ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ- ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓ. ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΤΛΗΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΙΝΔΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΠΟ
ΙΩΑΚΕΙΜΙΔΗ ΙΩΑΚΕΙΜ
ΦΟΙΤΗΤΗ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
(Α.Ε.Μ. 3810)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΚΩΝ/ΝΟΣ ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2009

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να συμβάλει στη γνώση των υδρογεωλογικών συνθηκών του υδροφορέα της Βιομηχανικής περιοχής της Σίνδου Θεσσαλονίκης, βάση τα αποτελέσματα γεωτρητικής έρευνας και αντλητικών δοκιμών.

Τα στοιχεία συλλέχθηκαν στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος που εκπόνησε το ΑΠΘ σε συνεργασία με την ΕΥΑΘ και αφορούσε τον τεχνητό εμπλουτισμό με τη χρήση επεξεργασμένων λυμάτων.

Για την πραγματοποίηση της εργασίας έγιναν τα παρακάτω:

- Συγκέντρωση βιβλιογραφικών στοιχείων
- Συγκέντρωση γεωλογικών χαρτών
- Παρακολούθηση της ανόρυξης γεωτρήσεων
- Εκτέλεση και παρακολούθηση δοκιμαστικών αντλήσεων
- Συγκέντρωση μετεωρολογικών δεδομένων
- Επεξεργασία δεδομένων

Στο πλαίσιο της ανάθεσης και πραγματοποίησης της εργασίας επιθυμώ να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Κωνσταντίνο Βουδούρη για την προτροπή του να ασχοληθώ με το θέμα αυτό καθώς

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

και τις πολύτιμες συμβουλές και την καθοδήγησή του. Επίσης ευχαριστώ και τους καθηγητές του τομέα Γεωφυσικής κ.κ. Π. Τσούρλο και Γ. Βαργεμέζη.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΚΕΦ. 1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ **4**

Γεωγραφική θέση **4**

Γεωμορφολογία – Γεωλογία της περιοχής **6**

Βροχομετρικά δεδομένα

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ *Εδαφομηχανικές μετρήσεις* **7**

ΓΕΩΦΥΣΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΚΕΦ. 2. ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ- ΑΝΤΛΗΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ **9**

Περιγραφή -Γεωτρήσεων **10**

Δοκιμαστικές αντλήσεις **17**

ΚΕΦ. 3 *Εργαστηριακές δοκιμές* **32**

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ **43**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ **43**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **44**

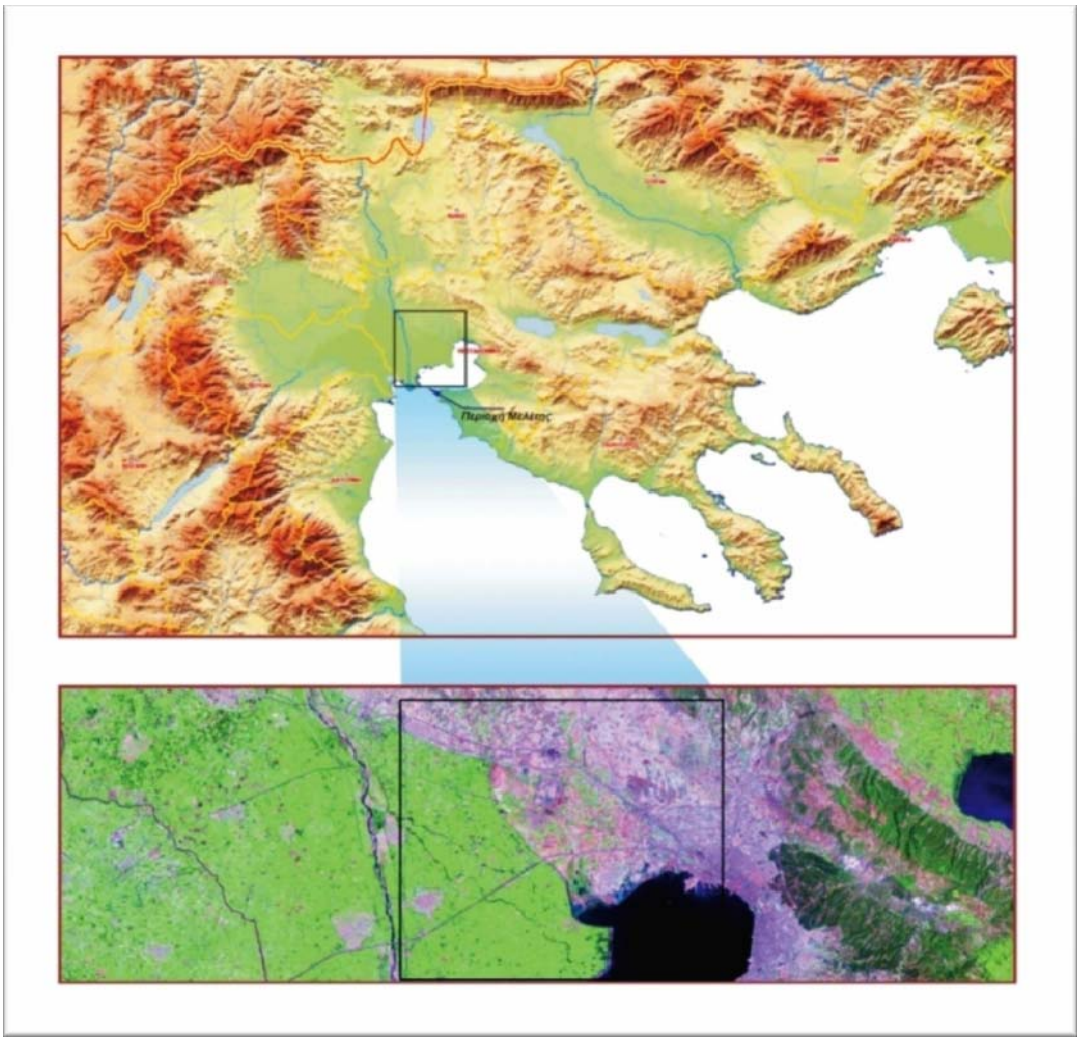
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

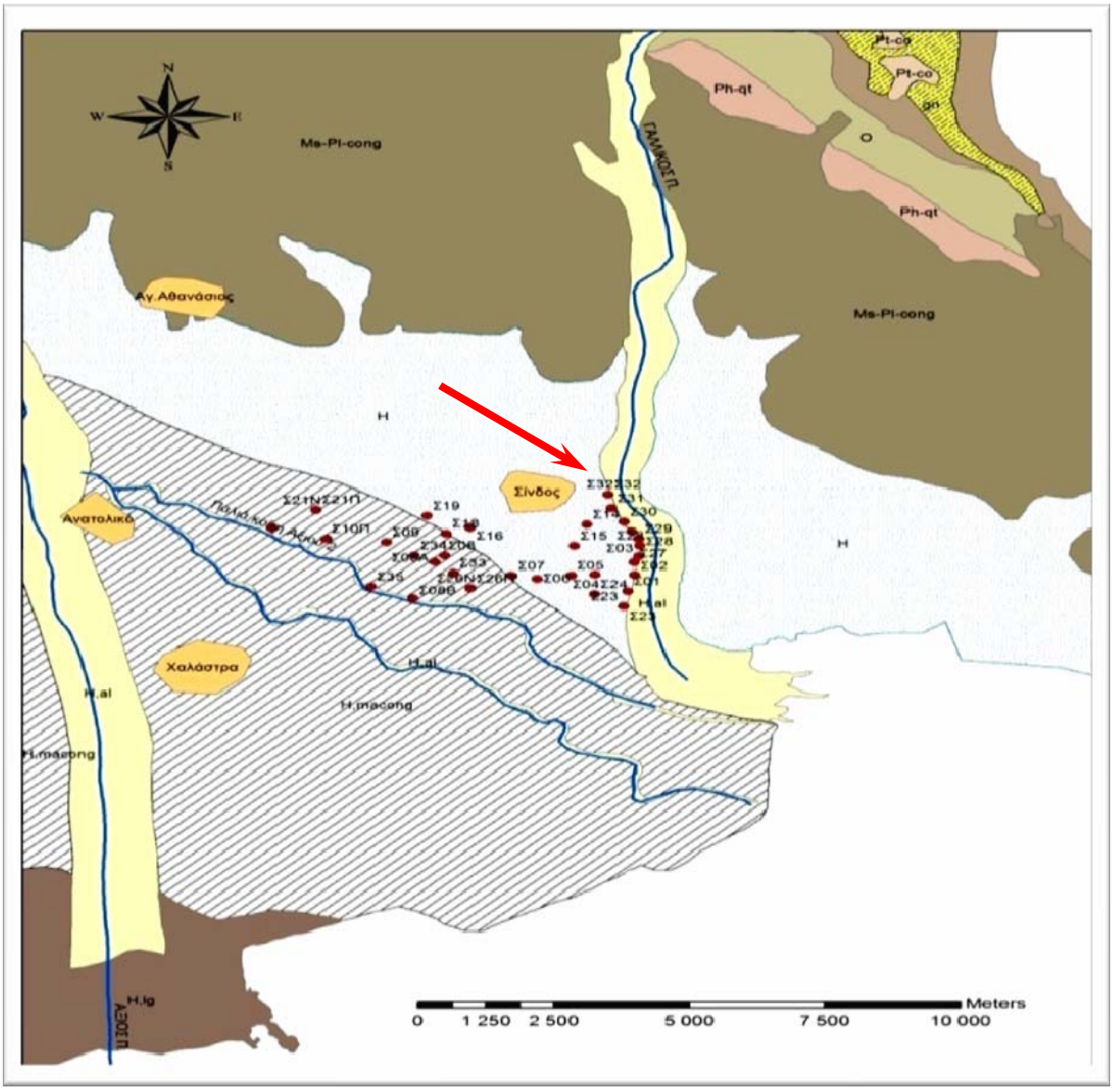
Γεωγραφική Θέση

Η περιοχή μελέτης βρίσκεται στα διοικητικά όρια του Δήμου Εχεδώρου, κοντά στο δημοτικό διαμέρισμα της Σίνδου. Εκεί βρίσκεται το μεγαλύτερο Τ.Ε.Ι. της χώρας, καθώς επίσης και η μεγαλύτερη Βιομηχανική Περιοχή.

Σε κοντινή απόσταση από το σημείο μελέτης, βρίσκεται ο Βιολογικός Καθαρισμός της πόλης της Θεσσαλονικής. Από εκεί ξεκινάει αγωγός που μεταφέρει το επεξεργασμένο νερό προς εισπίεση στον υδροφόρο ορίζοντα.



Σχήμα 1: Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής έρευνας.



Σχήμα 2: Θέση ανόρυξης των γεωτρήσεων και γεωτρήσεις Ε.Υ.Α.Θ. στην περιοχή της Σίνδου.

Γεωμορφολογία – Γεωλογία της περιοχής

Η πεδινή περιοχή που εκτείνεται μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης και παρουσιάζει ως τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης- Γιαννιτσών όλους τους μακρομορφολογικούς χαρακτήρες ενός τεκτονικού βυθίσματος.

Από μορφολογική άποψη, η περιοχή αυτή εμφανίζει ένα ομαλότατο τοπογραφικό ανάγλυφο με μικρές υψομετρικές διαφορές ως προς την επιφάνεια της θάλασσας και κακές συνθήκες αποστράγγισης.

Επιφανειακά καλύπτεται από ένα αμμοιλυώδες έως ιλυοαργιλώδες στρώμα του πρόσφατου παρελθόντος, ενώ το υπέδαφός της συνίσταται από αλλόχθονες κλαστικές αποθέσεις, η ηλικία των οποίων τοποθετείται στο Τεταρτογενές. Οι κλαστικές αυτές αποθέσεις συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα αργίλων, ιλύων, άμμων, χαλίκων και κροκάλων ή μίγματα αυτών.

Η παρουσία θαλάσσιων απολιθωμάτων από Γαστερόποδα και Ελασματοβράγχια στις Ολοκαινικές αποθέσεις της περιοχής αποδεικνύει ότι το τμήμα της πεδιάδας Θεσσαλονίκης- Γιαννιτσών, που εκτείνεται μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού, αποτελούσε κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν μέρος της θάλασσας του Θερμαϊκού. Έτσι προκύπτει ότι η δημιουργία του τμήματος της πεδιάδας Θεσσαλονίκης- Γιαννιτσών, που εκτείνεται μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού και περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης πρέπει να αποδοθεί στην προσχωματική δράση των ποταμών αυτών. Για τον λόγο αυτό παρατίθεται μορφολογικά στοιχεία που αφορούν τις λεκάνες των προαναφερθέντων ποταμών.

Το συμπέρασμα αυτό το οποίο βρίσκεται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα της γεωτρητικής έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή, έχει ιδιαίτερη σημασία από υδρογεωλογική άποψη αφού υποδηλώνει ότι, ***η τροφοδοσία των υπόγειων υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται στις ολοκαινικές αποθέσεις της περιοχής, πρέπει να***

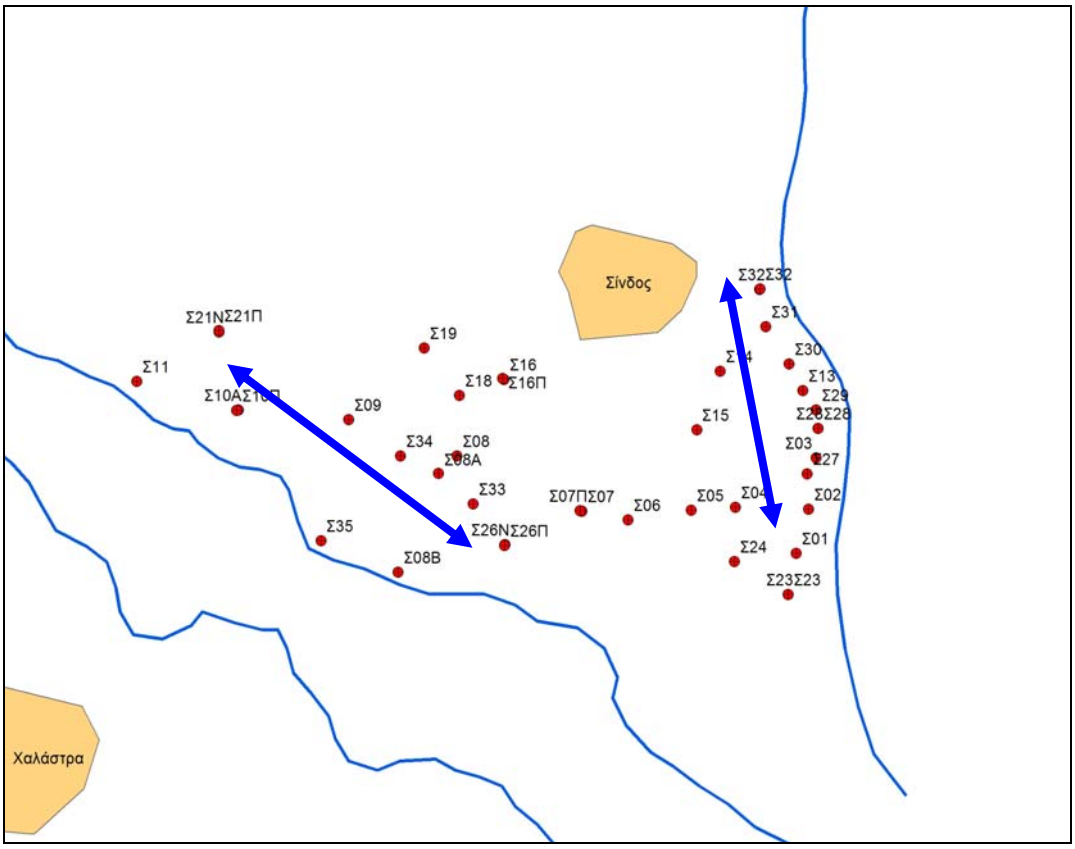
γίνεται ευκολότερα από την πλευρά της κοίτης του Γαλλικού ποταμού και δυσκολότερα από την πλευρά της κοίτης του ποταμού Αξιού.

Υδρογεωλογικά στοιχεία

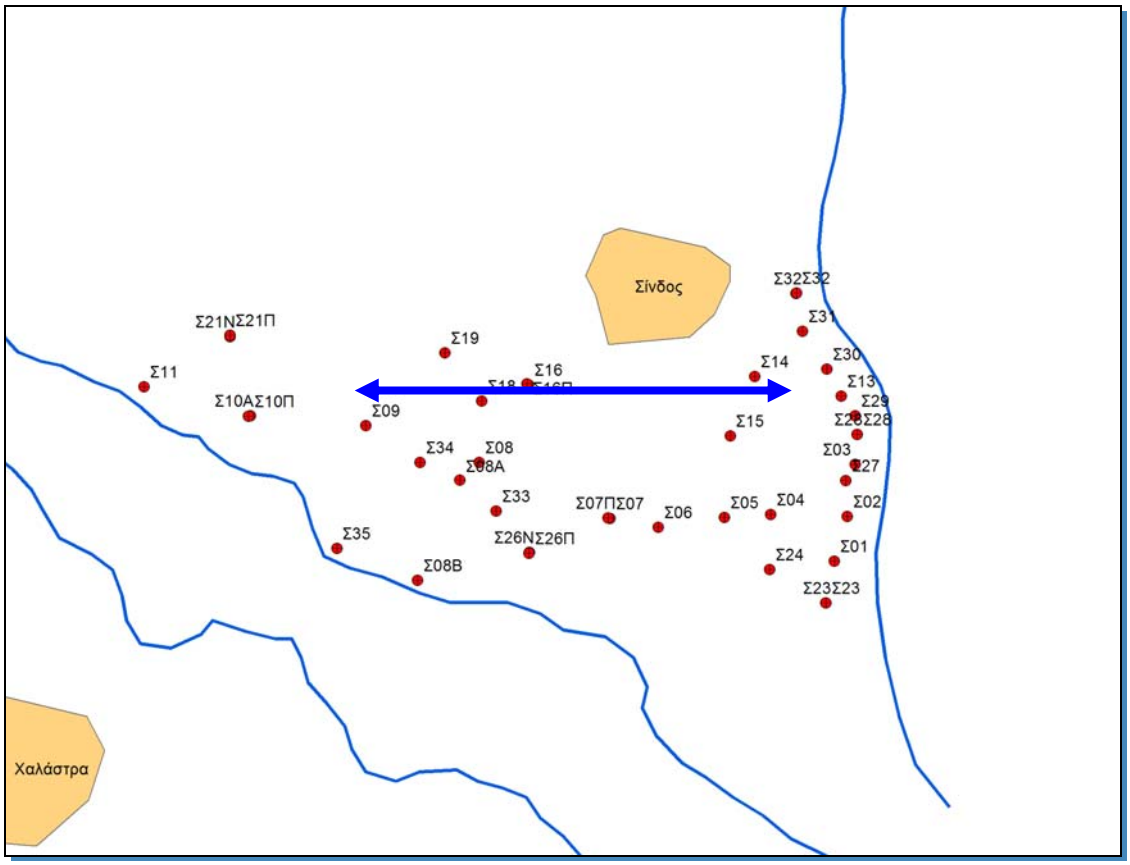
Οι υπόγειοι υδροφορείς της περιοχής αναπτύσσονται σε όλες τις ιζηματογενείς ακολουθίες, εκτός από τις θαλάσσιες αποθέσεις της δελταϊκής κατωφέρειας του Δέλτα του ποταμού Αξιού. Οι υδροφορείς αυτοί είναι επάλληλοι και συνίστανται από άμμους, χάλικες, κροκάλες ή μίγματά τους με μικρό ποσοστό αργιλικών υλικών ή χωρίς αργιλικά υλικά, δεν εμφανίζουν συνεχή εξάπλωση αλλά συνιστούν επιμήκη φακοειδούς μορφής στρώματα μέσα στα λεπτόκοκκα αργιλικά ιζήματα.

Τα φακοειδούς μορφής υδροφόρα αυτά στρώματα αναπτύσσονται άλλοτε κατά γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ έως Β-Ν, παράλληλα προς τις κοίτες των ποταμών Αξιού και Γαλλικού (Σχήμα 3) και άλλοτε κατά γενική διεύθυνση Α-Δ παράλληλα δηλ. προς τις ακτογραμμές του κόλπου του Θερμαϊκού (Σχήμα 4), ανάλογα με το είδος της ιζηματογενούς φάσεως στην οποία ανήκουν.

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.



Σχήμα 3: Ανάπτυξη υδροφοριών στην περιοχή Σίνδου, διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ έως Β-Ν.



Σχήμα 4: Ανάπτυξη υδροφοριών στην περιοχή Σίνδου, διεύθυνσης Α-Δ.

Επίσης η φακοειδής μορφή των υπόγειων υδροφορέων της περιοχής, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι τα αναπτυσσόμενα στους βαθύτερους ορίζοντες υδροφόρα στρώματα πρέπει να περιέχουν εγκλωβισμένα νερά μεγάλης ηλικίας.

Βροχομετρικά δεδομένα της περιοχής

Για τη μελέτη της διακύμανσης των βροχοπτώσεων στην περιοχή έρευνας χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού Σίνδου για την περίοδο των υδρολογικών ετών 1972-73 έως 2000-01 (Πίνακας1).

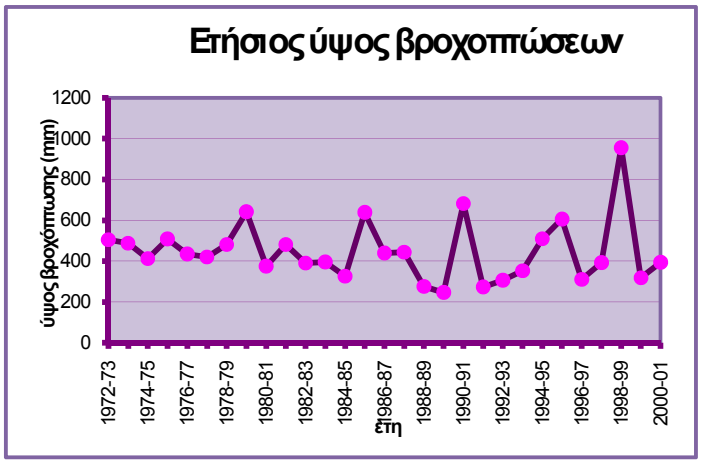
Πίνακας1: Βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού Σίνδου.

ΕΤΟΣ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΕΤΗΣ.
1972-73	57	77.4	33.5	45.3	31.5	61.1	61.1	5.4	15.4	15.8	14.5	87.7	505.7
1973-74	71.9	35.2	30.6	61.1	84.9	57	57	38.8	25.3	0	7.5	19	488.3
1974-75	25.5	54.7	62.3	19	7.5	21.3	21.3	49.8	43.8	12.1	89	6.1	412.4
1975-76	17.7	23	13.9	18	56	20.6	20.6	154.3	32.3	73.1	77.3	2.3	509.1
1976-77	37.8	106	8.8	11.7	7.3	44.2	44.2	74.8	41	25	5	29.2	435
1977-78	10.6	59.5	13.5	40	65	14	14	60.2	10	1.8	65	67	420.6
1978-79	100	17.5	76	10	34.3	13.8	13.8	40.5	23.1	39.5	70	43	481.5
1979-80	103.5	105	21.5	65	13	70.5	70.5	62	43	59	0	29.5	642.5
1980-81	135	34	57	29	13	24	24	13	16	4.8	26	0	375.8
1981-82	44.5	109	43	11	33.8	56	56	28	5	6	87	2.5	481.8
1982-83	43	120.5	21.5	7	6.5	16.5	16.5	11.5	106.5	14	24	3	390.5
1983-84	18.5	38	165	39	30.7	29	29	3	24	7.5	9.5	2.8	396
1984-85	0	57.9	55.3	18.5	9	63	63	13.8	6.5	0.5	18	21	326.5
1985-86	11.5	137.5	0	41	178.5	50	50	62.5	70.5	12	11.5	14.5	639.5
1986-87	17.5	30	1.6	23.2	41.9	108.2	108.2	25.1	13.7	17.1	11.2	42.5	440.2
1987-88	46	117.9	48.7	13.5	14.5	91.2	91.2	7.6	9.6	4	0	0	444.2
1988-89	4	73.6	0	0	0	23.1	23.1	61.9	48.2	20.5	0	21.6	276
1989-90	11.6	23.8	34.2	29.8	1	0.6	0.6	59	7	35.5	30	13.3	246.4
1990-91	27.4	286	9	7.4	67.5	36.4	36.4	33.4	29.7	40.3	80	29.2	682.7
1991-92	20.5	24.8	2	0	0	18	18	48	69.5	55.5	6.5	11	273.8
1992-93	83	64.5	44	28.3	1	38	38	7.5	0	0	0	2	306.3
1993-94	39.1	79.3	16	57	35.5	1.3	1.3	78	0	28	17	0	352.5
1994-95	98.5	58.5	18	45	13	39	39	70	24	22.5	43.7	38.5	509.7
1995-96	6	36.5	33.4	119.5	133	42.5	42.5	28	0	18	60.7	87	607.1
1996-97	35	19.5	32.2	29.1	60.2	26	26	17	6.5	33.5	15.8	10	310.8
1997-98	95.5	27.5	53.5	41	63	5	5	68.5	10.3	0	4	19.5	392.8
1998-99	370	284	42	8.2	28	34.2	35	7.4	29.4	15	4	100.4	957.6
1999-00	44.8	106.8	32.3	4.4	42	8.6	8.6	28.6	2.2	7.2	16.2	16.6	318.3
2000-01	76.2	36	1.6	29.36	38.2	36.1	36.2	41.3	25.4	20.2	28.3	25.7	394.56

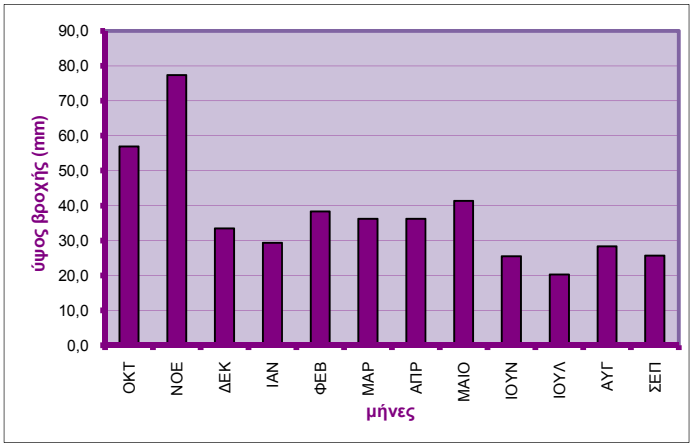
Aver.	**57.0**	**77.4**	**33.5**	**29.4**	**38.3**	**36.2**	**36.2**	**41.3**	**25.4**	**20.3**	**28.3**	**25.7**	**448.9**
Max	370	286	165	119.5	178.5	108.2	108.2	154.3	106.5	73.1	89	100.4	957.6
Min	0	17.5	0	0	0	0.6	0.6	3	0	0	0	0	246.4
S.dev.	70.0	67.5	32.7	25.1	40.5	25.9	25.9	32.2	24.7	18.9	29.3	27.8	149.9

Στο Σχήμα 5 παρουσιάζεται η πορεία του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης του σταθμού, απ' όπου προκύπτει ευρεία διακύμανση τιμών. Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής είναι 448,9 mm.

Το υδρολογικό έτος 1998-99 και μετά το 1990-91 ήταν τα έτη με το μεγαλύτερο ύψος βροχής, ενώ το 1989-90 και μετά το 1988-89 ήταν έτος ξηρασίας. φαίνεται η πορεία του μηνιαίου ύψους βροχής για την ίδια χρονική περίοδο. Από το σχήμα αυτό προκύπτει ότι ο πλέον υγρός μήνας είναι ο Νοέμβριος και ακολουθούν ο Οκτώβριος και ο Μάιος.



Σχήμα 5: Διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχόπτωσης (mm) στο σταθμό Σίνδου.



Σχήμα 6: Ιστογράμματα των μέσων μηνιαίων υψών βροχόπτωσης του σταθμού Σϊνδου για την περίοδο 1970-2000.

Ο πλέον ξηρός μήνας είναι ο Ιούλιος με μέση βροχόπτωση 20,3 mm και ακολουθεί ο Ιούνιος. Από τα βροχομετρικά στοιχεία παρατηρείται ότι, το μέγιστο μηνιαίο ύψος βροχής εμφανίζεται τον Οκτώβριο του 1998 και είναι 370 mm, ενώ το ελάχιστο είναι 0 και παρατηρείται σε πολλούς μήνες και σε διάφορα έτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2Ο

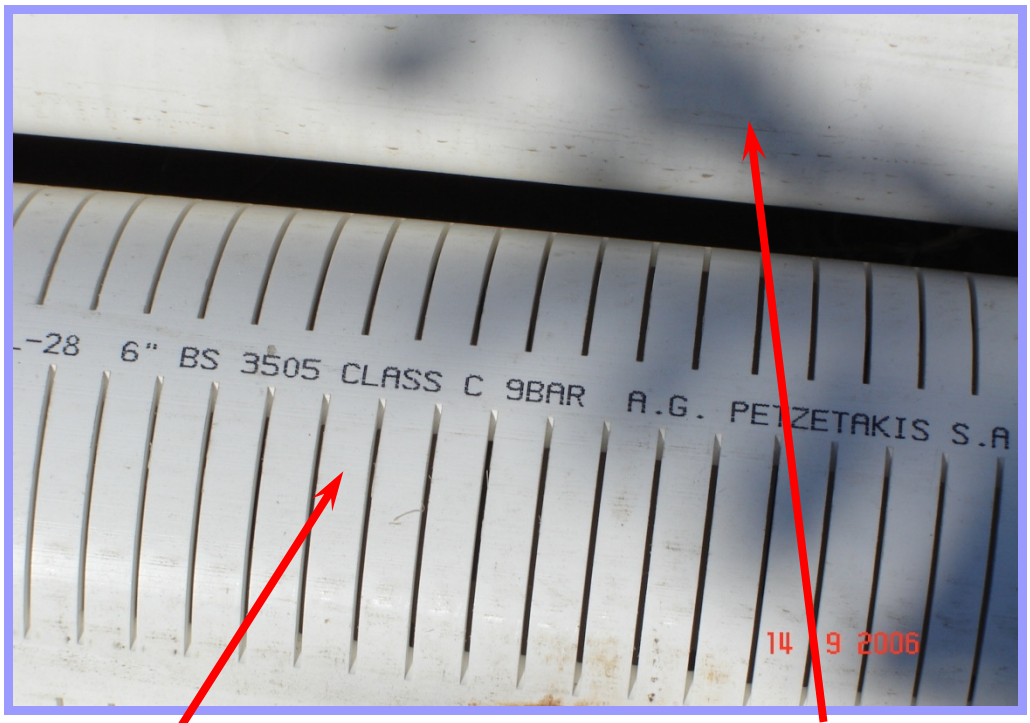
Διατρητική έρευνα

Για τη διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών ανορύχθηκαν 1 γεώτρηση βάθους 108 μέτρων και 4 πιεζόμετρα σε κοντινές αποστάσεις.

Αφού επιλέχθηκε ο τόπος των γεωτρήσεων ξεκινά μια διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει τα τυπικά στάδια ανόρυξης μιας υδρογεώτρησης:

1. Η αρχική διάτρηση και η διεύρυνση
2. Η σωλήνωση
3. Ο καθαρισμός
4. Η τοποθέτηση του μηχανισμού άντλησης (στην κύρια γεώτρηση)
5. Η δοκιμαστική άντληση

Οι σωλήνες των γεωτρήσεων είναι με φίλτρα (δηλ. εγκοπές) και "τυφλές" (δηλ. χωρίς εγκοπές). Το μήκος του κάθε σωλήνα είναι περίπου 6 μέτρα. Το μέσο βάθος των γεωτρήσεων ανέρχεται στα 108 μέτρα περίπου.



Σωλήνας με εγκοπές, δηλαδή φίλτρα.

Σωλήνας χωρίς εγκοπές, δηλαδή " τυφλός " .

Εικόνα 1: Σωλήνες των γεωτρήσεων

1ο ΣΤΑΔΙΟ

Η γεώτρηση ξεκινά με την αρχική διάτρηση, που γίνεται με το κοπτικό άκρο (τρίφτερο) και στη συνέχεια ακολουθεί η διεύρυνση της γεώτρησης (κουκουνάρα).

Εικόνα 2: Επάνω: Τρίφτερο (αρχική διάτρηση της γεώτρησης)
Κάτω: "κουκουνάρα" (διεύρυνση της γεώτρησης)

Ταυτόχρονα για την καλή λειτουργία του κοπτικού άκρου αλλά κυρίως για την σταθεροποίηση των τοιχωμάτων της γεώτρησης χρησιμοποιείται ένα ειδικό μείγμα από μπετονίτη και νερό.

2ο ΣΤΑΔΙΟ

Ακολουθεί η σωλήνωση της γεώτρησης καθώς με το γεωτρύπανο κατεβαίνουν οι εξάμετρες σωλήνες .

Εικόνα 3: Σωλήνωση της γεώτρησης, με το γεωτρύπανο κατεβαίνουν οι εξάμετρες σωλήνες. Ο πρώτος σωλήνας ειναι περίπου 60εκ. Και ειναι κλειστο από κάτω και ονομάζεται κώνος.

Εικόνα 4: Πάνω στους σωλήνες, οι καθηγητές της Γεωφυσικής, κ. Π. Τσούρλος και κ. Δρ. Γ. Βαργεμέζης τοποθετούν ηλεκτρόδια ώστε με τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης να βγάλουν χρήσιμα συμπεράσματα από τον τεχνητό εμπλουτισμό του υπόγειου υδροφορέα. Γίνεται ψηφιακή χαρτογράφηση των στρωμάτων και κατασκευάζεται χάρτης με το υπόβαθρο.

Αφού τελειώσει η διαδικασία της σωλήνωσης, θα «χαλικωθεί» η γεώτρηση, δηλαδή θα πληρωθούν τα κενά μεταξύ σωλήνων και τοιχωμάτων με ανδρόκοκκα υλικά (χαλίκια).

Εικόνα 5: Στη φωτογραφία φαίνεται η «χαλίκωση» της γεώτρησης με αδρόκοκκο χαλίκι το οποίο γεμίζει τα κενα μεταξύ σωλήνων και τοιχωμάτων και η τοποθέτηση του σωλήνα για τον καθαρισμό με το κομπρεσέρ (airlift).

3ο ΣΤΑΔΙΟ

Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει τον καθαρισμό της γεώτρησης με ένα κομπρεσέρ (airlift), το οποίο εισάγει τον αέρα με μεγάλη πίεση και αυτός με τη σειρά του πιέζει το νερό, το οποίο εξέρχεται και έτσι καθαρίζεται η γεώτρηση.

α

β

γ

Εικόνα 6:

(α) Το κομπρεσέρ το οποίο θα εισπιέσει μέσω του σωλήνα αέρα στη γεώτρηση

(β) και αυτή με τη σειρά της θα καθαρίζεται και θα αποβάλλει το νερό με πίεση.

(γ) Παρατηρείται ότι το νερό από τη γεώτρηση είναι καφέ (γ). Θα έχει καθαριστεί

εντελώς η γεώτρηση όταν θα βγαίνει σχεδόν καθαρό νερό.

4ο ΣΤΑΔΙΟ

Αφού καθαριστεί η γεώτρηση τοποθετείται ο μηχανισμός της άντλησης. Είναι υποβρύχιος, δηλαδή τοποθετείται μέσα στους σωλήνες και όχι επιφανειακά (εξωτερικά). Ο κάθε μηχανισμός διαφέρει ως προς την ισχύ του και την ποσότητα του αντλούμενου νερού.

Εικόνα 7 : Ο μηχανισμός άντλησης της γεώτρησης που τοποθετήθηκε στην κύρια γεώτρηση (ΕΜ) για το πείραμα του τεχνητού εμπλουτισμού.

5ο ΣΤΑΔΙΟ

Η δοκιμαστική άντληση ή προάντληση είναι το τελευταίο στάδιο πριν την κανονική λειτουργία της γεώτρησης. Έτσι μπαίνει σε λειτουργία η γεώτρηση και γίνονται διάφορες μετρήσεις, π.χ. στάθμη του υδροφόρου, ώστε να διαπιστωθεί η ομαλή λειτουργία . Αυτή η διαδικασία παίρνει πολλές ώρες αφού κατά τακτά χρονικά διαστήματα πρέπει να λαμβάνεται η στάθμη του νερού. Εφόσον τελειώσει η διαδικασία η γεώτρηση είναι έτοιμη για λειτουργία.

Εικόνα 8 : Στην εικόνα φαίνεται το εξωτερικό τμήμα του μηχανισμού

άντλησης της κύριας γεώτρησης (ΕΜ).

Αντλητικές δοκιμές

Για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφορέα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα των δοκιμαστικών αντλήσεων, που έλαβαν χώρα μετά το πέρας της ανόρυξης της γεώτρησης ΕΜ.

Οι κυριότερες υδραυλικοί παράμεροι είναι ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας Τ, ο συντελεστής αποθηκευτικότητας S και ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας k.

Στις 7/11/2006 πραγματοποιήθηκε δοκιμαστική άντληση στη γεώτρηση ΕΜ, καθώς και επαναφορά στάθμης με σκοπό τον υπολογισμό των υδραυλικών χαρακτηριστικών του προσχωματικού υδροφορέα. Η άντληση ήταν σταθερής παροχής (40 m^3/h) και διήρκεσε 6 ώρες. Οι μετρήσεις επαναφοράς της στάθμης έγιναν μετά το πέρας της κύριας άντλησης.

Η μέτρηση της στάθμης έγινε στο πιεζόμετρο της γεώτρησης Ρ0 (απόσταση 0,15 m), καθώς και στα 4 γειτονικά πιεζόμετρα που κατασκευάσθηκαν για το σκοπό αυτό σε αποστάσεις Ρ1=30 m, Ρ2=40 m, Ρ3=30 m, Ρ4=80 m. Η μέτρηση της παροχής άντλησης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση ογκομετρημένου βαρελιού και χρονομέτρου.

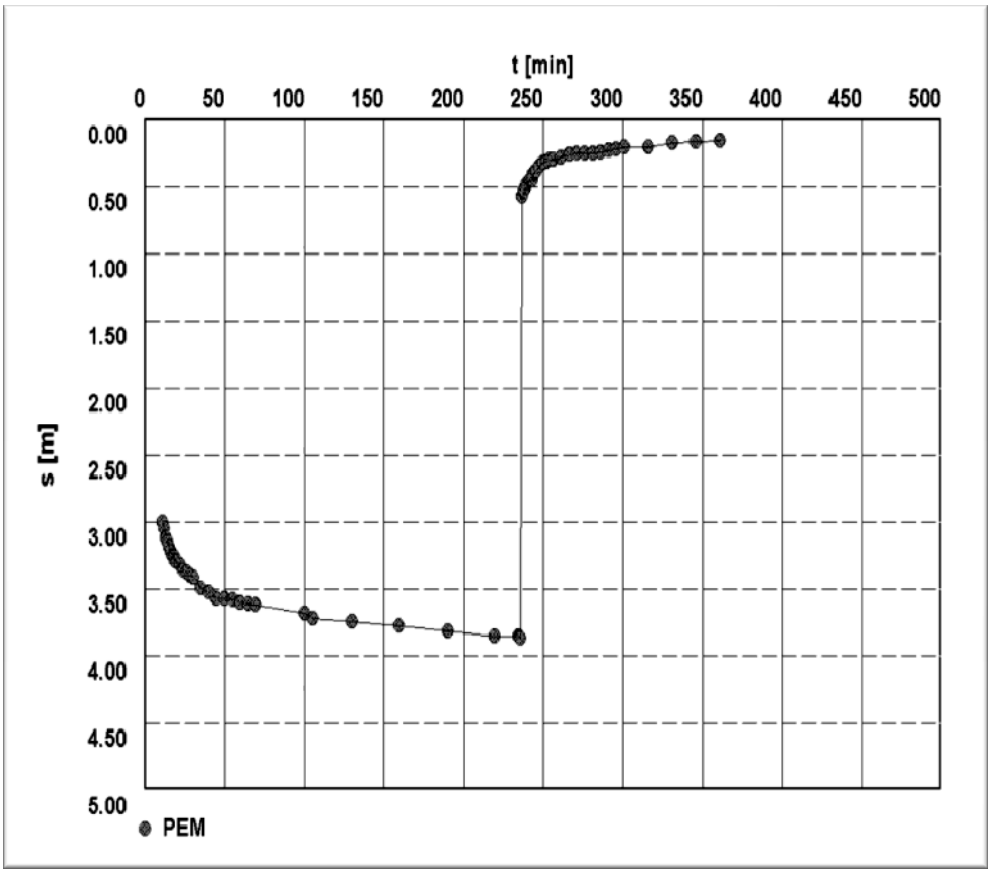
Όπως έχει προαναφερθεί, στην περιοχή έρευνας εμφανίζονται επάλληλα υδροφόρα στρώματα που μπορούν να θεωρηθούν ως ένα ενιαίο που χαρακτηρίζεται από μέση υδραυλική συμπεριφορά. Η αντλούμενη παροχή αντιστοιχεί στη συνολική δυνατότητα των υδροφόρων στρωμάτων και το πάχος τους ισούται με το αθροιστικό πάχος του συνολικού αριθμού των υδροφόρων στρωμάτων.

Ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων έγινε με την εφαρμογή των μεθόδων Theis, Cooper-Jacob και επαναφοράς της στάθμης.

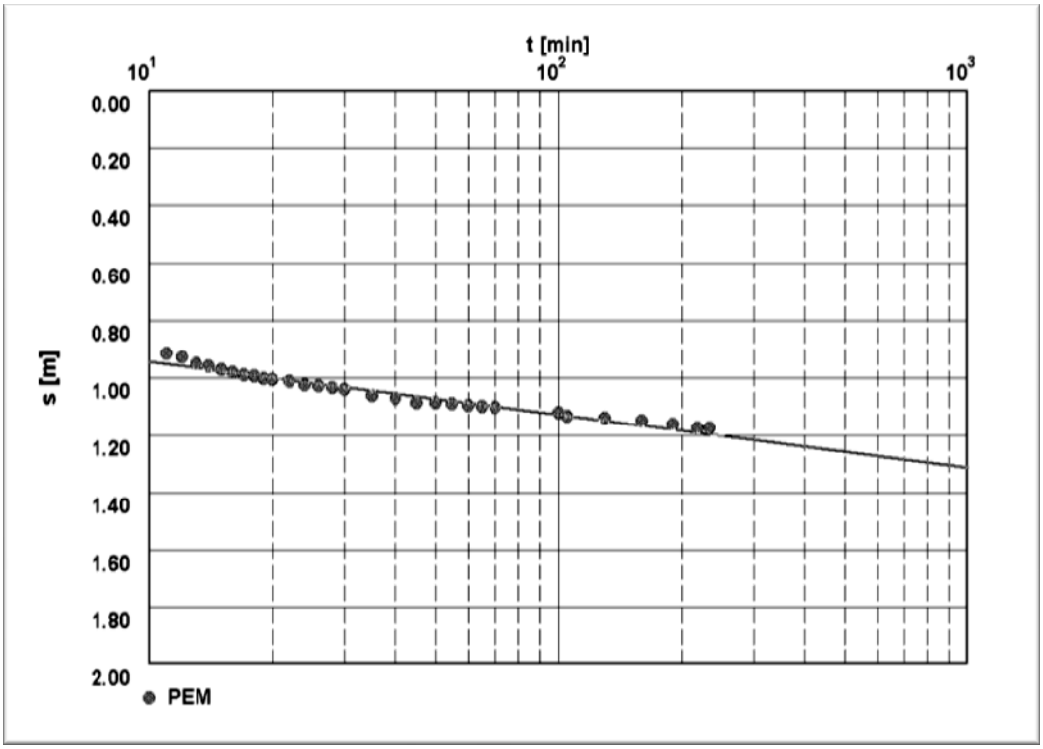
Μετά το πέρας της συμπλήρωσης της γεώτρησης πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές αντλήσεις στην κύρια γεώτρηση. Οι μεταβολές της στάθμης του υπόγειου νερού μετρήθηκαν στα πιεζόμετρα.

Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

1. **<u>Πιεζόμετρο της αντλούμενης γεώτρησης ΕΜ (απόσταση 0,15 m από κύρια γεώτρηση ΕΜ)</u>**



Σχήμα 7 : Διάγραμμα πτώσης στάθμης με το χρόνο στο πιεζόμετρο της αντλούμενης γεώτρησης (ΕΜ).



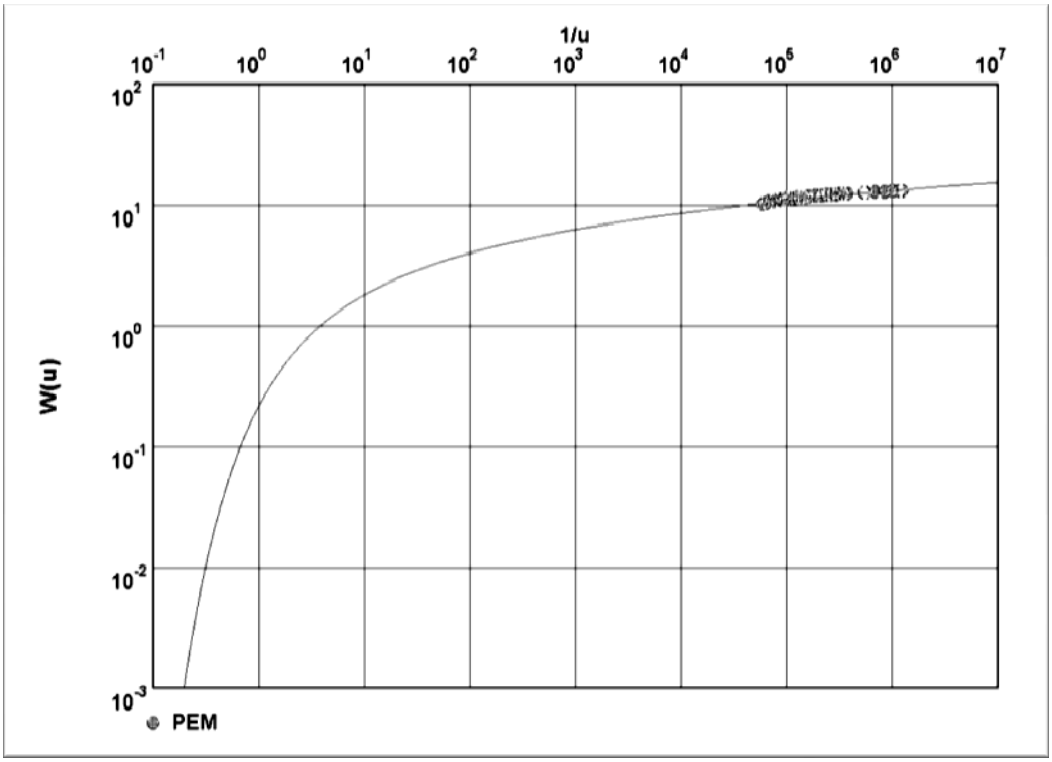
Σχήμα 8 : Διάγραμμα Jacob στο πιεζόμετρο της αντλούμενης γεώτρησης.

Μέθοδος Jacob

T= 2,8x10^{-1} m^2/min

S= 2,3x10^{-2}

k=7,04x10^{-3} m/min



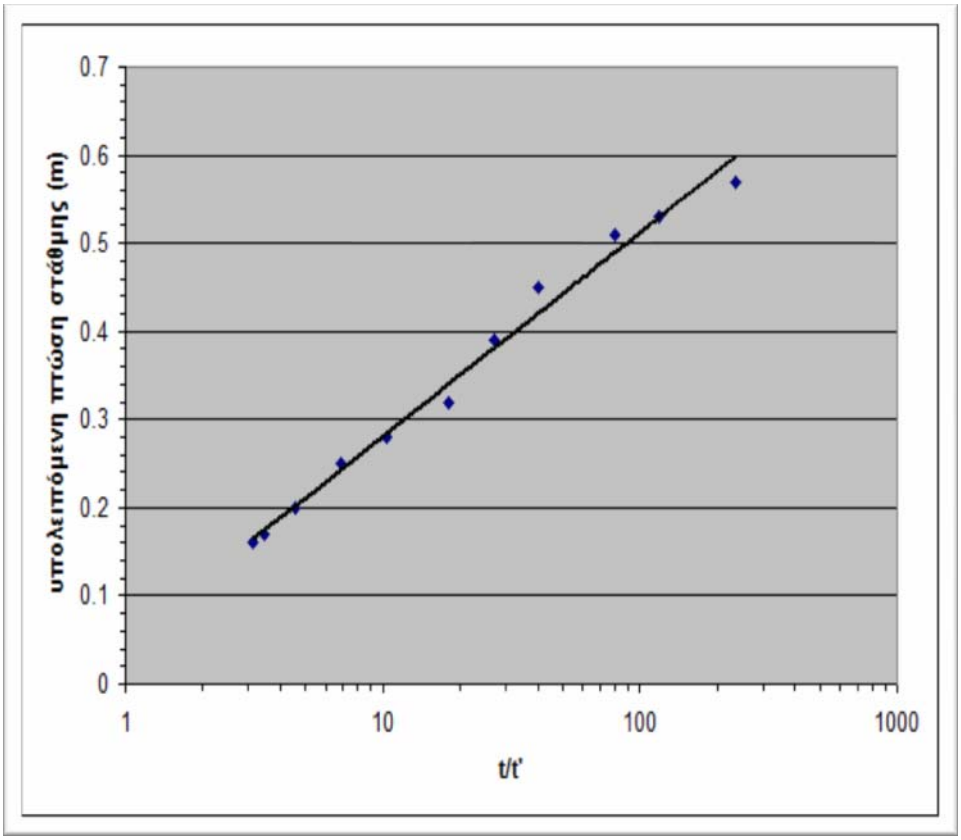
Σχήμα 9 : Διάγραμμα Theis στο πιεζόμετρο της αντλούμενης γεώτρησης.

<u>Μέθοδος Theis</u>

T= 2,53x10^{-1} m^2/min

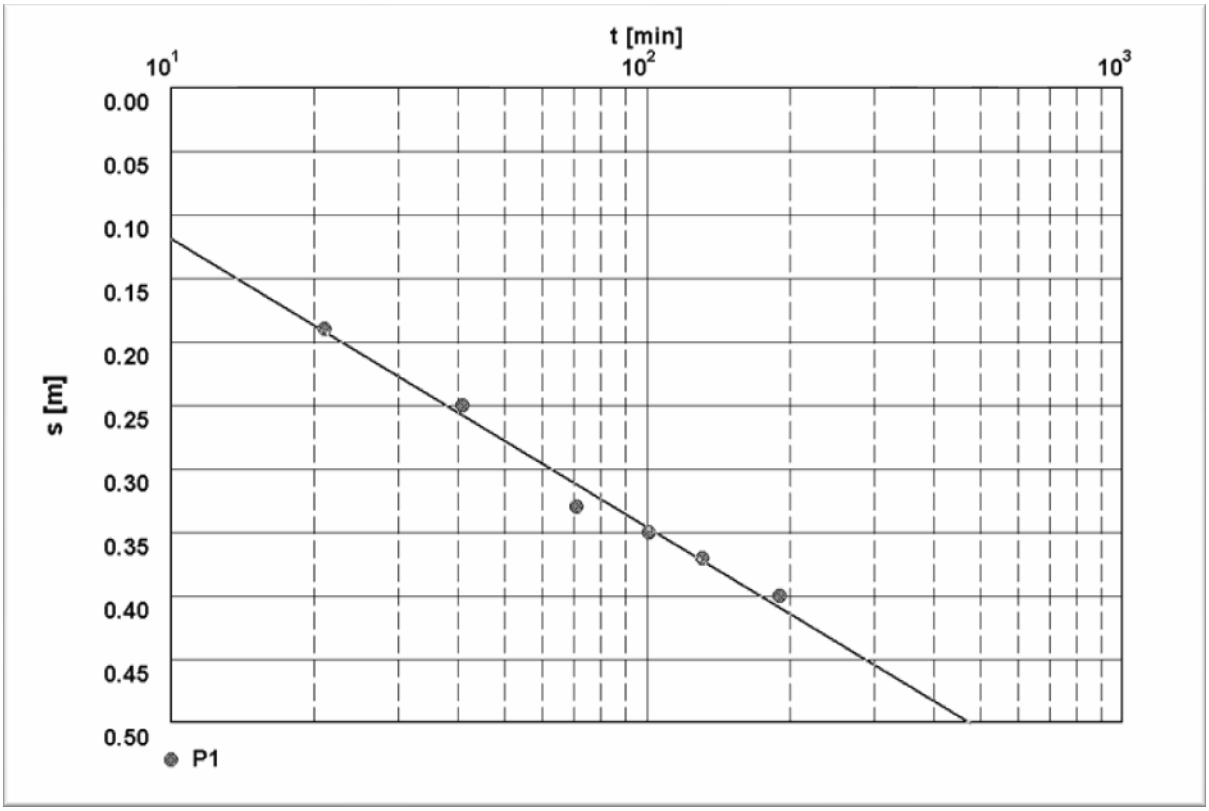
S= 9,03x10^{-2}

k=6,33x10^{-3} m/min



Σχήμα 10 : Διάγραμμα επαναφοράς στάθμης στο πιεζόμετρο της αντλούμενης γεώτρησης.

Πιεζόμετρο P1 (απόσταση 30 m από κύρια γεώτρηση ΕΜ)



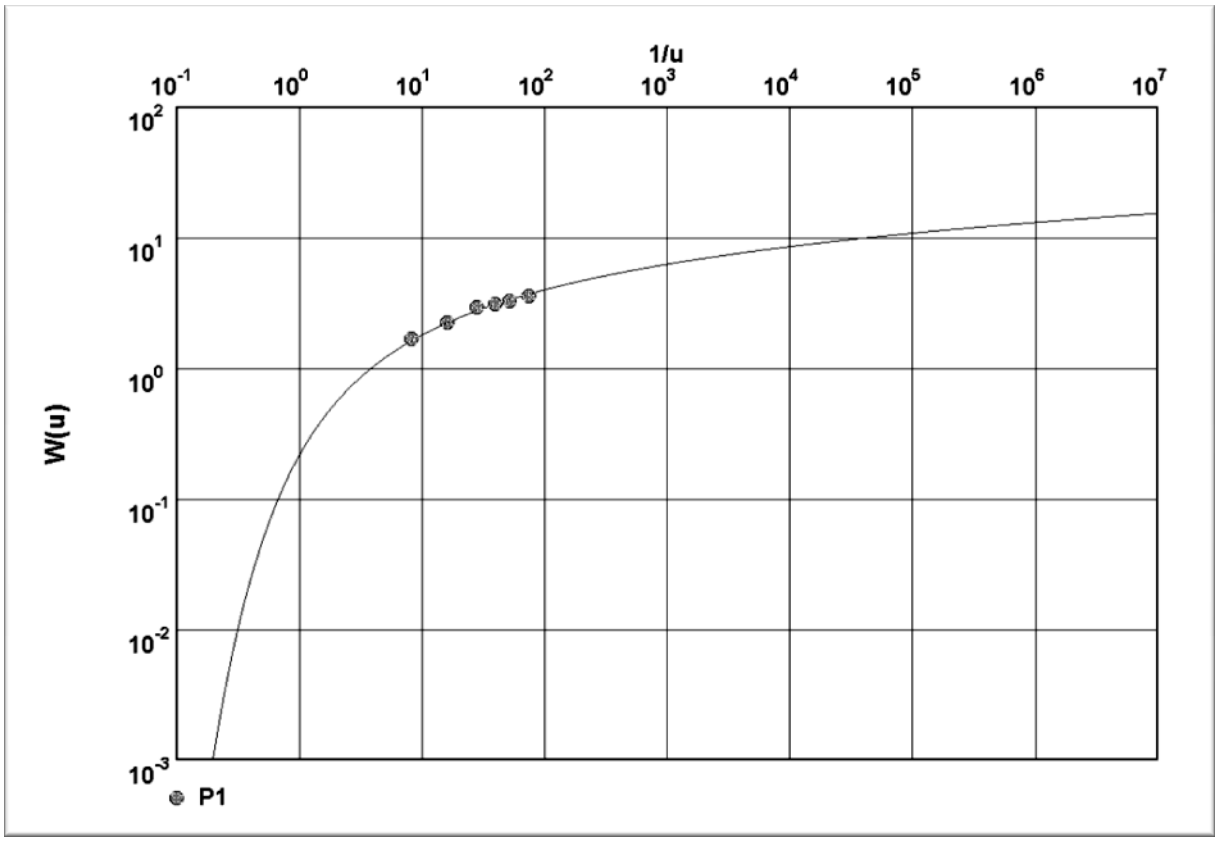
Σχήμα 11: Διάγραμμα Jacob στο πιεζόμετρο P1.

Μέθοδος Jacob

$T = 9{,}4 \times 10^{-1}\ m^2/min$

$S = 2{,}3 \times 10^{-3}$

k=2,35x10^{-2} m/min



Σχήμα 12 : Διάγραμμα Theis στο πιεζόμετρο P1.

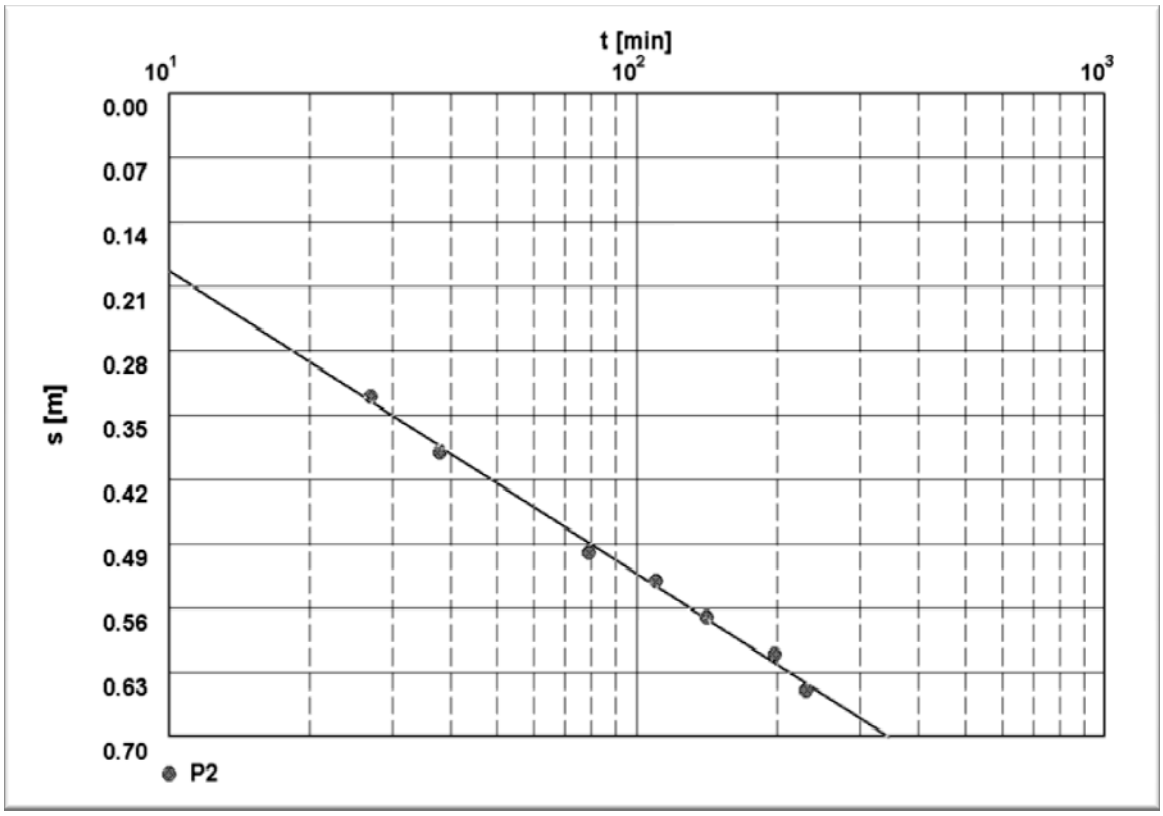
Μέθοδος Theis

T= 7,37x10^{-1} m^2/min

S= 9,3x10^{-3}

k=1,84x10^{-2} m/min

Πιεζόμετρο P2 (απόσταση 40 m από κύρια γεώτρηση ΕΜ)



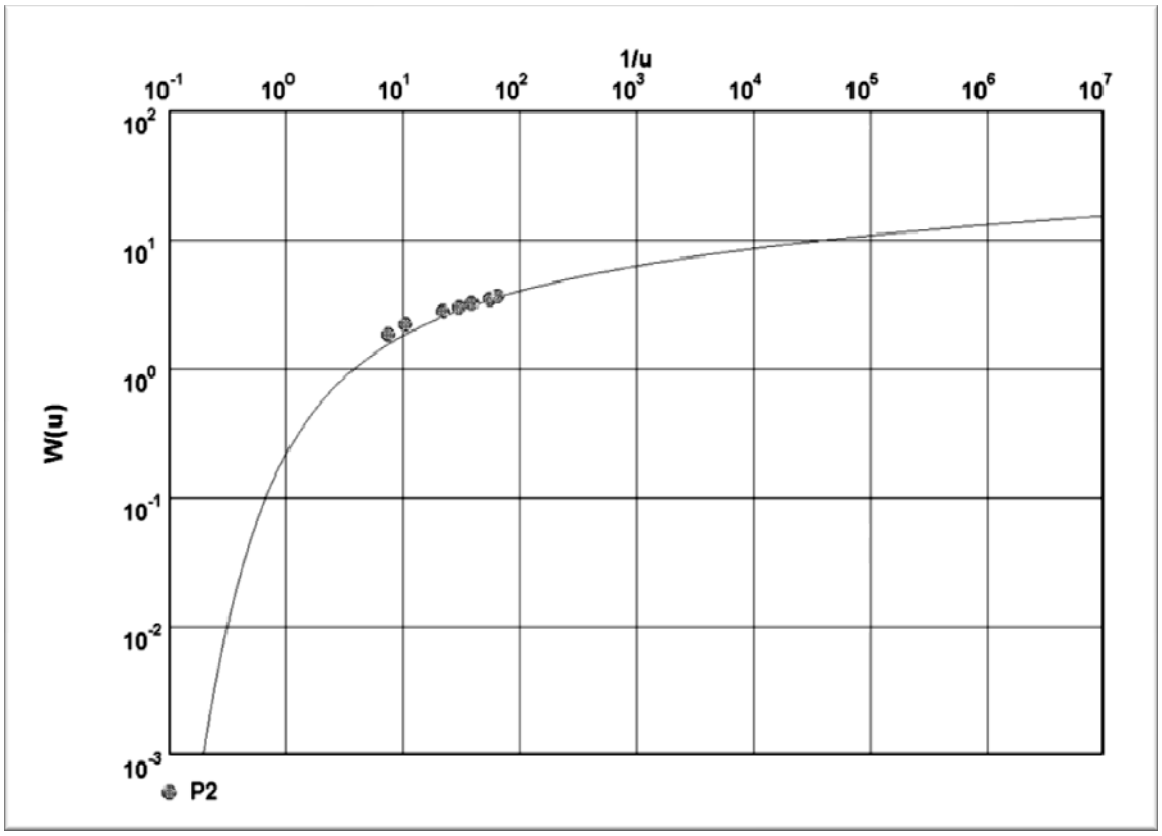
Σχήμα 13 : Διάγραμμα Jacob στο πιεζόμετρο P2.

Μέθοδος Jacob

T= 6,5x10^{-1} m^2/min

S= 2,3x10^{-3}

k=1,62x10^{-2} m/min



Σχήμα 14: Διάγραμμα Theis στο πιεζόμετρο P2.

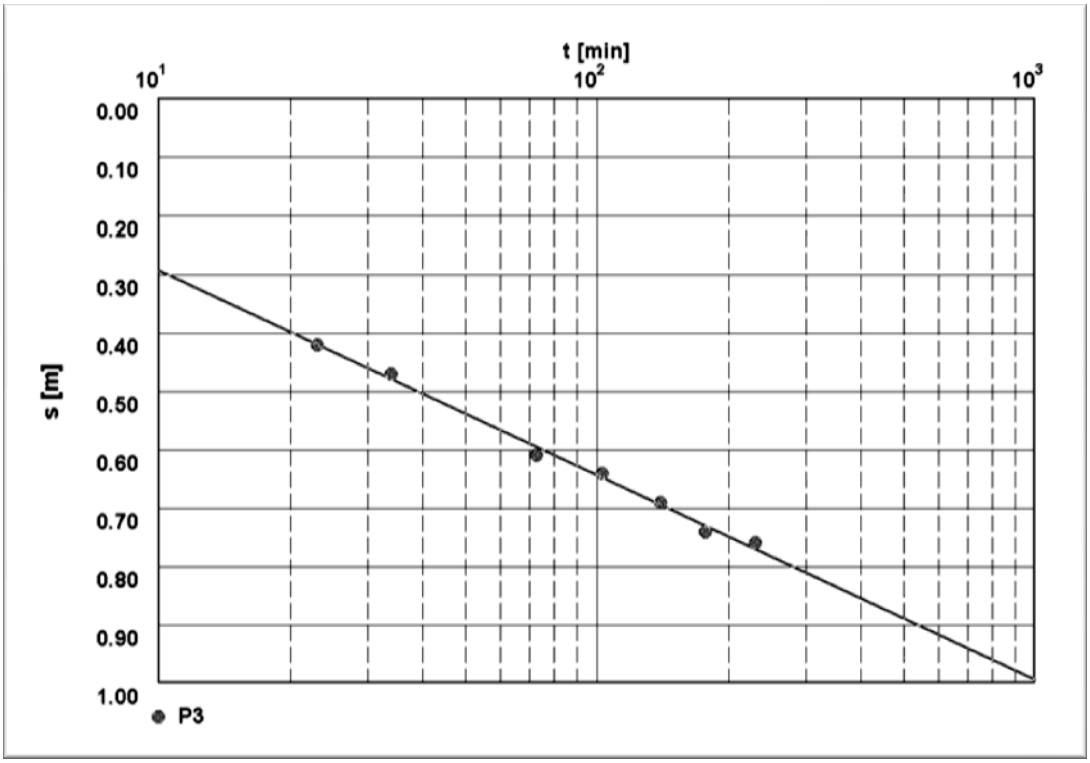
Μέθοδος Theis

T= 5,22x10^{-1} m^2/min

S= 4,67x10^{-3}

k=1,3x10^{-2} m/min

Πιεζόμετρο P3 (απόσταση 30 m από κύρια γεώτρηση ΕΜ)



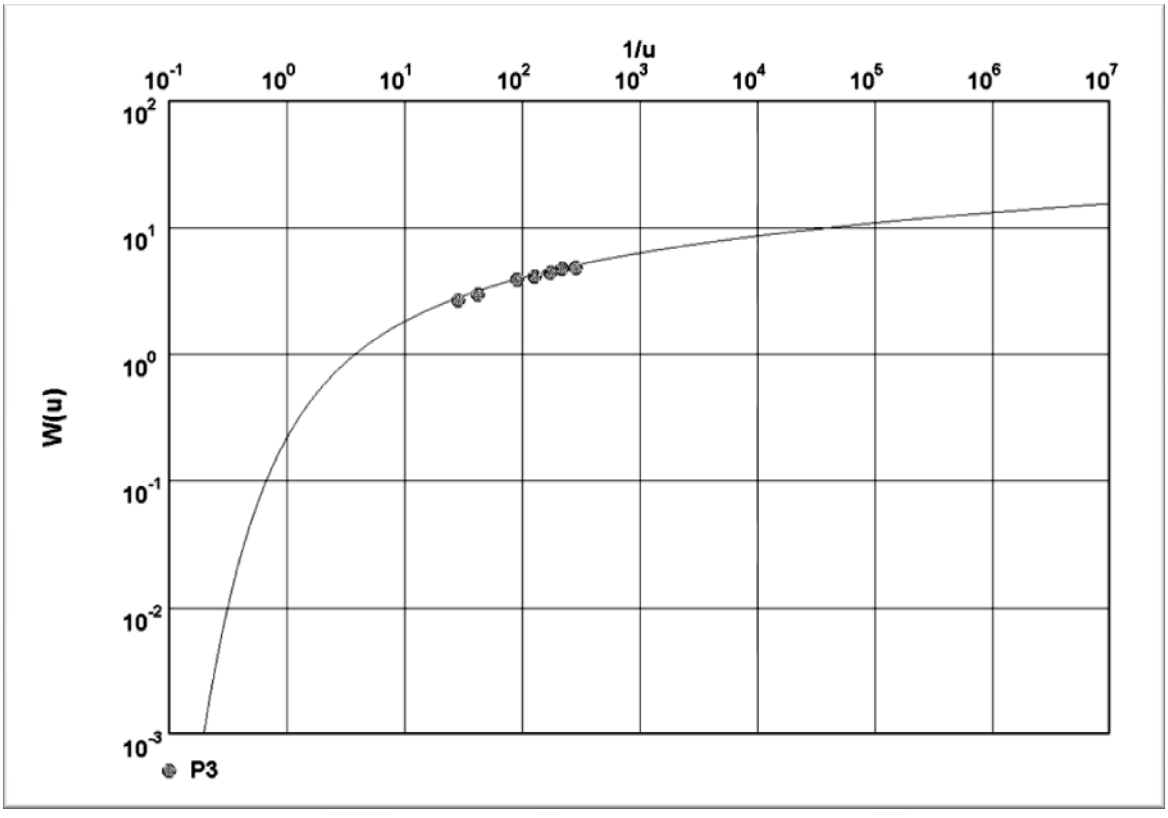
Σχήμα 15 : Διάγραμμα Jacob στο πιεζόμετρο P3.

Μέθοδος Jacob

T= 6,08x10^{-1} m^2/min

S= 2,2x10^{-3}

k=1,52x10^{-2} m/min



Σχήμα 16 : Διάγραμμα Theis στο πιεζόμετρο P3.

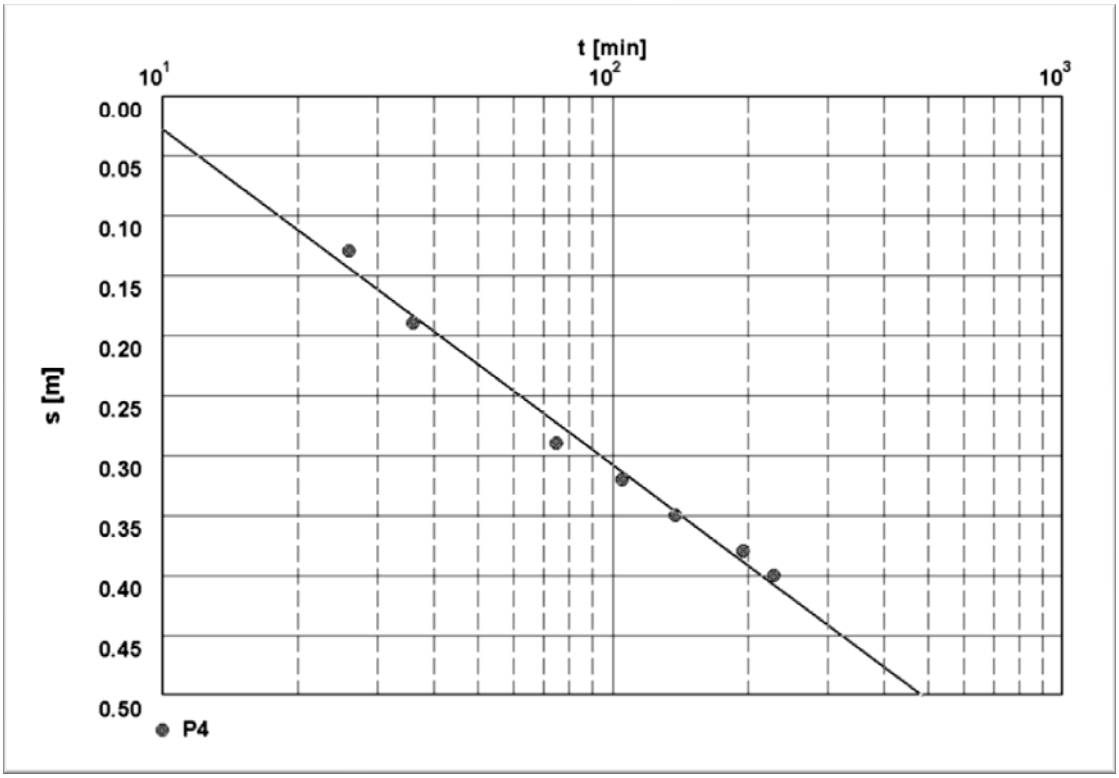
Μέθοδος Theis

$T= 5,85x10^{-1}$ m^2/min

$S= 2,08x10^{-3}$

$k=1,46x10^{-2}$ m/min

Πιεζόμετρο P4 (απόσταση 80 m από κύρια γεώτρηση ΕΜ)



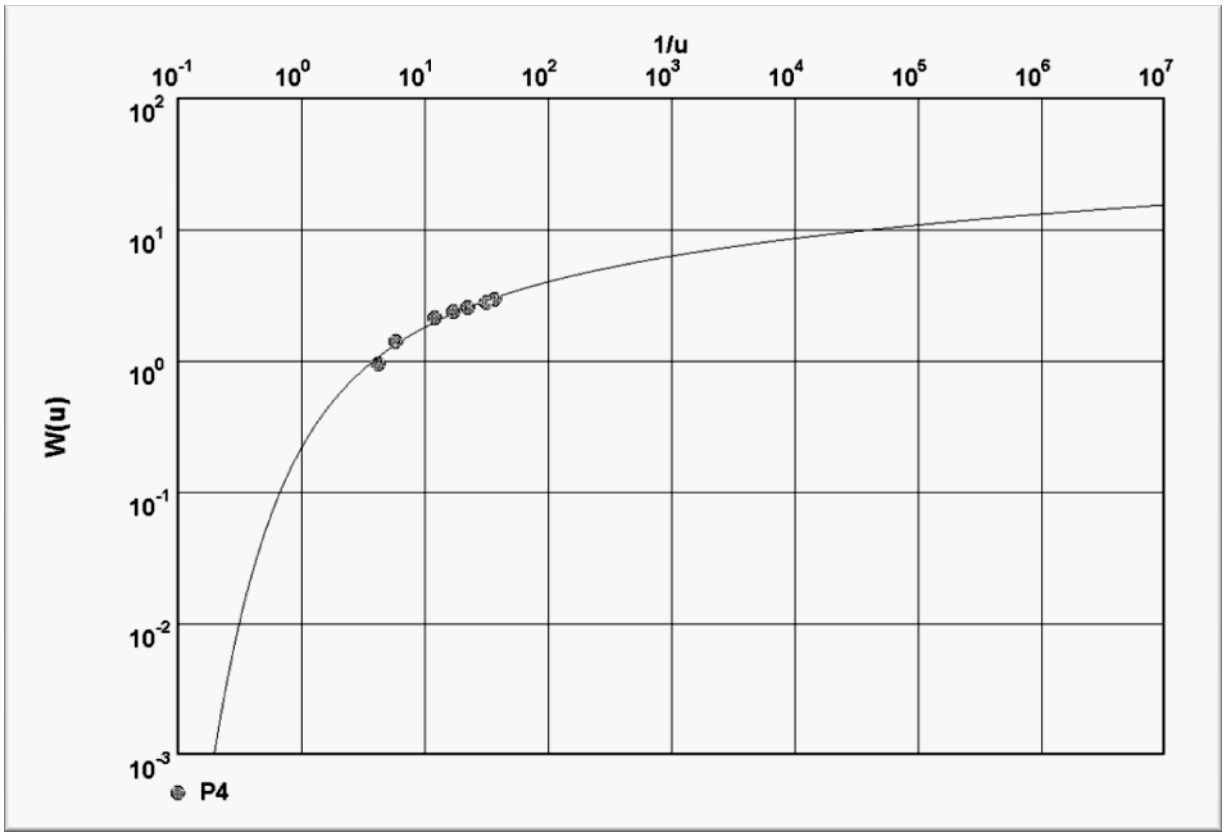
Σχήμα 17 : Διάγραμμα Jacob στο πιεζόμετρο P4.

Μέθοδος Jacob

T= 7,63x10^{-1} m^2/min

S= 2,13x10^{-3}

k=1,9x10^{-2} m/min



Σχήμα 18 : Διάγραμμα Theis στο πιεζόμετρο P4.

Μέθοδος Theis

T= 6,82x10^{-1} m^2/min

S= 2,63x10^{-3}

k=1,7x10^{-2} m/min

Ακτίνα επίδρασης

Η ακτίνα επίδρασης R ή επιρροής (radius of influence) είναι η μέγιστη στάση από τη γεώτρηση, πέραν της οποίας δεν γίνονται αισθητά τα αποτελέσματα της άντλησης, δηλ. Η πτώση στάθμης είναι μηδέν. Η απόσταση αυτή, σύμφωνα με το πρότυπο Jacob υπολογίζεται από την κάτωθι σχέση,

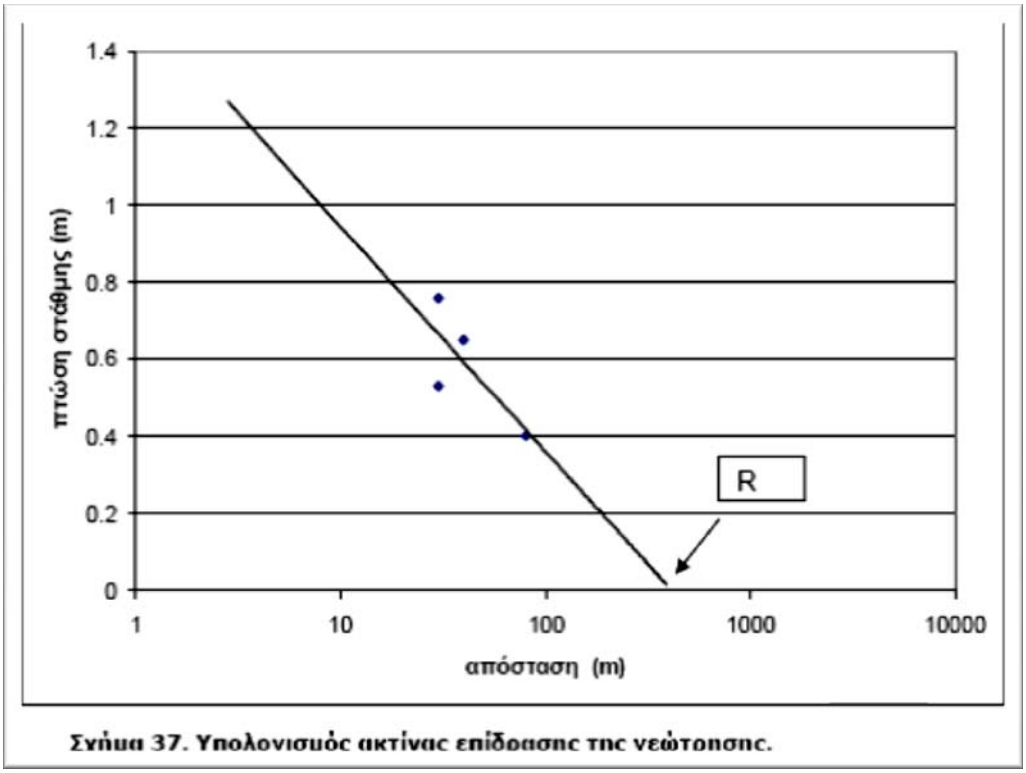
$R=1,5(a*t)^{½}$

Όπου: α= διαχυτικότητα ή μεταδοτικότητα και ίση με το πηλίκο T/S

(T= η μεταβιβαστικότητα και S= η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα)

T= χρόνος.

Από την ανωτέρω σχέση προκύπτει ότι η ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης αυξάνει με την πάροδο του χρόνου και δεν εξαρτάται από την παροχή άντλησης. Ο ρυθμός όμως αύξησης (dR/dt) αποδεικνύεται ότι είναι αντιστρόφως ανάλογος της τετραγωνικής ρίζας του χρόνου, που σημαίνει ότι ο ρυθμός αύξησης της ακτίνας επίδρασης μειώνεται συνεχώς με το πέρασμα του χρόνου. Η ακτίνα επίδρασης σχετίζεται με την επέκταση του κώνου πτώσης στάθμης, τη ζώνη ανάκτησης και τις ζώνες προστασίας των υδροληπτικών έργων.



Σχήμα 37. Υπολονισμός ακτίνας επίδρασης της νεώτησης.

Σχήμα 19 : Διάγραμμα πτώσης στάθμης με την απόσταση.

Πίνακας 2: Συνοπτικά αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων στην περιοχή Σίνδου.

	Μέθοδος Theis		Μέθοδος Jacob		Μέθοδος Επαναφοράς στάθμης	
	T (m^2/min)	*S*	*T* (m^2/min)	*S*	*T* (m^2/min)	*S*
P0	$2,53x10^{-1}$	$9,03x10^{-2}$	$5,7x10^{-1}$	$9,3x10^{-3}$	$3,4x10^{-1}$	
P1	$7,37x10^{-1}$	$9,3x10^{-3}$	$9,4x10^{-1}$	$2,3x10^{-3}$		
P2	$5,22x10^{-1}$	$4,67x10^{-3}$	$6,5x10^{-1}$	$2,3x10^{-3}$		
P3	$5,85x10^{-1}$	$2,08x10^{-3}$	$6,08x10^{-1}$	$2,2x10^{-3}$		
P4	$6,82x10^{-1}$	$2,63x10^{-3}$	$7,63x10^{-1}$	$2,13x10^{-3}$		

Από τον ανωτέρω Πίνακα προκύπτει ότι ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας Τ κυμαίνεται μεταξύ 2,53x10-1 m^2/min και 9,4x10^{-1} m^2/min. Η μέση τιμή του συντελεστή Τ με τη μέθοδο Jacob είναι 6,48x10-1 m^2/min και με τη μέθοδο Theis είναι 5,56x10^{-1} m^2/min. Παρατηρείται δηλαδή ότι και με τις δύο μεθόδους τα αποτελέσματα είναι παρόμοια.

Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας S και με τις δύο μεθόδους παίρνει τιμές της τάξεως του $10^{-3.}$

Με βάση τα πάχη των υδροφόρων στρωμάτων προκύπτει ότι ο συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας k παίρνει τιμές που κυμαίνονται από 7,03x10^{-3} έως 1,3 x10^{-2} m/min.

Οι διακυμάνσεις των τιμών οφείλονται στην ανομοιογένεια του υδροφορέα στις διάφορες διευθύνσεις.

Τέλος με βάση τις πτώσεις στάθμης στα 4 πιεζόμετρα, η ακτίνα επίδρασης της γεώτρησης P0 υπολογίσθηκε σε 400 m.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3Ο

Εργαστηριακές δοκιμές

Οι εργαστηριακές δοκιμές εδαφομηχανικής πραγματοποιήθηκαν στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και συγκεκριμένα από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας του Τμήματος Γεωλογίας. Οι δοκιμές έγιναν από την υποψήφια διδάκτορα Σοφία Σηφουνάκη υπό την επίβλεψη του Καθηγητή κου Χρηστάρα Βασίλειου.

Εκτελέσθηκαν σύμφωνα με τις ισχύουσες ελληνικές προδιαγραφές του ΥΠΕΧΩΔΕ (Ε105-86) και τις αντίστοιχες οδηγίες και προδιαγραφές της A.S.T.M. (American Society for testing and Materials), της AASHTO (American

22/5/2009 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

Association of State Highway and Transportation Officials) και της B.S. (Βρετανικά Πρότυπα).

• ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΞΗΡΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (AASHO T-147, ASTMC-29)

Το ξηρό φαινόμενο βάρος ορίζεται ως το πηλίκο του ξηρού βάρους του εδάφους (μετά από ξήρανση 24 ωρών, σε 110^0C) προς τον ολικό όγκο του εδάφους:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V}\left(\frac{gr}{cm^3}\right)$$

Όπου: W, το συνολικό ξηρό βάρος του δείγματος όπου συμπεριλαμβάνονται και οι πόροι V, ο ολικός όγκος του δείγματος.

Οι μετρήσεις και οι υπολογισμοί δίνονται στο αντίστοιχο εργαστηριακό έντυπο.

• ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΒΑΡΟΥΣ (ASTM D-854/83, AASHO T-100/75)

Το ειδικό βάρος ενός εδάφους είναι ο λόγος του βάρους ορισμένου όγκου κόκκων εδάφους προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου νερού θερμοκρασίας 4^0C :

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w}$$

Με δεδομένο ότι το ειδικό βάρος του νερού γw, σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας ισούται με 1, το ειδικό βάρος των στερεών συστατικών γs ενός εδάφους ισούται αριθμητικά με το λόγο του βάρους της στερεάς ύλης (δηλαδή μόνο το βάρος των κόκκων) προς τον αντίστοιχο όγκο.

• ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΟΡΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΙΚΟΥ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΚΕΝΟΥ

Πορώδες ονομάζεται ο λόγος του όγκου των κενών Vv ενός δείγματος δια του συνολικού του όγκου V:

$$n = \frac{V_V}{V} \cdot 100\ (\%).$$

Με τη συσκευή κενού μπορούμε να υπολογίσουμε τον όγκο των στερεών συστατικών Vs. Από τη σχέση V_v=V-V_s υπολογίζουμε τον όγκο των κενών και επομένως και το πορώδες.

• **ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΠΟΡΩΝ**

Δείκτης πόρων. Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου u964 των κενών Vv ενός πετρώματος ή εδαφικού σχηματισμού προς τον όγκο των στερεών συστατικών Vs: $e = \frac{V_V}{V_S} = \frac{n}{1-n}$. Σε συνθήκες κορεσμού ισχύει $e = \frac{m \cdot \gamma_S}{\gamma_W}$, ενώ για μερικά κορεσμένο έδαφος είναι $e = \frac{m \cdot \gamma_S}{S}$.

Κοκκομετρική *ανάλυση* με τη μέθοδο κοσκινίσματος.

Το μέγεθος των κόκκων ενός εδάφους εξετάζεται για την ονομασία του και την ταξινόμησή του. Τα μεγέθη αυτά των κόκκων κατανέμονται κατά ομάδες, όπου τα μέρη βάρους καθεμιάς προσδιορίζονται με τη μέθοδο των κόσκινων ή με την *ανάλυση* ιλύος. Το όριο *ανάμεσα* στη χρησιμοποίηση αυτών των δύο μεθόδων βρίσκεται στους κόκκους που έχουν διάμετρο 0,075 mm (όριο άμμου-ιλύος). Έτσι *αν* έχουμε κόκκους με d > 0,075 mm χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με τα κόσκινα, ενώ *αν* έχουμε d < 0,075 mm χρησιμοποιούμε την *ανάλυση* ιλύος. Αν ένα δείγμα περιέχει περισσότερο *από* 25% κόκκους με d < 0,075 mm τότε είναι *απαραίτητη* μια συνδυασμένη *ανάλυση*, τόσο με κόσκινα όσο και με την *ανάλυση* ιλύος.

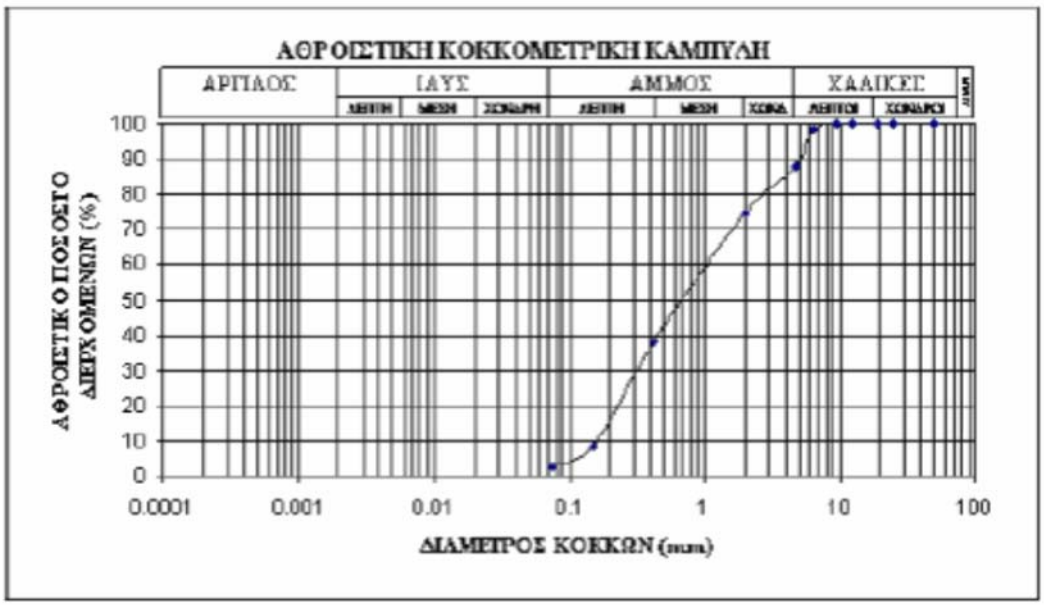
Η κοκκομετρική διαβάθμιση υπολογίζεται στο εργαστήριο με σκοπό την ταξινόμηση των εδαφών (Unified Soil Classification System (USCS) - USAE, 1953, AASHO, 1961, IAEG, 1981).

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την διαδικασία για τον προσδιορισμό της κατανομής των διαφόρων μεγεθών κόκκων σε λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα υλικά με τη χρησιμοποίηση πρότυπων κόσκινων τετραγωνικών οπών (AASHO T-27/66, ASTM C-136). Η κοκκομετρική διαβάθμιση *παριστάνεται* με την κοκκομετρική καμπύλη. Από την κοκκομετρική καμπύλη μπορούμε να διακρίνουμε τον κύριο τύπο του

εδάφους και τις υπάρχουσες προσμίξεις.

ΔΕΛΤΙΟ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ
Προέλευση: ΕΜ 60-63 Ημερομηνία: 13/10/2006
Γεώτρηση:
Βάθος δειγματοληψίας: 60-63
Ολικό Βάρος Δείγματος: 1372,346 gr

Αριθμός κοσκίνου	Άνοιγμα κοσκίνου mm	Συγκρατούμενο βάρος		Διερχόμενο βάρος	
		gr	%	gr	%
2 in.	50	0	0.00	1372.346	100.00
1 in.	25	0	0.00	1372.346	100.00
3/4 in.	19	0	0.00	1372.346	100.00
1/2 in.	12.5	0	0.00	1372.346	100.00
3/8 in.	9.5	0	0.00	1372.346	100.00
1/4 in.	6.3	22.146	1.61	1350.200	98.39
No. 4	4.75	146.55	10.68	1203.650	87.71
No. 10	2	182.4	13.29	1021.250	74.42
No. 40	0.425	496.06	36.15	525.190	38.27
No. 100	0.15	409.5	29.84	115.690	8.43
No. 200	0.075	79.57	5.80	36.120	2.63
	Παιπάλη	36.120	2.63		
	Ολικό Βάρος:	1372.346	100.00		



Χαρακτηρισμός δείγματος
Λεπτή Αμμος
γ = 1.55 gr/cm3 γs = 2.56
U = d60/d10 = 2.5

ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΠΥΚΝΟΜΕΤΡΟ 152Η (ΚΑΤΑ ASTM)

Γεώτρηση: ΕΜ 60-63 — Βάθος δειγματοληψίας: 2,00-3,1 m

Αντιθρομβωτική ουσία: $Na_{12}P_{10}O_{31}$ — Ειδικό βάρος κόκκων: 2,65

ΒΑΡΗ (gr)

Βάρος υγρού δείγματος + κάψας	47.481
Βάρος ξηρού δείγματος + κάψας	47.201
Βάρος ξηρού δείγματος	20.372
Βάρος κάψας	26.829
Περιεχόμενη υγρασία (m)	1.37
Βάρος δείγματος για ανάλυση (W_o)	100
Βάρος ξηρού δείγματος για ανάλυση (W_s)	98.644
Βάρος δείγματος συγκρατ. στο No 10	-922.606
Βάρος δείγματος διερχ. από το No 10	1021.250

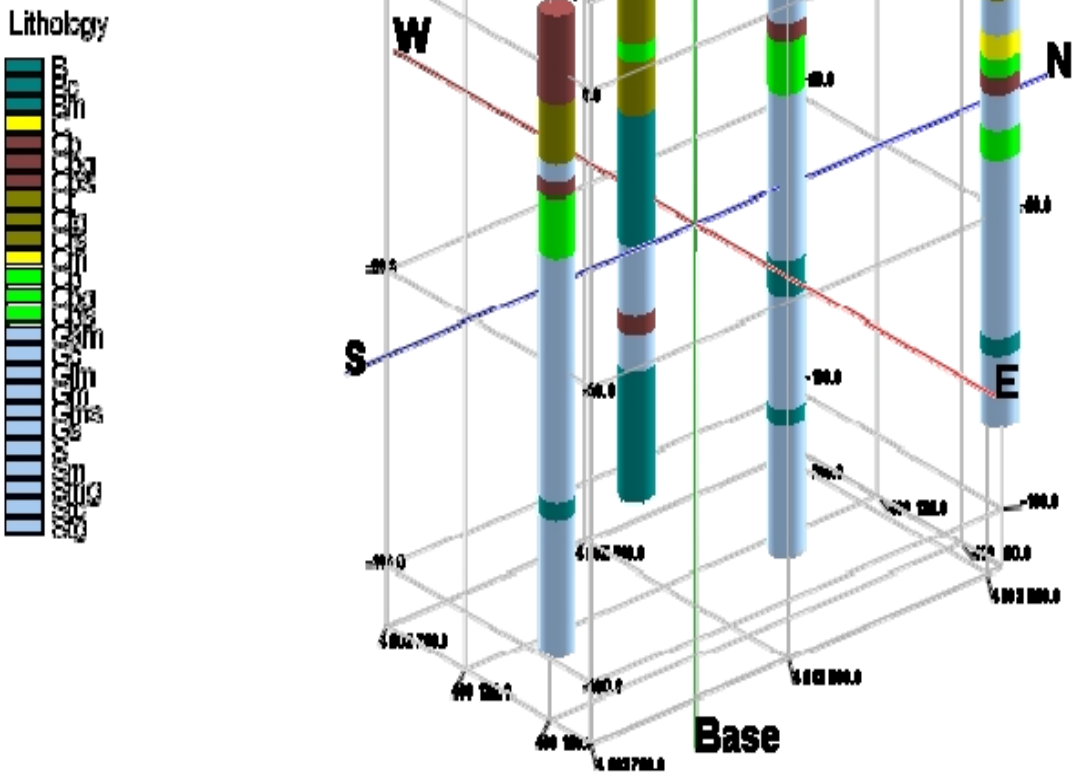
ΠΟΣΟΣΤΑ (%)

Υγρασία δείγματος m	1.37
Ποσοστό του δείγματος χονδρότερου του No 10	25.58
Ποσοστό του δείγματος λεπτότερου του No 10	74.42

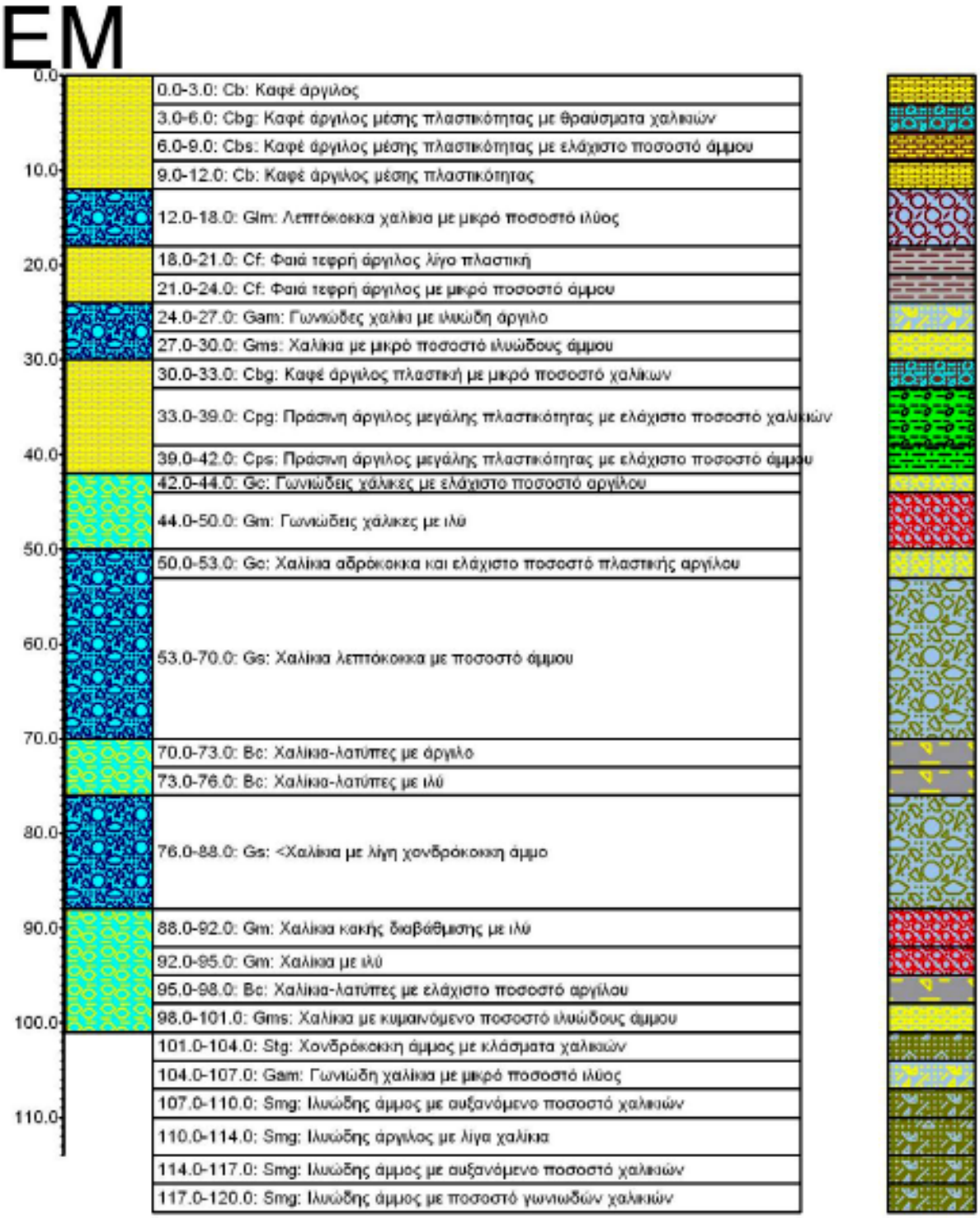
Ώρα	Χρόνος μέτρησης	Θερμοκρασία	Ανάγνωση πυκνομέτρου	Διόρθωση	Διορθωμένη τιμή	Ποσοστό κόκκων σε αιώρηση	Διάμετρος κόκκων σε αιώρηση	Ποσοστό κόκκων στο δείγμα
	(h:min)	(°C)	Ro	R'	R	(%)	d (mm)	W_o (%)
9:55	0:00							
9:56	0:01	25	55	-1.4	53.6	54.34	0.0372	40.44
9:57	0:02	25	47	-1.4	45.6	46.23	0.0283	34.40
10:00	0:05	25	41.5	-1.4	40.1	40.65	0.0187	30.25
10:10	0:15	25	36.5	-1.4	35.1	35.58	0.0112	26.48
10:25	0:30	25	32	-1.4	30.6	31.02	0.0077	23.08
10:55	1:00	25	28	-1.4	26.6	26.97	0.0059	20.07
14:05	4:10	25	24.5	-1.4	23.1	23.42	0.0030	17.43
9:55	0:00	25.5	21.5	-1.2	20.3	20.58	0.0012	15.31

Αποτελέσματα γεωτεχνικής μελέτης

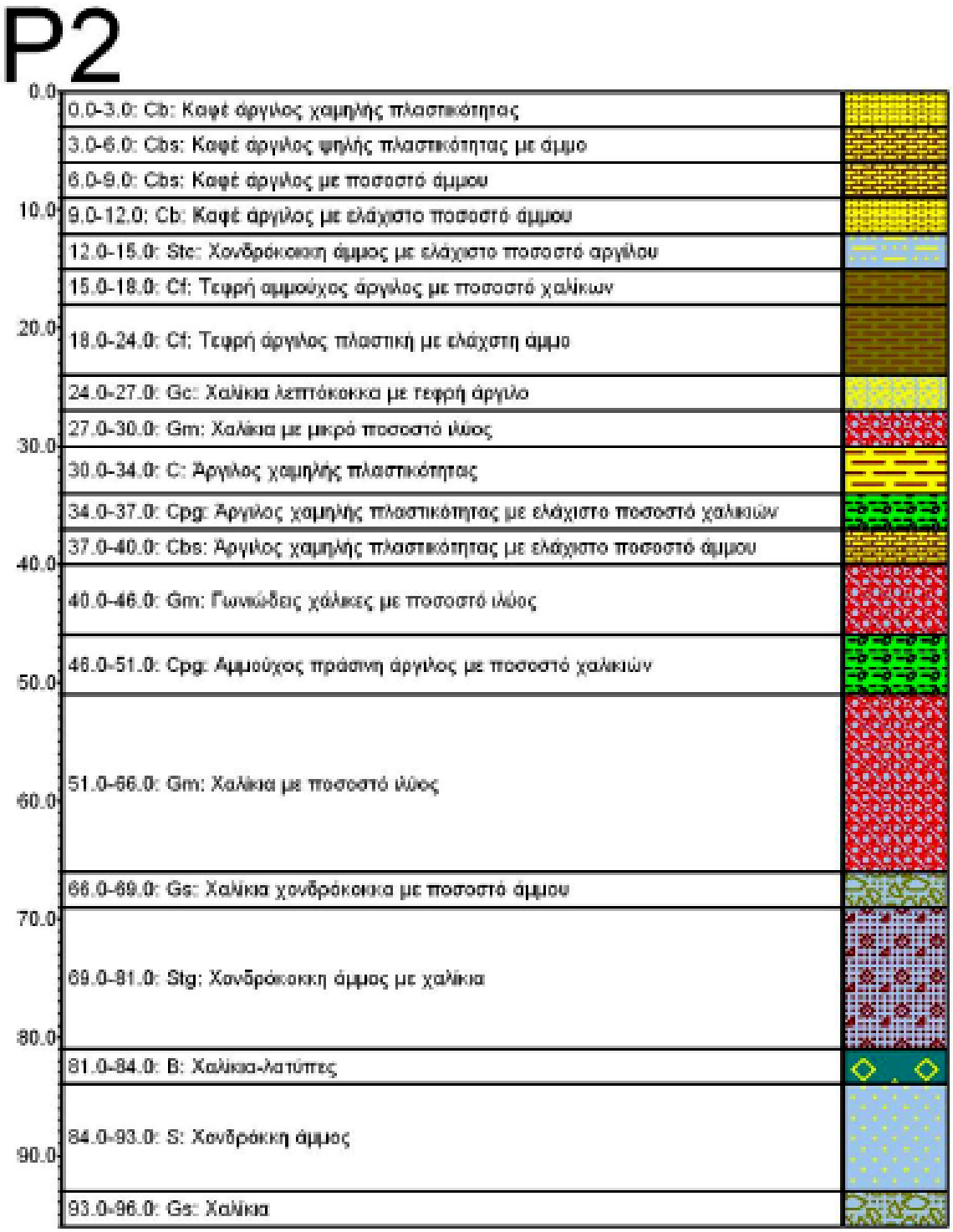
- Με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές προκύπτει ότι το ειδικό βάρος ανέρχεται σε 1,55 gr/cm^3.
- Ο συντελεστής ομοιομορφίας d10/d60 είναι ίσος με 2,5 που δηλώνει ελαφρά ανομοιόμορφο υλικό.



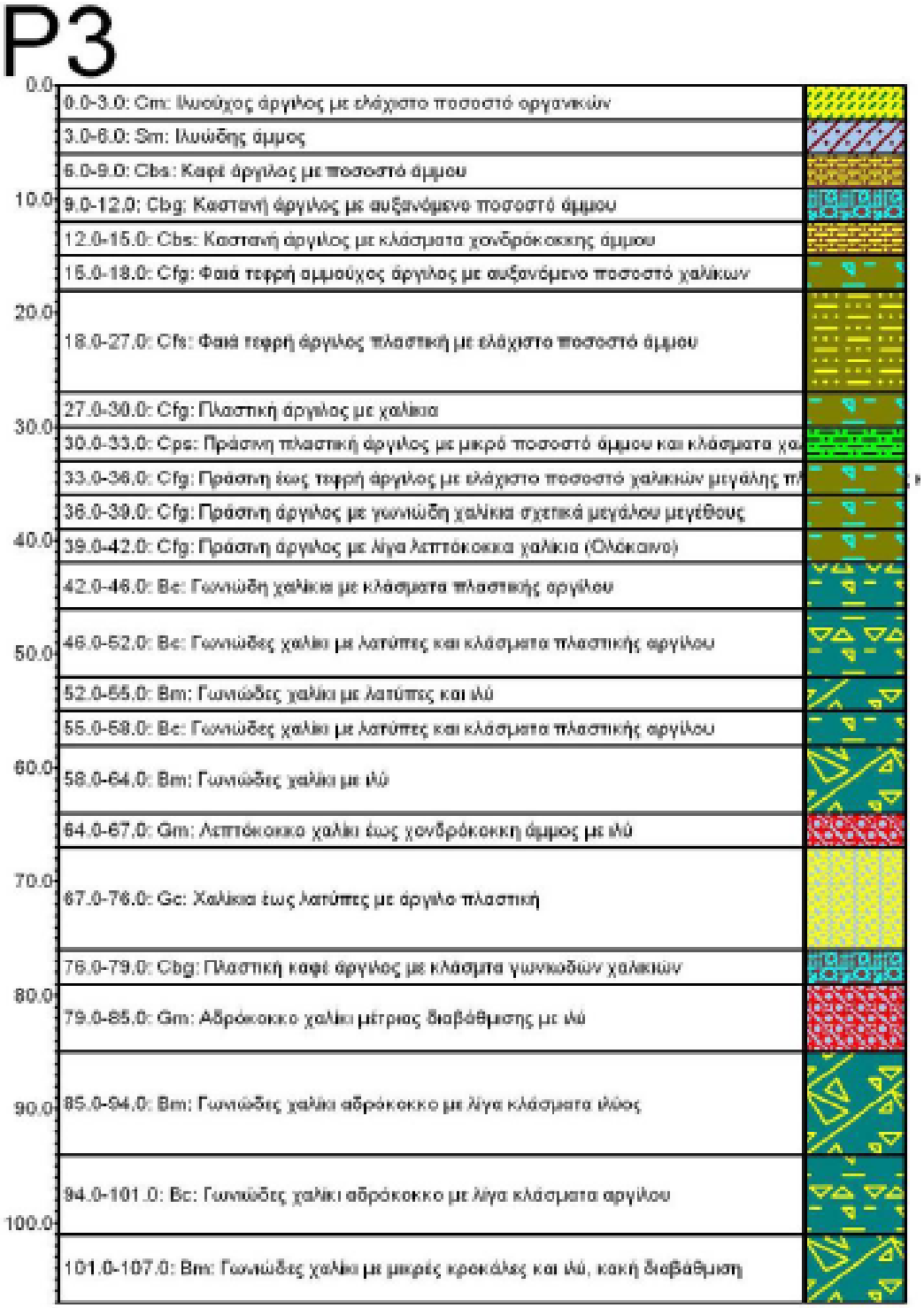
Σχήμα 20 . Τρισδιάστατη απεικόνιση τομών γεωτρήσεων με βάση τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά.



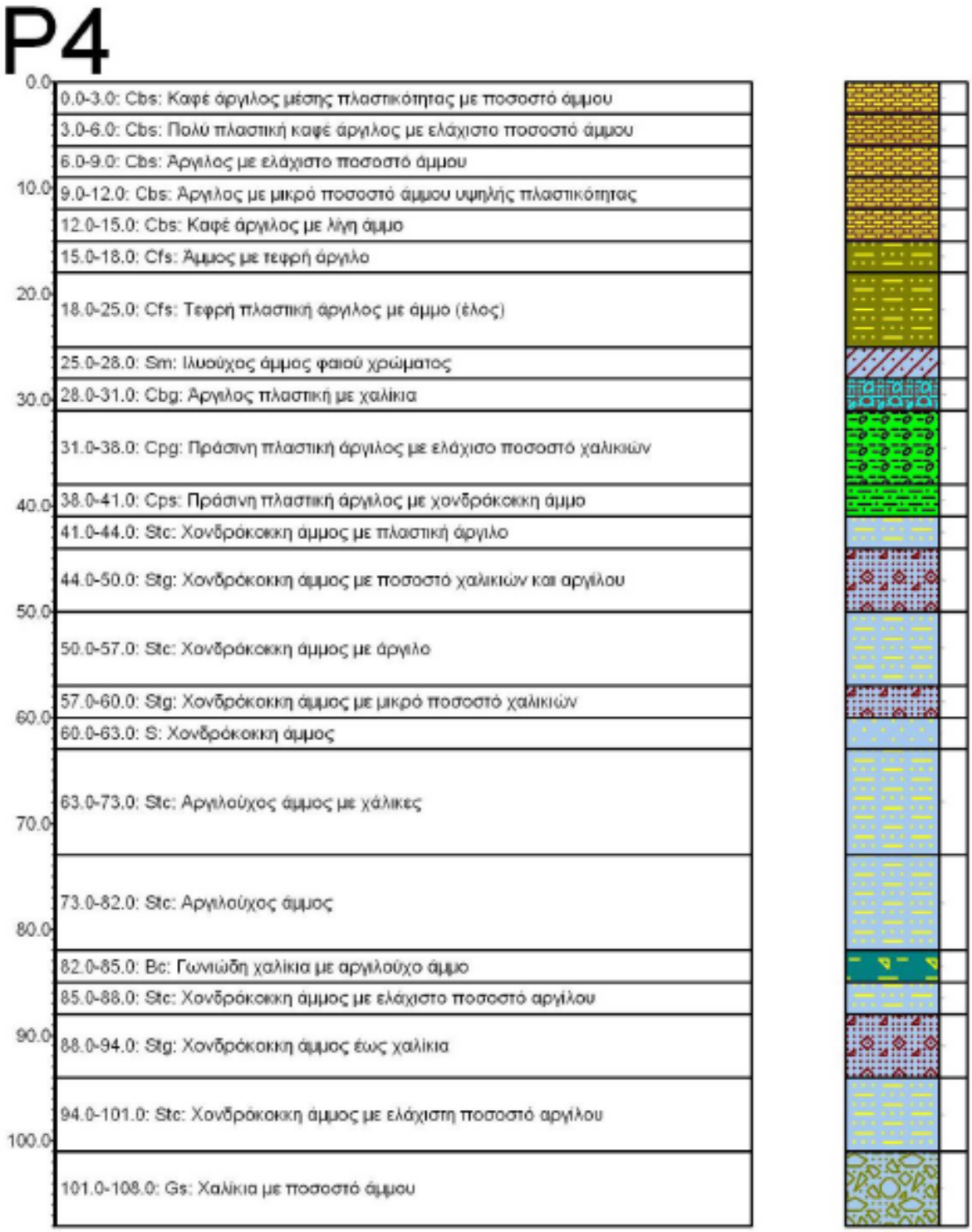
Σχήμα 21. Στρωματογραφική στήλη της κύριας γεώτρησης (ΕΜ)



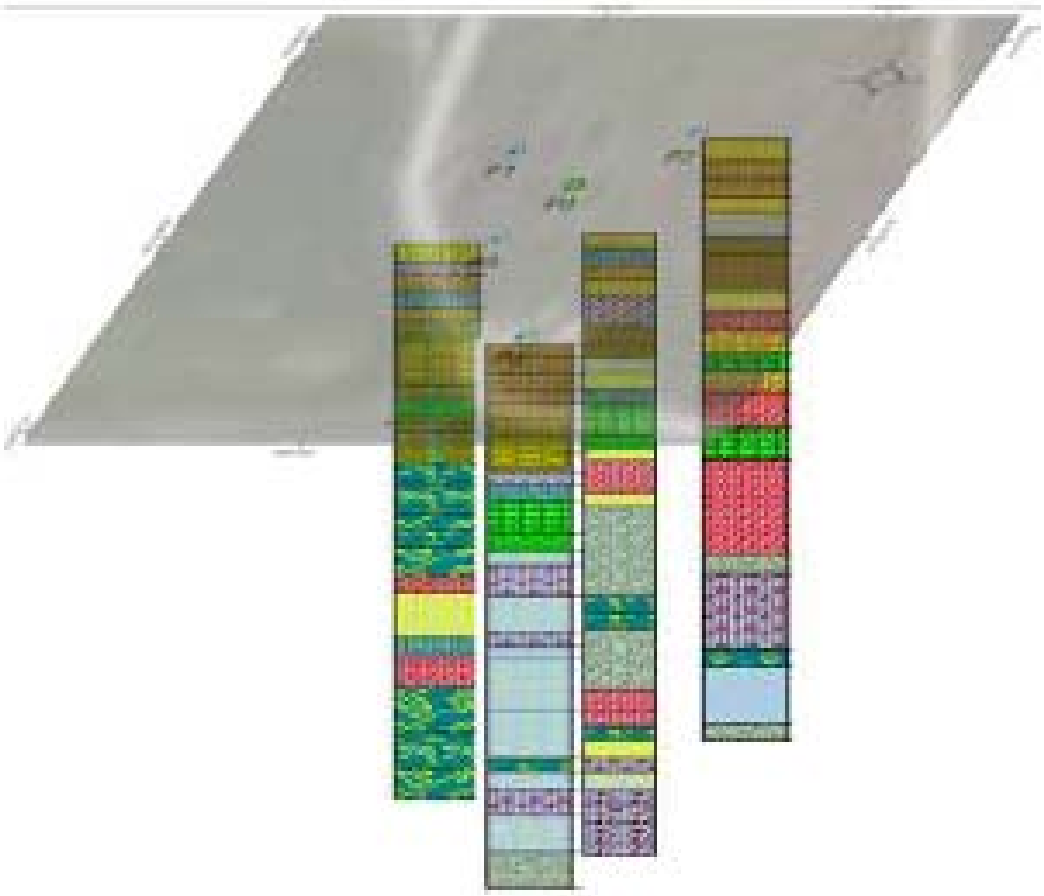
Σχήμα 22. Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης παρακολούθησης P2(πιεζόμετρο).



Σχήμα 23. Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης παρακολούθησης P3(πιεζόμετρο).



Σχήμα 24. Στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης παρακολούθησης P4(πιεζόμετρο).



Σχήμα 25. Συγκριτική παρουσίαση λιθολογικών τομών γεωτρήσεων.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που αφορούν τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά της περιοχής του υδροφορέα της Σίνδου, είναι τα παρακάτω:

- Η περιοχή έρευνας γεωλογικά καλύπτεται από προσχώσεις άμμου, αργίλου με εναλλαγές ιλύος, χαλικιών και κροκαλών.
- Στις ανωτέρω αποθέσεις αναπτύσσονται υπό πίεση υδροφορείς.
- Από τις δοκιμαστικές αντλήσεις προέκυψε ότι ο συντελεστής μεταβιβαστικότητας Τ κυμαίνεται από $2x10^{-1}$ έως $9x10^{-1}$ m^2/min, που υποδηλώνει υδροφορέα σημαντικής δυναμικότητας.
- Ο συντελεστής αποθηκευτικότητας παίρνει τιμές τις τάξεως 10^{-3}, που δηλώνει υπό πίεση υδροφορέα.
- Με βάση τις εργαστηριακές δοκιμές προκύπτει ότι το ειδικό βάρος ανέρχεται σε 1,55 gr/cm^3.
- Ο συντελεστής ομοιομορφίας d10/d60 είναι ίσος με 2,5 που δηλώνει ελαφρά ανομοιόμορφο υλικό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ, Κ. (2009). Υδρογεωλογία Περιβάλλοντος-Υπόγεια νερά και Περιβάλλον. Εκδόσεις Τζιόλα, 460 σελ.

ΚΟΥΚΙΔΟΥ, Ε. (2005). Υδρολογικές συνθήκες και διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού στην περιοχή Σίνδου, ν. Θεσσαλονίκης. Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ, Εργαστήρο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ. (1985): Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press. Θεσσαλονίκη.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. (1985). Γενική Υδρογεωλογία. Τόμος Α καιΒ, Θεσσαλονίκη.

TSOURLOS, P., VARGEMEZIS, G., VOUDOURIS, K., SPACHOS, T., STAMPOLIDIS, A. (2007): Monitoring recycled water injection into a confined aquifer in Sindos (Thessaloniki) using electrical resistivity tomography (ERT): Installation and preliminary results. Proceedings of the 11th International Congress, Athens, May, 2007. Bulletin of the Geological Society of Greece, Vol. XXXVII, Part 2, 580-592.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Εικόνα 1. Τελική εικόνα μιας γεώτρησης. Το καπάκι κλεισίματος της γεώτρησης (λευκό), μαύρος σωλήνας για την μέτρηση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και τα καλώδια για τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους έρευνας.

Εικόνα 2. Το γεωτρήπανο καθώς κατεβάζει τους σωλήνες μετά τη διάνοιξη της γεώτρησης. Πάνω στους σωλήνες παρατηρούνται τα καλώδια για τις μετρήσεις των γεωφυσικών δεδομένων.

Εικόνα 3. Μεταφορά των κεφαλών για τη διάνοιξη των γεωτρήσεων.

Εικόνα 4. Το τελευταίο κομμάτι των σωλήνων καθώς κατεβαίνει μέσα στη γεώτρηση.

Εικόνα 5. Πάνω στον φιλτροσωλήνα κολλούν τα καλώδια για τις γεωφυσικές έρευνες.

Εικόνα 6. Με το σουρωτήρι παίρνουμε δείγματα κάθε 5-10 μέτρα ώστε να κατασκευάσουμε τη στρωματογραφική στήλη και να συμπεράνουμε που θα τοποθετηθούν τα φίλτρα και που οι «τυφλοί» σωλήνες.

Εικόνα 7. Κατά την άνοδο της «κουκουνάρας», δηλαδή της κεφαλής

που χρησιμοποιείται για τη διεύρυνση της γεώτρησης.

Εικόνα 8. Το νερό διαφεύγει με πίεση από τον σωλήνα που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό της γεώτρησης (airlift) από τα υλικά που εισήλθαν κατά την τοποθέτηση των σωλήνων.