με την δράση της καρστικής διάβρωσης διευρύνεται υπέρμετρα (διεύρυνση διακλάσεων, δημιουργία υπόγειων αγωγών κλπ).

Κλείνοντας με τους συντελεστές απωλειών φορτίου του υδροφορέα (B), πραγματοποιήθηκε αξιολόγηση των τιμών τους βάσει κριτηρίων αξιολόγησης προτεινόμενα από τον Βαφειάδη (1980). Με βάση την αξιολόγηση αυτή το υδροφόρο στρώμα στο μεγαλύτερο τμήμα της έκτασής του χαρακτηρίζεται ως στρώμα υψηλής διαπερατότητας.

Πίνακας 7.2: Αξιολόγηση συντελεστών απωλειών φορτίου υδροφορέα.

Συντελεστής B (sec/m ²)	Αξιολόγηση των τιμών του συντελεστή B	Εξεταζόμενες Γεωτρήσεις
10 – 150	Πολύ καλές τιμές – χαμηλές γραμμικές απώλειες	ΠΚ26, ΠΚ27, ΠΚ28, ΠΚ29, ΠΥ13, ΠΥ14, ΠΥ16, ΠΥ17
150 – 350	Συνήθεις τιμές – συνήθεις γραμμικές απώλειες	ΠΚ32, ΠΥ15, ΠΥ19, ΠΥ22
350 – 500	Υψηλές τιμές – υψηλές γραμμικές απώλειες	ΠΥ18, ΠΥ23

Αναφορικά με τους συντελεστές μη-γραμμικών απωλειών και αυτοί με τη σειρά τους παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί σε διαφοροποιήσεις σχετικά με α) τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των γεωτρήσεων, β) το βαθμό ανάπτυξης ή/και την ενδεχόμενη υποβάθμισή τους.

Στον Πίνακα 7.3, που ακολουθεί, δίνεται μια πρώτη αξιολόγηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των εξεταζόμενων γεωτρήσεων βάσει του συντελεστή μη-γραμμικών απωλειών C και κριτηρίων αξιολόγησης προτεινόμενα από τον Walton (1962). Σύμφωνα με την εν λόγω αξιολόγηση ένα τμήμα του δικτύου των γεωτρήσεων της περιοχής παρουσιάζει κατασκευαστικά προβλήματα ή σοβαρή υποβάθμιση.

Πίνακας 7.3: Αξιολόγηση κατασκευαστικών χαρακτηριστικών γεωτρήσεων με βάση τον συντελεστή απωλειών φορτίου γεωτρήσεων (C).

Συντελεστής C (min ² /m ⁵)	Αξιολόγηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών μιας γεώτρησης	Εξεταζόμενες Γεωτρήσεις
< 0.5	Καλά σχεδιασμένη και αναπτυγμένη γεώτρηση	ΠΚ26, ΠΚ28
0.5 – 1	Μέτρια υποβαθμισμένη γεώτρηση ή έμφραξη φίλτροσωλήνων	ΠΚ27
1 – 4	Σοβαρά υποβαθμισμένη γεώτρηση ή έμφραξη φίλτροσωλήνων	ΠΥ17, ΠΚ32
> 4	Δύσκολη η αποκατάσταση της γεώτρησης στην αρχική της κατάσταση	ΠΥ2, ΠΥ6, ΠΥ13, ΠΥ14, ΠΥ15, ΠΥ16, ΠΥ18, ΠΥ22, ΠΥ23, ΠΚ29

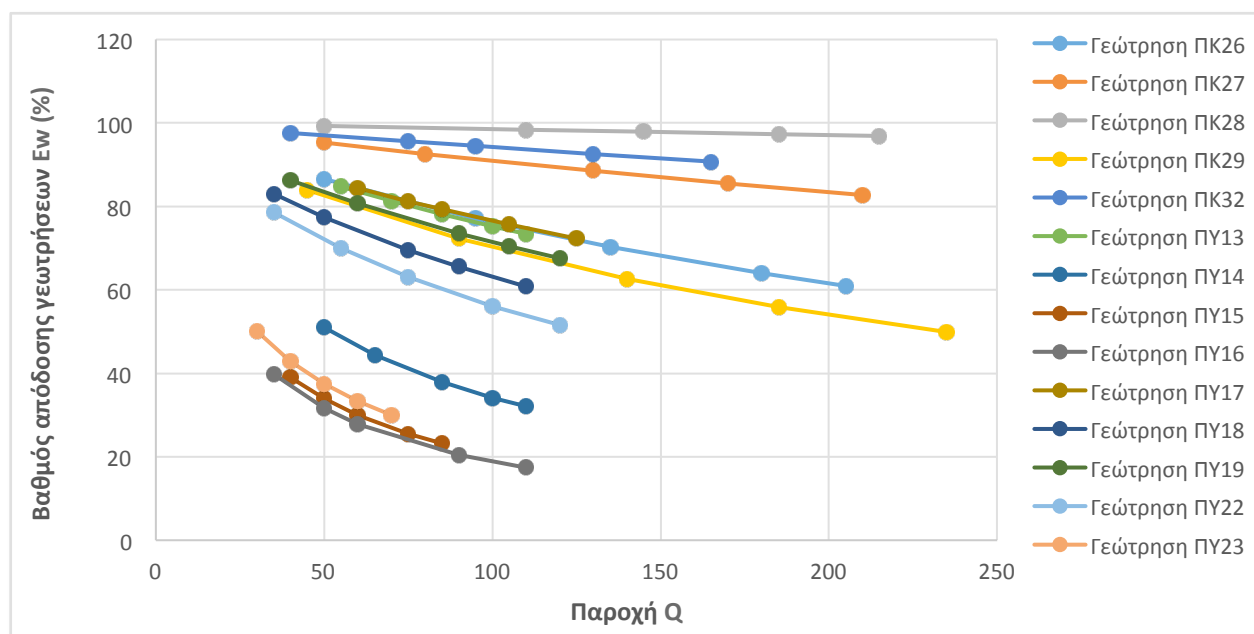
Δ. Συντελεστής ανάπτυξης γεωτρήσεων: Με εφαρμογή της εξίσωσης 4.17 (βλέπε κεφάλαιο 4.7) προσδιορίστηκε ο συντελεστής ανάπτυξης των γεωτρήσεων και οι εξεταζόμενες γεωτρήσεις κατατάχθηκαν σε τέσσερις (4) κατηγορίες βάσει κριτηρίων αξιολόγησης προτεινόμενα από τον Bierschenk (1964). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα 7.4.

Πίνακας 7.4: Αξιολόγηση του βαθμού ανάπτυξης των γεωτρήσεων.

Γεώτρηση	Συντελεστής B (day/m ²)	Συντελεστής C (day ² /m ⁵)	Συντελεστής ανάπτυξης	Αξιολόγηση βαθμού ανάπτυξης
ΠΚ26	1.31 x 10 ⁻⁴	1.97 x 10 ⁻⁷	0.15	Καλός
ΠΚ27	4.23 x 10 ⁻⁴	4.23 x 10 ⁻⁷	0.10	Καλός
ΠΚ28	1.08 x 10 ⁻³	2.27 x 10 ⁻⁷	0.02	Εξαιρετικός
ΠΚ29	1.11 x 10 ⁻³	4.74 x 10 ⁻⁶	0.43	Καλός
ΠΚ32	2.09 x 10 ⁻³	1.32 x 10 ⁻⁶	0.06	Εξαιρετικός
ΠΥ13	8.82 x 10 ⁻⁴	2.96 x 10 ⁻⁶	0.34	Καλός
ΠΥ14	1.41 x 10 ⁻³	2.72 x 10 ⁻⁵	1.93	Χαμηλός
ΠΥ15	2.17 x 10 ⁻³	8.17 x 10 ⁻⁵	3.76	Χαμηλός
ΠΥ16	9.56 x 10 ⁻⁴	4.08 x 10 ⁻⁵	4.27	Χαμηλός
ΠΥ17	3.96 x 10 ⁻⁴	1.11 x 10 ⁻⁶	0.28	Καλός
ΠΥ18	5.80 x 10 ⁻³	3.39 x 10 ⁻⁵	0.58	Μέτριος
ΠΥ19	3.04 x 10 ⁻³	1.17 x 10 ⁻⁵	0.38	Καλός
ΠΥ22	2.34 x 10 ⁻³	1.83 x 10 ⁻⁵	0.78	Μέτριος
ΠΥ23	4.44 x 10 ⁻³	1.54 x 10 ⁻⁴	3.47	Χαμηλός

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, ένα σημαντικό τμήμα του δικτύου των γεωτρήσεων της υπό μελέτη περιοχής, το οποίο περιλαμβάνει κυρίως γεωτρήσεις της παλαιάς σειράς (γεωτρήσεις ΠΥ), δεν παρουσιάζει ικανοποιητικό βαθμό ανάπτυξης.

Ε. Βαθμός απόδοσης γεωτρήσεων: Με εφαρμογή της εξίσωσης 4.18 (βλέπε κεφάλαιο 4.8) υπολογίστηκε ο βαθμός απόδοσης των γεωτρήσεων συναρτήσει της παροχής άντλησης (Διάγραμμα 7.28) και οι εξεταζόμενες γεωτρήσεις κατατάχθηκαν σε τέσσερις (4) κατηγορίες (Πίνακας 7.5).



Διάγραμμα 7.28: Βαθμός απόδοσης γεωτρήσεων συναρτήσει του χρόνου.

Όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα, ένα σημαντικό τμήμα του δικτύου των γεωτρήσεων, το οποίο περιλαμβάνει κυρίως τις γεωτρήσεις ΠΥ14, ΠΥ15, ΠΥ16 και ΠΥ23, δεν παρουσιάζει ικανοποιητική απόδοση.

Πίνακας 7.5: Αξιολόγηση του βαθμού απόδοσης των γεωτρήσεων.

Αξιολόγηση βαθμού απόδοσης	Γεώτρηση
Εξαιρετικός	ΠΚ27, ΠΚ28, ΠΚ32,
Καλός	ΠΚ26, ΠΚ29, ΠΥ13, ΠΥ17, ΠΥ19
Μέτριος	ΠΥ18, ΠΥ22
Χαμηλός	ΠΥ14, ΠΥ15, ΠΥ16, ΠΥ23

8. Συμπεράσματα & Προτάσεις

8.1 Συμπεράσματα

Όπως κατέδειξαν οι διεξαχθείσες στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας δοκιμαστικές αντλήσεις, ένα τμήμα του δικτύου των γεωτρήσεων της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζει κατασκευαστικά προβλήματα ή σοβαρή υποβάθμιση.

Το συμπέρασμα αυτό αφορά κυρίως ένα τμήμα της παλαιάς σειράς γεωτρήσεων (γεωτρήσεις ΠΥ), το οποίο παρουσιάζει υψηλούς συντελεστές μη γραμμικών απωλειών, χαμηλούς συντελεστές ανάπτυξης και μειωμένη απόδοση. Το γεγονός αυτό μπορεί να οφείλεται σε ένα ή περισσότερα αίτια, τα σημαντικότερα εκ των οποίων είναι:

- ο Μηχανικά αίτια: Έμφραξη φίλτρων εξαιτίας συσσώρευσης λεπτόκοκκου υλικού (π.χ. άμμου, ιλύος, αργίλου) γύρω από το φιλτροσωλήνα ή ενσφήνωση κόκκων άμμου στις σχισμές των φίλτρων από τη συνεχή ροή του ρευστού του υδροφόρου προς την γεώτρηση κατά την διάρκεια των αντλήσεων.
- ο Χημικά αίτια: Απόθεση αλάτων (ανθρακικά άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου) στους φιλτροσωλήνες, η οποία σταδιακά μπορεί να οδηγήσει στην μείωση της περατότητας τους.
- ο Βιολογικά αίτια: Δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών ανάπτυξης βακτηρίων στο περιβάλλον της γεώτρησης (π.χ. σιδηροβακτήρια) εξαιτίας της ύπαρξης αρκετού οξυγόνου και άφθονης τροφής. Τέτοιου είδους βακτήρια πολλαπλασιάζονται με μεγάλη ταχύτητα και τα συσσωματώματα της μάζας τους δύναται να φράξουν τα φίλτρα και τους πόρους διέλευσης του ρευστού προς τη γεώτρηση.
- ο Μη εφαρμογή βασικών κανόνων της τεχνικής ανόρυξης γεωτρήσεων, η εφαρμογή των οποίων είναι αναγκαία προϋπόθεση για την μείωση των δυσμενών επιδράσεων των παραπάνω δράσεων και τελικά την κατασκευή αποδοτικών γεωτρήσεων.

Ωστόσο με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία και την αυτοψία των γεωτρήσεων, τα μηχανικά αίτια και η μη εφαρμογή βασικών κανόνων της τεχνικής ανόρυξης γεωτρήσεων θεωρούνται οι πιο πιθανές αιτίες της παρατηρούμενης μειωμένης απόδοσης ενός τμήματος των γεωτρήσεων της υπό μελέτη περιοχής.

8.2 Προτάσεις

Με βάση τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων, που διεξήχθησαν σε επιλεγμένες, αντιπροσωπευτικές γεωτρήσεις της περιοχής, εγείρονται ερωτήματα σχετικά με την απόδοση του υφιστάμενου δικτύου γεωτρήσεων. Για το λόγο αυτό προτείνεται:

- Η διεξαγωγή δοκιμαστικών αντλήσεων κατά βαθμίδες στο σύνολο των γεωτρήσεων της υπό μελέτη περιοχής. Με τον τρόπο αυτό θα αποκτηθεί μια πλήρη εικόνα για την αποτελεσματικότητα του υφιστάμενου δικτύου γεωτρήσεων.
- Η αποκατάσταση των γεωτρήσεων που εμφανίζουν μειωμένη ειδική ικανότητα (στις περιπτώσεις που αυτή είναι δυνατή) μέσω εφαρμογής τεχνικών καθαρισμού φιλτροσωλήνων με:
 - Άντληση (κλιμακωτή άντληση, υπεράντληση, απότομη έναρξη και παύση άντλησης)
 - Μηχανικά μέσα - ειδικές βούρτσες και δίσκοι, οι οποίοι με μηχανικό τρόπο αποκολλούν τα άλατα από την εσωτερική επιφάνεια των φίλτρων
 - Χημική δράση - η χρήση χημικών (π.χ. υδροχλωρικού οξέος, υποχλωριώδες ασβέστιο, διάλυμα σουλφανιλικού οξέος) δύναται να απομακρύνει τα διάφορα άλατα που έχουν αποτεθεί στους φιλτροσωλήνες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

(ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ)

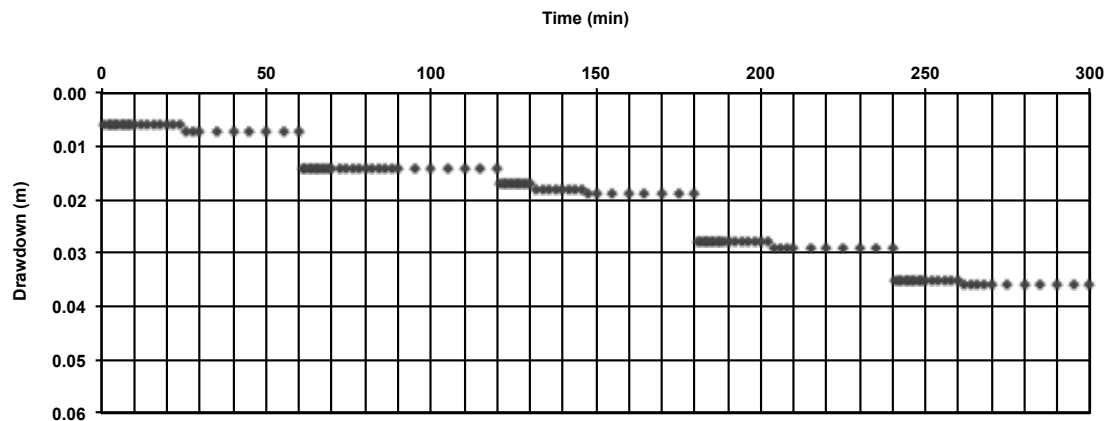
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК26
 Well Depth : 8,90 m
 Pump Setting : 5,90 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,55 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,38 m
 Pump on : 29/6/17 9:30
 Pump off : 29/6/17 14:30

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Step 5		
Q : 49,7 m3/d			Q : 95,3 m3/d			Q : 120,0 m3/d			Q : 180,4 m3/d			Q : 206,2 m3/d		
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1	4,388	0,006	61	4,396	0,014	121	4,399	0,017	181	4,410	0,028	241	4,417	0,035
2	4,388	0,006	62	4,396	0,014	122	4,399	0,017	182	4,410	0,028	242	4,417	0,035
3	4,388	0,006	63	4,396	0,014	123	4,399	0,017	183	4,410	0,028	243	4,417	0,035
4	4,388	0,006	64	4,396	0,014	124	4,399	0,017	184	4,410	0,028	244	4,417	0,035
5	4,388	0,006	65	4,396	0,014	125	4,399	0,017	185	4,410	0,028	245	4,417	0,035
6	4,388	0,006	66	4,396	0,014	126	4,399	0,017	186	4,410	0,028	246	4,417	0,035
7	4,388	0,006	67	4,396	0,014	127	4,399	0,017	187	4,410	0,028	247	4,417	0,035
8	4,388	0,006	68	4,396	0,014	128	4,399	0,017	188	4,410	0,028	248	4,417	0,035
9	4,388	0,006	69	4,396	0,014	129	4,399	0,017	189	4,410	0,028	249	4,417	0,035
10	4,388	0,006	70	4,396	0,014	130	4,399	0,017	190	4,410	0,028	250	4,417	0,035
12	4,388	0,006	72	4,396	0,014	132	4,400	0,018	192	4,410	0,028	252	4,417	0,035
14	4,388	0,006	74	4,396	0,014	134	4,400	0,018	194	4,410	0,028	254	4,417	0,035
16	4,388	0,006	76	4,396	0,014	136	4,400	0,018	196	4,410	0,028	256	4,417	0,035
18	4,388	0,006	78	4,396	0,014	138	4,400	0,018	198	4,410	0,028	258	4,417	0,035
20	4,388	0,006	80	4,396	0,014	140	4,400	0,018	200	4,410	0,028	260	4,417	0,035
22	4,388	0,006	82	4,396	0,014	142	4,400	0,018	202	4,410	0,028	262	4,418	0,036
24	4,388	0,006	84	4,396	0,014	144	4,400	0,018	204	4,411	0,029	264	4,418	0,036
26	4,389	0,007	86	4,396	0,014	146	4,400	0,018	206	4,411	0,029	266	4,418	0,036
28	4,389	0,007	88	4,396	0,014	148	4,401	0,019	208	4,411	0,029	268	4,418	0,036
30	4,389	0,007	90	4,396	0,014	150	4,401	0,019	210	4,411	0,029	270	4,418	0,036
35	4,389	0,007	95	4,396	0,014	155	4,401	0,019	215	4,411	0,029	275	4,418	0,036
40	4,389	0,007	100	4,396	0,014	160	4,401	0,019	220	4,411	0,029	280	4,418	0,036
45	4,389	0,007	105	4,396	0,014	165	4,401	0,019	225	4,411	0,029	285	4,418	0,036
50	4,389	0,007	110	4,396	0,014	170	4,401	0,019	230	4,411	0,029	290	4,418	0,036
55	4,389	0,007	115	4,396	0,014	175	4,401	0,019	235	4,411	0,029	295	4,418	0,036
60	4,389	0,007	120	4,396	0,014	180	4,401	0,019	240	4,411	0,029	300	4,418	0,036

Chart of Step Test Data



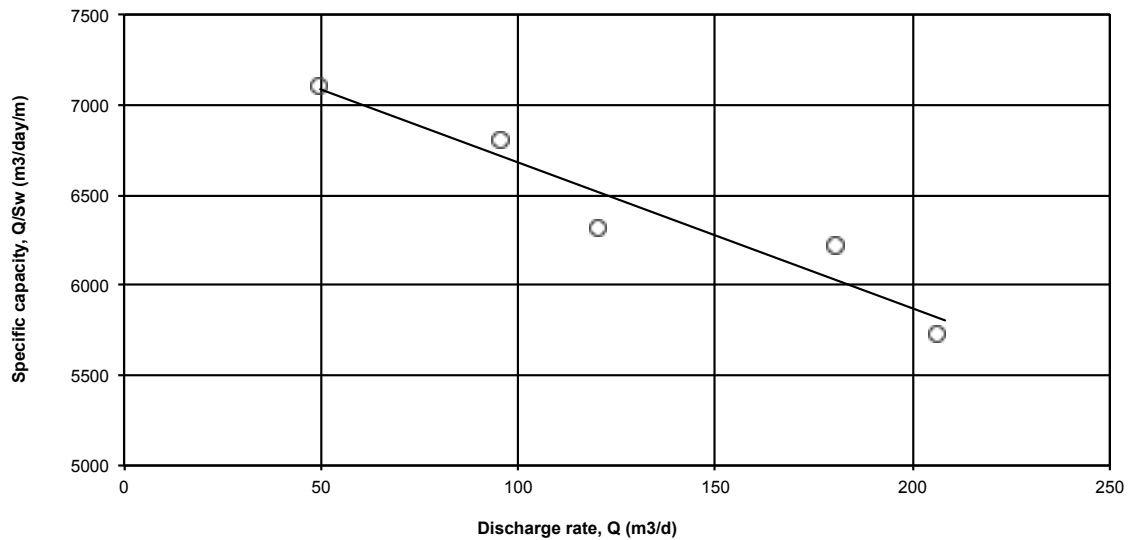
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПK26
 Well Depth : 8,90 m
 Pump Setting : 5,90 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

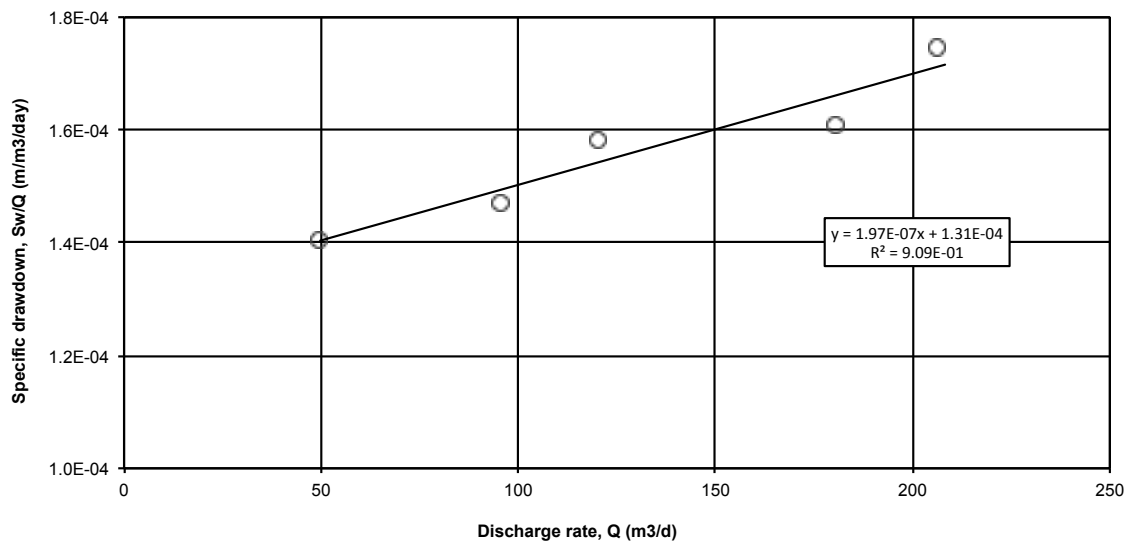
Height above ground : 0,55 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,38 m
 Pump on : 29/6/17 9:30
 Pump off : 29/6/17 14:30

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	49,7	0,01	1,41E-04	7.105,71	
Step 2	95,3	0,01	1,47E-04	6.804,29	
Step 3	120,0	0,02	1,58E-04	6.315,79	
Step 4	180,4	0,03	1,61E-04	6.220,00	
Step 5	206,2	0,04	1,75E-04	5.728,06	
LSRL Equation: $y = 1,97E-07x + 1,31E-04$					
B Factor (day/m2): 1,31E-04					
C Factor (day2/m5): 1,97E-07					
C Factor (min2/m5): 0,41					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



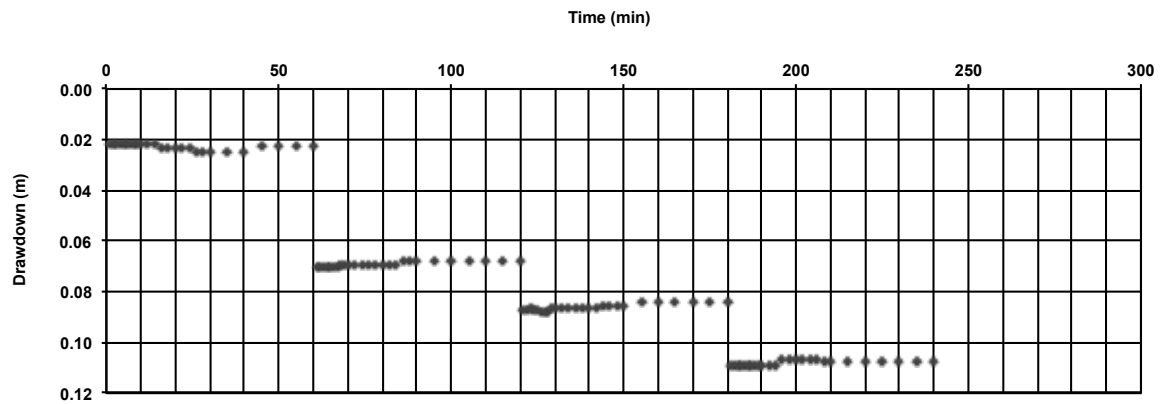
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК27
 Well Depth : 9,45 m
 Pump Setting : 6,50 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,75 m
 Oil Density: 0,8328 Kg/L
 Depth to Oil Level : 4,58 m
 Depth to Water Level : 4,64 m
 Depth to Static Water Level : 4,59 m
 Pump on : 4/5/17 8:00
 Pump off : 4/5/17 12:00

Step 1				Step 2				Step 3				Step 4			
Q : 49,6 m3/d				Q : 141,9 m3/d				Q : 168,8 m3/d				Q : 210,7 m3/d			
Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)
1	4,678	4,598	0,021	61	4,770	4,638	0,070	121	4,795	4,654	0,088	181	4,847	4,669	0,109
2	4,678	4,598	0,021	62	4,770	4,638	0,070	122	4,795	4,654	0,088	182	4,847	4,669	0,109
3	4,678	4,598	0,021	63	4,770	4,638	0,070	123	4,795	4,653	0,087	183	4,847	4,669	0,109
4	4,678	4,598	0,021	64	4,770	4,638	0,070	124	4,800	4,653	0,088	184	4,847	4,669	0,109
5	4,678	4,598	0,021	65	4,770	4,638	0,070	125	4,800	4,653	0,088	185	4,847	4,669	0,109
6	4,678	4,598	0,021	66	4,770	4,638	0,070	126	4,802	4,653	0,088	186	4,847	4,669	0,109
7	4,678	4,598	0,021	67	4,770	4,638	0,070	127	4,802	4,653	0,088	187	4,847	4,669	0,109
8	4,678	4,598	0,021	68	4,772	4,637	0,070	128	4,802	4,653	0,088	188	4,847	4,669	0,109
9	4,678	4,598	0,021	69	4,772	4,637	0,070	129	4,804	4,651	0,087	189	4,847	4,669	0,109
10	4,678	4,598	0,021	70	4,772	4,637	0,070	130	4,804	4,651	0,087	190	4,847	4,669	0,109
12	4,678	4,598	0,021	72	4,775	4,636	0,069	132	4,804	4,651	0,087	192	4,847	4,669	0,109
14	4,678	4,598	0,021	74	4,775	4,636	0,069	134	4,804	4,651	0,087	194	4,847	4,669	0,109
16	4,680	4,600	0,023	76	4,775	4,636	0,069	136	4,806	4,650	0,086	196	4,847	4,667	0,107
18	4,680	4,600	0,023	78	4,775	4,636	0,069	138	4,806	4,650	0,086	198	4,847	4,667	0,107
20	4,680	4,600	0,023	80	4,775	4,636	0,069	140	4,806	4,650	0,086	200	4,847	4,667	0,107
22	4,680	4,600	0,023	82	4,775	4,636	0,069	142	4,806	4,650	0,086	202	4,847	4,667	0,107
24	4,680	4,600	0,023	84	4,775	4,636	0,069	144	4,808	4,649	0,086	204	4,847	4,667	0,107
26	4,690	4,600	0,025	86	4,777	4,634	0,068	146	4,808	4,649	0,086	206	4,847	4,667	0,107
28	4,690	4,600	0,025	88	4,777	4,634	0,068	148	4,808	4,649	0,086	208	4,849	4,667	0,107
30	4,690	4,600	0,025	90	4,777	4,634	0,068	150	4,808	4,649	0,086	210	4,849	4,667	0,107
35	4,690	4,600	0,025	95	4,777	4,634	0,068	155	4,810	4,647	0,084	215	4,849	4,667	0,107
40	4,690	4,600	0,025	100	4,777	4,634	0,068	160	4,810	4,647	0,084	220	4,850	4,667	0,108
45	4,692	4,596	0,022	105	4,777	4,634	0,068	165	4,810	4,647	0,084	225	4,850	4,667	0,108
50	4,692	4,596	0,022	110	4,777	4,634	0,068	170	4,810	4,647	0,084	230	4,850	4,667	0,108
55	4,692	4,596	0,022	115	4,777	4,634	0,068	175	4,810	4,647	0,084	235	4,850	4,667	0,108
60	4,692	4,596	0,022	120	4,777	4,634	0,068	180	4,810	4,647	0,084	240	4,850	4,667	0,108

Chart of Step Test Data



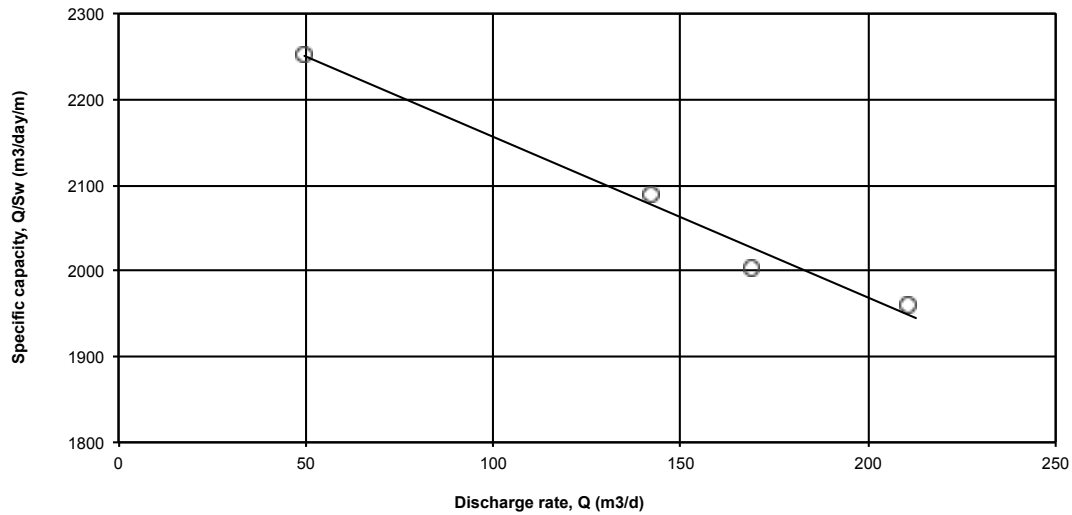
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПK27
 Well Depth : 9,45 m
 Pump Setting : 6,50 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

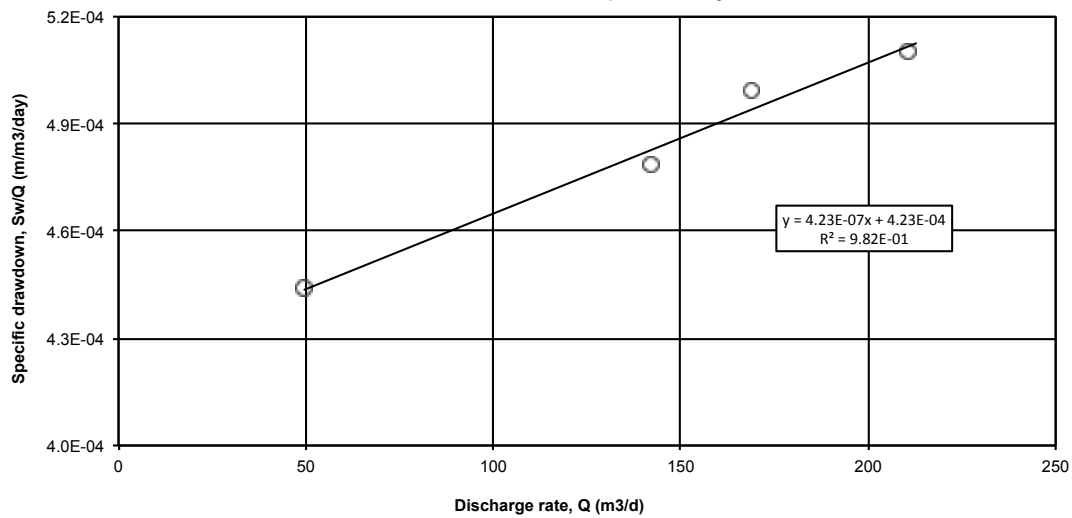
Height above ground : 0,75 m
 Oil Density: 0,8328 Kg/L
 Depth to Static Oil Level : 4,58 m
 Depth to Static Water Level : 4,64 m
 Depth to Static Water Level : 4,59 m
 Pump on : 4/5/17 8:00
 Pump off : 4/5/17 12:00

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	49,6	0,02	4,44E-04	2.251,67	
Step 2	141,9	0,07	4,78E-04	2.090,38	
Step 3	168,8	0,08	4,99E-04	2.003,64	
Step 4	210,7	0,11	5,10E-04	1.959,08	
LSRL Equation: $y = 4,23E-07x + 4,23E-04$					
B Factor (day/m2): 4,23E-04					
C Factor (day2/m5): 4,23E-07					
C Factor (min2/m5): 0,88					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



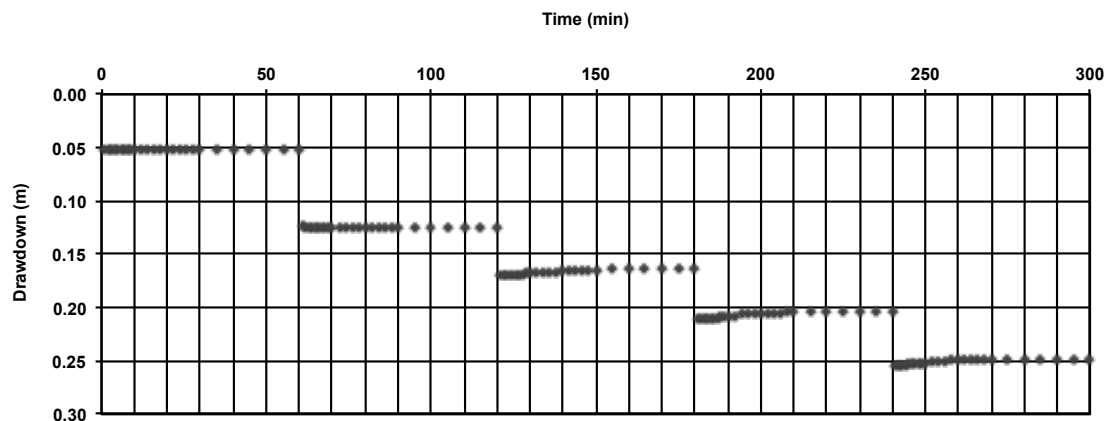
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК28
 Well Depth : 8,40 m
 Pump Setting : 5,50 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,45 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,69 m
 Pump on : 5/5/17 8:40
 Pump off : 5/5/17 13:40

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Step 5		
Q : 47,6 m3/d			Q : 112,9 m3/d			Q : 146,4 m3/d			Q : 180,8 m3/d			Q : 219,3 m3/d		
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1	3,741	0,051	61	3,813	0,123	121	3,859	0,169	181	3,900	0,210	241	3,945	0,255
2	3,741	0,051	62	3,814	0,124	122	3,859	0,169	182	3,900	0,210	242	3,945	0,255
3	3,741	0,051	63	3,814	0,124	123	3,859	0,169	183	3,900	0,210	243	3,945	0,255
4	3,742	0,052	64	3,814	0,124	124	3,859	0,169	184	3,900	0,210	244	3,945	0,255
5	3,742	0,052	65	3,815	0,125	125	3,859	0,169	185	3,900	0,210	245	3,943	0,253
6	3,742	0,052	66	3,815	0,125	126	3,859	0,169	186	3,900	0,210	246	3,943	0,253
7	3,742	0,052	67	3,815	0,125	127	3,859	0,169	187	3,900	0,210	247	3,943	0,253
8	3,742	0,052	68	3,815	0,125	128	3,859	0,169	188	3,897	0,207	248	3,943	0,253
9	3,742	0,052	69	3,815	0,125	129	3,857	0,167	189	3,897	0,207	249	3,942	0,252
10	3,742	0,052	70	3,815	0,125	130	3,857	0,167	190	3,897	0,207	250	3,942	0,252
12	3,742	0,052	72	3,815	0,125	132	3,857	0,167	192	3,897	0,207	252	3,941	0,251
14	3,742	0,052	74	3,815	0,125	134	3,857	0,167	194	3,896	0,206	254	3,941	0,251
16	3,742	0,052	76	3,815	0,125	136	3,857	0,167	196	3,896	0,206	256	3,941	0,251
18	3,742	0,052	78	3,815	0,125	138	3,857	0,167	198	3,896	0,206	258	3,939	0,249
20	3,742	0,052	80	3,815	0,125	140	3,855	0,165	200	3,895	0,205	260	3,939	0,249
22	3,742	0,052	82	3,815	0,125	142	3,855	0,165	202	3,895	0,205	262	3,939	0,249
24	3,742	0,052	84	3,815	0,125	144	3,855	0,165	204	3,895	0,205	264	3,938	0,248
26	3,742	0,052	86	3,815	0,125	146	3,855	0,165	206	3,895	0,205	266	3,938	0,248
28	3,742	0,052	88	3,815	0,125	148	3,855	0,165	208	3,893	0,203	268	3,938	0,248
30	3,742	0,052	90	3,815	0,125	150	3,855	0,165	210	3,893	0,203	270	3,938	0,248
35	3,742	0,052	95	3,815	0,125	155	3,853	0,163	215	3,893	0,203	275	3,938	0,248
40	3,742	0,052	100	3,815	0,125	160	3,853	0,163	220	3,893	0,203	280	3,938	0,248
45	3,742	0,052	105	3,815	0,125	165	3,853	0,163	225	3,893	0,203	285	3,938	0,248
50	3,742	0,052	110	3,815	0,125	170	3,853	0,163	230	3,893	0,203	290	3,938	0,248
55	3,742	0,052	115	3,815	0,125	175	3,853	0,163	235	3,893	0,203	295	3,938	0,248
60	3,742	0,052	120	3,815	0,125	180	3,853	0,163	240	3,893	0,203	300	3,938	0,248

Chart of Step Test Data



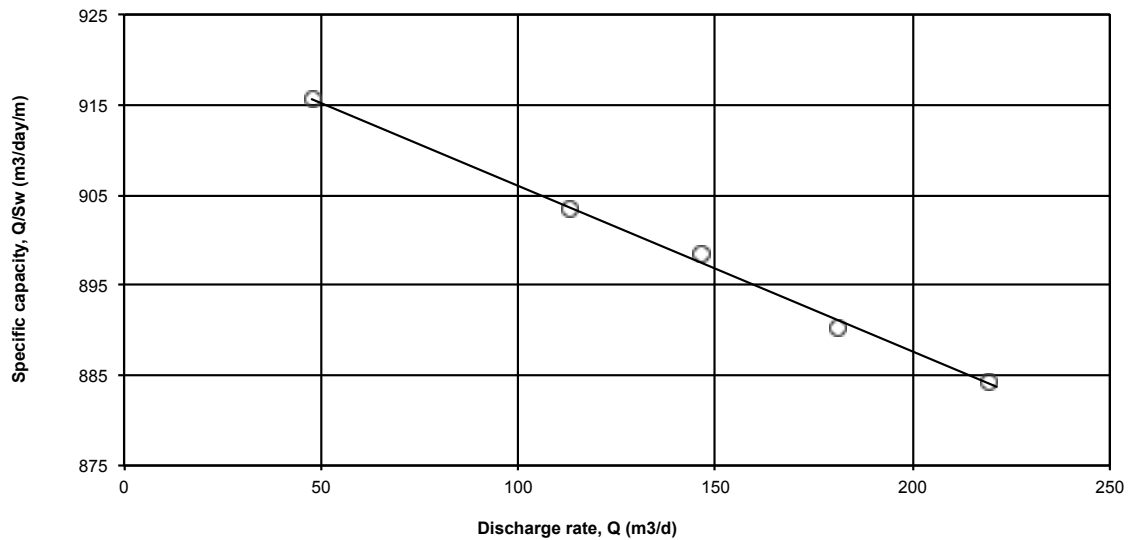
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК28
 Well Depth : 8,40 m
 Pump Setting : 5,50 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

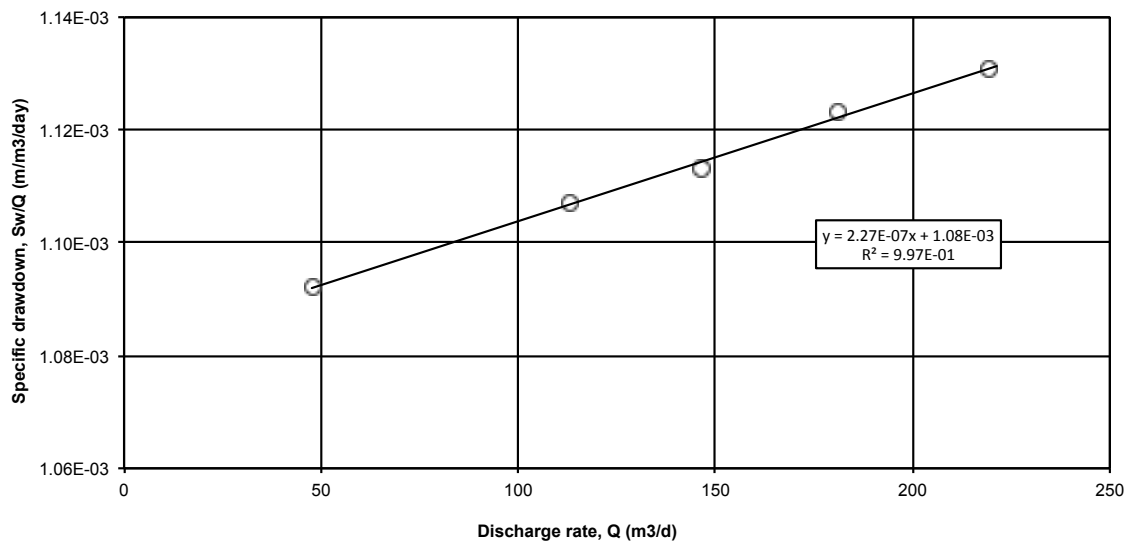
Height above ground : 0,45 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,69 m
 Pump on : 5/5/17 8:40
 Pump off : 5/5/17 13:40

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	47,6	0,05	1,09E-03	915,58	
Step 2	112,9	0,13	1,11E-03	903,36	
Step 3	146,4	0,16	1,11E-03	898,40	
Step 4	180,8	0,20	1,12E-03	890,39	
Step 5	219,3	0,25	1,13E-03	884,27	
LSRL Equation: $y = 2,27E-07x + 1,08E-03$					
B Factor (day/m2): 1,08E-03					
C Factor (day2/m5): 2,27E-07					
C Factor (min2/m5): 0,47					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



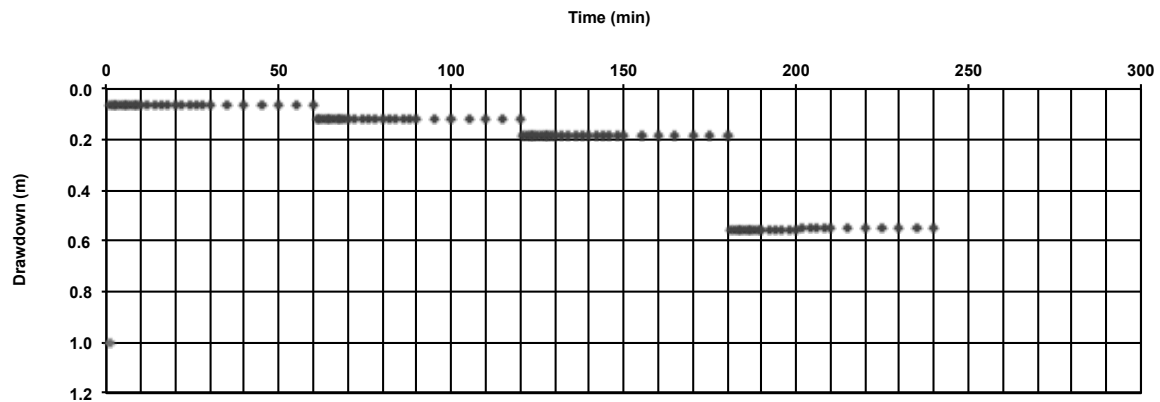
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК29
 Well Depth : 8,40 m
 Pump Setting : 5,90 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,55 m
 Oil Density: 0,8313 Kg/L
 Depth to Oil Level : 3,59 m
 Depth to Water Level : 3,64 m
 Depth to Static Water Level : 3,60 m
 Pump on : 14/6/17 9:00
 Pump off : 14/6/17 13:00

Step 1				Step 2				Step 3				Step 4			
Q : 43,0 m3/d				Q : 79,9 m3/d				Q : 122,8 m3/d				Q : 237,9 m3/d			
Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)
1	3,700	3,650	0,060	61	3,790	3,700	0,117	121	3,862	3,768	0,185	181	4,320	4,120	0,555
2	3,700	3,650	0,060	62	3,790	3,700	0,117	122	3,862	3,768	0,185	182	4,320	4,120	0,555
3	3,700	3,650	0,060	63	3,790	3,700	0,117	123	3,862	3,768	0,185	183	4,320	4,120	0,555
4	3,700	3,650	0,060	64	3,790	3,700	0,117	124	3,862	3,768	0,185	184	4,320	4,120	0,555
5	3,700	3,650	0,060	65	3,790	3,700	0,117	125	3,862	3,768	0,185	185	4,320	4,120	0,555
6	3,700	3,650	0,060	66	3,790	3,700	0,117	126	3,862	3,768	0,185	186	4,320	4,120	0,555
7	3,700	3,650	0,060	67	3,790	3,700	0,117	127	3,862	3,768	0,185	187	4,320	4,120	0,555
8	3,700	3,650	0,060	68	3,790	3,700	0,117	128	3,862	3,768	0,185	188	4,320	4,120	0,555
9	3,700	3,650	0,060	69	3,790	3,700	0,117	129	3,862	3,768	0,185	189	4,320	4,120	0,555
10	3,700	3,650	0,060	70	3,790	3,700	0,117	130	3,862	3,768	0,185	190	4,320	4,120	0,555
12	3,700	3,650	0,060	72	3,790	3,700	0,117	132	3,862	3,768	0,185	192	4,320	4,120	0,555
14	3,700	3,650	0,060	74	3,790	3,700	0,117	134	3,862	3,768	0,185	194	4,320	4,120	0,555
16	3,700	3,650	0,060	76	3,795	3,705	0,122	136	3,862	3,768	0,185	196	4,330	4,120	0,557
18	3,700	3,650	0,060	78	3,795	3,705	0,122	138	3,862	3,768	0,185	198	4,330	4,120	0,557
20	3,700	3,650	0,060	80	3,795	3,705	0,122	140	3,862	3,768	0,185	200	4,330	4,120	0,557
22	3,700	3,650	0,060	82	3,795	3,705	0,122	142	3,862	3,768	0,185	202	4,330	4,110	0,549
24	3,700	3,650	0,060	84	3,795	3,705	0,122	144	3,864	3,770	0,187	204	4,330	4,110	0,549
26	3,700	3,650	0,060	86	3,795	3,705	0,122	146	3,864	3,770	0,187	206	4,330	4,110	0,549
28	3,700	3,650	0,060	88	3,795	3,705	0,122	148	3,864	3,770	0,187	208	4,330	4,110	0,549
30	3,700	3,650	0,060	90	3,795	3,705	0,122	150	3,864	3,770	0,187	210	4,330	4,110	0,549
35	3,700	3,650	0,060	95	3,795	3,705	0,122	155	3,864	3,770	0,187	215	4,330	4,110	0,549
40	3,700	3,650	0,060	100	3,795	3,705	0,122	160	3,864	3,770	0,187	220	4,330	4,110	0,549
45	3,700	3,650	0,060	105	3,795	3,705	0,122	165	3,864	3,770	0,187	225	4,330	4,110	0,549
50	3,700	3,650	0,060	110	3,795	3,705	0,122	170	3,864	3,770	0,187	230	4,330	4,110	0,549
55	3,700	3,650	0,060	115	3,795	3,705	0,122	175	3,864	3,770	0,187	235	4,330	4,110	0,549
60	3,700	3,650	0,060	120	3,795	3,705	0,122	180	3,864	3,770	0,187	240	4,330	4,110	0,549

Chart of Step Test Data



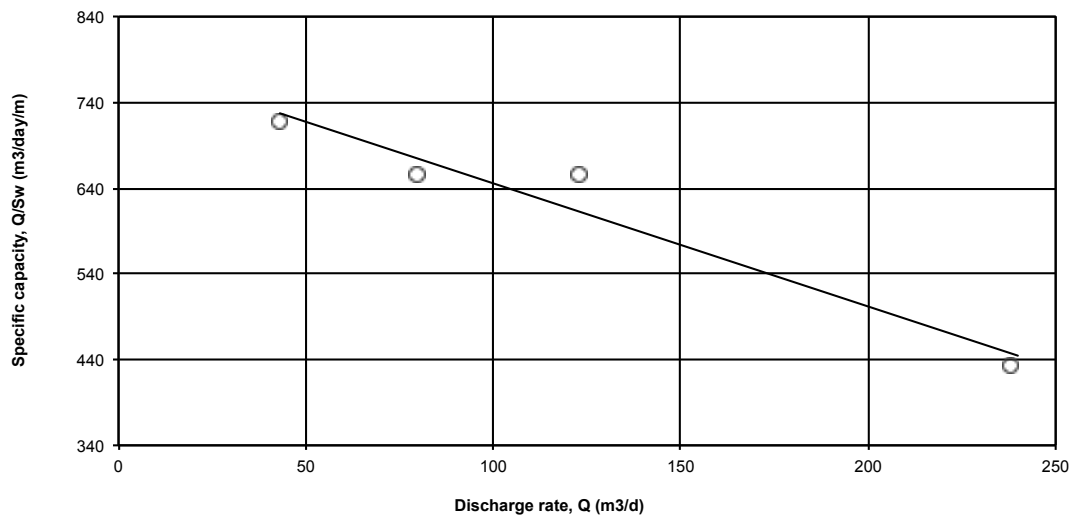
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПK29
 Well Depth : 8,40 m
 Pump Setting : 5,90 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

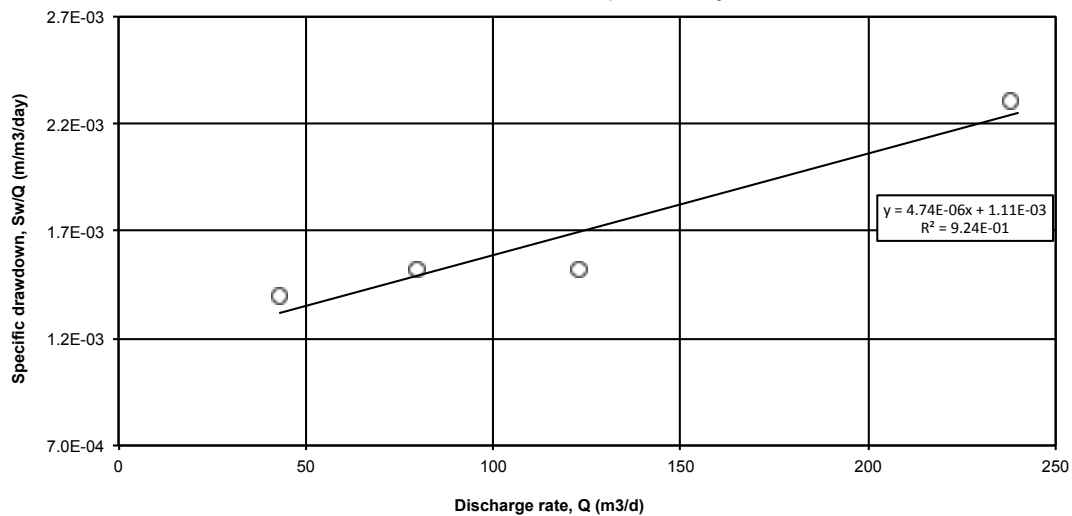
Height above ground : 0,55 m
 Oil Density: 0,8313 Kg/L
 Depth to Static Oil Level : 3,59 m
 Depth to Static Water Level : 3,64 m
 Depth to Static Water Level : 3,60 m
 Pump on : 14/6/17 9:00
 Pump off : 14/6/17 13:00

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	43,0	0,06	1,39E-03	717,33	
Step 2	79,9	0,12	1,52E-03	656,03	
Step 3	122,8	0,19	1,53E-03	655,26	
Step 4	237,9	0,55	2,31E-03	433,62	
LSRL Equation: $y = 4,74E-06x + 1,11E-03$					
B Factor (day/m2): 1,11E-03					
C Factor (day2/m5): 4,74E-06					
C Factor (min2/m5): 9,83					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



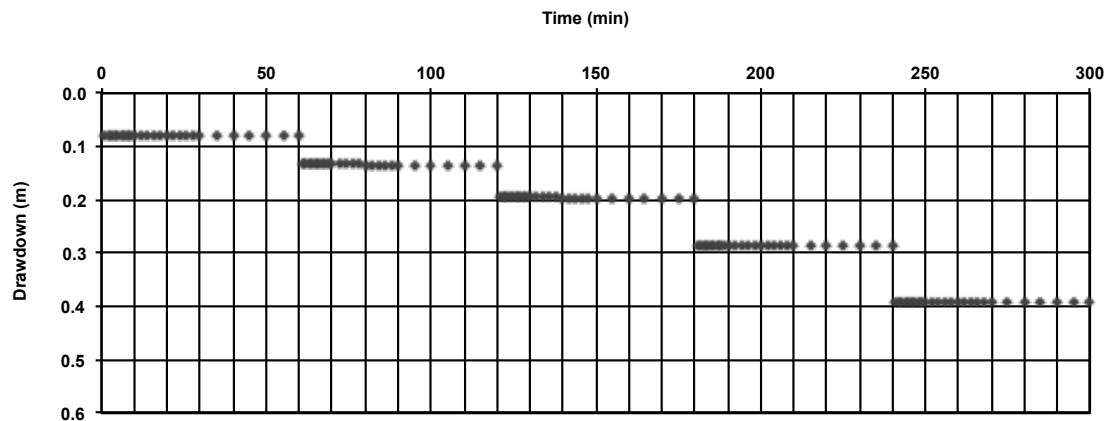
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПК32
 Well Depth : 8,20 m
 Pump Setting : 5,85 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,45 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,49 m
 Pump on : 16/6/17 9:15
 Pump off : 16/6/2017 2:15:

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Step 5		
Q : 36,9 m3/d			Q : 62,4 m3/d			Q : 88,1 m3/d			Q : 126,8 m3/d			Q : 168,9 m3/d		
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1	3,568	0,078	61	3,624	0,134	121	3,685	0,195	181	3,778	0,288	241	3,880	0,390
2	3,568	0,078	62	3,624	0,134	122	3,685	0,195	182	3,778	0,288	242	3,880	0,390
3	3,568	0,078	63	3,624	0,134	123	3,685	0,195	183	3,778	0,288	243	3,880	0,390
4	3,568	0,078	64	3,624	0,134	124	3,685	0,195	184	3,778	0,288	244	3,880	0,390
5	3,568	0,078	65	3,624	0,134	125	3,685	0,195	185	3,778	0,288	245	3,880	0,390
6	3,568	0,078	66	3,624	0,134	126	3,685	0,195	186	3,778	0,288	246	3,880	0,390
7	3,568	0,078	67	3,624	0,134	127	3,685	0,195	187	3,778	0,288	247	3,880	0,390
8	3,568	0,078	68	3,624	0,134	128	3,685	0,195	188	3,778	0,288	248	3,880	0,390
9	3,568	0,078	69	3,624	0,134	129	3,685	0,195	189	3,778	0,288	249	3,880	0,390
10	3,568	0,078	70	3,624	0,134	130	3,685	0,195	190	3,778	0,288	250	3,880	0,390
12	3,568	0,078	72	3,624	0,134	132	3,685	0,195	192	3,778	0,288	252	3,880	0,390
14	3,568	0,078	74	3,624	0,134	134	3,685	0,195	194	3,778	0,288	254	3,880	0,390
16	3,568	0,078	76	3,624	0,134	136	3,685	0,195	196	3,778	0,288	256	3,880	0,390
18	3,569	0,079	78	3,624	0,134	138	3,685	0,195	198	3,778	0,288	258	3,880	0,390
20	3,569	0,079	80	3,625	0,135	140	3,686	0,196	200	3,778	0,288	260	3,880	0,390
22	3,569	0,079	82	3,625	0,135	142	3,686	0,196	202	3,778	0,288	262	3,880	0,390
24	3,569	0,079	84	3,625	0,135	144	3,686	0,196	204	3,778	0,288	264	3,880	0,390
26	3,569	0,079	86	3,625	0,135	146	3,686	0,196	206	3,778	0,288	266	3,880	0,390
28	3,569	0,079	88	3,625	0,135	148	3,686	0,196	208	3,778	0,288	268	3,880	0,390
30	3,569	0,079	90	3,625	0,135	150	3,686	0,196	210	3,778	0,288	270	3,880	0,390
35	3,569	0,079	95	3,625	0,135	155	3,686	0,196	215	3,778	0,288	275	3,880	0,390
40	3,569	0,079	100	3,625	0,135	160	3,686	0,196	220	3,778	0,288	280	3,880	0,390
45	3,569	0,079	105	3,625	0,135	165	3,686	0,196	225	3,778	0,288	285	3,880	0,390
50	3,569	0,079	110	3,625	0,135	170	3,686	0,196	230	3,778	0,288	290	3,880	0,390
55	3,569	0,079	115	3,625	0,135	175	3,686	0,196	235	3,778	0,288	295	3,880	0,390
60	3,569	0,079	120	3,625	0,135	180	3,686	0,196	240	3,778	0,288	300	3,880	0,390

Chart of Step Test Data



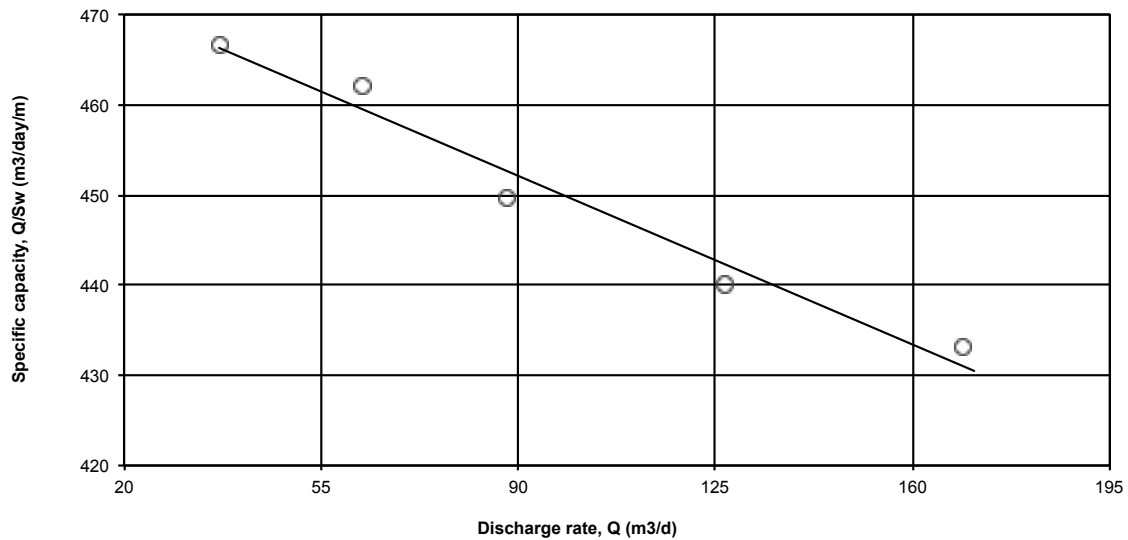
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПK32
 Well Depth : 8,20 m
 Pump Setting : 5,85 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

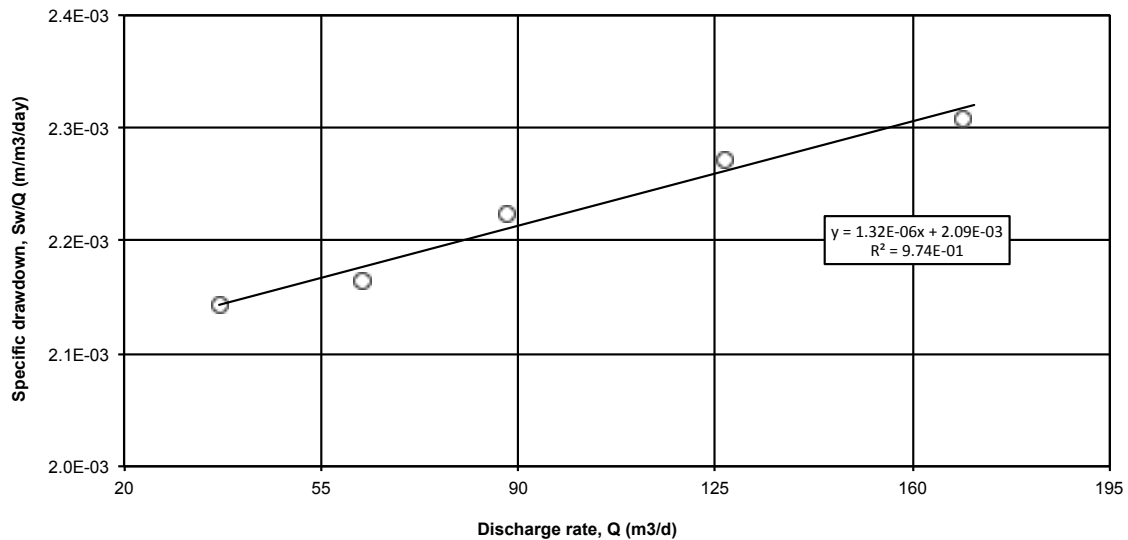
Height above ground : 0,45 m
 Oil Density : -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,49 m
 Pump on : 16/6/17 9:15
 Pump off : 16/6/2017 2:15:00 F

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	36,9	0,08	2,14E-03	466,71	
Step 2	62,4	0,14	2,16E-03	462,07	
Step 3	88,1	0,20	2,22E-03	449,69	
Step 4	126,8	0,29	2,27E-03	440,14	
Step 5	168,9	0,39	2,31E-03	433,13	
LSRL Equation: $y = 1,32E-06x + 2,09E-03$					
B Factor (day/m2): 2,09E-03					
C Factor (day2/m5): 1,32E-06					
C Factor (min2/m5): 2,74					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



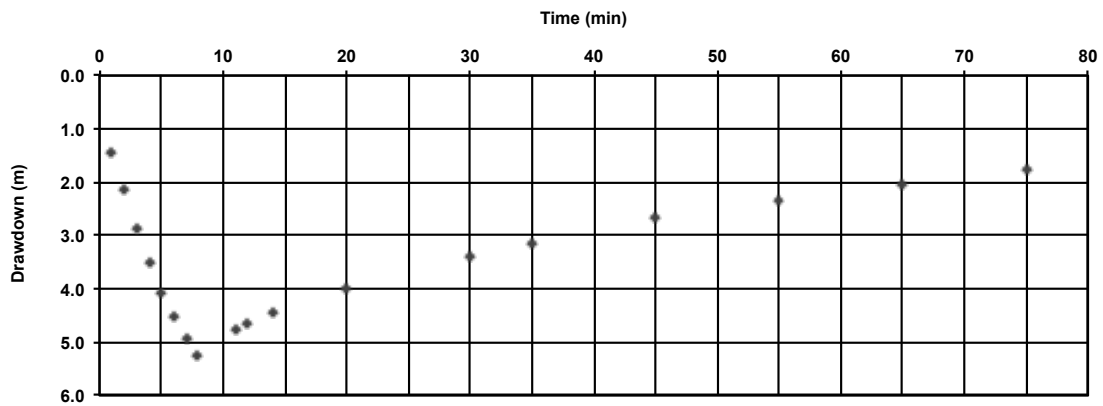
Step-Drawdown Tests

Measured by :
Name of Well : ПY2
Well Depth : 9,80 m
Pump Setting : 9,00 m
Length of Each Step : 10 min
Number of Steps : 1
Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,25 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 3,75 m
Pump on : 23/6/17 9:30
Pump off : 23/6/17 9:40

[illegible]

Chart of Step Test Data



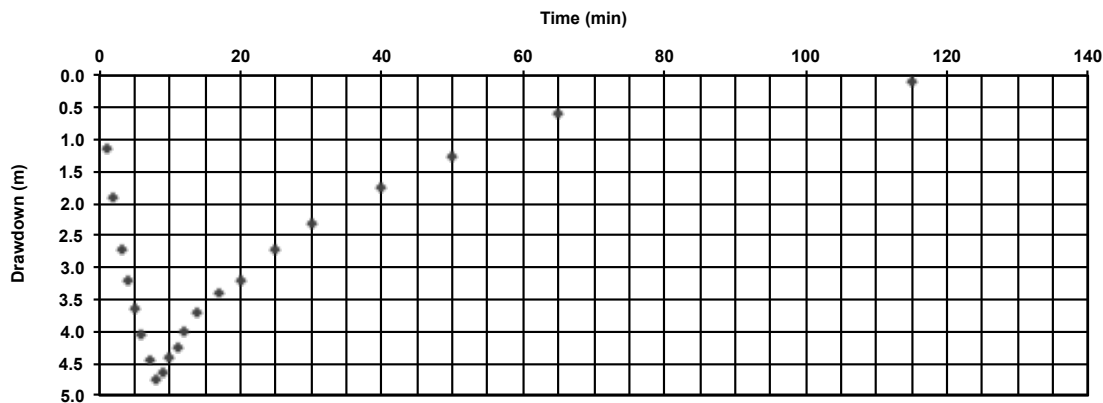
Step-Drawdown Tests

Measured by :
Name of Well : ПУ6
Well Depth : 11,00 m
Pump Setting : 9,40 m
Length of Each Step : 10 min
Number of Steps : 1
Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,45 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 4,64 m
Pump on : 23/6/17 11:00
Pump off : 23/6/17 11:10

[illegible]

Chart of Step Test Data



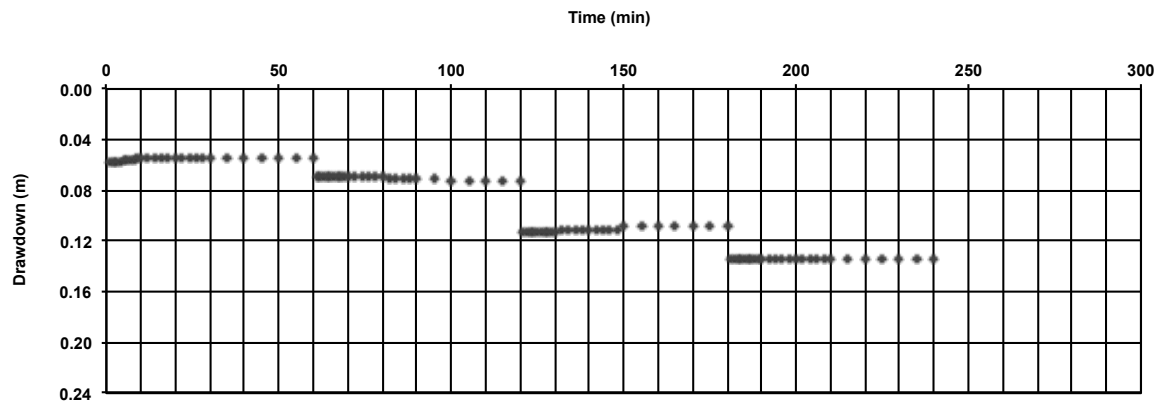
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY13
 Well Depth : 9,85 m
 Pump Setting : 6,10 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,85 m
 Oil Density: 0,8328 Kg/L
 Depth to Oil Level : 4,86 m
 Depth to Water Level : 4,92 m
 Depth to Static Water Level : 4,87 m
 Pump on : 25/5/17 8:50
 Pump off : 25/5/17 12:50

Step 1				Step 2				Step 3				Step 4			
Q : 52,9 m3/d				Q : 65,4 m3/d				Q : 92,7 m3/d				Q : 111,9 m3/d			
Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)
1	5,014	4,912	0,058	61	5,035	4,921	0,069	121	5,075	4,965	0,112	181	5,110	4,985	0,135
2	5,014	4,912	0,058	62	5,035	4,921	0,069	122	5,075	4,965	0,112	182	5,110	4,985	0,135
3	5,014	4,912	0,058	63	5,035	4,921	0,069	123	5,075	4,965	0,112	183	5,110	4,985	0,135
4	5,014	4,912	0,058	64	5,035	4,921	0,069	124	5,075	4,965	0,112	184	5,110	4,985	0,135
5	5,016	4,910	0,057	65	5,035	4,921	0,069	125	5,075	4,965	0,112	185	5,110	4,985	0,135
6	5,016	4,910	0,057	66	5,035	4,921	0,069	126	5,075	4,965	0,112	186	5,110	4,985	0,135
7	5,016	4,910	0,057	67	5,035	4,921	0,069	127	5,075	4,965	0,112	187	5,110	4,985	0,135
8	5,016	4,910	0,057	68	5,035	4,921	0,069	128	5,075	4,965	0,112	188	5,110	4,985	0,135
9	5,018	4,908	0,055	69	5,036	4,922	0,070	129	5,075	4,965	0,112	189	5,110	4,985	0,135
10	5,018	4,908	0,055	70	5,036	4,922	0,070	130	5,075	4,965	0,112	190	5,110	4,985	0,135
12	5,018	4,908	0,055	72	5,036	4,922	0,070	132	5,075	4,963	0,111	192	5,110	4,985	0,135
14	5,018	4,908	0,055	74	5,036	4,922	0,070	134	5,075	4,963	0,111	194	5,110	4,985	0,135
16	5,018	4,908	0,055	76	5,036	4,922	0,070	136	5,075	4,963	0,111	196	5,110	4,985	0,135
18	5,018	4,908	0,055	78	5,036	4,922	0,070	138	5,075	4,963	0,111	198	5,110	4,985	0,135
20	5,020	4,906	0,054	80	5,036	4,922	0,070	140	5,075	4,963	0,111	200	5,110	4,985	0,135
22	5,020	4,906	0,054	82	5,037	4,923	0,071	142	5,075	4,963	0,111	202	5,110	4,985	0,135
24	5,020	4,906	0,054	84	5,037	4,923	0,071	144	5,075	4,963	0,111	204	5,110	4,985	0,135
26	5,020	4,906	0,054	86	5,037	4,923	0,071	146	5,075	4,963	0,111	206	5,110	4,985	0,135
28	5,020	4,906	0,054	88	5,037	4,923	0,071	148	5,075	4,963	0,111	208	5,110	4,985	0,135
30	5,020	4,906	0,054	90	5,037	4,923	0,071	150	5,074	4,960	0,108	210	5,110	4,985	0,135
35	5,020	4,906	0,054	95	5,037	4,923	0,071	155	5,074	4,960	0,108	215	5,110	4,985	0,135
40	5,020	4,906	0,054	100	5,038	4,924	0,072	160	5,074	4,960	0,108	220	5,110	4,985	0,135
45	5,020	4,906	0,054	105	5,038	4,924	0,072	165	5,074	4,960	0,108	225	5,110	4,985	0,135
50	5,020	4,906	0,054	110	5,038	4,924	0,072	170	5,074	4,960	0,108	230	5,110	4,985	0,135
55	5,020	4,906	0,054	115	5,038	4,924	0,072	175	5,074	4,960	0,108	235	5,110	4,985	0,135
60	5,020	4,906	0,054	120	5,038	4,924	0,072	180	5,074	4,960	0,108	240	5,110	4,985	0,135

Chart of Step Test Data



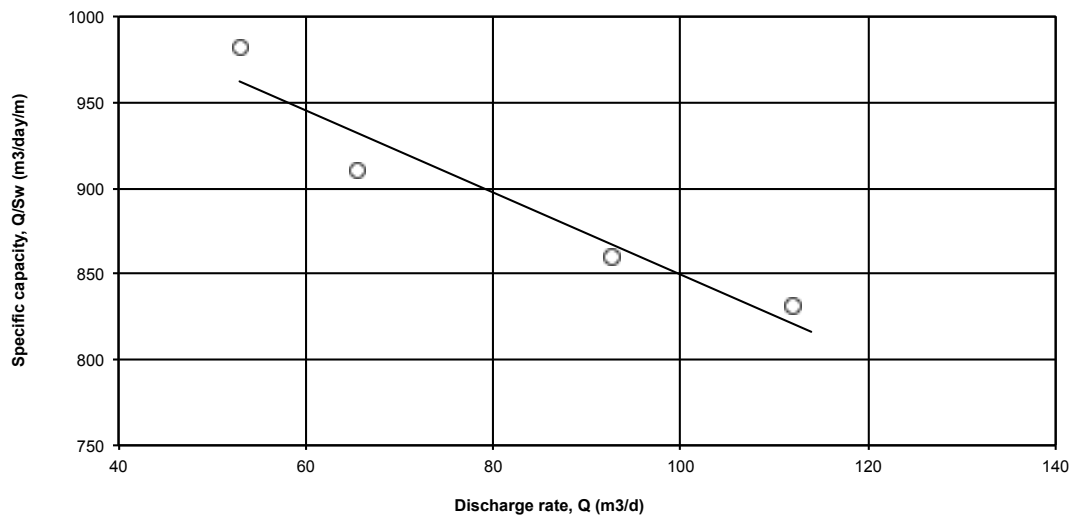
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY13
 Well Depth : 9,85 m
 Pump Setting : 6,10 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

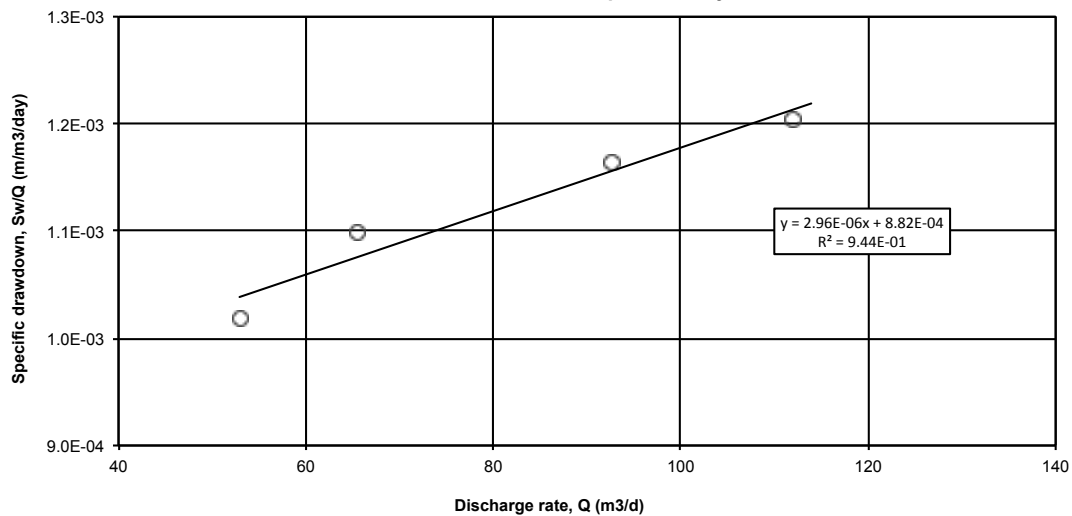
Height above ground : 0,85 m
 Oil Density: 0,8328 Kg/L
 Depth to Static Oil Level : 4,86 m
 Depth to Static Water Level : 4,92 m
 Depth to Static Water Level : 4,87 m
 Pump on : 25/5/17 8:50
 Pump off : 25/5/17 12:50

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	52,9	0,05	1,02E-03	982,27	
Step 2	65,4	0,07	1,10E-03	910,18	
Step 3	92,7	0,11	1,16E-03	859,41	
Step 4	111,9	0,13	1,20E-03	830,86	
LSRL Equation: $y = 2,96E-06x + 8,82E-04$					
B Factor (day/m2): 8,82E-04					
C Factor (day2/m5): 2,96E-06					
C Factor (min2/m5): 6,14					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



Step-Drawdown Tests

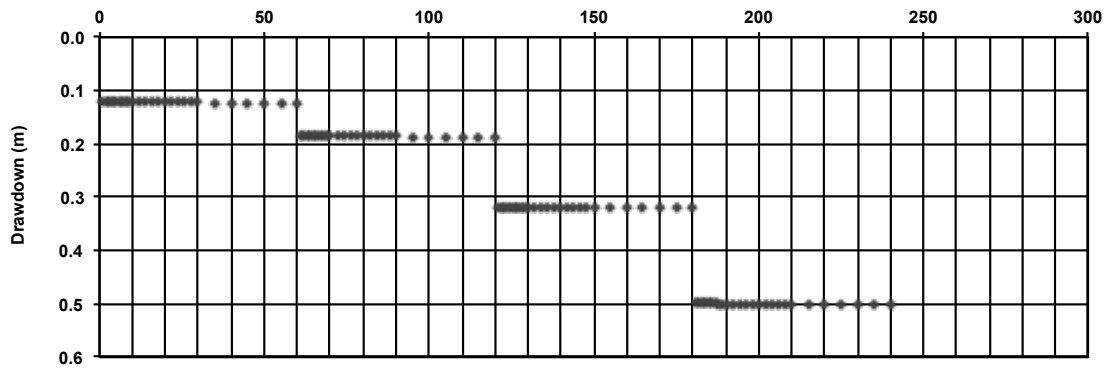
Measured by :
Name of Well : ΠΥ14
Well Depth : 9,10 m
Pump Setting : 6,00 m
Length of Each Step : 60 min
Number of Steps : 4
Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,15 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 3,71 m
Pump on : 24/5/17 10:00
Pump off : 24/5/17 14:00

[illegible]

Chart of Step Test Data

Time (min)



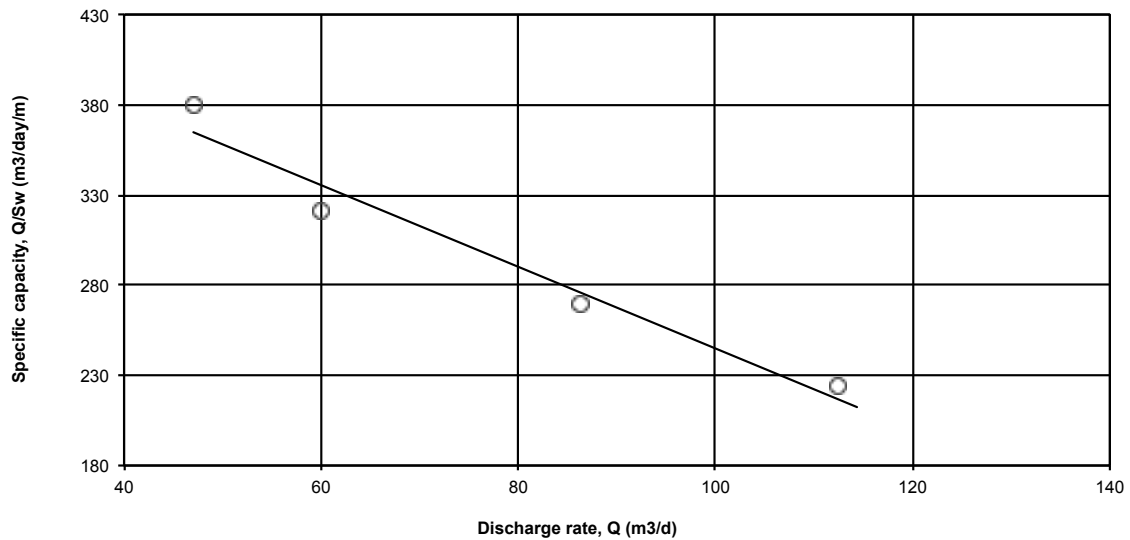
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY14
 Well Depth : 9,10 m
 Pump Setting : 6,00 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

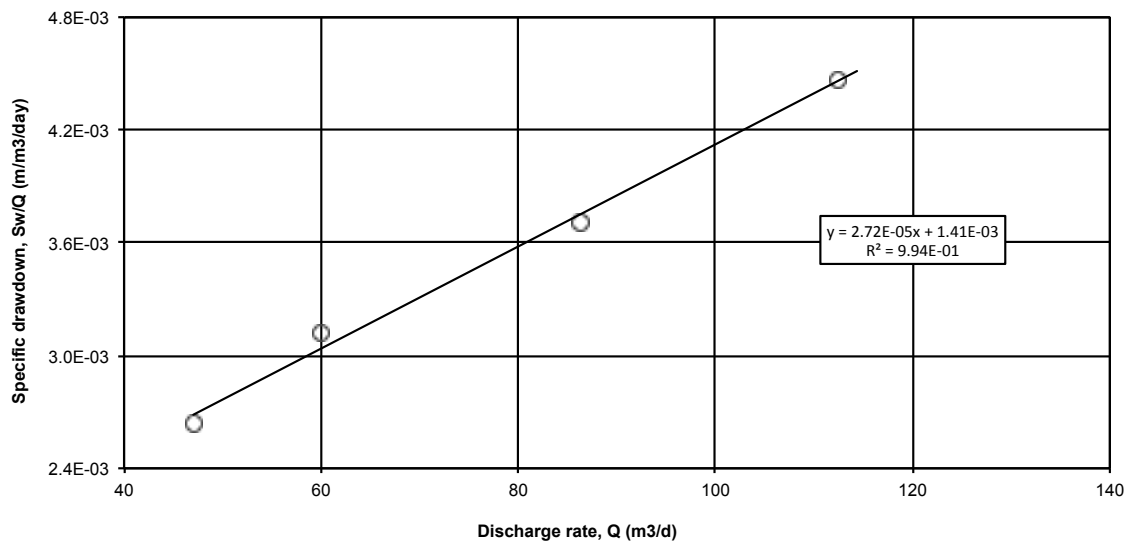
Height above ground : 0,15 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,71 m
 Pump on : 24/5/17 10:00
 Pump off : 24/5/17 14:00

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	47,0	0,12	2,64E-03	379,27	
Step 2	60,0	0,19	3,12E-03	320,75	
Step 3	86,2	0,32	3,71E-03	269,47	
Step 4	112,4	0,50	4,47E-03	223,80	
LSRL Equation: $y = 2,72E-05x + 1,41E-03$					
B Factor (day/m2): 1,41E-03					
C Factor (day2/m5): 2,72E-05					
C Factor (min2/m5): 56,40					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



Step-Drawdown Tests

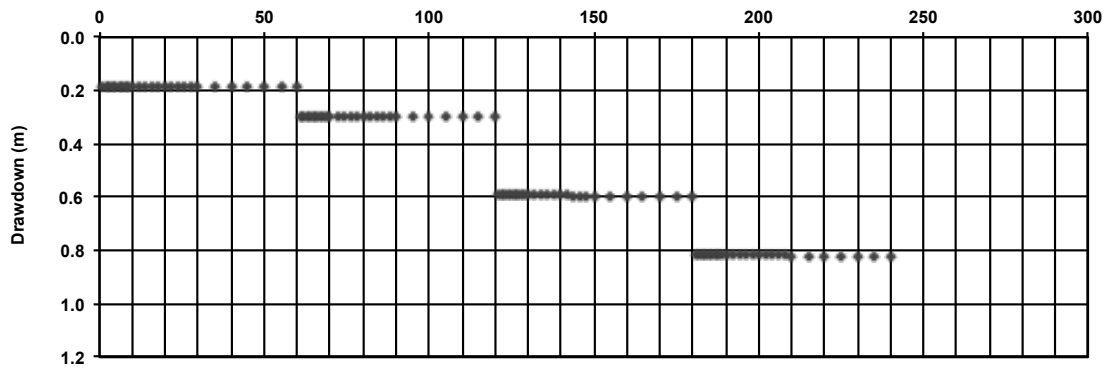
Measured by :
Name of Well : ΠΥ15
Well Depth : 10,85 m
Pump Setting : 6,15 m
Length of Each Step : 60 min
Number of Steps : 4
Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,50 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 4,32 m
Pump on : 29/5/17 9:30
Pump off : 29/5/17 13:30

[illegible]

Chart of Step Test Data

Time (min)



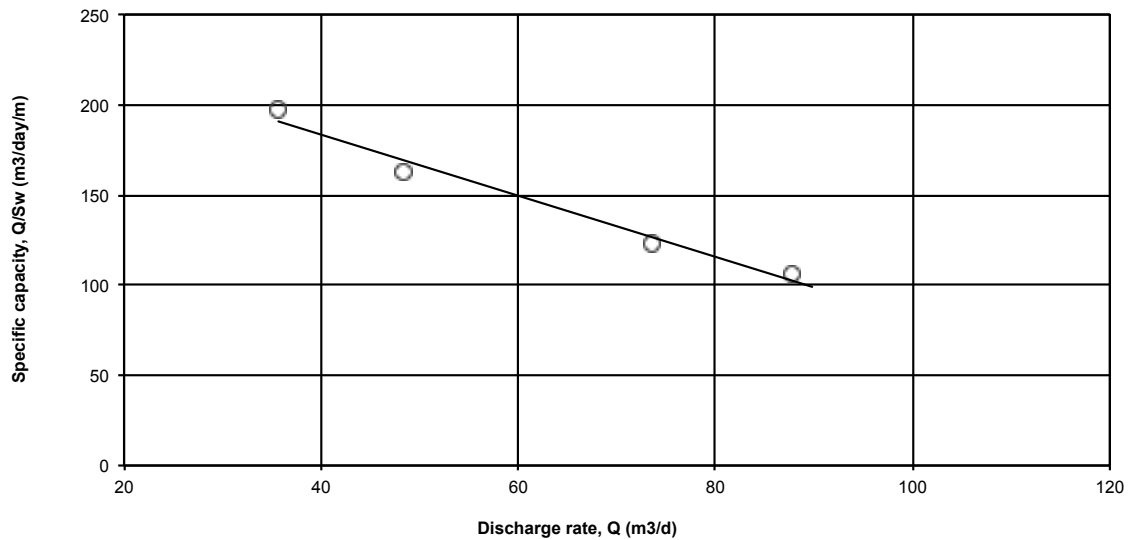
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY15
 Well Depth : 10,85 m
 Pump Setting : 6,15 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

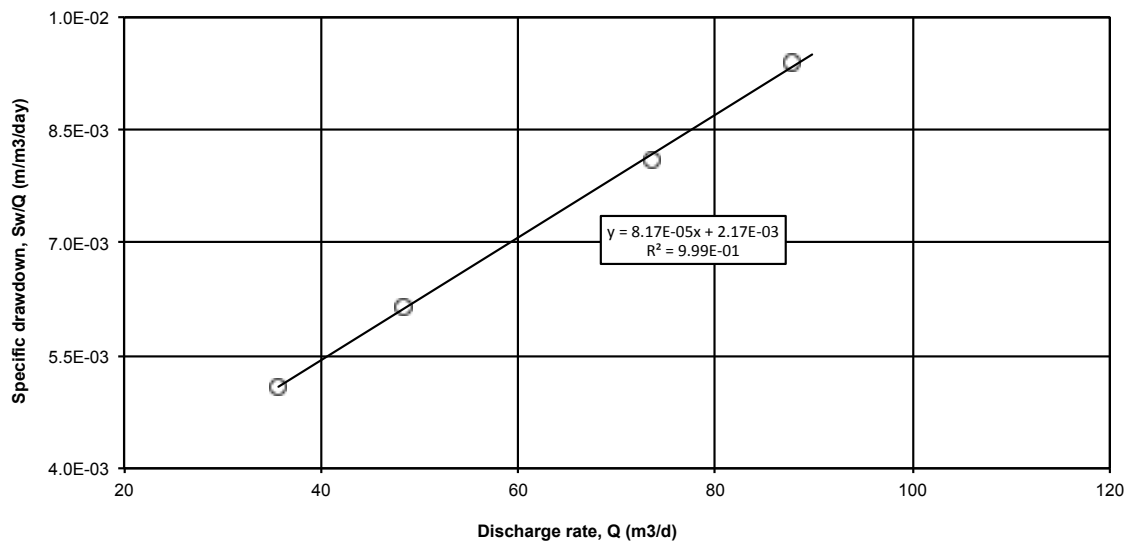
Height above ground : 0,50 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,32 m
 Pump on : 29/5/17 9:30
 Pump off : 29/5/17 13:30

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	35,7	0,18	5,08E-03	197,02	
Step 2	48,2	0,30	6,16E-03	162,42	
Step 3	73,5	0,60	8,09E-03	123,58	
Step 4	87,8	0,82	9,40E-03	106,42	
LSRL Equation: $y = 8,17E-05x + 2,17E-03$					
B Factor (day/m2): 2,17E-03					
C Factor (day2/m5): 8,17E-05					
C Factor (min2/m5): 169,41					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



Step-Drawdown Tests

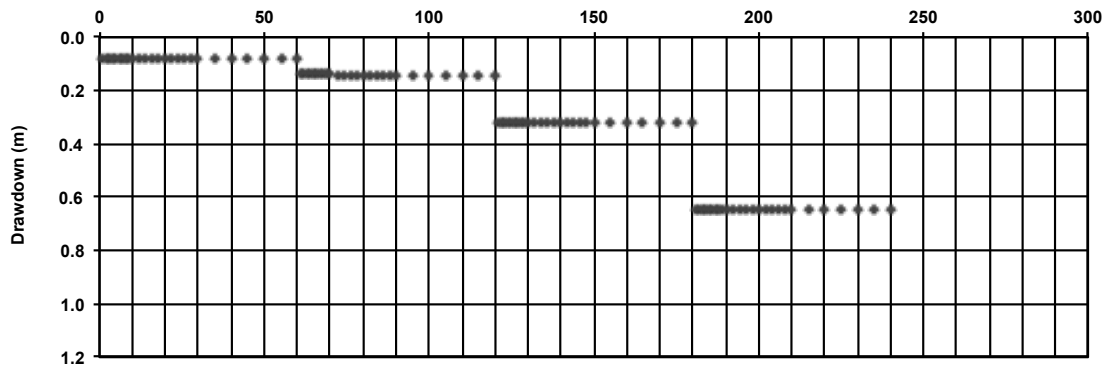
Measured by :
Name of Well : ΠΥ16
Well Depth : 9,00 m
Pump Setting : 6,00 m
Length of Each Step : 60 min
Number of Steps : 4
Reference point : Above ground level

Height above ground : 1,10 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 4,48 m
Pump on : 30/5/17 9:30
Pump off : 30/5/17 13:30

[illegible]

Chart of Step Test Data

Time (min)



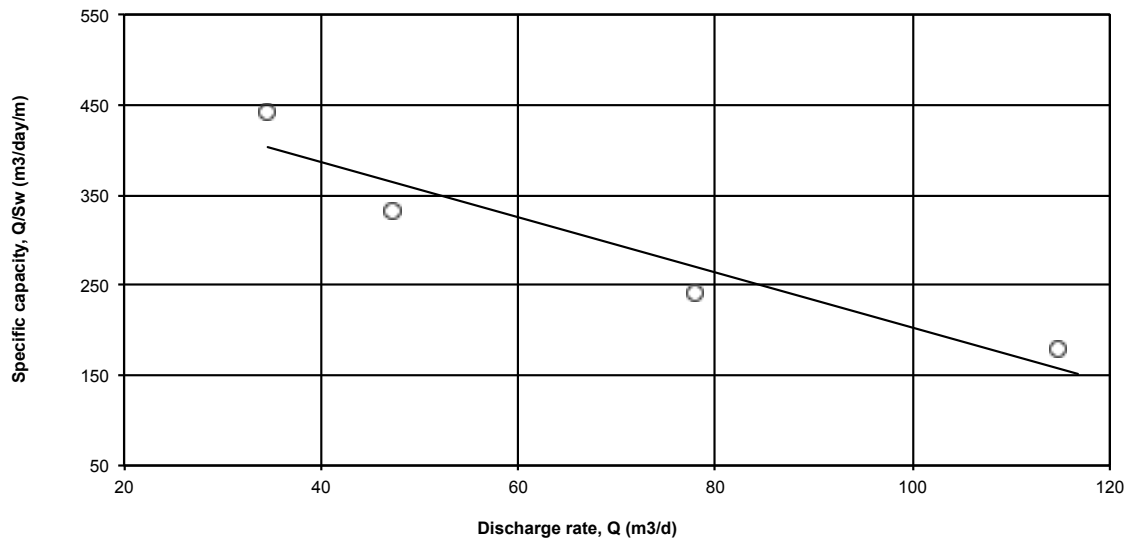
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY16
 Well Depth : 9,00 m
 Pump Setting : 6,00 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

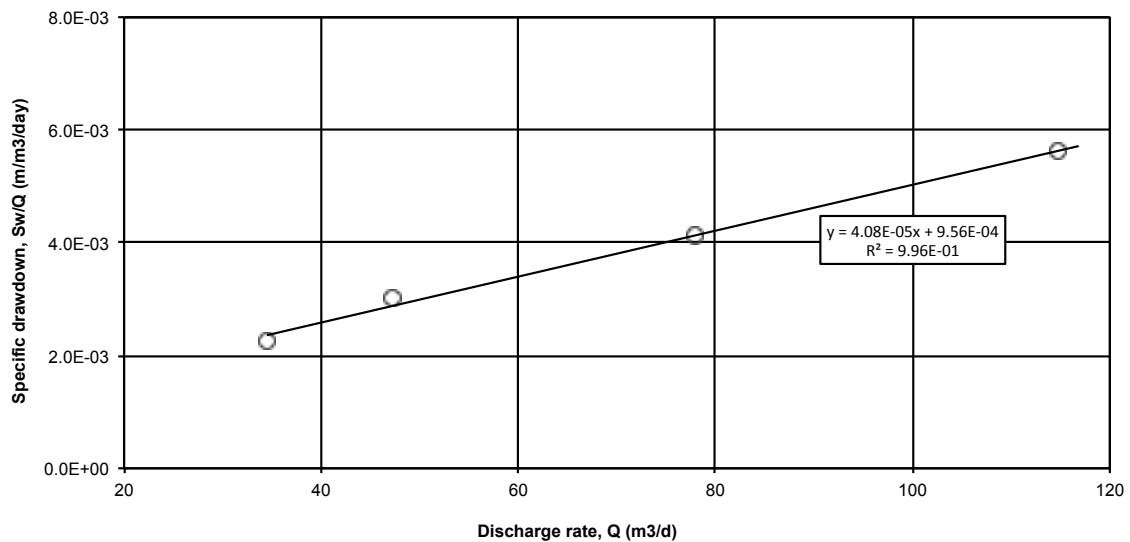
Height above ground : 1,10 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,48 m
 Pump on : 30/5/17 9:30
 Pump off : 30/5/17 13:30

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	34,6	0,08	2,26E-03	443,21	
Step 2	47,2	0,14	3,01E-03	332,46	
Step 3	77,9	0,32	4,13E-03	241,93	
Step 4	114,8	0,64	5,61E-03	178,20	
LSRL Equation: $y = 4,08E-05x + 9,56E-04$					
B Factor (day/m2): 9,56E-04					
C Factor (day2/m5): 4,08E-05					
C Factor (min2/m5): 84,60					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



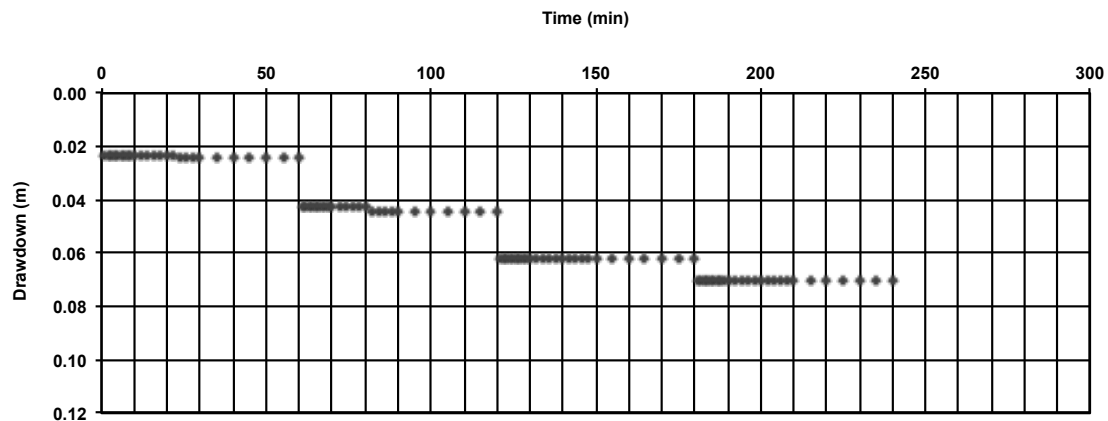
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПУ17
 Well Depth : 9,00 m
 Pump Setting : 6,00 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,25 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,30 m
 Pump on : 9/6/17 9:25
 Pump off : 9/6/17 13:25

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4					
Q : 52,7 m3/d			Q : 86,6 m3/d			Q : 115,8 m3/d			Q : 128,0 m3/d					
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)			
1	3,325	0,023	61	3,345	0,043	121	3,364	0,062	181	3,372	0,070			
2	3,325	0,023	62	3,345	0,043	122	3,364	0,062	182	3,372	0,070			
3	3,325	0,023	63	3,345	0,043	123	3,364	0,062	183	3,372	0,070			
4	3,325	0,023	64	3,345	0,043	124	3,364	0,062	184	3,372	0,070			
5	3,325	0,023	65	3,345	0,043	125	3,364	0,062	185	3,372	0,070			
6	3,325	0,023	66	3,345	0,043	126	3,364	0,062	186	3,372	0,070			
7	3,325	0,023	67	3,345	0,043	127	3,364	0,062	187	3,372	0,070			
8	3,325	0,023	68	3,345	0,043	128	3,364	0,062	188	3,372	0,070			
9	3,325	0,023	69	3,345	0,043	129	3,364	0,062	189	3,372	0,070			
10	3,325	0,023	70	3,345	0,043	130	3,364	0,062	190	3,372	0,070			
12	3,325	0,023	72	3,345	0,043	132	3,364	0,062	192	3,372	0,070			
14	3,325	0,023	74	3,345	0,043	134	3,364	0,062	194	3,372	0,070			
16	3,325	0,023	76	3,345	0,043	136	3,364	0,062	196	3,372	0,070			
18	3,325	0,023	78	3,345	0,043	138	3,364	0,062	198	3,372	0,070			
20	3,325	0,023	80	3,345	0,043	140	3,364	0,062	200	3,372	0,070			
22	3,325	0,023	82	3,346	0,044	142	3,364	0,062	202	3,372	0,070			
24	3,326	0,024	84	3,346	0,044	144	3,364	0,062	204	3,372	0,070			
26	3,326	0,024	86	3,346	0,044	146	3,364	0,062	206	3,372	0,070			
28	3,326	0,024	88	3,346	0,044	148	3,364	0,062	208	3,372	0,070			
30	3,326	0,024	90	3,346	0,044	150	3,364	0,062	210	3,372	0,070			
35	3,326	0,024	95	3,346	0,044	155	3,364	0,062	215	3,372	0,070			
40	3,326	0,024	100	3,346	0,044	160	3,364	0,062	220	3,372	0,070			
45	3,326	0,024	105	3,346	0,044	165	3,364	0,062	225	3,372	0,070			
50	3,326	0,024	110	3,346	0,044	170	3,364	0,062	230	3,372	0,070			
55	3,326	0,024	115	3,346	0,044	175	3,364	0,062	235	3,372	0,070			
60	3,326	0,024	120	3,346	0,044	180	3,364	0,062	240	3,372	0,070			

Chart of Step Test Data



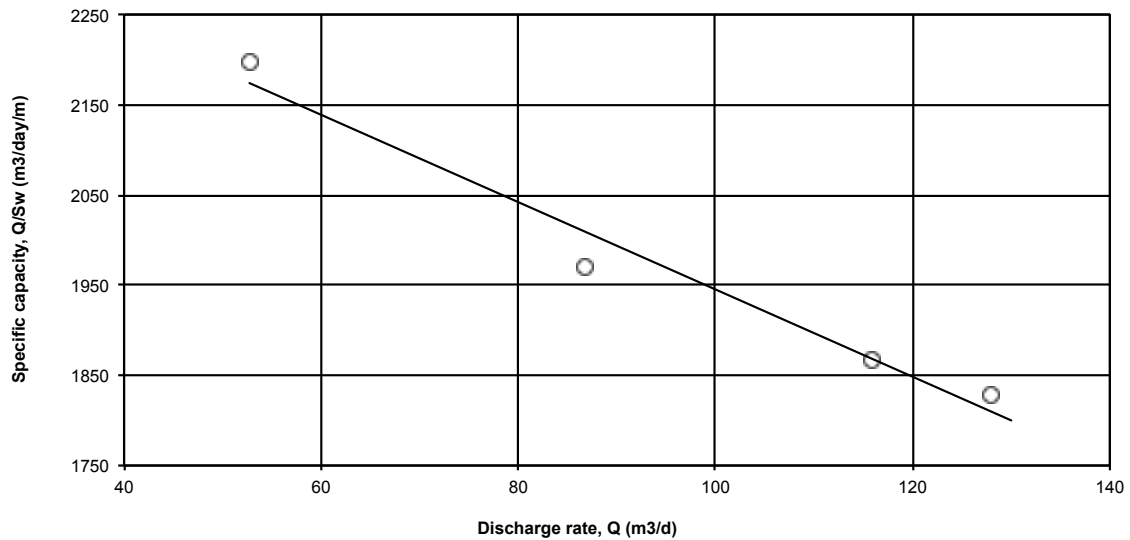
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY17
 Well Depth : 9,00 m
 Pump Setting : 6,00 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

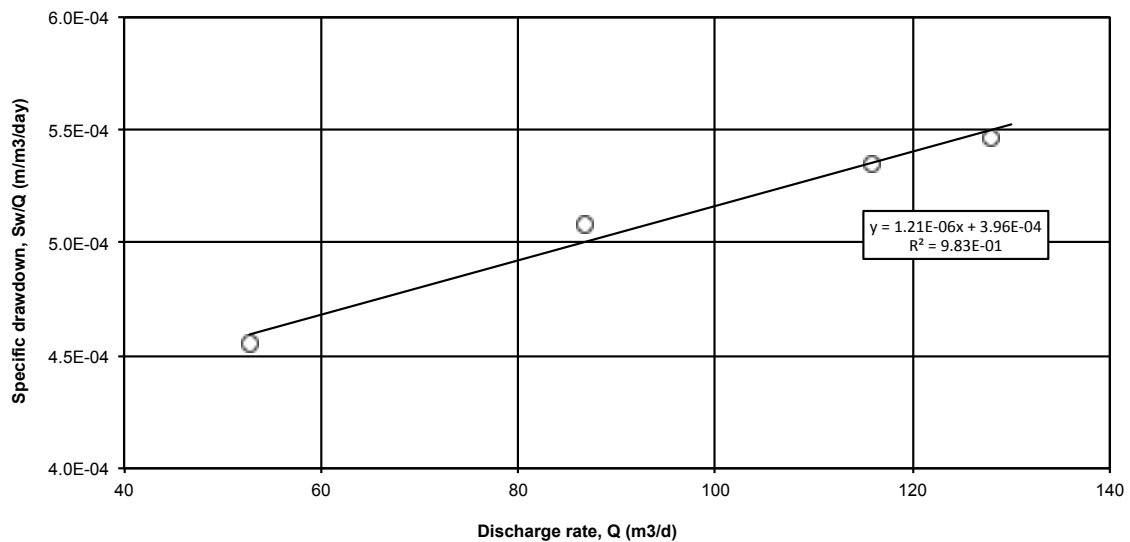
Height above ground : 0,25 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 3,30 m
 Pump on : 9/6/17 9:25
 Pump off : 9/6/17 13:25

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	52,7	0,02	4,55E-04	2.196,67	
Step 2	86,6	0,04	5,08E-04	1.969,09	
Step 3	115,8	0,06	5,35E-04	1.868,06	
Step 4	128,0	0,07	5,47E-04	1.828,57	
LSRL Equation: $y = 1,21E-06x + 3,96E-04$					
B Factor (day/m2): 3,96E-04					
C Factor (day2/m5): 1,21E-06					
C Factor (min2/m5): 2,51					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



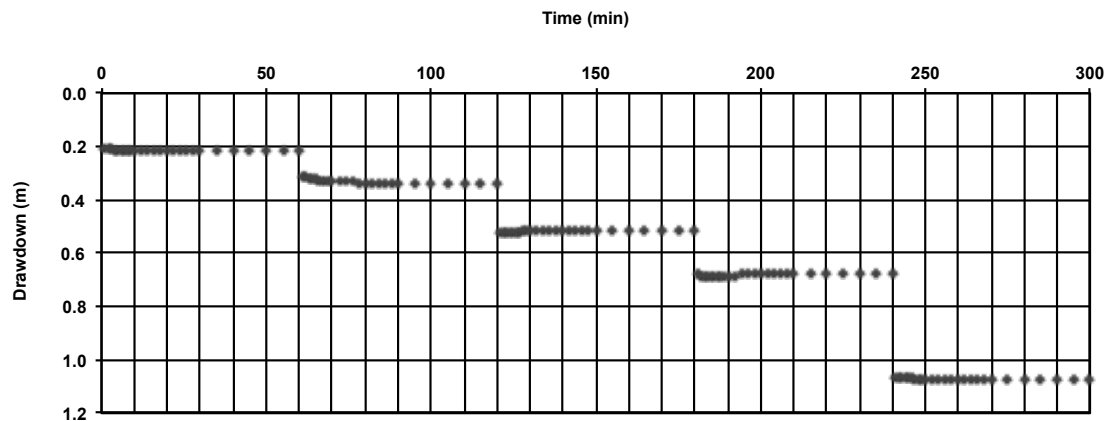
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПУ18
 Well Depth : 9,75 m
 Pump Setting : 6,10 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,80 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,24 m
 Pump on : 19/5/17 10:00
 Pump off : 19/5/17 15:00

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Step 5		
Q : 31,3 m3/d			Q : 46,6 m3/d			Q : 65,8 m3/d			Q : 77,1 m3/d			Q : 112,3 m3/d		
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1	4,450	0,210	61	4,555	0,315	121	4,760	0,520	181	4,915	0,675	241	5,310	1,070
2	4,450	0,210	62	4,555	0,315	122	4,760	0,520	182	4,925	0,685	242	5,310	1,070
3	4,450	0,210	63	4,560	0,320	123	4,760	0,520	183	4,925	0,685	243	5,310	1,070
4	4,452	0,212	64	4,560	0,320	124	4,760	0,520	184	4,925	0,685	244	5,310	1,070
5	4,452	0,212	65	4,560	0,320	125	4,760	0,520	185	4,925	0,685	245	5,310	1,070
6	4,455	0,215	66	4,570	0,330	126	4,760	0,520	186	4,925	0,685	246	5,310	1,070
7	4,455	0,215	67	4,570	0,330	127	4,760	0,520	187	4,925	0,685	247	5,312	1,072
8	4,455	0,215	68	4,570	0,330	128	4,755	0,515	188	4,925	0,685	248	5,312	1,072
9	4,455	0,215	69	4,570	0,330	129	4,755	0,515	189	4,925	0,685	249	5,312	1,072
10	4,455	0,215	70	4,573	0,333	130	4,755	0,515	190	4,925	0,685	250	5,312	1,072
12	4,455	0,215	72	4,573	0,333	132	4,755	0,515	192	4,925	0,685	252	5,312	1,072
14	4,457	0,217	74	4,573	0,333	134	4,755	0,515	194	4,915	0,675	254	5,312	1,072
16	4,457	0,217	76	4,573	0,333	136	4,755	0,515	196	4,915	0,675	256	5,312	1,072
18	4,457	0,217	78	4,575	0,335	138	4,755	0,515	198	4,915	0,675	258	5,312	1,072
20	4,457	0,217	80	4,575	0,335	140	4,755	0,515	200	4,915	0,675	260	5,312	1,072
22	4,457	0,217	82	4,575	0,335	142	4,755	0,515	202	4,915	0,675	262	5,312	1,072
24	4,457	0,217	84	4,575	0,335	144	4,755	0,515	204	4,915	0,675	264	5,312	1,072
26	4,459	0,219	86	4,575	0,335	146	4,755	0,515	206	4,915	0,675	266	5,312	1,072
28	4,459	0,219	88	4,575	0,335	148	4,755	0,515	208	4,915	0,675	268	5,312	1,072
30	4,459	0,219	90	4,575	0,335	150	4,755	0,515	210	4,915	0,675	270	5,312	1,072
35	4,459	0,219	95	4,575	0,335	155	4,755	0,515	215	4,915	0,675	275	5,312	1,072
40	4,459	0,219	100	4,575	0,335	160	4,755	0,515	220	4,915	0,675	280	5,312	1,072
45	4,459	0,219	105	4,575	0,335	165	4,755	0,515	225	4,915	0,675	285	5,312	1,072
50	4,459	0,219	110	4,575	0,335	170	4,755	0,515	230	4,915	0,675	290	5,312	1,072
55	4,459	0,219	115	4,575	0,335	175	4,755	0,515	235	4,915	0,675	295	5,312	1,072
60	4,459	0,219	120	4,575	0,335	180	4,755	0,515	240	4,915	0,675	300	5,312	1,072

Chart of Step Test Data



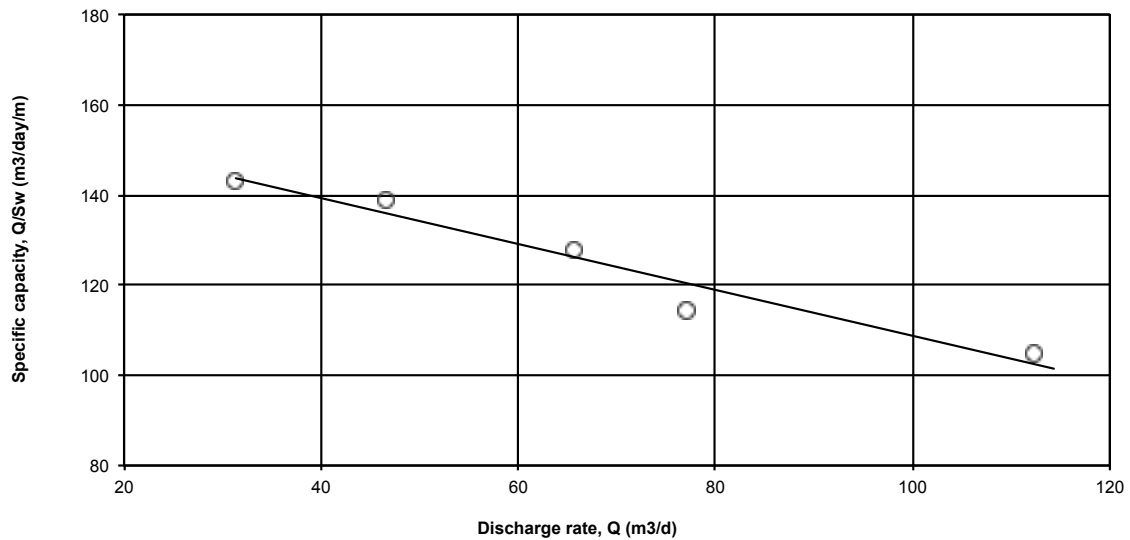
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY18
 Well Depth : 9,75 m
 Pump Setting : 6,10 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 5
 Reference point : Above ground level

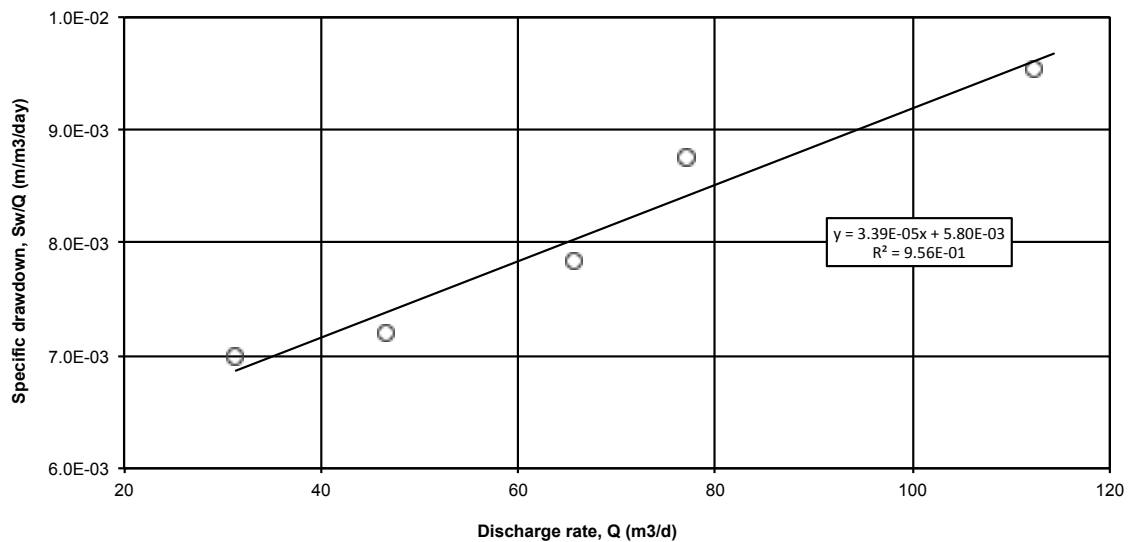
Height above ground : 0,80 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,24 m
 Pump on : 19/5/17 10:00
 Pump off : 19/5/17 15:00

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	31,3	0,22	6,99E-03	143,11	
Step 2	46,6	0,34	7,20E-03	138,96	
Step 3	65,8	0,52	7,83E-03	127,67	
Step 4	77,1	0,68	8,75E-03	114,28	
Step 5	112,3	1,07	9,54E-03	104,78	
LSRL Equation: $y = 3,39E-05x + 5,80E-03$					
B Factor (day/m2): 5,80E-03					
C Factor (day2/m5): 3,39E-05					
C Factor (min2/m5): 70,30					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



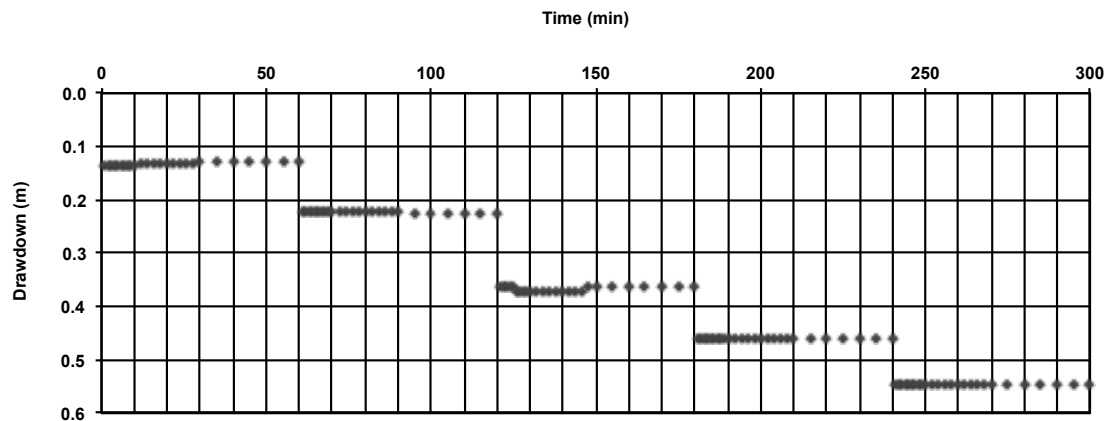
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПУ19
 Well Depth : 9,60 m
 Pump Setting : 5,95 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 1,00 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,39 m
 Pump on : 22/5/17 9:30
 Pump off : 22/5/17 13:30

Step 1			Step 2			Step 3			Step 4			Step 5		
Q : 38,0 m3/d			Q : 59,0 m3/d			Q : 90,0 m3/d			Q : 105,0 m3/d			Q : 123,4 m3/d		
Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Draw-down (m)
1	4,520	0,135	61	4,605	0,220	121	4,750	0,365	181	4,847	0,462	241	4,930	0,545
2	4,520	0,135	62	4,605	0,220	122	4,750	0,365	182	4,847	0,462	242	4,930	0,545
3	4,520	0,135	63	4,605	0,220	123	4,750	0,365	183	4,847	0,462	243	4,930	0,545
4	4,520	0,135	64	4,605	0,220	124	4,750	0,365	184	4,847	0,462	244	4,930	0,545
5	4,520	0,135	65	4,605	0,220	125	4,750	0,365	185	4,847	0,462	245	4,930	0,545
6	4,520	0,135	66	4,605	0,220	126	4,755	0,370	186	4,847	0,462	246	4,929	0,544
7	4,520	0,135	67	4,605	0,220	127	4,755	0,370	187	4,847	0,462	247	4,929	0,544
8	4,520	0,135	68	4,605	0,220	128	4,755	0,370	188	4,846	0,461	248	4,929	0,544
9	4,520	0,135	69	4,605	0,220	129	4,755	0,370	189	4,846	0,461	249	4,929	0,544
10	4,520	0,135	70	4,605	0,220	130	4,755	0,370	190	4,846	0,461	250	4,929	0,544
12	4,517	0,132	72	4,605	0,220	132	4,755	0,370	192	4,846	0,461	252	4,929	0,544
14	4,517	0,132	74	4,607	0,222	134	4,755	0,370	194	4,846	0,461	254	4,929	0,544
16	4,517	0,132	76	4,607	0,222	136	4,755	0,370	196	4,846	0,461	256	4,929	0,544
18	4,517	0,132	78	4,607	0,222	138	4,755	0,370	198	4,846	0,461	258	4,929	0,544
20	4,517	0,132	80	4,607	0,222	140	4,755	0,370	200	4,846	0,461	260	4,929	0,544
22	4,517	0,132	82	4,607	0,222	142	4,755	0,370	202	4,846	0,461	262	4,929	0,544
24	4,517	0,132	84	4,607	0,222	144	4,755	0,370	204	4,846	0,461	264	4,929	0,544
26	4,517	0,132	86	4,607	0,222	146	4,755	0,370	206	4,846	0,461	266	4,929	0,544
28	4,517	0,132	88	4,607	0,222	148	4,750	0,365	208	4,845	0,460	268	4,929	0,544
30	4,515	0,130	90	4,607	0,222	150	4,750	0,365	210	4,845	0,460	270	4,929	0,544
35	4,515	0,130	95	4,610	0,225	155	4,750	0,365	215	4,845	0,460	275	4,929	0,544
40	4,515	0,130	100	4,610	0,225	160	4,750	0,365	220	4,845	0,460	280	4,929	0,544
45	4,515	0,130	105	4,610	0,225	165	4,750	0,365	225	4,845	0,460	285	4,929	0,544
50	4,515	0,130	110	4,610	0,225	170	4,750	0,365	230	4,845	0,460	290	4,929	0,544
55	4,515	0,130	115	4,610	0,225	175	4,750	0,365	235	4,845	0,460	295	4,929	0,544
60	4,515	0,130	120	4,610	0,225	180	4,750	0,365	240	4,845	0,460	300	4,929	0,544

Chart of Step Test Data



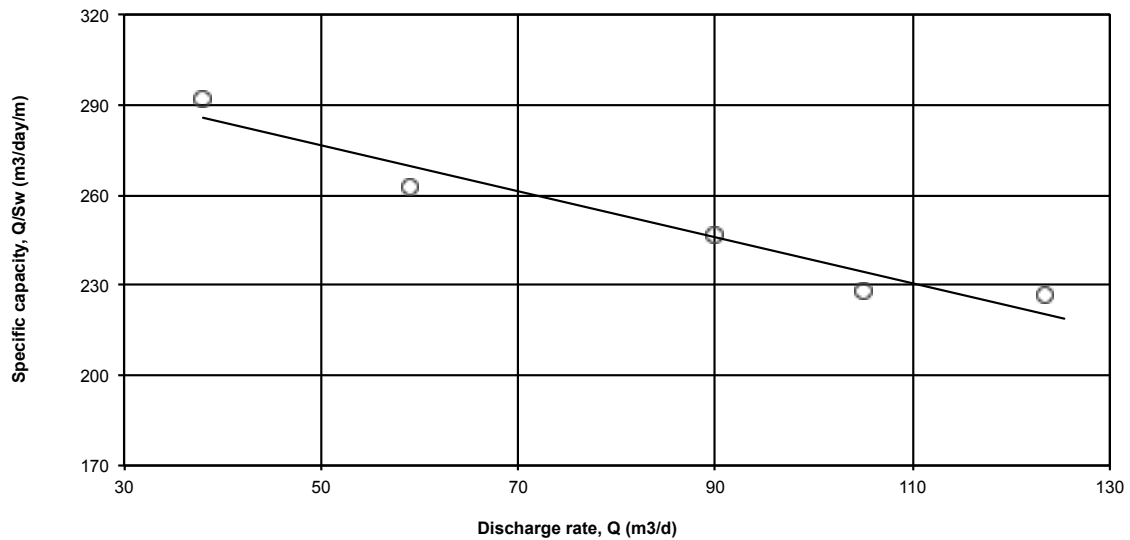
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY19
 Well Depth : 9,60 m
 Pump Setting : 5,95 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

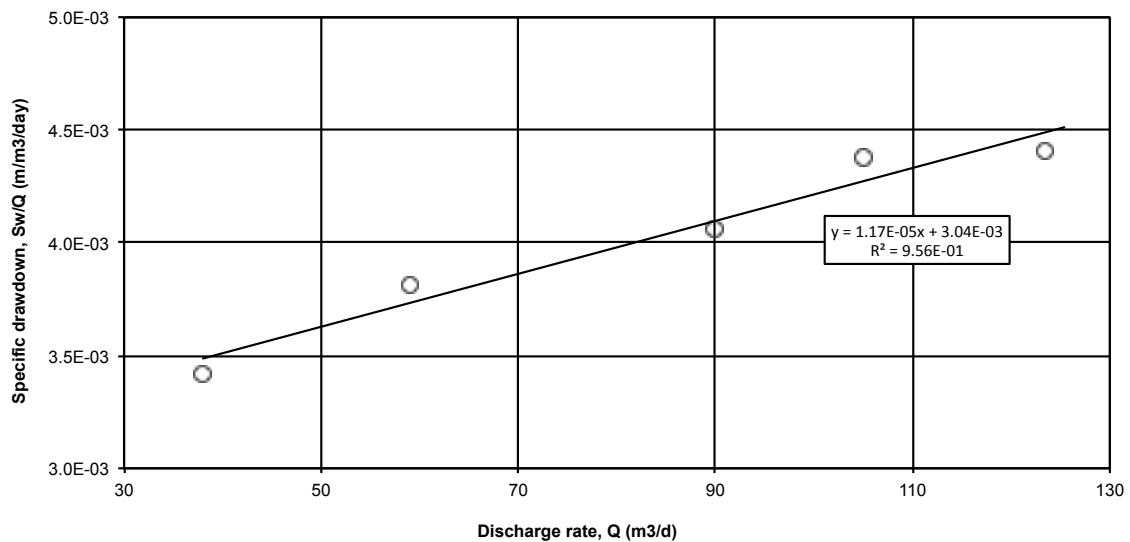
Height above ground : 1,00 m
 Oil Density : -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 4,39 m
 Pump on : 22/5/17 9:30
 Pump off : 22/5/17 13:30

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	38,0	0,13	3,42E-03	292,38	
Step 2	59,0	0,23	3,81E-03	262,31	
Step 3	90,0	0,37	4,06E-03	246,44	
Step 4	105,0	0,46	4,38E-03	228,22	
Step 5	123,4	0,54	4,41E-03	226,80	
LSRL Equation: $y = 1,17E-05x + 3,04E-03$					
B Factor (day/m2): 3,04E-03					
C Factor (day2/m5): 1,17E-05					
C Factor (min2/m5): 24,26					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



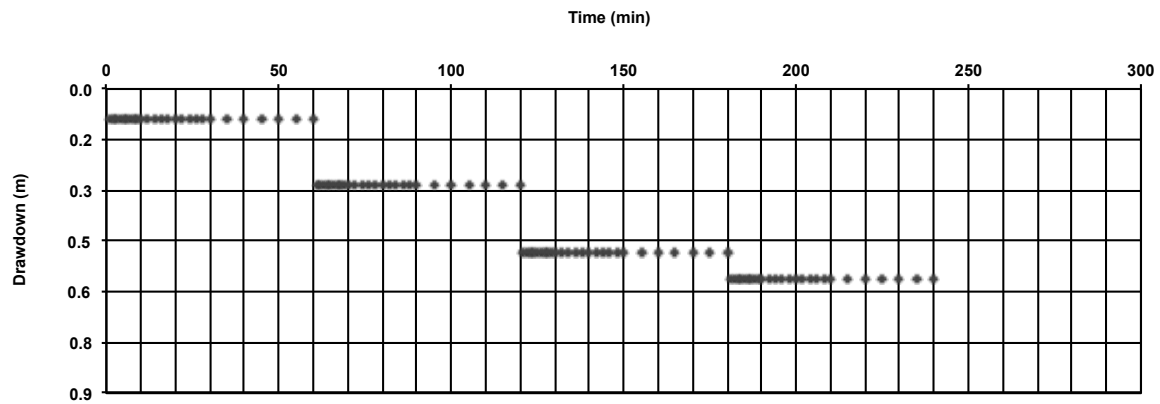
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY22
 Well Depth : 7,75 m
 Pump Setting : 6,05 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,20 m
 Oil Density: 0,8313 Kg/L
 Depth to Oil Level : 3,35 m
 Depth to Water Level : 3,36 m
 Depth to Static Water Level : 3,35 m
 Pump on : 12/6/17 9:30
 Pump off : 12/6/17 13:30

Step 1				Step 2				Step 3				Step 4			
Q : 31,1 m3/d				Q : 75,3 m3/d				Q : 109,9 m3/d				Q : 124,1 m3/d			
Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)	Time (min)	Water Level (m)	Oil Level (m)	Draw-down (m)
1	3,460	3,435	0,090	61	3,665	3,625	0,282	121	3,885	3,825	0,485	181	3,980	3,900	0,564
2	3,460	3,435	0,090	62	3,665	3,625	0,282	122	3,885	3,825	0,485	182	3,980	3,900	0,564
3	3,460	3,435	0,090	63	3,665	3,625	0,282	123	3,885	3,825	0,485	183	3,980	3,900	0,564
4	3,460	3,435	0,090	64	3,665	3,625	0,282	124	3,885	3,825	0,485	184	3,980	3,900	0,564
5	3,460	3,435	0,090	65	3,665	3,625	0,282	125	3,885	3,825	0,485	185	3,980	3,900	0,564
6	3,460	3,435	0,090	66	3,665	3,625	0,282	126	3,885	3,825	0,485	186	3,980	3,900	0,564
7	3,460	3,435	0,090	67	3,665	3,625	0,282	127	3,885	3,825	0,485	187	3,980	3,900	0,564
8	3,460	3,435	0,090	68	3,665	3,625	0,282	128	3,885	3,825	0,485	188	3,980	3,900	0,564
9	3,460	3,435	0,090	69	3,665	3,625	0,282	129	3,885	3,825	0,485	189	3,980	3,900	0,564
10	3,460	3,435	0,090	70	3,665	3,625	0,282	130	3,885	3,825	0,485	190	3,980	3,900	0,564
12	3,460	3,435	0,090	72	3,665	3,625	0,282	132	3,885	3,825	0,485	192	3,980	3,900	0,564
14	3,460	3,435	0,090	74	3,665	3,625	0,282	134	3,885	3,825	0,485	194	3,980	3,900	0,564
16	3,460	3,435	0,090	76	3,665	3,625	0,282	136	3,885	3,825	0,485	196	3,980	3,900	0,564
18	3,460	3,435	0,090	78	3,665	3,625	0,282	138	3,885	3,825	0,485	198	3,980	3,900	0,564
20	3,460	3,435	0,090	80	3,665	3,625	0,282	140	3,885	3,825	0,485	200	3,980	3,900	0,564
22	3,460	3,435	0,090	82	3,665	3,625	0,282	142	3,885	3,825	0,485	202	3,980	3,900	0,564
24	3,460	3,435	0,090	84	3,665	3,625	0,282	144	3,885	3,825	0,485	204	3,980	3,900	0,564
26	3,460	3,435	0,090	86	3,665	3,625	0,282	146	3,885	3,825	0,485	206	3,980	3,900	0,564
28	3,460	3,435	0,090	88	3,665	3,625	0,282	148	3,885	3,825	0,485	208	3,980	3,900	0,564
30	3,460	3,435	0,090	90	3,665	3,625	0,282	150	3,885	3,825	0,485	210	3,980	3,900	0,564
35	3,460	3,435	0,090	95	3,665	3,625	0,282	155	3,885	3,825	0,485	215	3,980	3,900	0,564
40	3,460	3,435	0,090	100	3,665	3,625	0,282	160	3,885	3,825	0,485	220	3,980	3,900	0,564
45	3,460	3,435	0,090	105	3,665	3,625	0,282	165	3,885	3,825	0,485	225	3,980	3,900	0,564
50	3,460	3,435	0,090	110	3,665	3,625	0,282	170	3,885	3,825	0,485	230	3,980	3,900	0,564
55	3,460	3,435	0,090	115	3,665	3,625	0,282	175	3,885	3,825	0,485	235	3,980	3,900	0,564
60	3,460	3,435	0,090	120	3,665	3,625	0,282	180	3,885	3,825	0,485	240	3,980	3,900	0,564

Chart of Step Test Data



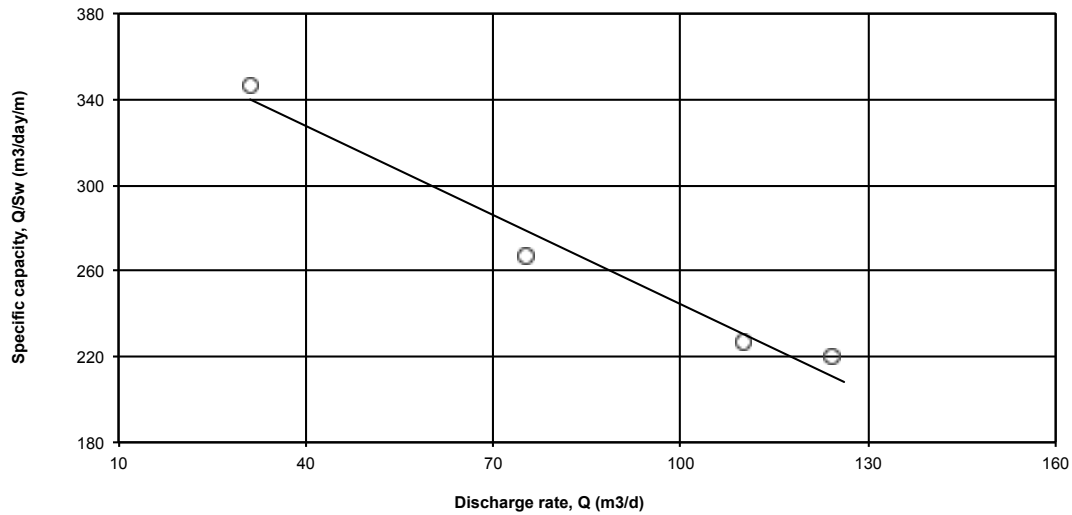
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY22
 Well Depth : 7,75 m
 Pump Setting : 6,05 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

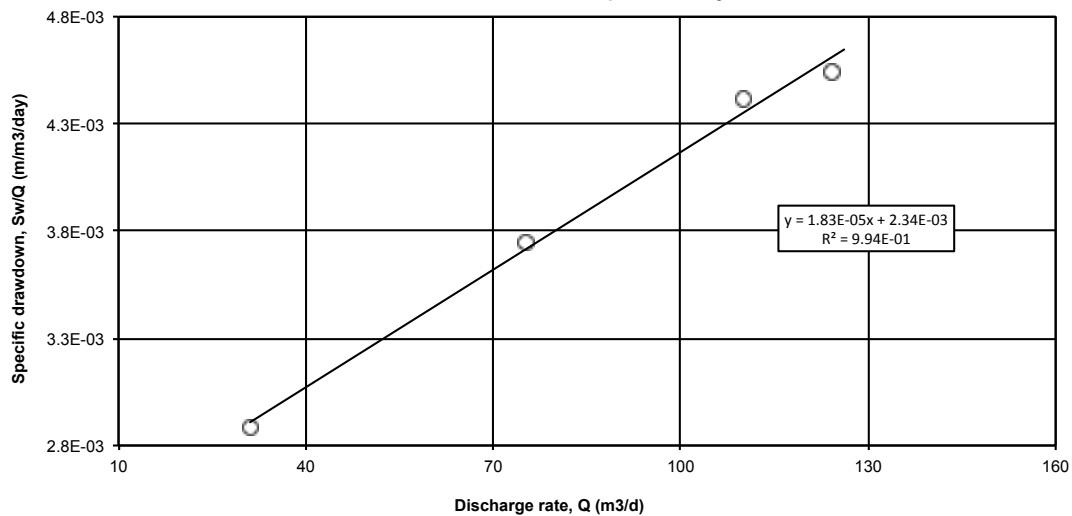
Height above ground : 0,20 m
 Oil Density: 0,8313 Kg/L
 Depth to Static Oil Level : 3,35 m
 Depth to Static Water Level : 3,36 m
 Depth to Static Water Level : 3,35 m
 Pump on : 12/6/17 9:30
 Pump off : 12/6/17 13:30

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	31,1	0,09	2,88E-03	346,92	
Step 2	75,3	0,28	3,75E-03	266,82	
Step 3	109,9	0,49	4,42E-03	226,44	
Step 4	124,1	0,56	4,54E-03	220,18	
LSRL Equation: $y = 1,83E-05x + 2,34E-03$					
B Factor (day/m2): 2,34E-03					
C Factor (day2/m5): 1,83E-05					
C Factor (min2/m5): 37,95					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



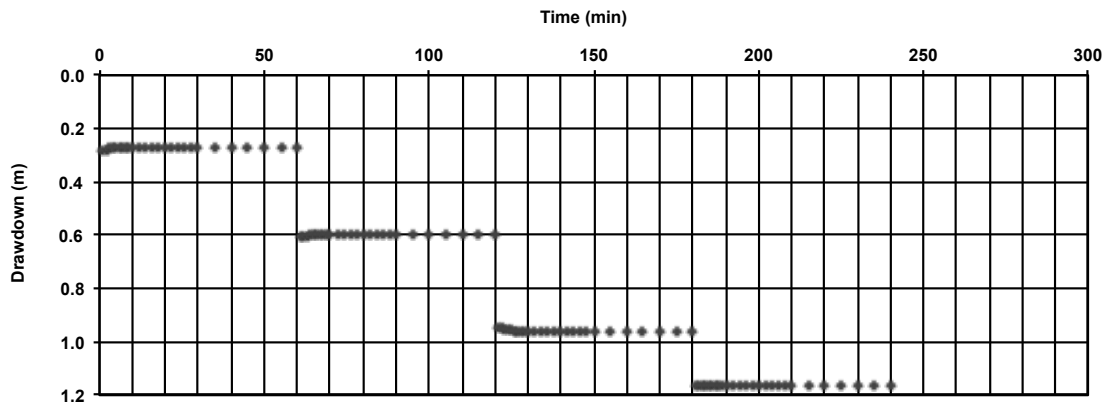
Step-Drawdown Tests

Measured by :
Name of Well : ΠΥ23
Well Depth : 6,20 m
Pump Setting : 4,10 m
Length of Each Step : 60 min
Number of Steps : 4
Reference point : Above ground level

Height above ground : 0,10 m
Oil Density: -
Depth to Oil Level : -
Depth to Water Level : -
Depth to Static Water Level : 2,17 m
Pump on : 7/5/17 9:00
Pump off : 7/5/17 13:00

[illegible]

Chart of Step Test Data



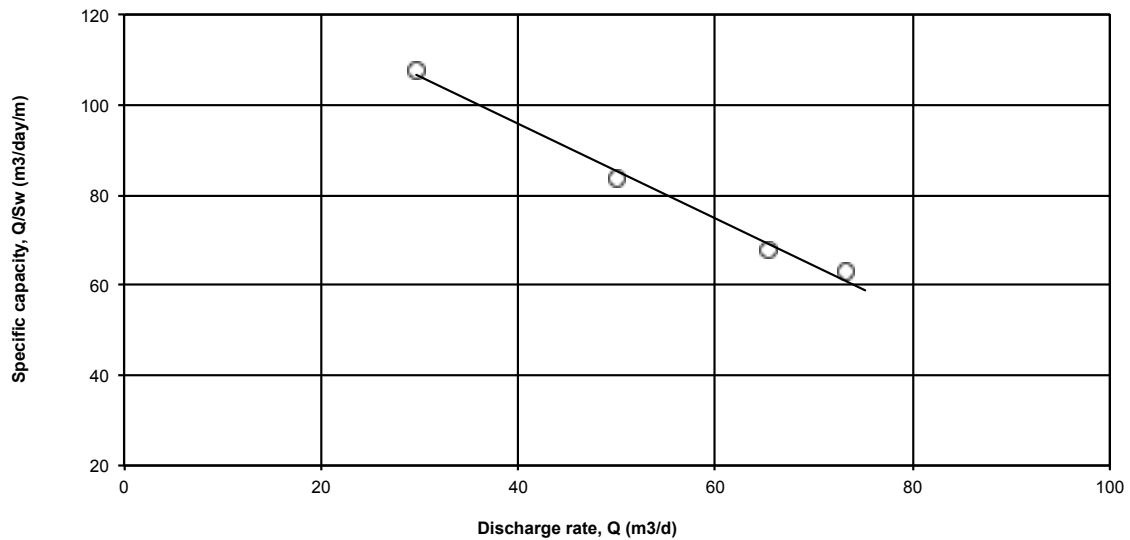
Step-Drawdown Tests

Measured by :
 Name of Well : ПY23
 Well Depth : 6,20 m
 Pump Setting : 4,10 m
 Length of Each Step : 60 min
 Number of Steps : 4
 Reference point : Above ground level

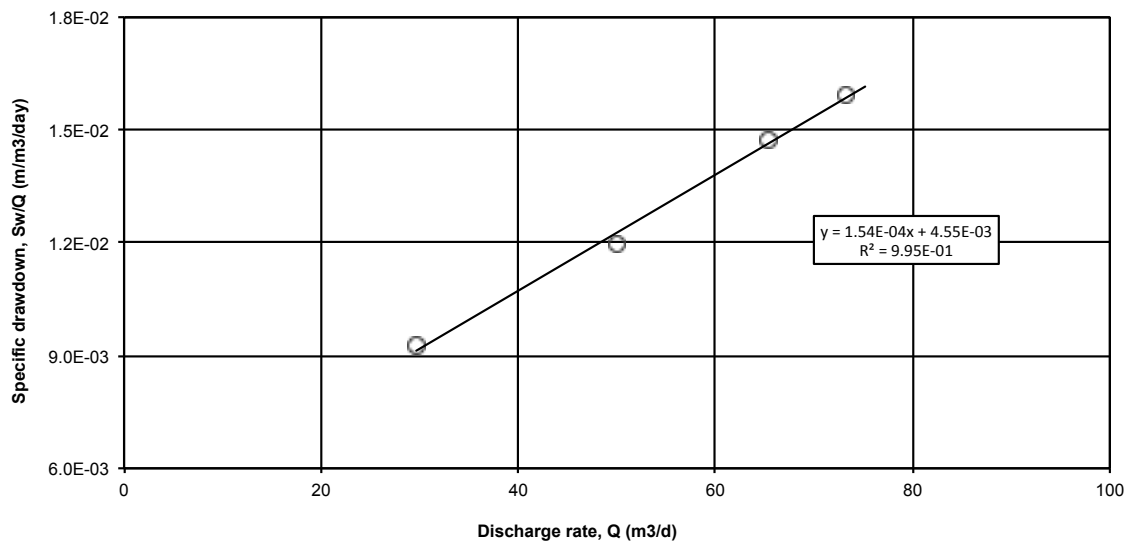
Height above ground : 0,10 m
 Oil Density: -
 Depth to Oil Level : -
 Depth to Water Level : -
 Depth to Static Water Level : 2,17 m
 Pump on : 7/5/17 9:00
 Pump off : 7/5/17 13:00

Step	Discharge rate, Q (m3/d)	Drawdown, Sw (m)	Specific drawdown, Sw/Q (m/m3/day)	Specific capacity Q/Sw (m3/day/m)	Notes
Step 1	29,6	0,28	9,28E-03	107,78	
Step 2	50,1	0,60	1,20E-02	83,50	
Step 3	65,4	0,97	1,48E-02	67,79	
Step 4	73,2	1,17	1,59E-02	62,82	
LSRL Equation: $y = 1,54E-04x + 4,55E-03$					
B Factor (day/m2): 4,55E-03					
C Factor (day2/m5): 1,54E-04					
C Factor (min2/m5): 319,334					
					Walton Analysis

Chart of Specific Capacity



Bierschenk & Wilson Step Test Analysis



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

(ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ)

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		PK26					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		29/06/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Βήμα 5	Τελική μέτρηση
ΠΥ25	6287	6324	6371	6327	6257	6205	6301
ΠΥ16	2226	2253	2234	2256	2270	2260	2248
ΠΥ20	5126	5144	5176	5096	5156	5132	5113

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		PK27					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		04/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6402	6428	6513	6491	6465	6415	
ΠΥ16	2330	2305	2297	2316	2334	2344	
ΠΥ20	5276	5244	5225	5243	5282	5306	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		PK28					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		05/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Βήμα 5	Τελική μέτρηση
ΠΥ25	6518	6482	6447	6467	6536	6581	6490
ΠΥ16	2384	2368	2378	2392	2408	2415	2441
ΠΥ20	5344	5314	5258	5269	5293	5320	5304

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		PK29					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		14/06/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6374	6413	6438	6493	6352	6389	
ΠΥ16	2437	2459	2380	2346	2332	2376	
ΠΥ20	5243	5217	5207	5294	5276	5254	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		PK32					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		16/06/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Βήμα 5	Τελική μέτρηση
ΠΥ25	6523	6472	6426	6382	6466	6489	6505
ΠΥ16	2294	2321	2333	2344	2328	2339	2352
ΠΥ20	5216	5258	5294	5248	5204	5232	5268

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ13					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		25/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6163	6214	6258	6194	6127	6150	
ΠΥ16	2259	2291	2264	2245	2254	2283	
ΠΥ20	5182	5197	5214	5276	5263	5204	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ14					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		24/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6272	6237	6190	6284	6266	6182	
ΠΥ16	2361	2335	2246	2282	2254	2273	
ΠΥ20	5194	5229	5210	5251	5277	5293	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ15					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		29/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6234	6273	6148	6189	6246	6137	
ΠΥ16	2233	2242	2262	2281	2250	2259	
ΠΥ20	5282	5243	5276	5210	5267	5292	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ16					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		30/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6357	6314	6279	6246	6362	6285	
ΠΥ16	2306	2294	2277	2259	2266	2287	
ΠΥ20	5253	5194	5164	5187	5249	5258	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ17					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		09/06/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6215	6268	6308	6326	6349	6294	
ΠΥ16	2367	2326	2358	2343	2364	2334	
ΠΥ20	5194	5237	5260	5284	5206	5236	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ18					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		19/06/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Βήμα 5	Τελική μέτρηση
ΠΥ25	6428	6384	6329	6311	6407	6325	6342
ΠΥ16	2210	2182	2161	2193	2207	2198	2168
ΠΥ20	5273	5292	5284	5263	5246	5219	5203

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ19					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		22/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6152	6232	6217	6254	6273	6316	
ΠΥ16	2293	2276	2265	2248	2274	2254	
ΠΥ20	5262	5228	5270	5243	5217	5253	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ22					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		12/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6252	6237	6193	6257	6244	6270	
ΠΥ16	2206	2193	2218	2223	2238	2229	
ΠΥ20	5287	5264	5214	5276	5226	5198	

Γεώτρηση διεξαγωγής δοκιμαστικής άντλησης:		ΠΥ23					
Ημ/νία δοκιμαστικής άντλησης:		07/05/17					
Γεωτρήσεις ελέγχου αγωγιμότητας	Αρχική μέτρηση	Βήμα 1	Βήμα 2	Βήμα 3	Βήμα 4	Τελική μέτρηση	
ΠΥ25	6494	6506	6574	6531	6518	6524	
ΠΥ16	2263	2246	2235	2222	2217	2256	
ΠΥ20	5203	5276	5293	5241	5210	5224	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

(ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ)



Βιβλιογραφία

Ελληνική:

- ο Βουδούρης Κ. (2013). *Τεχνική Υδρογεωλογία*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- ο Καλλέργης Γ. (1999). *Εφαρμοσμένη Περιβαλλοντική Υδρογεωλογία*. Δεύτερη Έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα.
- ο Κουτσογιάννης Δ. και Ξανθόπουλος Θ. (1999). *Τεχνική Υδρολογία*. Τέταρτη Έκδοση, Αθήνα.
- ο Βουδούρης Κ. (2015). *Εκμετάλλευση και διαχείριση υπόγειου νερού*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- ο Σούλιος Γ. (2007). *Γενική Υδρογεωλογία*. Πρώτος Τόμος. Δεύτερη έκδοση. Έκδοσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ο Σούλιος Γ. (2008). *Γενική Υδρογεωλογία*. Δεύτερος Τόμος. Δεύτερη έκδοση. Έκδοσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ο Βαφειάδης Π. (1980). *Η τεχνική των υδρογεωτρήσεων*. Θεσσαλονίκη.
- ο Μαυρουδής Ι. (1994). *Αντλίες και Σωληνώσεις*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Ναυπηγών-Μηχανολόγων Μηχανικών, Εκδοτική παραγωγή Επτάλοφος ΑΒΕΕ, Αθήνα.
- ο Κελεσιδής Β.Χ. (2012). *Αβαθείς και ειδικές γεωτρήσεις*. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- ο Γιδαράκος Ε., Αϊβαλιώτη Μ. (2005). *Τεχνολογίες Αποκατάστασης Εδαφών Και Υπόγειων Υδάτων Από Επικίνδυνους Ρύπους*. Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη.
- ο Λατινόπουλος Π, Θεοδοσίου Ν. (2007). *Εκμετάλλευση και προστασία των υπόγειων υδατικών πόρων*. Διδακτικές σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- ο Foster Wheeler. *Έργο εκσυγχρονισμού-αναβάθμισης διυλιστηρίου Ελευσίνας*. Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- ο Μιμίκου Μ. Α. (2006). *Εργαστήριο υδρολογίας και αξιοποίησης υδατικών πόρων*. Εργαστηριακές σημειώσεις, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- ο Πετράκος Γ. (2013). *Συνθήκες ιζηματογένεσης και παλαιογεωγραφική εξέλιξη των ιζημάτων της τομής Φανερωμένη σε σχέση με άλλες τομές της περιοχής στη λεκάνη της Σητείας στην Κρήτη*. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ο Σταμπατακάκης Ν. *Τεχνικά χαρακτηριστικά πετρωμάτων-Επίδραση των γεωλογικών χαρακτηριστικών στα τεχνικά έργα*. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- ο Κανέλλος Σ. (2014). *Τεχνικές κατασκευής υδρογεωτρήσεων*. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- ο Δημόλας Α. (2012). *Ποιοτικός και ποσοτικός έλεγχος νερού γεώτρησης. Επιλογή αντλίας για την μεταφορά του νερού σε υψόμετρο. Απολύμανση του νερού με χλώριο ή όζον*. Πτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά.
- ο Τελόγλου Η., Ζήσης Θ. (2016). *Ανάλυση δεδομένων δοκιμαστικών αντλήσεων με μεταβαλλόμενη παροχή σε κλειστούς υδροφορείς*.

- ο Βραχόπουλος Μ. , Κούκου Μ. , Καρυτσάς Κ. *Κανονική γεωθερμία – Αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές.*

Ξενόγλωσση:

- ο Driscoll F. (1986), *Groundwater and wells*. Second edition, Johnson screens, ISBN 0961645601
- ο Freeze A., Cherry J. (1979). *Groundwater*. Prentice Hall, ISBN 0133653129
- ο G. P. Kruseman, N. A. De Ridder, (1990), *Analysis and Evaluation of Pumping Tests Data*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, ISBN 9070754207
- ο Kanak M., Chaitanya P., Sanjay P. (2016). *Inverse modelling of aquifer parameters in basaltic rock with the help of pumping test method using MODFLOW software.*
- ο Louwyck A., Vandenbohede A., Lebbe L. (2009). *Numerical analysis of step-drawdown tests: Parameter identification and uncertainty.*
- ο Hall P. (1996). *Water well and aquifer test analysis*. Water Resources Pubns, ISBN 0918334930
- ο Bierchenk W. H. (1964). *Determining well efficiency by multiple step drawdown tests.*
- ο Walton W.C. (1962). *Selected analytical methods for well and aquifer evaluation.*
- ο Walton W. C. (1987). *Groundwater pumping tests: Design and Analysis.*
- ο Todd, D. K. (1980). *Groundwater Hydrology*. Third edition, Wiley, ISBN 0471059370.
- ο Singh S. K. (2002). *Well loss estimation: variable pumping replacing step drawdown test.*
- ο Lohman S. W. (1972). *Groundwater Hydraulics*. United States Government Printing Office, ASIN B00168JZRE.
- ο Dingman S. L. (1994). *Physical Hydrology.*

Διαδύκτιο:

<https://water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>

<http://www.graco.com/gr/el/products/product-families/husky.html>

http://www.hnms.gr/hnms/greek/index_html

<http://www.geogage.com/?ckattempt=1>

<https://www.epa.gov/superfund>

<http://8gym-perist.att.sch.gr/Programes/water/water6.htm>