



ΕΛΛΗΝΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ
ΓΕΩΛΟΓΩΝ ΚΑΙ
ΜΕΤΑΛΛΕΙΟΛΟΓΩΝ
ΚΥΠΡΟΥ



HELLENIC
CHAPTER OF IAH

CYPRUS
ASSOCIATION OF
GEOLOGISTS AND
MINING
ENGINEERS



**7^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ
2nd MEM WORKSHOP
ON FISSURED ROCKS HYDROLOGY**

**7th HELLENIC
HYDROGEOLOGICAL CONFERENCE
2nd MEM WORKSHOP
ON FISSURED ROCKS HYDROLOGY**

**ΤΟΜΟΣ Ι
ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΥΝΕΔΡΙΟΥ
ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ**

**VOLUME I
CONFERENCE PROCEEDINGS
RECOMMENDATIONS**

ΑΘΗΝΑ 2005 ATHENS

**ΕΚΔΟΤΕΣ: Γ. ΣΤΟΥΡΝΑΡΑΣ, Κ. ΠΑΥΛΟΠΟΥΛΟΣ, Θ. ΜΠΕΛΛΟΣ
EDITORS: G. STOURNARAS, K. PAVLOPOULOS, Th. BELLOS**

**ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΩΝ ΡΥΠΑΝΣΗΣ
ΤΩΝ ΥΔΡΕΥΤΙΚΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ
ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ**

¹ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Δ. ΙΩΑΝΝΗΣ, ¹ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ Δ. ΤΑΞΙΑΡΧΗΣ,
²ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

¹ΕΚΠΑ, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Τομέας Γεωφυσικής-Γεωθερμίας

²Δρ Περιβαλλοντολόγος - Γεωλόγος

Λέξεις Κλειδιά: Καλαμπάκα, Γεωηλεκτρική Βαθοσκόπηση, Ρύπανση Υδροφόρου, Χωματερή.
Key Words: Kalampaka, Vertical Electrical Sounding, Groundwater Pollution, Landfill.

Περίληψη

Η περιοχή μελέτης τοποθετείται στον άξονα Καλαμπάκας-Σαρακίνας (B-N), στο βόρειο άκρο της Θεσσαλικής Μεσοελληνικής αύλακας, στους υδροπερατούς σχηματισμούς των ποτάμιων προσχώσεων του Πηνειού ποταμού. Στο βόρειο τμήμα του πεδίου έρευνας λειτουργεί χώρος ανεξέλεγκτης διάθεσης αστικών στερεών και υγρών αποβλήτων του Δήμου (σκουπιδότοπος), ο οποίος δεν πληροί κανένα κριτήριο υγειονομικής ταφής και αποτελεί άμεσα κίνδυνο μόλυνσης των υδρευτικών γεωτρήσεων του Δήμου Καλαμπάκας ('Συκιά') και του οικισμού της Σαρακίνας.

Λαμβάνοντας υπόψη (1) την υδραυλική κλίση του υδροφορέα (0,5-2%), (2) τη μέση τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας (10^{-4} - 10^{-3} m/sec), (3) τη μέση ταχύτητα κίνησης των υπόγειων υδάτων (60-600 μέτρα/έτος) και (4) το χρόνο λειτουργίας του χώρου της χωματερής (~20 τελευταία χρόνια), ο 'θύσανος' ρύπανσης, μπορεί να εκτείνεται σε απόσταση που κυμαίνεται από 1200 μέτρα μέχρι και 12 χιλιόμετρα περίπου, κατάντη της χωματερής.

Η γεωφυσική έρευνα που διεξήχθη (εννέα γεωηλεκτρικές βαθοσκοπήσεις) κατά μήκος ενός άξονα μήκους 1525 μέτρων και διεύθυνσης B-N, εντόπισε ένα 'ύβωμα' υψηλής ειδικής αντίστασης (>500 Ohm.m), στο βόρειο-κεντρικό τμήμα του πεδίου έρευνας, σε μικρό σχετικά βάθος (~30-40 μέτρα), που αποτελεί το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο της περιοχής (συνεκτικά κροκαλοπαγή) και διαχωρίζει την περιοχή σε δύο υπόγειες υπολεκάνες (Καλαμπάκας & Σαρακίνας).

Από τις τιμές των ειδικών αντιστάσεων (<5 Ohm.m σε βάθος >40 μέτρων) διεφάνη ότι η υπολεκάνη της Καλαμπάκας επηρεάζεται άμεσα από τον παρακείμενο χώρο απόρριψης στερεών και υγρών αποβλήτων, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο σε εκείνη της Σαρακίνας (ειδικές αντιστάσεις >15 Ohm.m). Επίσης, η υδρογεώτρηση 'Συκιά' δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη της χωματερής κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Επιφυλάξεις, διατυπώνονται για το διάστημα της υγρής περιόδου, όταν ο Πηνειός τροφοδοτεί τον υδροφορέα και μεταβάλλεται τοπικά το πεδίο ροής, λόγω του υδραυλικά αδιαπέρατου 'υβώματος', κάτω από την κοίτη του Πηνειού.

**INVESTIGATION OF HYDROGEOLOGICAL FACTORS
AFFECTING THE POTABLE WATER WELLS OF KALAMPAKA URBAN
BY USING GEOPHYSICAL TECHNIQUES**

ALEXOPOULOS J., PAPADOPOULOS T., MASTROYANNIS A.

The investigation area is placed in the Kalampaka-Sarakina (N-S) axis, at the northern end of the Thessalian Mesohellenic channel, in the macro-permeable formations of recent and alluvial deposits of Penaeus river. The municipal solid waste and wastewater disposal site (uncontrolled dump) of Kalampaka is located in the northern part of the investigation area, which does not fulfil the requirements of sanitary landfill. For that reason this is a "threat" for the neighbouring Kalampaka's and Sarakina's water supply well.

Considering that the magnitude and direction of advective transport of pollutants in groundwater (plume) is controlled by (1) the hydraulic conductivity distribution within the flow field (10^{-4} - 10^{-3} m/sec – in study area), (2) the hydraulic gradient of potentiometric surface (10^{-4} - 10^{-3} m/sec) (3) the groundwater velocity (60 - 600 m/y) and (4) the period of landfill use (~20 last years), is estimated that the plume has spread array, approximately 1200 m to 12 km.

The geophysical investigation that was carried out (nine vertical electrical sounding) along an axis of 1525 metres length in N-S direction, revealed a high resistance (>500 Ohm.m) ‘dome’, in the northern-central part of the field, in a relatively small depth (~30-40 m), that constitutes the geoelectrical background of the section (cohesively conglomerates) and separates the area in two underground sub-basins (Kalampaka and Sarakina).

The low resistivity values (<5 Ohm.m in a depth >40 metres) showed that the Kalampaka sub-basin is influenced by the adjacent area of uncontrolled dump, while higher values are present in Sarakina sub-basin (>15 Ohm.m). Furthermore, the water-supply well ‘Sykia’ does not appear to be influenced from the existence of the landfill during the dry (summer) period. Uncertainties are expressed for the humid (winter) period, when the Penaeus river recharges the aquifer and is altered locally the direction of groundwater flow, because of the hydraulic impermeable ‘dome’ beneath the river’s area channel.

1. Εισαγωγή

Η περιοχή μελέτης, τοποθετείται περί τα 2 χιλιόμετρα νότια της πόλης της Καλαμπάκας στην κοίτη του Πηνειού ποταμού, όπου εντοπίζονται οι χαλαροί σχηματισμοί των κροκάλων, άμμων, χαλικιών και πηλών των ποτάμιων προσχώσεων του και επί του άξονα χωματερή Καλαμπάκας (βόρεια) – οικισμός Σαρακήνας (νότια) (Εικόνα 1).

Με βάση τα υπάρχοντα στοιχεία υδρογεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης, προκύπτει ότι το πάχος των προσχώσεων του Πηνειού ποταμού δεν υπερβαίνει τα 100 μέτρα. Ως υπόβαθρο της περιοχής αναμένονται οι Τριτογενείς μολασσικές αποθέσεις της Μεσοελληνικής αύλακας της σειράς Πενταλόφου, η οποία αποτελείται από μεγάλες μάζες κροκαλοπαγών και ψαμμιτών (Μετέωρα).

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι να διερευνηθεί η δομή των γεωλογικών σχηματισμών και να εντοπισθούν ζώνες που πιθανόν να έχουν άμεση σχέση με τη μολυσματική επίδραση της παρακείμενης χωματερής της πόλης της Καλαμπάκας.

Έτσι, διεξήχθη γεωφυσική έρευνα, κατά μήκος ενός άξονα μήκους 1525 μέτρων, που αρχίζει βόρεια του οικισμού της Σαρακήνας και μέχρι την περιοχή της χωματερής της Καλαμπάκας, η οποία περιελάμβανε την εκτέλεση εννέα (9) γεωηλεκτρικών βαθυσκοπήσεων (Εικόνα 2) για τον προσδιορισμό της στρωματογραφικής δομής με βάση την κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

2. Γεωλογική δομή

Οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες που δομούν την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με το γεωλογικό χάρτη της Καλαμπάκας κλίμακας 1:50.000 (Savoyat και Λαλεχός, 1970), είναι η παρακάτω.

Υποελαγονική ζώνη

Τα βασικά χαρακτηριστικά - της προς Δυσμάς τελευταίας εσωτερικής ζώνης του Ελληνικού τόξου - είναι η παρουσία της σχιστοκερατολιθικής διάπλασης με οφιόλιθους (οφ)¹, πάνω στην οποία κάθονται ασύμφωνα ασβεστόλιθοι (Js-Ks.k) του Ανωτ. Κρητιδικού.

Υπερπινδική ζώνη (ή ζώνη Κόζιακα)

Η συνεχής σειρά Κόζιακα (Λιάσιο-Τιθόνιο) αποτελείται από ασβεστόλιθους (Ji-s.k)¹ και σχιστοκερατόλιθους (Ji-s.ch)¹. Η ασβεστολιθική ιζηματογένεση στην Υπερπινδική ζώνη

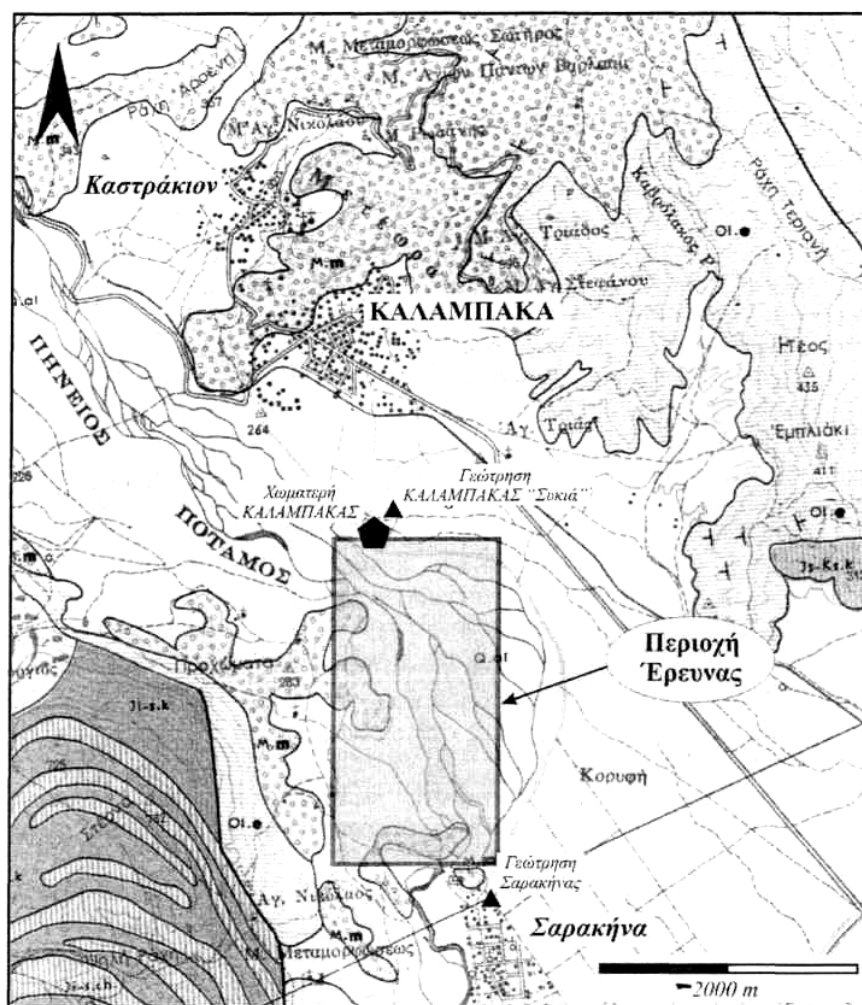
¹ Τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται προέρχονται από το φύλλο ‘Καλαμπάκα’, κλίμακας 1:50.000, έκδοση ΙΓΜΕ.

τελειώνει με τους ασβεστόλιθους Θυμιάματος (Ki-s.k), οι οποίοι εφτυπεύουν τον κοινό φλύσχη (f.o) της Πινδικής ζώνης.

Ζώνη Ολωνού - Πίνδου

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν το δυτικό τμήμα του πεδίου έρευνας (τοποθετούνται εκτός του χάρτη της Εικόνας 1).

Οι παλαιότεροι σχηματισμοί αντιπροσωπεύονται από κερατόλιθους με ενστρώσεις πελαγικών ασβεστολίθων και δολομίτες (J-Ki.ch). Η σειρά συνεχίζεται προς τα πάνω χωρίς διακοπή ιζηματογένεσης, με τους μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους (Ki.k) και τους πελαγικούς ασβεστόλιθους (Ks.k), μέσα στους οποίους παρεμβάλλονται μάργες, ψαμμίτες και κερατόλιθοι. Η στρωματογραφική αλληλουχία ολοκληρώνεται με τον φλύσχη (f.o) και τα υποκείμενα χαρακτηριστικά μεταβατικά στρώματα από τους πελαγικούς ασβεστόλιθους προς το φλύσχη.



Εικόνα 1: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης.

Figure 1: Geological map of the investigation area.

Μολασσικές εμφανίσεις Μεσοελληνικής Αύλακας

Οι μολασσικές αποθέσεις που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, αποτελούν το υπόβαθρο των πλειο-πλειστοκαινικών και νεότερων Τεταρτογενών σχηματισμών και διακρίνονται στις σειρές:

- Μάργες Ριζώματος (E.m)

- Επταχωρίου (Ol.e) με κροκαλοπαγή, εναλλασσόμενα με ψαμμιτικές και μαργαϊκές ενστρώσεις, υπερκείμενα επικλυσιογενώς της σειράς Ριζώματος και
- Πεντάλοφου, η οποία αποτελείται από μεγάλες μάζες κροκαλοπαγών και ψαμμιτών (Μετέωρα). Στην περιοχή μας εμφανίζεται ως Κατώτερη (M.m) και Ανώτερη σειρά Μετεώρων (M.m₁).

Νεότερες Αποθέσεις

Στη μελετούμενη περιοχή, εκατέρωθεν της κοίτης του Πηνειού ποταμού, εντοπίζονται ποτάμιες προσχώσεις (Q.al). Πρόκειται για χαλαρούς σχηματισμούς με επικράτηση αδρομερών υλικών, όπως κροκάλων, άμμων, χαλικιών και πηλών. Το ποσοστό συμμετοχής των αργιλικών υλικών, στην περιοχή μελέτης, είναι κατά κανόνα μικρό, ενώ αυξάνεται στην περιοχή Τρικάλων - Καρδίτσας - Παλαμά (Καλλέργης, 1970). Με βάση στοιχεία υδρογεωτρήσεων στην ευρύτερη περιοχή μελέτης προκύπτει ότι σε γενικές γραμμές το πάχος των προσχώσεων δεν ξεπερνά τα 100 μέτρα.

2.1 Τεκτονική

Το βασικό χαρακτηριστικό της τεκτονικής της περιοχής μελέτης είναι η Μεσοελληνική Αύλακα. Από το Κατώτερο Ολιγόκαινο μέχρι το Βουρδιγάλιο αποτέθηκαν τα μολασσικά ιζήματα, ενώ παράλληλα ασύμμετρες τεκτονικές κινήσεις διαμόρφωσαν τον ασυνεχή και επικλυσιογενή χαρακτήρα των μολασσικών ιζημάτων.

Μετά την απόθεση των ιζημάτων του Βουρδιγάλιου, άρχισαν οι κατακόρυφες κινήσεις, αναδύθηκε η λεκάνη, ενώ από το Ανώτερο Πλειόκαινο παρατηρείται συνεχής καταβύθιση της λεκάνης και σχετικά συνεχής ανύψωση των κρασπέδων της.

Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης εμφανίζεται το σύγκλινο της Καλαμπάκας, του οποίου τον πυρήνα αποτελούν τα κροκαλοπαγή των Μετεώρων, ενώ ανατολικότερα εντοπίζεται το αντίκλινο της Θεόπετρας, όπου εντοπίζονται οι κατακερματισμένοι ομώνυμοι ασβεστόλιθοι της Υποπελαγονικής ενότητας.

Στην περιοχή παρατηρείται η σειρά του Κόζιακα, η οποία αποτελεί μετάβαση από την Υποπελαγονική ζώνη προς την Πινδική. Οι σχηματισμοί που παίρνουν μέρος στη γεωλογική του δομή είναι έντονα πτυχωμένοι. Πρόκειται για κλειστές καμπυλόγραμμες πτυχές, κεκλιμένες έως ανεστραμμένες (Μιγκίρος κ.α., 1988).

2.2 Υδρολιθολογία

Η υδρολογική συμπεριφορά των διαφόρων γεωλογικών σχηματισμών είναι συνάρτηση της λιθολογικής σύστασης τους, της κοκκομετρίας, (εφ' όσον πρόκειται για κοκκώδεις σχηματισμούς), του βαθμού διαγένεσης τους και του τεκτονισμού που έχουν υποστεί (εφ' όσον πρόκειται για συμπαγή πετρώματα).

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, διακρίνονται από άποψη υδρολιθολογίας, σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και πρακτικά στεγανούς σχηματισμούς.

Υδροπερατοί σχηματισμοί

Στους σχηματισμούς αυτούς περιλαμβάνονται γενικά το σύνολο των λιθοφάσεων που έχουν υψηλό ενεργό πορώδες και η κίνηση του νερού γίνεται με ευχέρεια και με σχετικά μεγάλη ταχύτητα. Υδροπερατοί σχηματισμοί γενικά είναι το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων και οι αδρομερείς αποθέσεις του Νεογενούς.

Από το σύνολο των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής, λιγότερο υδροπερατοί είναι οι ασβεστόλιθοι της ενότητας Ολωνού - Πίνδου, λόγω του μικρού βαθμού καρστικοποίησης (μεγάλη πλαστικότητα με περιορισμένο δίκτυο διακλάσεων και λεπτοστρωματώδη χαρακτήρα σε συνδυασμό με παρεμβολές αργιλικών ή μαργαϊκών ενστρώσεων). Αντίθετα, οι ασβεστόλιθοι της Υπερπινδικής ζώνης (Κόζιακας), λόγω του εντονότατου τεκτονισμού και της μεγάλης χρονικής διάρκειας της χέρσευσης τους, παρουσιάζουν έντονη καρστικοποίηση και ισχυρό δευτερογενές πορώδες.

Η υδροπερατότητα των χαλαρών σχηματισμών εξαρτάται από τη λιθολογική τους σύσταση, την κοκκομετρία, τη μορφή και τη διάταξη των κόκκων. Οι σύγχρονες προσχώσεις του Πηνειού

δομούνται από αδρομερές σύναγμα του οποίου η κοκκομετρία ελαττώνεται από Β προς Ν, λόγω αύξησης της συμμετοχής της αργίλου. Η μέση περατότητα των εν λόγω σχηματισμών ανέρχεται σε 10^{-3} έως 10^{-4} m/sec, ενώ η κατεισδυση σε 15% περίπου (Καλλέργης, 1970). Μικρότερη περατότητα (10^{-4} - 10^{-6} m/sec) παρουσιάζουν οι αποθέσεις που εντοπίζονται νοτιότερα της περιοχής μελέτης.

Ημιπερατοί σχηματισμοί

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι σχηματισμοί του Νεογενούς με αυξημένο ποσοστό συμμετοχής αργίλου και οι αποσθρωμένοι μανδύες του φλύσχη και των οφιολίθων.

Υδατοστεγείς σχηματισμοί

Ως πρακτικά υδατοστεγή χαρακτηρίζονται τα πετρώματα των οποίων η περατότητα είναι μικρότερη από 10^{-9} m/sec. Σε αυτούς εντάσσονται οι μάργες, οι αργιλικοί σχηματισμοί, ο φλύσχος, οι οφιολίθοι και οι μολασσικές αποθέσεις, οι οποίες έχουν υποστεί σε σημαντικό βαθμό διαγένεση.

2.3 Υπόγεια υδρολογία

Νοτιοδυτικά της πόλης της Καλαμπάκας εντοπίζονται οι ασβεστόλιθοι της σειράς Κόζιακα (Υπερπινδική ενότητα), οι οποίοι εναλλάσσονται με κερατόλιθους και αργιλικούς σχιστόλιθους. Οι εν λόγω ασβεστόλιθοι παρουσιάζουν ενδιαφέρουσα, αλλά ασυνεχή υδροφορία, παρουσιάζουν ισχυρό δευτερογενές πορώδες με αποτέλεσμα ο συντελεστής κατεισδυσης να ανέρχεται σε 55 - 60%.

Οι πλειοπλειστοκαινικές - αλουβιακές αποθέσεις παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, έχουν μελετηθεί εκτεταμένα κατά το παρελθόν και έχει πραγματοποιηθεί συστηματική εκμετάλλευσή τους τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Σημειώνεται ότι η κοκκομετρία των εν λόγω σχηματισμών ελαττώνεται από Β προς Ν και από Δ προς Α και το πάχος τους ανέρχεται σε 125 μέτρα περίπου στην περιοχή της Καλαμπάκας.

Το υπόβαθρο της λεκάνης της Καλαμπάκας αναμένεται να παρουσιάζει έντονο ανάγλυφο και να δομείται από μολασσικά ιζήματα. Ο κύριος υδροφόρος ορίζοντας της λεκάνης είναι ελεύθερος, το πάχος του ανέρχεται σε 50 μέτρα περίπου βόρεια της πόλης της Καλαμπάκας, ενώ νοτιότερα προς την περιοχή της Καλαμπάκας και της Σαρακήνας φαίνεται να ξεπερνά τα 100 μέτρα. Δομείται από αδρομερή κατά κανόνα υλικά ασβεστολιθικής και σχιστοκερατολιθικής προέλευσης, αποσφηνώνεται προς νότο (περιοχή Κεφαλόβρυσου) και διασπάται σε επάλληλους υπό πίεση ορίζοντες. Χαρακτηριστικό γνώρισμα του συγκεκριμένου υδροφόρου ορίζοντα είναι η ανομοιογένεια και η ανισοτροπία τόσο στην οριζόντια, όσο και στην κατακόρυφη διεύθυνση (Καλλέργης, 1973).

*Πίνακας 1: Βασικά χαρακτηριστικά υδρευτικών υδρογεωτρήσεων
Table 1: Basic characteristics of potable water-supply wells.*

Οικισμός	Γεώτρηση	Βάθος άντλησης (m)	Στάθμη άντλησης (m)	Παροχή (m ³ /h)	Έτος Ανόρυξης	Υδροφορέας
Καλαμπάκα	Καρπουζιά	70	65	75 - 80	1965	Αποθέσεις
Καλαμπάκα	Φίκα	50	28	70	1970	Αποθέσεις
Καλαμπάκα	Γκαβογιάννη	70	65	75 - 80	1977	Αποθέσεις
Καλαμπάκα	‘Συκιά’	80		150	1996	Αποθέσεις
Καστράκι	Νέα	50		80 - 85	1996	Αποθέσεις
Καστράκι	Παλαιά	70		50	1967	Αποθέσεις
Σαρακήνα	Σαρακήνα (Γ1)	75	70	40	1965	Αποθέσεις

Το σύνολο των υδάτινων πόρων που τροφοδοτούν τα δίκτυα ύδρευσης των Δημοτικών διαμερισμάτων του Δήμου Καλαμπάκας προέρχονται από υπόγειους υδροφορείς. Στον Πίνακα 1 παρατίθενται τα βασικά χαρακτηριστικά των υδρευτικών υδρογεωτρήσεων της περιοχής.

Αξίζει να σημειωθεί το σύνολο σχεδόν των παραπάνω υδρογεωτρήσεων υδρομαστεύει τον ενιαίο ελεύθερο υδροφόρο σχηματισμό που αναπτύσσεται στις πεδινές προσχώσεις. Η παραπάνω διαπίστωση, σε συνδυασμό με τις έντονες ανθρωπογενείς δραστηριότητες που παρατηρούνται στην περιοχή, καθιστά πιθανή την υποβάθμιση της ποιότητας του αντλούμενου νερού. Επισημαίνεται επίσης η άμεση υδραυλική σχέση μεταξύ των παρόχθιων υδρογεωτρήσεων και του Πηγειού και η άμεση εξάρτηση των ποιοτικών χαρακτηριστικών των αντλούμενων ποσοτήτων νερού με την ποιότητα των νερών του Πηγειού.

3. Ποιοτικά χαρακτηριστικά των υπόγειων υδάτινων πόρων

Η γενική εικόνα που προκύπτει από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν (εσωτερικό δίκτυο και τις δύο υδρογεωτρήσεις) στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης (Μάιος και Οκτώβριος 2000) είναι ότι τα χημικά χαρακτηριστικά των αντλούμενων υδάτων (όσον αφορά τις παραμέτρους που ελέγχθηκαν), παρουσιάζονται χωρίς μεγάλες αποκλίσεις από τα επιτρεπτά όρια (Πίνακας 2).

Πίνακας 2: Χημικά χαρακτηριστικά δειγμάτων νερού.

Table 2: Chemical characteristics of water samples.

Ημερομηνία		10/05/00	10/05/00	10/05/00	10/05/00	05/10/00	05/10/00	05/10/00
Δημοτικό Διαμέρισμα		Διάβα	Καλαμπάκα	Καστράκι	Σαρακήνα	Σαρακήνα	Καλαμπάκα	Καλαμπάκα
Θέση	Ανώτατες τιμές	Δίκτυο	Δίκτυο	Δίκτυο	Δίκτυο	Γεώτρηση	Γεώτρηση ¹ 'Συκιά'	Γεώτρηση ² 'Συκιά'
Αγωγιμότητα (μs/cm)	400	246	375	357	322	362	414	429
pH	>6,5 <8,5	7,81	7,91	7,80	7,82	7,93	7,63	7,55
Αλκαλικότητα (mg/l)		170,86	268,50	274,6	238,0	227,98	274,60	280,7
Cl ⁻ (mg/l)	200	5,01	9,2	8,35	8,35	4,43	7,98	7,98
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	250	15,3	0	1	20	18,8	22,21	23,8
Ca ²⁺ (mg/l)	100	60,12	59,1	52,1	45,1	45,1	62,12	64,63
Mg ²⁺ (mg/l)	30	1,2	25,5	26,7	21,87	29,16	26,12	25,21
Na ⁺ (mg/l)	150	1,6	4,1	4,1	3,93	4,42	5,47	5,91
K ⁺ (mg/l)	12	0,01	0,68	0,68	0,08	0,68	0,68	0,85
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	<1	6,3	6,8	3,72	4,00	<10	<10
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,1	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NH ₄ ⁺ (mg/l)	0,5	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

¹ Η δειγματοληψία έγινε αμέσως μετά την έναρξη λειτουργίας της αντλίας

² Η δειγματοληψία έγινε μετά από μία ώρα λειτουργίας

Αντίθετα οι μικροβιολογικές παράμετροι, παρουσιάζουν εικόνα υποβάθμισης της ποιότητας του νερού σε πολλά σημεία του δικτύου ύδρευσης και σε αρκετά από τα ελεγχθέντα σημεία υδροληψίας. Η εν λόγω εικόνα υποβάθμισης των σημείων υδροληψίας οφείλεται κυρίως στη μη ικανοποιητική προστασία πηγών, υδρογεωτρήσεων και δεξαμενών.

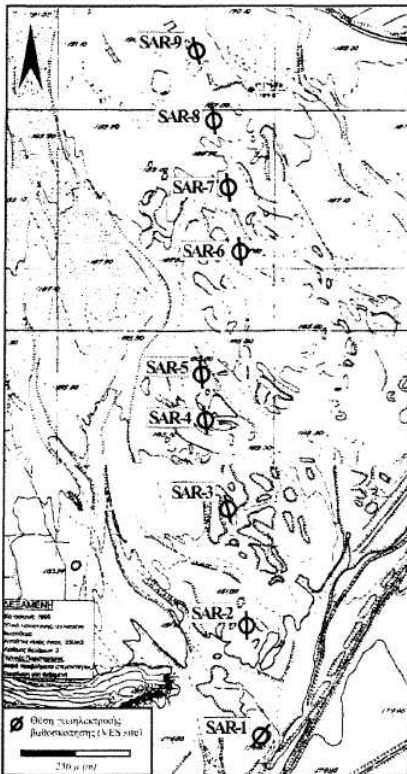
4. Ρύπανση υπόγειων υδάτινων πόρων

Γενικότερα, το πρόβλημα της ρύπανσης των υπόγειων υδάτινων αποθεμάτων της ευρύτερης περιοχής του Δήμου Καλαμπάκας, είναι σημαντικό και οφείλεται στις παρακάτω αιτίες:

- i) Διάθεση στο έδαφος αστικών και βιοτεχνικών υγρών αποβλήτων. Αποτέλεσμα της απουσίας έργων υποδομής στη διαχείριση των υγρών αποβλήτων των οικισμών (πλην του

Δ. Καλαμπάκας), είναι η διάθεση των αστικών και βιοτεχνικών λυμάτων σε απορροφητικούς βόθρους (χωρίς προδιαγραφές σηπτικότητας) και η διάθεση βοθρολυμάτων στην περιοχή της χωματερής του Δήμου Καλαμπάκας. Τα προβλήματα που δημιουργεί το καθεστώς αυτό σχετίζονται με την τροφοδότηση των υπόγειων νερών με ρυπαντικό φορτίο, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση κυρίως των συγκεντρώσεων των ενώσεων του αζώτου και του φωσφόρου, οι οποίες προέρχονται από την αποδόμηση των οργανικών ενώσεων.

- ii Ανεξέλεγκτη διάθεση αστικών, βιοτεχνικών και γεωργικών στερεών αποβλήτων. Η χωματερή της Καλαμπάκας (Εικόνα 1), δεν πληροί κανένα κριτήριο υγειονομικής ταφής και εκτός από τα αστικά στερεά απόβλητα, δέχεται τα βοθρολύματα και τα απόβλητα του σφαγείου της περιοχής. Η ανεξέλεγκτη διάθεση απορριμμάτων προκαλεί ρύπανση επιφανειακών και υπόγειων νερών λόγω της παραγωγής εκχυλισμάτων και τροφοδότησης επιφανειακών και υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Σημειώνεται ότι τα εκχυλίσματα έχουν υψηλό ρυπαντικό φορτίο (δεκάδες έως εκατοντάδες φορές υψηλότερο από το αντίστοιχο των αστικών λυμάτων) και πολλές φορές περιέχουν επικίνδυνους και τοξικούς ρύπους (βαριά μέταλλα, ίχνη οργανικών κ.α.).
- iii Χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων. Τα λιπάσματα, μαζί με τα οργανικά απόβλητα και τα φυτοφάρμακα, είναι οι βασικοί συντελεστές της αύξησης της συγκέντρωσης ενώσεων του αζώτου, του φωσφόρου και της τοξικότητας σε επιφανειακά και υπόγεια νερά και η χρήση τους έχει άμεση επίπτωση στην ποιότητα των εδαφών και του αέρα (Manahan, 1994, Sawyer *et al*, 1994).
- iv Κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Σταβλικές εγκαταστάσεις εντοπίζονται σε όλη την περιοχή, αλλά με ιδιαίτερη ένταση εμφανίζονται στην παρόχθια ζώνη του Πηνειού, νότια της Καλαμπάκας (~750 βοοειδή και ~4000 αιγοπρόβατα).



Εικόνα 2: Χάρτης θέσεων ηλεκτρικών βαθσοσκοπήσεων.
Figure 2: Location map of VES.

5. Διερεύνηση των συνθηκών ρύπανσης

Η υδραυλική κλίση του κύριου υδροφορέα, κυμαίνεται από 2%, κατάντη της χωματερής, μέχρι 0,5%, στην περιοχή της Σαρακήνας. Με δεδομένο ότι η μέση τιμή του συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας για τη συγκεκριμένη περιοχή, κυμαίνεται από 10^{-4} μέχρι 10^{-3} m/sec (§ 2.3), προκύπτει ότι, με εφαρμογή του νόμου του Darcy, η μέση ταχύτητα κίνησης των υπόγειων νερών κυμαίνεται μεταξύ 60 και 600 μέτρα/έτος. Με δεδομένο ότι ο χώρος λειτουργεί για 20 τουλάχιστον χρόνια ο 'θύσανος' ρύπανσης, εκτιμάται ότι εκτείνεται σε απόσταση που κυμαίνεται από 1200 μέτρα μέχρι και 12 χιλιόμετρα περίπου, κατάντη της χωματερής.

6. Γεωφυσική μελέτη

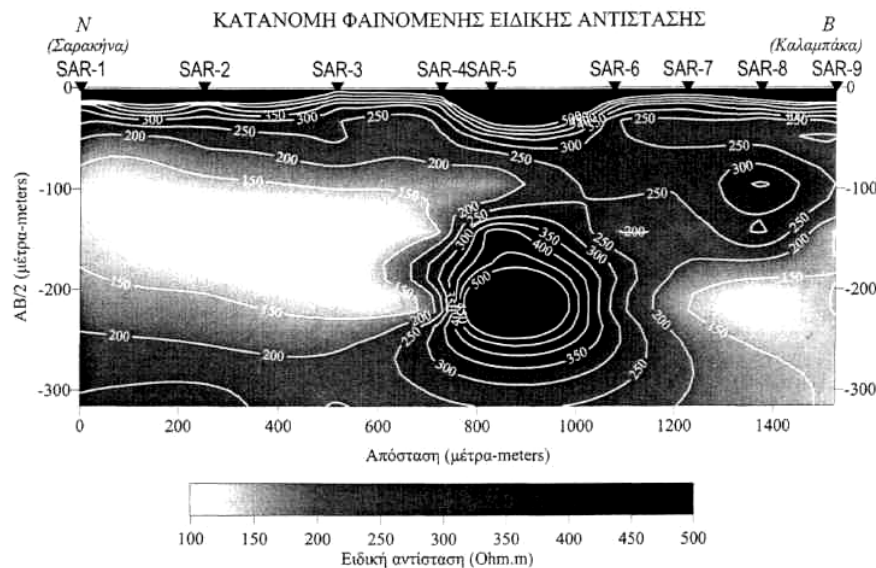
Εκπονήθηκε πρόγραμμα γεωφυσικών διασκοπήσεων το οποίο είχε τους παρακάτω στόχους:

- i να διερευνηθεί η δομή των γεωλογικών σχηματισμών και
- ii να εντοπισθούν ζώνες χαμηλής ειδικής αντίστασης, έτσι ώστε να σκιαγραφηθούν περιοχές που πιθανόν να έχουν άμεση σχέση με τη μολυσματική επίδραση της χωματερής.

Συνολικά διεξήχθησαν 9 γεωηλεκτρικές βαθοσκοπήσεις (Εικόνα 2), με τη διάταξη Schlumberger, με μέγιστο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων ρεύματος AB = 650 μέτρα. Ειδικότερα, μελετήθηκε η κατανομή της ειδικής αντίστασης πλευρικά και σε βάθος, έτσι ώστε να προκύψουν στοιχεία σχετικά με τη δομή, το πάχος και τη λιθολογία των γεωλογικών σχηματισμών που συνέρχονται στην περιοχή μελέτης.

Η ηλεκτρική μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης που επελέγη, δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά τη δυνατότητα διερεύνησης και χαρτογράφησης των γεωλογικών σχηματισμών, ιδιαίτερα σε περιοχές ομαλών τοπογραφικών ανάγλυφων και στρωματοποιημένων γεωλογικών συνθηκών. Ευρεία είναι η εφαρμογή της μεθόδου σε αντίστοιχες περιοχές για τον καθορισμό των υδρογεωλογικών συνθηκών (Stoumaras *et al.*, 1990, Haeni, 1995, Larson, 1995, κ.α.). Η ειδική αντίσταση (ή η ηλεκτρική αγωγιμότητα) των πετρωμάτων εξαρτάται κυρίως από το πορώδες, την περιεκτικότητα σε νερό, την ποιότητα του νερού και τις ειδικές αντιστάσεις των υλικών που απαρτίζουν το πέτρωμα. Λόγω της εξάρτησης αυτής δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η φύση ενός πετρώματος από την τιμή της ειδικής του αντίστασης μονοσήμαντα. Εν τούτοις, είναι δυνατόν να καθοριστούν τα όρια μεταβολής της ειδικής αντίστασης ενός πετρώματος σε συνθήκες κορεσμένες, στεγνές και σε ενδιάμεσες καταστάσεις. Ως συσκευή μετρήσεως αντιστάσεων χρησιμοποιήθηκε το σύστημα *TERRAMETER SAS*, το οποίο αποτελείται από τη βασική μονάδα *Terrameter SAS 300B* και συνοδεύεται από τη μονάδα *SAS 2000 Booster*.

Για τον έλεγχο της πλευρικής ανομοιογένειας των γεωλογικών σχηματισμών σε δύο διαστάσεις, κατασκευάστηκε η αντίστοιχη τομή κατανομής της φαινόμενης ειδικής αντίστασης (Εικόνα 3). Η κατασκευή τέτοιων παραστάσεων από στοιχεία που έχουν προκύψει από την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων, χωρίς την μεσολάβηση αλγόριθμων ποσοτικής ερμηνείας, που χρησιμοποιούνται στα λογισμικά πακέτα, παρέχει μία εικόνα της πολυπλοκότητας της στρωματογραφικής δομής και κατά συνέπεια ένα κριτήριο της αξιοπιστίας της ερμηνείας των μονοδιάστατων γεωηλεκτρικών βαθομετρήσεων που εφαρμόστηκαν, δεδομένου ότι η ερμηνεία τους προϋποθέτει στρωματοποιημένη γη με ομαλή πλευρική ανομοιογένεια της ειδικής αντίστασης.

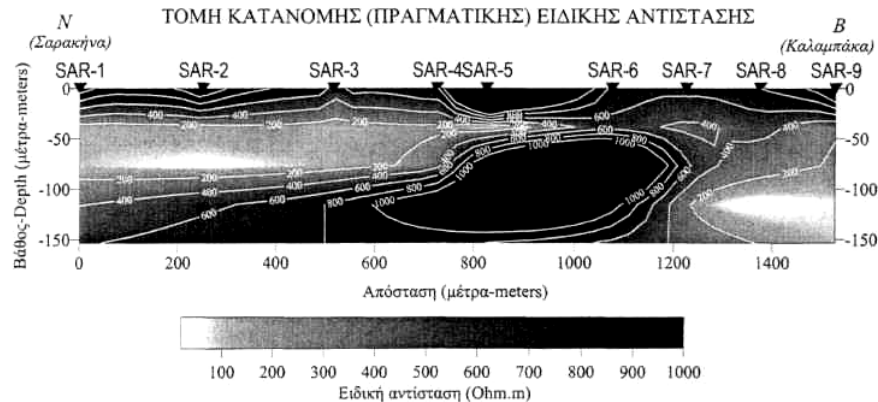


Εικόνα 3: Κατακόρυφη τομή κατανομής φαινόμενης ειδικής αντίστασης.
Figure 3: Vertical apparent resistivity section.

Για την ποσοτική ερμηνεία των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικά λογισμικά πακέτα επεξεργασίας γεωηλεκτρικών δεδομένων. Το πρώτο στηρίζεται σε μία μέθοδο

αυτόματης επεξεργασίας γεωηλεκτρικών δεδομένων που παρουσιάστηκε από τους Zohdy & Bisdorf (1989) και το δεύτερο είναι το εμπορικό πακέτο Resix-Plus της Interpex.

Μετά την ποιοτική παρουσίαση της φαινόμενης ειδικής αντίστασης και την αδρή σκιαγράφιση της στρωματογραφικής δομής, χαράχθηκε η αντίστοιχη τομή κατανομής της ειδικής αντίστασης μετά του βάθους (Εικόνα 4), σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ποσοτικής 1-D ανάλυσης. Η κατασκευή τέτοιων παραστάσεων παρέχει πληρέστερη εικόνα σε δύο (ψευδο-2D απεικόνιση) διαστάσεις, της κατανομής της ειδικής αντίστασης μετά του βάθους (πεδίο τιμών x_i , z_i , ρ_i της ειδικής αντίστασης ρ) για την εξαγωγή συμπερασμάτων της φύσης και της δομής των υπεδαφικών σχηματισμών.



Εικόνα 4: Κατακόρυφη τομή κατανομής ειδικής αντίστασης.

Figure 4: Vertical resistivity section.

Με βάση τα γεωφυσικά αποτελέσματα, το εύρος κύμανσης των τιμών της ειδικής αντίστασης των υδροφόρων και μη σχηματισμών που επικρατούν στην περιοχή έρευνας (από τη βιβλιογραφία και την εμπειρία των συγγραφέων) και σε συνδυασμό με τα γεωλογικά δεδομένα, προκύπτει ότι:

- ✓ Επιφανειακά και μέχρι βάθους 25 μέτρων περίπου, διερευνήθηκε μη αγωγίμος γεωηλεκτρικός σχηματισμός (>300 Ohm.m), που αποδίδεται σε ακόρεστους αδρομερείς σχηματισμούς.
- ✓ Στην περιοχή των βαθσκοπήσεων SAR-5 & SAR-6, διερευνήθηκε ένας υψηλής ειδικής αντίστασης γεωηλεκτρικός σχηματισμός (>500 Ohm.m), σε μικρό σχετικά βάθος (~30-40 μέτρα), που αποτελεί το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο της περιοχής (πολύ συνεκτικά κροκαλοπαγή). Ο σχηματισμός αυτός επεκτείνεται με μικρή κλίση νότια και αποτελεί το υπόβαθρο της υπολεκάνης της Σαρακήνας. Ο σχηματισμός αυτός δεν εντοπίστηκε βόρεια της βαθσκοπήσεως SAR-7 προς την Καλαμπάκα. Η 'έξαρση' αυτή που παρατηρείται μεταξύ των βαθσκοπήσεων SAR-5 & SAR-6, διαχωρίζει την περιοχή που ερευνηθήκε σε δύο υπόγειες υπολεκάνες, οι οποίες ενδεχομένως να αποτελούσαν δύο διαφορετικούς παλαιο-γεωγραφικούς χώρους απόθεσης των ποτάμιων-ποταμοχειμάρριων υλικών, δηλ. της Σαρακήνας (νότια) και της Καλαμπάκας (βόρεια). Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η 'έξαρση' που παρατηρείται αποτελείται από υλικά υψηλής ειδικής αντίστασης (>800 Ohm.m) που αντιστοιχούν σε πολύ συνεκτικούς σχηματισμούς (συνεκτικά κροκαλοπαγή).
- ✓ Η υπολεκάνη της Καλαμπάκας παρουσιάζει μεγαλύτερο πάχος χαλαρών αποθέσεων (>150μ.) κορεσμένων με νερό, έναντι εκείνης της Σαρακήνας (έως 100μ.). Ειδικότερα, στην υπολεκάνη της Καλαμπάκας, οι βαθσκοπήσεις SAR-8 & SAR-9, εντόπισαν κορεσμένους σχηματισμούς σε βάθος μεγαλύτερο των 25 μέτρων. Το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο δεν εντοπίστηκε κάτω από τις βαθσκοπήσεις αυτές (>150 μέτρων). Αντίθετα, στην υπολεκάνη της Σαρακήνας και μεταξύ των βαθσκοπήσεων SAR-1 έως SAR-4, το γεωηλεκτρικό υπόβαθρο εντοπίστηκε σε βάθος που κυμαίνεται από 100 έως 50 μέτρα, αντίστοιχα. Είναι

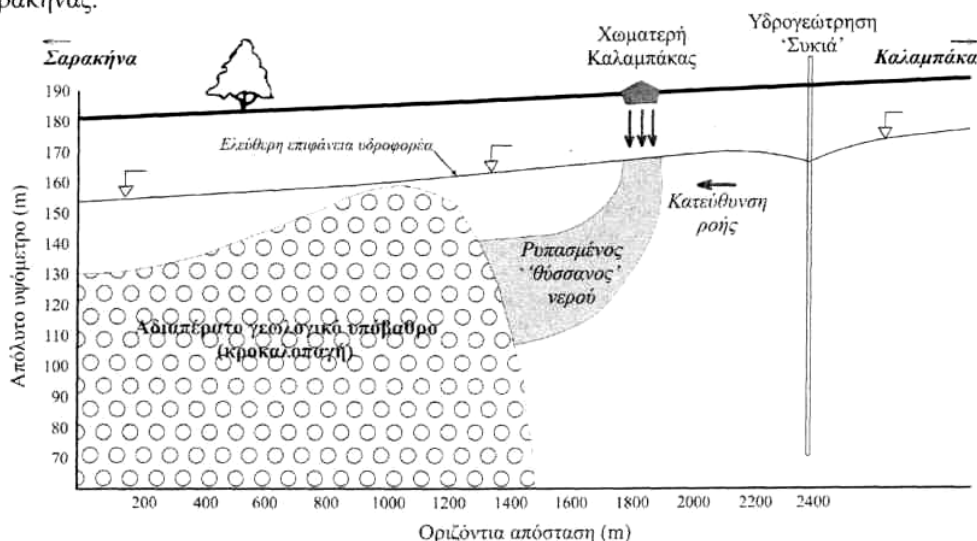
φανερό, ότι η υδροφορία στην περιοχή αυτή αναπτύσσεται μεταξύ του ακόρεστου επιφανειακού καλύμματος (~25 μέτρα) και του γεωηλεκτρικού υποβάθρου. Πρέπει να τονισθεί εδώ, ότι η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφορέα και στις δύο υπολεκάνες, προσδιορίστηκε υψηλότερα (περίπου 5 μέτρα) από την 'έξαρση' του υποβάθρου, κατά το τέλος της ξηρής περιόδου που έγιναν οι μετρήσεις. Δεδομένου ότι, α) παρατηρείται μια σφηνοειδής διείσδυση του υδροφορέα μεταξύ των βαθυσκοπήσεων SAR-4 & SAR-6 (Εικόνα 4) και β) η εκτίμηση του σφάλματος των αποτελεσμάτων της ποσοτικής ερμηνείας είναι της τάξης 10%, η σχετική υψομετρική διαφορά μεταξύ της επιφάνειας του υδροφορέα και της 'έξαρσης' πρέπει να ληφθεί με κάποια επιφύλαξη.

- ✓ Όσον αφορά το βαθμό μόλυνσης και τη δυνατότητα εντοπισμού αυτής με τη διεξαγωγή των γεωηλεκτρικών βαθυσκοπήσεων, προκύπτουν τα εξής:
 - Από τις τιμές των ειδικών αντιστάσεων προκύπτει ότι η υπολεκάνη της Καλαμπάκας επηρεάζεται άμεσα από τον παρακείμενο χώρο απόρριψης στερεών και υγρών αποβλήτων, καθώς στο πεδίο αυτό εντοπίστηκαν πολύ χαμηλές ειδικές αντιστάσεις <5 Ohm.m, σε βάθος >40 μέτρων.
 - Αντίθετα, στην περιοχή της υπολεκάνης Σαρακήνας οι χαμηλότερες τιμές ειδικής αντίστασης που εντοπίστηκαν ήταν της τάξης των 15 Ohm.m.

7. Συμπεράσματα-Συζήτηση

Η λειτουργία της χωματερής, είναι πιθανόν κάτω από ορισμένες συνθήκες να επηρεάσει τη λειτουργία παραγωγικών υδρογεωτρήσεων και συγκεκριμένα της υδρογεώτρησης της Σαρακήνας και της υδρογεώτρησης 'Συκιά', οι οποίες βρίσκονται 2,6 χιλιόμετρα νότια (κατάντη σε σχέση με την υδραυλική κλίση του υδροφορέα) και 550 μέτρα περίπου βόρεια (ανάντη) της χωματερής, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα των γεωφυσικών διασκοπήσεων, σε συνδυασμό με τις προσδιορισθείσες υδραυλικές κλίσεις, έδειξαν ότι σημαντικό κομμάτι του υδροφορέα έχει ρυπανθεί από τη λειτουργία της χωματερής. Ο 'θύσανος' της ρύπανσης εκτείνεται σε απόσταση περίπου 500 μέτρων κατάντη της χωματερής (Εικόνα 5). Αυτό πιθανόν να οφείλεται στην ύπαρξη του αδιαπέρατου υβώματος, το οποίο εντοπίστηκε στην ίδια περίπου απόσταση από τη χωματερή και ουσιαστικά αποκόπτει την υδρογεωλογική λεκάνη της Καλαμπάκας από αυτή της Σαρακήνας.



Εικόνα 5: Πιθανή διαμόρφωση συνθηκών ροής κατά το τέλος της θερινής (ξηρής) περιόδου.
Figure 5: Possible water flow pattern, during the end of summer period.

Οι δύο λεκάνες μάλλον επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά οι ποσότητες μολυσμένου νερού με βάση τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του κύριου υδροφορέα (με πιθανή διαφοροποίηση του

οριζόντιου και κατακόρυφου συντελεστή υδραυλικής αγωγιμότητας), κινούνται καθοδικά και είναι πιθανόν να μην ξεπερνούν ή να ξεπερνούν σε μικρές ποσότητες, το φυσικό φράγμα που δημιουργεί το ύψωμα των κροκαλοπαγών. Βέβαια για να προσδιοριστεί με μεγαλύτερη σαφήνεια η επίπτωση που έχει το ύψωμα στην κίνηση των ποσοτήτων μολυσμένου νερού, απαιτείται επί πλέον γεωφυσική και υδρογεωλογική έρευνα (ο 'θύσανος' της εικόνας 5 έχει σχεδιαστεί χωρίς ποσοτικά στοιχεία).

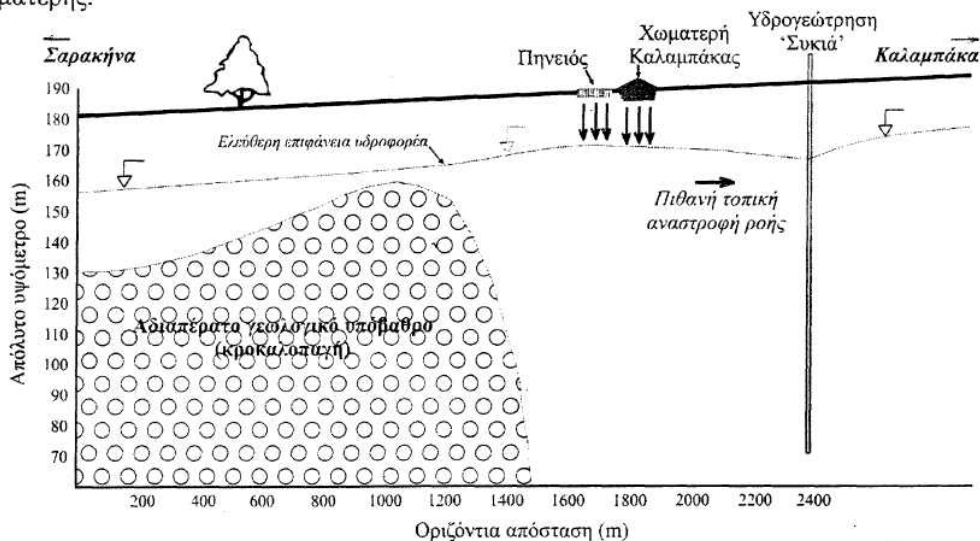
Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι κατά τη διάρκεια της κίνησης των ρύπων μέσα στο πορώδες μέσο, παρατηρούνται διεργασίες φυσικής απορρόπησης, με αποτέλεσμα τη μείωση των συγκεντρώσεων ορισμένων εξ' αυτών με την πάροδο του χρόνου.

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις, τη μεγάλη σχετικά απόσταση μεταξύ χωματερής και υδρογεώτρησης Σαρακίνας, και σε συνδυασμό με τα αποτελέσματα των χημικών αναλύσεων, προκύπτει ότι η εν λόγω υδρογεώτρηση, δεν κινδυνεύει από τη λειτουργία της χωματερής.

Η υδρογεώτρηση 'Συκιά', βρίσκεται ανάντη της χωματερής. Η περίπτωση ρύπανσης της υδρογεώτρησης από τη χωματερή, όταν αυτή δεν λειτουργεί ή λειτουργεί παροδικά για μικρό χρονικό διάστημα, αποκλείεται λόγω της χαμηλής υδραυλικής κλίσης του υδροφορέα (Εικόνα 5). Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα δύο δείγματα νερού που ελήφθησαν αμέσως μετά την εκκίνησή της και μετά από μία ώρα λειτουργίας της.

Η πιθανότητα κίνησης ρυπασμένων ποσοτήτων νερού από την περιοχή της χωματερής προς την υδρογεώτρηση, ελέγχεται από τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του πεδίου ροής και εν μέρει η πιθανότητα αυτή μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από την ακτίνα επίδρασης (r_e) της υδρογεώτρησης. Η τιμή της ακτίνας επίδρασης κυμαίνεται ανάλογα με τον τύπο του υδροφόρου και τα υλικά από τα οποία αποτελείται. Συγκεκριμένα η τιμή της ακτίνας επίδρασης σε ελεύθερο υδροφόρο σχηματισμό, κυμαίνεται ανάμεσα σε 100 και 200 μέτρα, στην περίπτωση λεπτόκοκκων και μεσόκοκκων άμμων, ενώ στην περίπτωση χονδρόκοκκων άμμων και χαλικιών κυμαίνεται ανάμεσα στα 300 και 500 μέτρα (Καλλέργης, 1970).

Με βάση τις παραπάνω διαπιστώσεις και με καταγεγραμμένη την επιφύλαξη που αφορά την ποιότητα των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν, προκύπτει ότι η υδρογεώτρηση 'Συκιά' δεν φαίνεται να επηρεάζεται από την ύπαρξη της χωματερής κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Επιφυλάξεις, όσον αφορά την πιθανότητα ρύπανσης της υδρογεώτρησης, διατυπώνονται κατά τη διάρκεια της υγρής περιόδου, όταν ο Πηνειός τροφοδοτεί τον υδροφορέα και μεταβάλλεται τοπικά το πεδίο ροής, λόγω της δημιουργίας υδραυλικού υβώματος κάτω από την κοίτη του Πηνειού (Εικόνα 6). Για να μπορέσουν όμως να επιβεβαιωθούν ή να απορριφθούν οι παραπάνω επιφυλάξεις, πρέπει να προηγηθεί λεπτομερής υδρογεωλογική μελέτη της περιοχής της χωματερής.



Εικόνα 6: Πιθανή διαμόρφωση συνθηκών ροής κατά το τέλος της χειμερινής (υγρής) περιόδου.
Figure 6: Possible water flow pattern, during the end of winter period.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να εκφράσουν τις ευχαριστίες τους στη Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Ν. Τρικάλων και στον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (Ε.Λ.Κ.Ε.) του ΕΚΠΑ, για την χρηματοδότηση της γεωφυσικής έρευνας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Haeni, F.P., 1995. Application of surface-geophysical methods to investigations of sand and gravel aquifers in the glaciated northeastern United States, US Geological Survey Professional Paper, 1415(A), 70pp.
2. Καλλέργης, Γ., 1970. Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
3. Καλλέργης, Γ., 1973. Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας, ΙΓΜΕ, Αθήνα
4. Larson, T. H., 1995. *Revisiting a 1995 resistivity survey over a buried bedrock valley aquifer*. Proceedings of the Symp. on the Application of Geophysics to Engin. and Envir. Problems (SAGGEP), April 23-26, Orlando, Florida, pp. 871-875.
5. Manahan, S.E., 1994. Environmental Chemistry, Lewis Pbs, USA
6. Μιγκίρος, Γ., Μανάκος, Κ., Σκούρτση, Β., και Καρφάκης, Ι., 1988. Η Γεωλογική δομή του Κόζιακα, ΙΓΜΕ, Αθήνα
7. Savoyat, E., και Λαλέχος, Ν., 1970. Γεωλογικός χάρτης: Φύλλο Καλαμπάκα, κλίμακα 1:50.000, ΙΓΜΕ, Αθήνα.
8. Sawyer, C.N., McCarty, P.L., Parkin, G.F., 1994. Chemistry for Environmental Engineering. McGraw-Hill, N.Y.
9. Stournaras, G., Papadopoulos, T., Panagopoulos, T., Sotiropoulou, K., and Alexiadou, CH., 1990. *Aspects hydrogeologiques des bassins fermes karstiques. Le polje de Livadi (Arahova Grece)*. MEM of 22nd Congress of IAH, Vol. XXII, 592-602.
10. Zohdy, A.A.R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner soundings curves. *Geophysics*, vol. 54, 2, 245-253.