

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΩΝ ΠΕΔΙΝΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ Ν. ΡΟΔΟΠΗΣ ΣΤΗ ΘΡΑΚΗ. ΜΙΑ ΠΡΩΤΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ*

Φ. ΠΑΙΑΚΑΣ¹, Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ¹, Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ¹, Σ. ΠΑΝΙΔΑΣ²

ΣΥΝΟΨΗ

Η εργασία ασχολείται με τη μελέτη και αξιολόγηση όλων των στοιχείων που προκύπτουν από τις ερευνητικές εργασίες που κρίθηκαν ως απαραίτητες για την καταρχήν διερεύνηση της δυνατότητας εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στις πεδινές περιοχές Ξυλαγανής – Ίμερου και Προτάτων – Αρισβής του Ν. Ροδόπης. Οι εργασίες, για κάθε περιοχή, περιέλαβαν σχετική γεωλογική και γεωφυσική έρευνα, μετρήσεις της μεταβολής της στάθμης επιλεγμένων γεωτρήσεων παρακολούθησης, μετρήσεις της ηλεκτρωαγωγιμότητας των υπόγειων νερών όπως και το σχεδιασμό πιεζομετρικών χαρτών κατά τακτά χρονικά διαστήματα. Από την έρευνα προκύπτει η εκτίμηση της αδυναμίας εφαρμογής αποτελεσματικού τεχνητού εμπλουτισμού στην κοίτη περιοχή, ενώ το βόρειο τμήμα της παλιάς κοίτης του Φλουροπόταμου, στη δεύτερη περιοχή, προσφέρεται για την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού με ενεργητικά από υδρογεωλογική άποψη αποτελέσματα για το ερευνηόμενο τμήμα αλλά και για την ευρύτερη περιοχή.

ABSTRACT

This paper deals with the study and evaluation of the results of the research works considered as necessary in studying the feasibility of artificial recharge application to Rhodopi plain areas Xylagani – Imeros and Protato – Arisvi, in Thrace. These works concluded for each area a relevant geological and geophysical research, measuring of the fluctuation levels of the monitoring wells, measuring of the groundwater electrical conductivity and the draw of piezometric maps. At the Xylagani – Imeros plain area, the regional groundwater potential ensures adequately irrigation consumption during a typical hydrological year but under overpumping conditions. The groundwater quality of the shallow aquifers, south of Imeros, is affected directly by seawater, while the deep aquifers northerly are also affected gradually by seawater. The evaluation and careful studying of all the relevant data, analysis, measurements and maps as also the focusing particularly in the extensive presence of clay resulted in finding out the ineffectiveness of probable artificial recharge application by augmenting Lissos river flow or by reactivating the old east stream bed – ditch of Lissos river at the study area. At the Protato – Arisvi plain area after studying and evaluating the relevant research results it was concluded that a controlled reactivation of the north section of the old stream bed of Flouropotamos as it is extended nowadays after the interventions of the past decades at the study region, in combination with some other interventions discussed in the paper, can positively and substantially result in hydrogeological beneficial effects for the study area and the surrounding region.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Διαχείριση υπόγειων νερών, υπερεκμετάλλευση υπόγειων νερών, υφαλίμμιση, διερεύνηση εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων.

KEY WORDS: Groundwater management, overexploitation, salinization, artificial recharge research.

1. ΓΕΝΙΚΑ

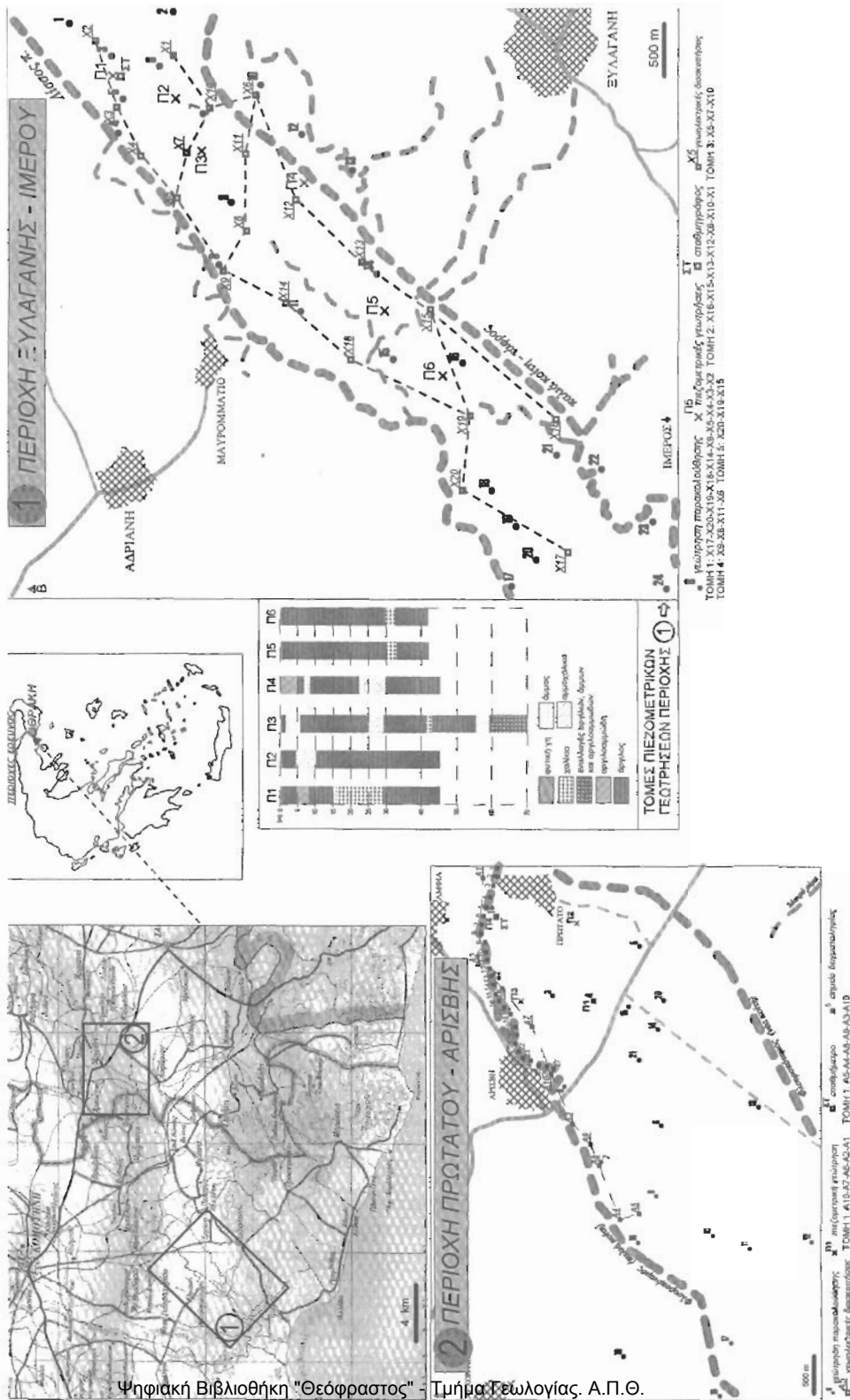
Η εργασία διερευνά τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε δύο σχετικά μικρά αλλοβιακά πεδία στο ΝΑ τμήμα του νομού Ροδόπης, τα πεδινά τμήματα Ξυλαγανής – Ίμερου και Προτάτων – Αρισβής (σχ. 1), τα οποία από κάποιες αοριζικές παρατηρήσεις φάνηζε να προσφέρονται για τέτοιες εφαρμογές. Η συν-

* FEASIBILITY STUDY OF ARTIFICIAL RECHARGE APPLICATION TO RHODOPI PLAIN AREAS AQUIFERS IN THRACE. GREECE. A FIRST APPROACH.

1. Δημοσζέτιο Πανεπιστήμιο Θράκης, Φηδική Βιβλιοθήκη, Θεοφύλατος, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 67100 Ξάνθη.
2. Δ.Ε.Η. Διεύθυνση Αργιντιών Εσθινών, Κλάσμα Εξέλιξης Γεωγεωλογικών Έργων, 66100 Αγρίνιο.

Σχήμα 1. Χάρτης με τις περιοχές έρευνας, τις γεωτρήσεις παρακολούθησης, τις πιεζομετρικές γεωτρήσεις και τις γεωλογικές τομές τους, τα σημεία δειγματοληψίας
 ας για κοκκομετρικές αναλύσεις, τις γεωφυσικές διασκοπήσεις και τους άξονές τους.

Figure 1. The study areas, the monitoring wells, the piezometric wells and their geological sections, the earth material sampling positions for particle-size distribution analysis, the geoelectrical sounding locations and their section axes.



λογή για μελέτη όλων των στοιχείων όπως και η εκτέλεση των απαραίτητων ερευνητικών εργασιών έγιναν στο πλαίσιο εκπόνησης ερευνητικού προγράμματος από το Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., σε συνεργασία με το Εργαστήριο Υδροαυλικών Έργων, για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας με θέμα τη μελέτη τεχνητού εμπλοτισμού υδροφορών Ξάνθης – Ροδόπης (Σακκάς et al., 1998).

Η περιοχή Ξυλαγανής – Ίμερου (σχ. 1, περιοχή 1) εκτείνεται με ταξί του ποταμού Λίσσου και των δυτικών χροσπέδων του όρους Ίμαρου, ενώ το νότιο τμήμα του συνορεύει με τη θάλασσα. Οι υδροφορείς του δέχονται τροφοδοσία από τον παραζεϊμένο ποταμό Λίσσο και την ορεινή ζώνη του Ίμαρου. Μετά την ανόρυξη βαθιών γεωτρήσεων, τη 10ετία του '80, βάθους 60-80 m, λόγω της μη ικανοποίησης πλέον των αρδευτικών αναγκών από τις υπάρχουσες αβαθείς γεωτρήσεις, παρατηρήθηκε η εμφάνιση του φαινομένου της υπαλίμνισης των υπόγειων νερών, που χρόνο με το χρόνο εντείνεται. Η κύρια αιτία ήταν η είσοδος της θάλασσας μέσα από την κοίτη του ποταμού Λίσσου σε συνδυασμό με τις μεγάλες αντλήσεις και τα χαμηλά υψόμετρα της περιοχής.

Η περιοχή Προτάτων – Αριόβης (σχ. 1, περιοχή 2) εντοπίζεται στο πεδινό τμήμα του Φλουροπόταμου (γλάδου του Λίσσου), ο οποίος πριν την επέμβαση στο υδρογραφικό δίκτυο της ευρύτερης περιοχής τη δεκαετία του '60, διέσχισε μια μεγάλη έκταση. Μετά την επέμβαση ο κεντρικός χείμαυρος εγκαθιπώθηκε και ευθυγραμμίστηκε και λίγο πριν το Προτάτο εκτρέπηκε από την παλιά του διαδρομή σε νέα διαδρομή βόρεια του Λοφαρίου, αποκόπτοντας ένα σημαντικό τμήμα της παλιάς κοίτης, η οποία όμως ακόμα και σήμερα παραμένει στην αρχική της κατάσταση (δεν υπάρχουν καταπατήσεις). Η νέα κοίτη έχει διανοιχτεί, σε ένα σημαντικό μήκος της, μέσα στο παλαιογενές της περιοχής (υλικά πολύ μικρής περιτότητας), ενώ υψομετρικά η νέα κοίτη βρίσκεται πιο χαμηλά από την παλιά (σχ. 2) και έτσι τροφοδοτεί τα υδροφόρα μέχρι κάποιο συγκεκριμένο ύψος και μάλιστα όταν η στάθμη του ποταμού είναι ψηλά, ενώ σε χαμηλές στάθμες αδυνατεί. Το υπόλοιπο τμήμα του υδροφορέα συμπληρώνεται από ζαιτειδιώσεις της βροχής.

2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΚΑΙ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ - ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Οι περιοχές γεωλογικά ανήκουν στο ανατολικό τμήμα ενός από τα τριτογενή βυθίσματα (βυθίσμα Βιοτωνίδας) της Ροδοπικής μάζας. Χαρακτηριστικό της όλης περιοχής είναι η έντονη τεκτονική δραστηριότητα του παρελθόντος με την παρουσία σήμερα σηγμάτων. Γεωλογικό υπόβαθρο αποτελούν τα παλαιογενή ιζήματα της Ροδοπικής μάζας. Πάνω από αυτά εντοπίζονται οι αποθέσεις, που χαρακτηρίζονται ως διλουβιακές (χερσαίες) αποθέσεις κοκκινωπών έως αμμοίχων αργίλων, με διάσπαστα ασβεστιτικά συσζοίματα και με ασβεστιτικούς οριζόντες μικρού πάχους. Είναι αποθέσεις συνεκτικές έως πολύ συνεκτικές με ασβεστιτική έως αργιλική συσζολλητική ύλη και το πάχος τους κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 50 και 80 m ενώ το μεγαλύτερο πάχος τους παρατηρείται στην περιοχή Ξυλαγανής – Ίμερου.

Οι περιοχές έρεινας εντοπίζονται σ' ένα σύνολο πρόσφατων ιζημάτων, που εκτιμώνται σε μέγιστο πάχος μέχρι 15 m και προέκυψαν κυρίως από τις αποθέσεις του ποταμού Λίσσου και των διαφόρων γλάδων του. Τα ιζήματα αυτά που έχουν ως υπόβαθρο στην μεν πρώτη περιοχή απευθείας τα παλαιογενή, ενώ στη δεύτερη περιοχή κυρίως τις πλειστοκαινικές αποθέσεις, αποτελούνται από εναλλαγές στρώσεων άμμου, αργίλων και λάσας με περιορισμένη όμως ανάπτυξη.

Η περιοχή Ξυλαγανής - Ίμερου αποτελεί πεδινό τμήμα με ήπια μορφολογία με ιδιαίτερα χαμηλά υψόμετρα. Το πεδινό τμήμα, βόρεια των παρακτιών ακαλλιέργητων εκτάσεων, σήμερα καλλιεργείται σχεδόν στο σύνολό του με κύρια καλλιέργεια το βαμβάκι (περίπου 95%) και τα τεύτλα. Η περιοχή Προτάτων – Αριόβης είναι ομαλή με πολύ μικρές κλίσεις. Περιβάλλεται από ένα λοφώδες ανάγλυφο, ήπιο, με χαμηλά γενικά υψόμετρα (<100 m). Το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής αποτελεί μέρος του δικτύου του Λίσσου ποταμού. Στις πεδινές εκτάσεις της περιοχής έρεινας καθώς και στις λοφώδεις που τις περιβάλλουν σήμερα καλλιεργούνται σιτηρά, αραβόσιτος, βαμβάκι και τεύτλα (Σακκάς et al., 1998).



Σχήμα 2. Σχηματική γεωλογική τομή Α-Δ τμήμα Γεωλογίας Δ.Π.Θ. – Αριόβης.
Figure 2. Geological sketch directed E-W at the Protato – Arisvi area.

3. ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1η περιοχή (Ξυλαγανή - Ίμερος)

Ανορθώθηκαν 6 πιεζομετρικές γεωτρήσεις βάθους 45 m - 70 m (σχ. 1, περιοχή 1). Σε όλες τις λιθολογικές τομές των γεωτρήσεων επιζωοτούν τα αργιλιώδη υλάδια είτε τα πλειοπλειστοκαινικά, προς τα κρυσταλάδια (κόκκινη αργίλος), είτε τα παλαιογενή, προς το ζεντροικό και βόρειο τμήμα (γκρι-πράσινη αργίλος), είτε ακόμα οι πρόσφατες θαλάσσιες αποθέσεις (αργίλος με κοχύλια). Επίσης έντονη είναι η παρουσία της μαύρης οργανομιγούς αργίλου (βούρκος) σε όλη σχεδόν την έκταση του πεδινού τμήματος, που ξεκινά κατά θέσεις από τα 5 m κάτω από την επιφάνεια και σε ορισμένες γεωτρήσεις συναντιέται μέχρι τα 24 m βάθος. Αυτό δείχνει ότι η περιοχή κατά τα παρελθόν αποτελούσε μια κλειστή αβαθή λίμνη.

Πραγματοποιήθηκαν 20 γεωφυσικές διασκοπήσεις (σχ. 1, περιοχή 1) και σχεδιάστηκαν 5 γεωηλεκτρικές τομές (σχ. 3, περιοχή 1). Διακρίνονται 4 κύριοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί οι οποίοι σε συνδυασμό με τα γεωχημικά αποτελέσματα διακρίνονται ανάλογα με τη διακύμανση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε (ASCE, 1987, Καλλέογης, 1986): (1) άμμο χονδρόκοκκη (>40 Ohm.m), (2) άμμο λεπτόκοκκη, (40-25 Ohm.m), (3) αργιλοαμμώδες (25 - 15 Ohm.m), (4) αργίλο (<15 Ohm.m). Σε όλο το τμήμα κυριαρχούν τα αργιλιώδη και τα αργιλοαμμώδη υλάδια, γεγονός που δυσκολεύει την εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού.

Από τις κοκκομετρικές αναλύσεις και τις αντίστοιχες χαμπύλες που σχεδιάστηκαν από 25 εδαφικά δείγματα που πάρθηκαν σε διάφορες θέσεις περίπου σε βάθος 30 cm, προέκυψε ότι στα περισσότερα δείγματα το χονδρόκοκκο υλάδι συμμετέχει στο δείγμα σε ποσοστό <20%, γεγονός που δηλώνει ότι στα επιφανειακά στρώματα επιζωοτούν τα αργιλιώδη υλάδια με πολύ μικρή συμμετοχή λεπτόκοκκων άμμων (Σακκάς et al., 1998).

2η περιοχή (Πρωτάτο - Αρίσβη)

Ανορθώθηκαν 4 πιεζομετρικές γεωτρήσεις (σχ. 1, περιοχή 2), που μετά τα 12 m διέτρησαν το παλαιογενές υπόβαθρο όπου και σταμάτησαν. Μέχρι τα 12 m κυριαρχούν επιφανειακά τα αργιλοαμμώδη (πάχος κατά μέσο όρο 5 m) και στη συνέχεια μέχρι τα 12 m επιζωοτούν τα αμμοχαλιζώδη.

Για τη διερεύνηση των αποθέσεων στην άμεση γειτονιά της παλαιάς κοίτης πραγματοποιήθηκαν συνολικά 10 γεωφυσικές διασκοπήσεις (σχ. 1, περιοχή 2) και σχεδιάστηκαν 2 γεωηλεκτρικές τομές (σχ. 3, περιοχή 2). Διακρίνονται 3 κύριοι γεωηλεκτρικοί σχηματισμοί οι οποίοι διακρίνονται ανάλογα με τη διακύμανση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (ASCE, 1987, Καλλέογης, 1986): (1) σε εναλλασσές αργιλοαμμώδων και αμμοχαλιζών όπου επιζωοτούν τα αμμοχαλιζώδη (>40 Ohm.m), (2) σε εναλλασσές αργίλων και αργιλοαμμώδων όπου επιζωοτούν τα αργιλοαμμώδη (15-40 Ohm.m) και (3) στο σχηματισμό του υποβάθρου που αποτελείται από αργιλιώδεις σχιστολίθους (<15 Ohm.m). Το χωροχρονικό της περιοχής είναι το σημαντικά μεταβαλλόμενο πάχος των αποθέσεων. Το αριζικό τμήμα (από διασκόπηση 1- διασκόπηση 6) εμφανίζει ένα σημαντικό πάχος αποθέσεων και μάλιστα με την επιζωότησή του περατώνει, είναι που επιβραδύνεται τουλάχιστον στα μικρά βάθη και από τις ανάλογες κοκκομετρικές αναλύσεις. Η διαπίστωση αυτή δημιουργεί αριζικά ευνοϊκές προϋποθέσεις για τη δυνατότητα εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού στο αριζικό αυτό τμήμα της κοίτης.

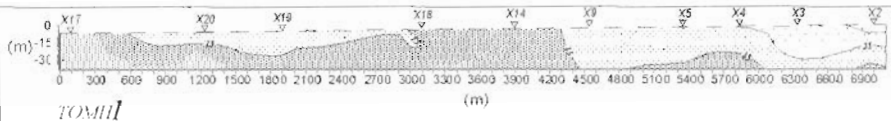
Για μια καλύτερη εικόνα του υλαίου που φιλοξενεί η παλιά κοίτη και κυρίως του τμήματός της μεταξύ Πρωτάτου και Αρίσβης, πάρθηκαν 27 δείγματα σε διαφορετικές θέσεις, περίπου ανά 125 m και σε βάθος 30 cm από την επιφάνεια της κοίτης (σχ. 1, περιοχή 2). Οι κοκκομετρικές αναλύσεις έδειξαν ότι επιφανειακά εντοπίζονται στο αριζικό τμήμα της κοίτης συχνές εναλλασσές χονδρόκοκκων (άμμοι και χαλιζιών) και λεπτομερών υλαίων (λυσώδη, αργιλιώδη), ενώ προς το νότιο όριο του πεδίου έφερνας επιζωοτούν τα λεπτομερή υλάδια.

4. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

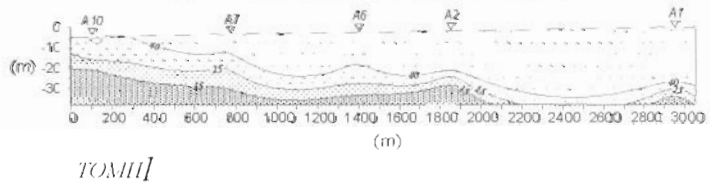
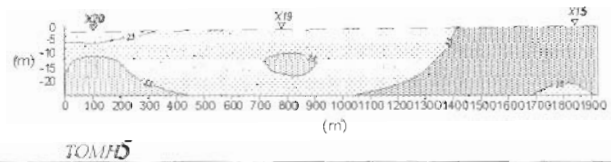
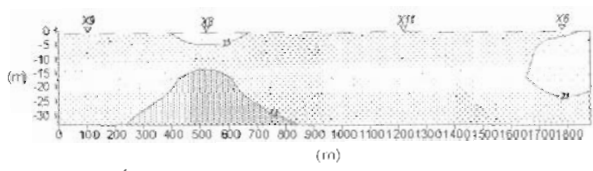
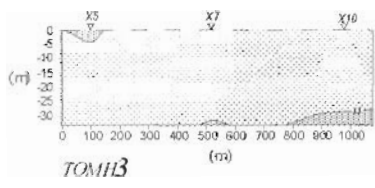
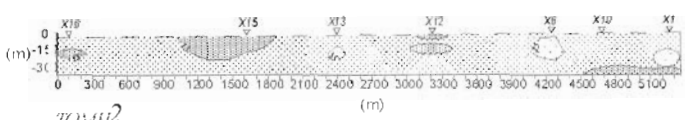
1η περιοχή (Ξυλαγανή - Ίμερος)

Οι υδρογεωτρήσεις της περιοχής, που αριθμούν περίπου τις 55, έχουν μέσο βάθος 70 m, ενώ εμφανίζουν μια μέση παροχή περίπου 40 m³/h, που στα βόρεια φτάνει τα 60 m³/h - 70 m³/h. Οι βαθύτερες γεωτρήσεις έχουν διατηρήσει εντός από τις πρόσφατες το πάχος των οποίων δεν ξεπερνά τα 15 με 20 m και πλειοπλειστοκαινικές αποθέσεις στις οποίες μάλλον εντοπίζονται τα πιο αποδοτικά υδροφόρα. Η υδροφορία απαντά σενήθως με τη μορφή πλάγιων υπό πίεση υδροφόρων, που το πάχος τους κυμαίνεται μεταξύ 1 - 10 m, με παρεμβολές αργίλων ποταμιών πάχους.

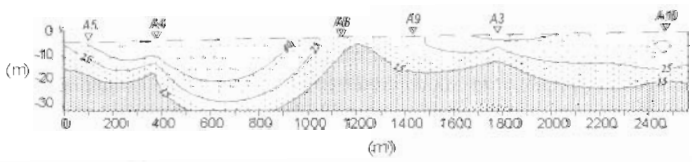
Μετά τη δεκαετία του '80 η αναγκαστική εξβάθιση των γεωτρήσεων και η αλλαγή των καλλιεργειών από καλαμπόκι στα τεύτλα σε βαμβάκι είχε ως αποτέλεσμα σήμερα να ικανοποιούνται σχεδόν κατά 100% οι αρωματικές ανάγκες με σημαντική βελτίωση της παραγωγής. Το πρόβλημα που προέκυψε μετά την εξβάθιση των γεωτρήσεων ήταν η αχρηστευση των αβαθών γεωτρήσεων λόγω υφαλμύρυνσης στο



1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΞΥΛΑΓΑΝΗΣ - ΙΜΕΡΟΥ



2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΩΤΑΤΟΥ - ΑΡΙΣΒΗΣ

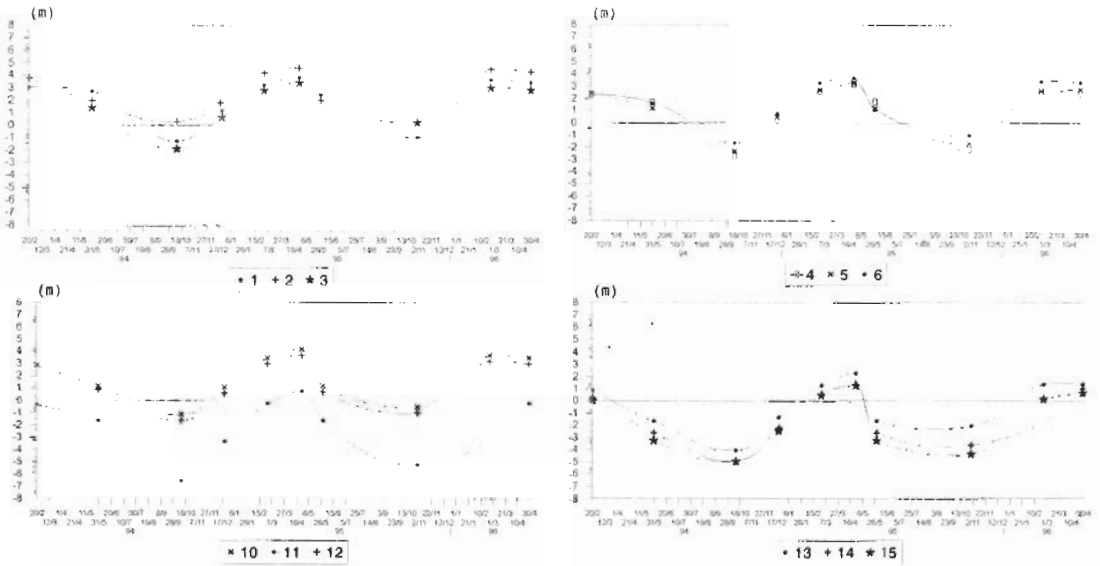


∇: θέση γεωηλεκτρικής διασκόπησης - - - : τοπογραφικό ανάγλυφο ζ : καμπύλη ίσως τιμής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($\Omega \cdot m$)

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεσσαλονίκης - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
 Figure 3. Geoelectrical sections.

νότιο τμήμα (περιοχή Ίμερου) και της επέκτασής της σε βαθύτερους υδροφορείς πιο βόρεια.

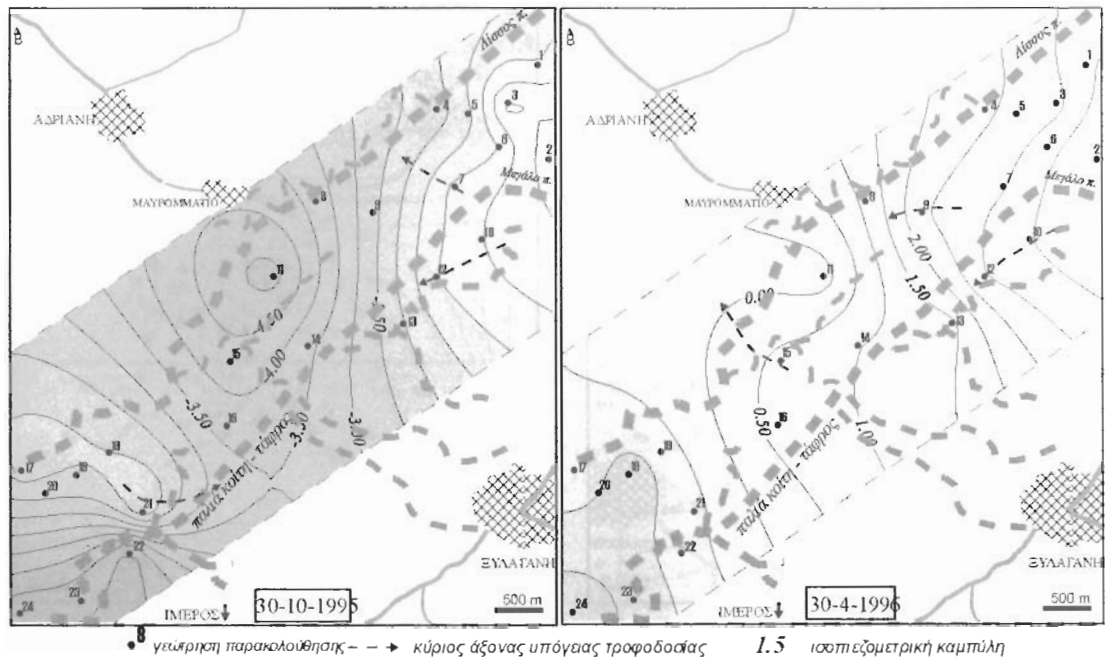
Παρακολογήθηκε η μεταβολή της στάθμης σε 24 γεωτρήσεις (σχ. 1, περιοχή 1) ομοιόμορφα κατανεμημένες στο πεδινό τμήμα, σε τακτά χρονικά διαστήματα από 20/2/1994 έως 30/4/1996, όπως και σε εγκαταστημένο αυτογραφικό σταθμηγράφο για το χρονικό διάστημα 4/9/96 – 7/12/97. Από τα σχετικά διαγράμματα της μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης, που σχεδιάστηκαν για όλες τις γεωτρήσεις και μέρος των οποίων παρουσιάζεται στο σχ. 4, προέκυψε ότι η διαφορά στάθμης για ένα μέσο χρόνο μεταξύ υψηλής και χαμηλής στάθμης φτάνει μέχρι τα 6 m με το μεγαλύτερο ποσοστό να κυμαίνεται στα 4-6 m. Η μορφή των διαγραμμάτων δηλώνει την καλή λειτουργία των υδροφόρων με άμεση αναστήλωσή τους στη διάρκεια του έτους. Χαρακτηριστικό όμως σχεδόν των περισσότερων γεωτρήσεων και κυρίως αυτών που βρίσκονται προς τα νότια είναι ότι οι στάθμες ηρεμίας βρίσκονται είτε συνεχώς είτε περιοδικά κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, γεγονός στο οποίο βοηθούν τα χαμηλά υψόμετρα του πεδίου. Η περίπτωση αυτή, που οφείλεται κυρίως στη δομή του υπεδάφους με την παρεμβολή αργιλικών υλικών στις περιοχές που θα μπορούσαν να επιζωονοούν με πηγές τροφοδοσίας (ποτάμι), αποτελεί χρόνια περίπτωση και ευνοεί την εμφάνιση του προβλήματος της υπαλιμύγισης, η οποία παρουσιάζεται περιορισμένη λόγω ακριβώς της μικρής περατότητας των υλικών που παρεμβάλλονται μεταξύ του πεδινού τμήματος και της θάλασσας.



Σχήμα 4. Διαγράμματα μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής Ξυλαγανής - Ίμερου.

Figure 4. Water table fluctuations of the Xylagani - Imeros area wells.

Οι 10 πιεζομετρικοί χάρτες (2 χάρτες παρουσιάζονται στο σχ. 5), που σχεδιάστηκαν για το χρονικό διάστημα 20/2/1994 – 30/4/1996 με τη μέθοδο παρεμβολής Kriging και το πρόγραμμα H/Y Surfer, εμφανίζουν χαρακτηριστικούς άξονες υπόγειας τροφοδοσίας κατά τόπους σχετικά παράλληλους προς τους κύριους άξονες επιφανειακής απορροής. Χαρακτηριστική είναι η εικόνα του Οκτωβρίου, όπου παρατηρείται ένας σημαντικός άξονας τροφοδοσίας με φορά διεύθυνσης από τη θάλασσα όπως επίσης φαίνεται μια περιοχή στο κέντρο και προς το δυτικό όριο του πεδίου έρευνας που βρίσκεται κάτω από καθεστώς υπερανάτλησης. Η αραίωση ή πύκνωση των ισοπιεζομετρικών γραμμών ποικίλλει από θέση σε θέση. Αυτό επιβεβαιώνει την ετερογένεια των υδροφορέων, όπως προέκυψε από προηγούμενα στοιχεία. Γενικά φαίνεται ότι τα υπόγεια νερά της περιοχής δέχονται τροφοδοσία αλλά και σε ορισμένες θέσεις τροφοδοτούν το υδρογραφικό δίκτυο. Παρατηρείται κυρίως μια σταθερή τροφοδοσία από την ανάντη ΒΑ περιοχή, από τις διηθήσεις της ορεινής ζώνης και μια τροφοδοσία από το βόρειο ανάντη τμήμα του ποταμού Λίσσου εκτός της περιοχής έρευνας, ενώ δεν φαίνεται ο Λίσσος να τροφοδοτεί τους υδροφόρους της περιοχής σχεδόν σε όλο το μέρος τη κοίτης του που εντοπίζεται μέσα στο πεδίο έρευνας. Αυτό δικαιολογείται από τη δομή του υπεδάφους και κυρίως το μεγάλο πάχος των αργιλικών υλικών. Στα νότια τμήματα και για ορισμένους μήνες το υπόγειο νερό φαίνεται πως ενισχύεται από νερά με κατεύθυνση προς τη θάλασσα.



Σχήμα 5. Πιεζομετρικοί χάρτες των υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων της περιοχής Ευλαγανής - Ίμερου.
 Figure 5. Piezometric maps of the confined aquifers at the Xylagani - Imeros area.

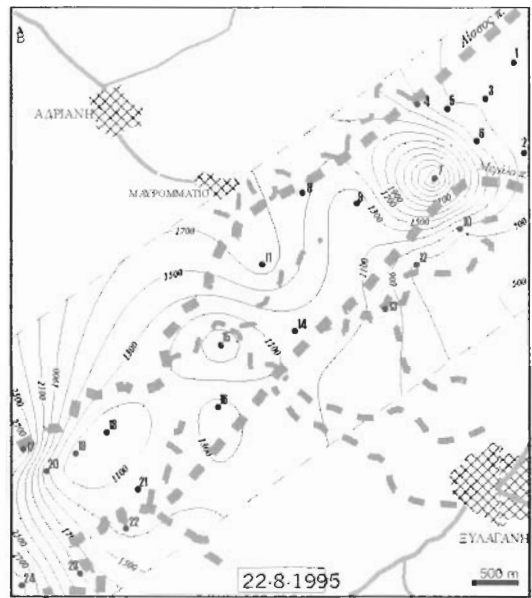
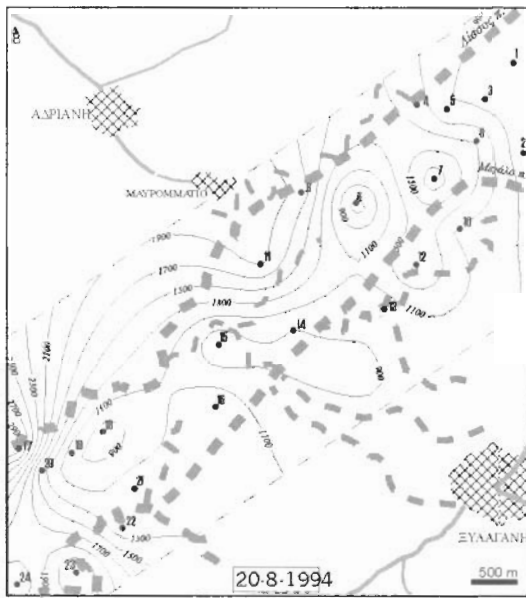
Πραγματοποιήθηκαν σε δυο διαδοχικά καλοκαίρια (Αύγουστος 1994, 1995) μετρήσεις της τιμής της ηλεκτρωγγωγιμότητας στα υπόγεια νερά της περιοχής (σχ. 6). Γενικά οι τιμές κυμαίνονται σε μέτρια επίπεδα, από 800-3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, με μεγαλύτερη συγκέντρωση από 100-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Σακκάς et al., 1998). Οι μεγαλύτερες τιμές, όπως ήταν αναμενόμενο, εντοπίζονται στο νότιο τμήμα και οφείλονται στις συνεχώς αρνητικές στάθμες και στη γειτνίαση με τη θάλασσα. Επίσης παρατηρείται σχετικά μικρή αύξηση των τιμών προς το κεντρικό τμήμα από το 1994 στο 1995, που οφείλεται στην υπεράντληση του τμήματος αυτού με συνέπεια τη ροή προς τα ανάντη του ήδη επιβαρηνμένου νερού του νότιου τμήματος. Οι μικρότερες τιμές στο ΒΑ τμήμα επιβεβαιώνουν την κύρια τροφοδοσία πλευρικά από την ορεινή ζώνη.

2η περιοχή (Πρωτάτο - Αρσίβη)

Χαρακτηριστικό των παλαιογενών ιζημάτων της περιοχής είναι το λεπτομερές των ψαμμιτικών υλικών καθώς και η έντονη παρουσία των αργιλικών υλικών με συνέπεια την εμφάνιση ελάχιστης έως μηδενικής υδροφορίας.

Γεωτρήσεις οι οποίες διέτρησαν αποκλειστικά τα παλαιογενή, τόσο στην περιοχή έρευνας όσο και σε γειτονικές, παρουσίασαν αποδόσεις μηδενικές ή μέχρι $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Το πάχος των πρόσφατων αποθέσεων δεν ξεπερνά τα 15 m, ενώ μειώνεται στα όρια με το λοφώδες ανάγλυφο αλλά και προς τα νότια. Οι αποθέσεις αυτές που αποτελούνται από εναλλαγές αργίλων, άμμων και χαλίκων, που αλληλοσυμπλέκονται και δημιουργούν ένα ετερογενές περιβάλλον, φιλοξενούν αβαθείς μερικώς υπό πίεση υδροφόρους οριζόντες, χωρίς συνεχή ανάπτυξη. Η τροφοδοσία των υδροφόρων εξασφαλίζεται από τις κατεισδύσεις και από τις διηθήσεις από τους άξονες επιφανειακής απορροής την περίοδο που έχουν ροή.

Παρακολυθηθήκη η μεταβολή της στάθμης σε 21 γεωτρήσεις (σχ. 1, περιοχή 2), ομοιόμορφα σχεδόν κατανεμημένες στο πεδινό τμήμα, σε τακτά χρονικά διαστήματα από το Δεκέμβριο του 1994 μέχρι τον Απρίλιο του 1996. Επίσης για το χρονικό διάστημα 4/9/1996 - 18/2/1998 εγκαταστάθηκε αυτογραφικός σταθμηγράφος. Από τα σχετικά διαγράμματα διακύμανσης του υψομέτρου της στάθμης που σχεδιάστηκαν για όλες τις γεωτρήσεις και μέρος των οποίων παρουσιάζονται στο σχ. 7, προέκυψε ότι η διαφορά στάθμης για ένα μέσο χρόνο μεταξύ υψηλής και χαμηλής τιμής δεν ξεπερνά το 1,5 m, με το μεγαλύτερο ποσοστό να κυμαίνεται μέχρι 1m. Από παλαιότερες έρευνες και από μετρήσεις σε ένα αριθμό γεωτρήσεων που οι περισσότερες ταυτίζονται με τις σημερινές, το έτος 1992 (εφημερίδα Βιβλιοθήκη "Θεοφράστου" Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) δεν ξεπερνούσε τα 2 m. Η διακύμανση χαρακτηρίζεται ως μικρή, χαρακτηριστικό του τύπου των υδροφόρων της περιοχής έρευνας



2000 κάμπυλη ίσης τιμής ηλ. αγωγιμότητας ($\mu\text{S}/\text{cm}$) γεωτρηση παρακολούθησης

Σχήμα 6. Χάρτης με την κατανομή της ηλεκτραγωγιμότητας των νερών των υπό πίεση υδροφόρων οριζώντων της περιοχής Ξυλαγανής - Ίμερου.

Figure 6. Contours of groundwater equal electrical conductivity value of the Xylagani – Imeros area confined aquifers

που διακρίνονται κατά περίπτωση σε ελεύθερους και αβαθείς μερικώς υπό πίεση. Η μορφή των διαγραμμιάτων δηλώνει την καλή λειτουργία των υδροφόρων με αναλήρωσή τους στη διάρκεια του έτους.

Χαρακτηριστικό των 8 **πιεζομετρικών γεωτρήσεων** (2 χάρτες παρουσιάζονται στο σχ. 8), που σχεδιάστηκαν για το χρονικό διάστημα 28/12/1994 – 10/4/1996 με τη μέθοδο παρεμβολής Kriging και το πρόγραμμα H/Y Surfer, είναι ότι στο τμήμα της περιοχής έρευνας μεταξύ Προπιάτου και Αριόβης, εντοπίζεται σε όλες τις περιόδους ένας αρατά ενδιάμεσος άξονας τροφοδοσίας με αρατήρια την παλιά ζοίτη, ο οποίος διααχίζοντας την περιοχή που εμφανίζει μεγάλο πάχος αποθέσεων (γεωηλεκτρική τομή 1, σχ. 3 – περιοχή 2, θέσεις δειγματοληψίας για ζοζκομετρική ανάλυση 1 – 12, σχ. 1 – περιοχή 2), στη συνέχεια μετατρέπεται άλλοτε σε άξονα αποστράγγισης και άλλοτε σε άξονα τροφοδοσίας, χαρακτηριστικό της ετερογένειας των υλικών της περιοχής έρευνας. Η διακρίτωση αυτή κρίνεται ως αρατά εννοϊκή ως προς την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε αυτό το τμήμα της ζοίτης. Επίσης η αραίωση ή πύκνωση των ισοπιεζομετρικών γραμμών ποικίλλει από θέση σε θέση, εικόνα που επιβεβαιώνει την έντονη ετερογένεια των υδροφορέων, όπως προέκυψε από προηγούμενα στοιχεία.

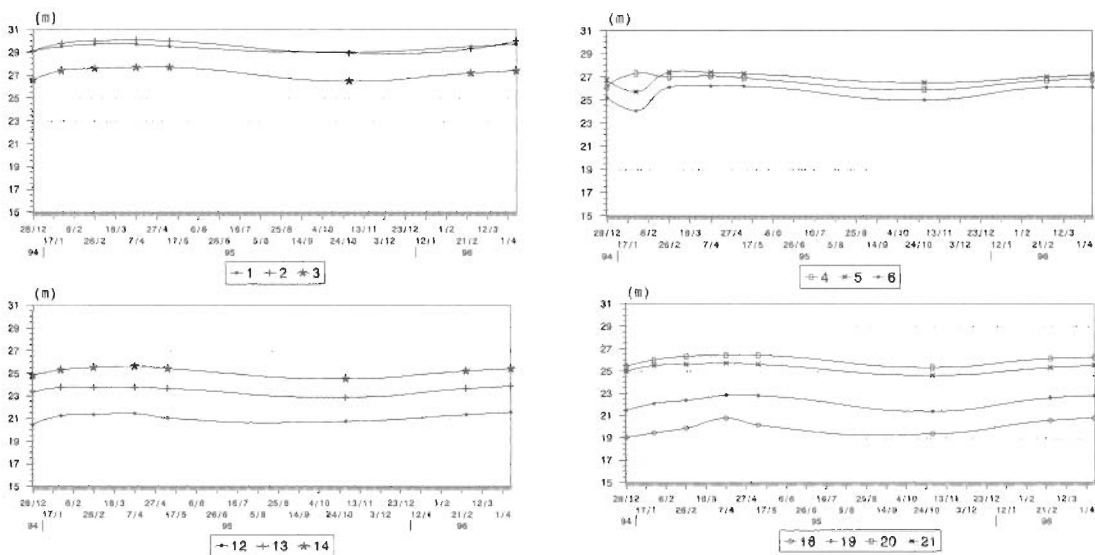
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η περιοχή (Ξυλαγανή - Ίμερος). Το φαινομένο πεδινό τμήμα Ξυλαγανής - Ίμερου φαίνεται ότι σήμερα εξαοαίλει επαρκώς τις αρδευνικές του ανάγκες από τα υπόγεια νερά της περιοχής για ένα μέσο υδρολογικό έτος αλλά όμως κάτω από συνθήκες υπεράνληξης. Η ποιότητα των υπόγειων νερών όσον αφορά την αρατή υδροφορία ντάτα του Ίμερου επηρεάζεται άμεσα από το θαλασσινό νερό όπου σήμερα οι αραθείς γεωτρήσεις είναι αρανοποιημένες. Η βαθιά υδροφορία έχει αρχίσει με αρατές ρυθμούς να επηρεάζεται άμεσα και αυτή από τη θαλάσσια λόγω των αρατικών πιών του υψόμετρου της στάθμης των υπόγειων νερών σε συνδυασμό με τις υπερανλήσεις.

Η κατασκευή κατάλληλων έργων τεχνητού εμπλουτισμού, όπως έχει προκύψει από ανάλογες εμπειρίες στην Ελλάδα (Ζυμής, 1994, Θάνος, 1994, Πλιάνας, et al., 1999) ή στο διεθνή χώρο (Κοιμάντζης, 1999, Berger, et al., 1998), μπορεί να συμβάλει θετικά στη μακροχρόνια σημαντική προσπάθεια αντιμετώπισης του φαινομένου της υαλαμύρωσης των υπόγειων νερών. Από την αξιολόγηση όμως και την ποσοτική μελέτη όλων των στοιχείων, των αναλύσεων, των μετρήσεων και των αναλύσεων γεωτρήσεων για τη διερεύνηση της δυνατότητας ε-

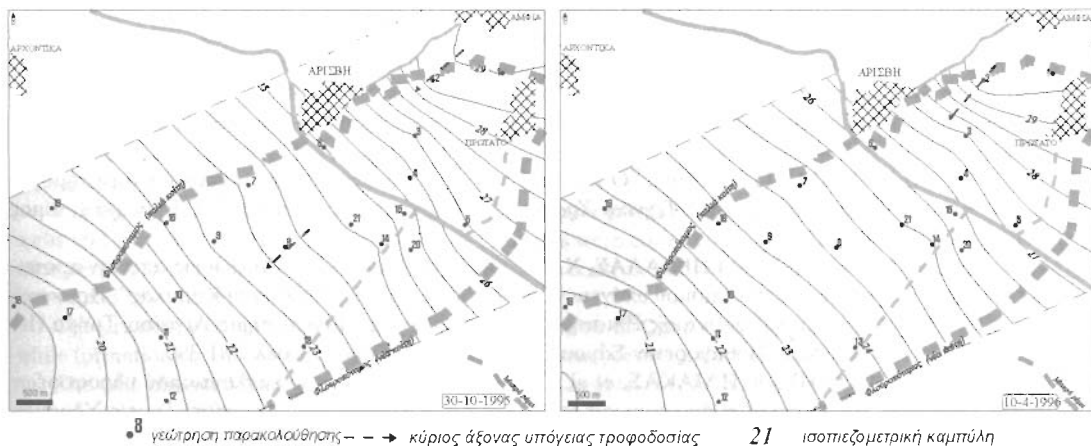
φαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφορέων της περιοχής έρευνας και ιδιαίτερα των επιβαρημένων και επικεντρώνοντας κύρια στην έντονη παρουσία αργιλικού υλικού προκύπτει η εκτίμηση της αδυναμίας εφαρμογής αποτελεσματικού τεχνητού εμπλουτισμού στο ερευνηόμενο τμήμα τόσο μέσα από την κοίτη του ποταμού Λίσσου όσο και μέσα από την ανατολική παλιά κοίτη - τάφρο.

2η περιοχή (Πρωτάτο - Αριόβη). Από την προσεχτική μελέτη και την αξιολόγηση όλων των στοιχείων που



Σχήμα 7. Διαγράμματα μεταβολής του υψομέτρου της στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής Πρωτάτου - Αριόβης.

Figure 7. Water table fluctuations of the Protato - Arisvi area wells.



Σχήμα 8. Πιεζομετρικοί χάρτες του αβαθούς μερικώς υπό πίεση υδροφόρου οριζοντα της περιοχής Πρωτάτου - Αριόβης.

Figure 8. Piezometric maps of the shallow semi-confined aquifers at the Protato - Arisvi area.

προέκυψαν από τις σχετικές ερευνητικές εργασίες προκύπτει ότι το βόρειο τμήμα της παλιάς κοίτης του Φλουροποταμού προσφέρεται για την εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων τεχνητού εμπλουτισμού με ευεργετικά από υδρογεωλογική άποψη αποτελέσματα για το ερευνηόμενο τμήμα αλλά και για την ευρύτερη περιοχή.

Επιπλέον ως κύριο και άμεσο βήμα στην προσπάθεια της ολοκλήρωσης των ερευνών αυτών και κυρίως για τον υπολογισμό πλέον και ποσοτικών παραμέτρων που αφορούν τον εμπλουτισμό, η εκτέλεση ενός πειραματικού σταδίου εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού, που θα περιλάμβανε: (1) την επανενεργοποίηση

της παλιάς κοίτης με ρύθμιση της ροής ελεγχόμενων ποσοτήτων νερού από τη διευθετημένη κοίτη στην παλιά, στο ύψος της αποκοπής της από αυτή, (2) τη διευθέτηση της παλιάς κοίτης με την κατασκευή αναβαθμών στο βόρειο τμήμα της, για τη συγκράτηση ορισμένης ποσότητας νερού αυξάνοντας έτσι το ρυθμό διήθησης του νερού της κοίτης προς τους υδροφόρους, (3) την ανόρυξη υδρογεωτρονήσεων, τουλάχιστον δυο και βάθους όχι μεγαλύτερο από 20 m, στην περιοχική γύρω από το βόρειο τμήμα της κοίτης, που παρουσιάζει όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα εννοιϊκές υδρογεωλογικές συνθήκες, (4) συνεχείς αντλήσεις των υδρογεωτρονήσεων από την άνοξη μέχρι το φθινόπωρο και παρακολούθηση της διακύμανσης της στάθμης σε γειτονικές γεωτρονήσεις, ενώ το αντλούμενο νερό θα μεταφέρεται σε περιοχές που έχουν άμεση ανάγκη νερού άρδευσης.

Η πιο πάνω μεθοδολογία τεχνητού εμπλουτισμού με την επανενεργοποίηση παλιών αδρανοποιημένων κοιτών έχει εφαρμοστεί με επιτυχία και έχει αποδώσει θετικά αποτελέσματα σε άλλες ανάλογες περιπτώσεις (Διαμαντής et al., 1999, Πλιάκας et al., 1998). Στην περίπτωση εδώ κρίνεται ως αποτελεσματική στη διερεύνηση της δυνατότητας κατασκευής μόνιμων έργων εμπλουτισμού στην περιοχή, ενώ το κόστος κατασκευής των έργων είναι σχετικά χαμηλό, η συντήρησή τους δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή ενώ η όλη διαδικασία δεν επηρεάζει άλλες χρήσεις γης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ASCE, (1987). "Ground Water Management". Third Edition, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 40, New York.
- BERGER, S.G. AND F.J. GIENCKE, (1998). "Seawater intrusion reversed through artificial recharge beneath the Oxnard Plain, California". Proceedings of the 3rd International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water, 21-25/9/1998. Amsterdam, Peters et al. (eds), Balkema, Rotterdam, pp.3-8.
- ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Ι., Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ ΚΑΙ Χ. ΠΕΤΑΛΛΑΣ, (1999). "Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειου υδροφορέα της περιοχής Βαφείζων του νομού Ξάνθης". 5^ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας και του Συνδέσμου Γεωλόγων και Μεταλλειολόγων Κύπρου, 12-14/11/1999, Κύπρος (υπό έκδοση).
- ΖΥΜΗΣ, Α., (1994). "Τα υπόγεια νερά της Αργολίδας και ο τεχνητός εμπλουτισμός τους". *Γεωτεχνική Ενημέρωση* No. 64, σελ. 70-71, (Σεπτ. 1994).
- ΘΑΝΟΣ, Μ., (1994). "Παρατηρήσεις-συμπεράσματα από πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού υδροφόρων στο Αργολικό Πεδίο". Πρακτικά 2ου Υδρογεωλογικού Συνεδρίου, 24-28/11/1993, Πάτρα, σελ.119-134.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1986). "Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία". Τόμος Β. Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα.
- ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., (1999). "Διεθνής εμπειρία σε θέματα τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων νερών με βάση τις εργασίες του πρόσφατου σχετικού συμποσίου του Amsterdam (21-25/9/1998)". Ημερίδα: "Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων", Ε.Γ.Ε., Ελλην. Επιτροπή Υδρογεωλογίας, Ξάνθη 28/5/1999 (υπό έκδοση).
- ΠΛΙΑΚΑΣ, Φ. ΚΑΙ Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, (1998). "Ο τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων νερών και εφαρμογές του στην Ελλάδα και το διεθνή χώρο". *Τεχνικά Χρονικά*, Επιστημονική Έκδοση του Τ.Ε.Ε. σειρά 1, τόμος 18, τεύχος 1, 1998, σελ. 65-74.
- ΠΛΙΑΚΑΣ, Φ., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Ι. ΚΑΙ ΠΕΤΑΛΛΑΣ, Χ., (1999). "Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την προτεινόμενη εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων περιοχής Ορφανού Καβάλας". Πρακτικά του Διεθνούς Συνεδρίου Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος και Global Nest. Πυθαγόρειο Σάμου, 30/8 - 2/9/1999, Τόμος Γ, σελ. 381-390.
- ΣΑΚΚΑΣ, Ι., Ι., ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ, Φ. ΠΛΙΑΚΑΣ, et al., (1998). "Μελέτη τεχνητού εμπλουτισμού υδροφορέων Ξάνθης - Ροδόπης". Ερευνητικό πρόγραμμα για λογαριασμό του Υπουργείου Γεωργίας, Τομείς Υδραυλικών Έργων και Γεωτεχνικής Μηχανικής, Δ.Π.Θ., τεύχη 5, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Δ.Π.Θ., Ξάνθη.