

ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΠΕΤΡΑΙΑΣ Ν. ΠΕΛΛΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΑΡΔΕΥΤΙΚΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

Π. Βαφειάδης*, Α. Πανώρας* και Κ. Αναγνωστόπουλος**

ΣΥΝΟΨΗ

Έγινε πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού των υπό πίεση υδροφόρων στρωμάτων που αναπτύσσονται σε ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς της περιοχής Πετραίας Νομού Πέλλας, νότια της Σκύδρας, με τη χρήση εξοπλισμένης βαθιάς αρδευτικής γεώτρησης.

Ο όγκος του νερού που διοχετεύθηκε στα υδροφόρα στρώματα κατά τη διάρκεια των 280 h εμπλουτισμού με παροχή 54 m³/h ήταν 15000 m³ και ο κώνος εμπλουτισμού απλώθηκε σε ακτίνα 480 m περίπου. Η αρχική μικρή μείωση της υδροπερατότητας γύρω από τη γεώτρηση λόγω των φυσαλλίδων του αέρα που εισήλθε στα υδροφόρα αποκαταστάθηκε με άντληση. Η χλωρίωση του νερού εμπλουτισμού έγινε με την έγχυση 3 mg/l αερίου χλωρίου.

ABSTRACT

An experiment of artificial recharge of a confined aquifer in volcano-sedimentary rocks of the Petrea area, south of Skydra, was carried out through an irrigation well.

The volume of water injected in the aquifer during the 280 hours experiment, at a rate of 54 m³/h, was 15,000 m³ and the cone of recharge spread at a distance of 480 m from the well. The initial small decrease in transmissivity of the aquifer due to entrained air in the recharge water was rehabilitated by pumping. A 3 mg/l gas chlorination of the recharge water was taken place.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ - INTRODUCTION

Στα αγροκτήματα Ριζού, Πετραίας και Αρσενίου Ν. Πέλλας, νότια της Σκύδρας, υπάρχει μεγάλος αριθμός γεωτρήσεων για την κάλυψη των αναγκών των δένδρωδών καλλιεργειών σε νερό που καλύπτουν έκταση δεκάδων χιλιάδων στρεμμάτων. Οι στάθμες των γεωτρήσεων αυτών παρουσιάζουν συνεχή πτώση, από χρόνο σε χρόνο, που οφείλεται τόσο στην εντατική εκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων κατά την αρδευτική περίοδο όσο και στην ανεπαρκή τροφοδοσία τους κατά τη βροχερή περίοδο λόγω των μειωμένων κατακρημνισμάτων των τελευταίων ετών.

Όπως αναφέρεται από πολλούς ερευνητές, η ενδεδειγμένη μέθοδος τεχνητού εμπλουτισμού των υπό πίεση υδροφόρων στρωμάτων είναι αυτή των γεωτρήσεων (Richter et al. 1959; Todd, 1970; Τερζίδης και Καραμούζης, 1985; Bouwer, 1989). Η χρησιμοποίηση εξάλλου αρδευτικών γεωτρήσεων για εμπλουτισμό, γνωστές ως γεωτρήσεις διπλού σκοπού, εφαρμόζεται ευρέως διεθνώς (Harraz,

* Ερευνητής του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων)

** Ερευνητής του ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. (Ινστιτούτο Υγιεινής Τροφίμων)

1971; Dvoracek and Peterson, 1971; Πουλοβασίλης και Παγώνης, 1981).

Για την ενίσχυση της δυναμικότητας του υπόγειου υδατικού δυναμικού της περιοχής που βρίσκεται νότια της Σκύδρας εκπονείται ερευνητικό πρόγραμμα τεχνητού εμπλουτισμού μέσω αρδευτικών γεωτρήσεων από το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων σε συνεργασία με το Εργαστήριο Γενικής και Γεωργικής Υδραυλικής και Βελτιώσεων του ΑΠΘ. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας, πραγματοποιήθηκε πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων της περιοχής μέσω μιας εξοπλισμένης αρδευτικής γεώτρησης της κοινότητας Πετραίας.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του παραπάνω πειράματος και η εξαγωγή συμπερασμάτων που θα συμβάλλουν στην πληρέστερη αντιμετώπιση της περαιτέρω πορείας του προαναφερθέντος ερευνητικού προγράμματος. Συγκεκριμένα διερευνάται ή προσδιορίζεται ο όγκος του νερού που μπορεί να απορροφηθεί από τον υδροφόρα, η χρονική μεταβολή της απορροφούμενης παροχής εμπλουτισμού, η χρονική και χωρική άνοδος της στάθμης του υδροφόρα, οι τυχόν μεταβολές των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων ή της χημικής σύστασης του νερού του υδροφόρα, τα προβλήματα έμφραξης των φίλτρων της γεώτρησης εμπλουτισμού ή των πόρων του υδροφόρα γύρω από τη γεώτρηση και τέλος η τυχόν μόλυνση του υδροφόρα από το νερό εμπλουτισμού.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ - GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL DATA

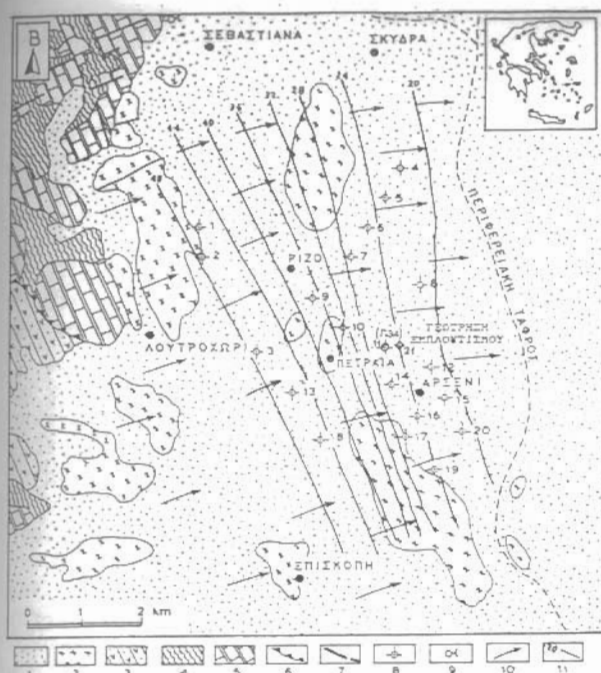
Γεωλογικά η περιοχή Ριζού, Πετραίας, Αρσενίου Ν.Πέλλης δομείται κυρίως από ηφαιστειακούς σχηματισμούς πλειοκαινικής ηλικίας οι οποίοι λιθολογικά διακρίνονται σε ηφαιστειοκλαστικούς σχηματισμούς τραχειανδεσιτικής σύστασης, με μορφή συμπαγών ηφαιστειακών λίθων και σε ηφαιστειακούς τόφφους από λεπτομερές υλικό (Mercier and Vergely, 1971; Ελευθεριάδης, 1977; Brunn, 1982). Στο μεγαλύτερο μέρος της πεδινής έκτασης ο σχηματισμός αυτός καλύπτεται από μικρού πάχους τεταρτογενείς αποθέσεις. Δυτικά της περιοχής τα πετρώματα αυτά έρχονται σε επαφή με οφιολίθους (Ιουρασικό - Κρητιδικό) και μάρμαρα (Τριαδικό - Ιουρασικό) του καλύμματος Βερμίου (σχήμα 1).

Από υδρογεωλογικές έρευνες της περιοχής (Βαφειάδης, κ.α. 1993) διαπιστώθηκε ότι, στη μάζα των ηφαιστειακών πετρωμάτων αναπτύσσονται υδροφόροι ορίζοντες με αξιόλογο δυναμικό. Συγκεκριμένα, από δεδομένα γεωτρήσεων προκύπτει ότι έχουμε αλληλούπερκεείμενα υδροφόρα στρώματα από τα βάθη των 30 μέχρι τα 150 m και οι παροχές των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 90-150 m³/h και ειδικές παροχές από 4-12 m³/h/μ. Με δοκιμαστικές αντλήσεις προσδιορίστηκαν οι βασικές υδρογεωλογικές παράμετροι στα πετρώματα αυτά και βρέθηκε ότι ο συντελεστής υδαταγωγιμότητας (T) είναι της τάξης του 10-3 m²/sec και ο συντελεστής υδροχωρητικότητας (S) της τάξης του 10-4. Οι στάθμες των γεωτρήσεων κυμαίνονται από 4-20 m, η κίνηση του υπόγειου νερού γίνεται από ΝΔ προς ΒΑ και η υδραυλική κλίση της πιεζομετρικής επιφάνειας κυμαίνεται από 0.8-1.2%.

Περιοδικές μετρήσεις της στάθμης των γεωτρήσεων της περιοχής Ριζού, Πετραίας, Αρσενίου που πραγματοποιήθηκαν την τελευταία τριετία έδειξαν την προοδευτική ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρα από χρόνο σε χρόνο. Συγκεκριμένα, στη διετία 1991-93 η ανώτερη στάθμη των γεωτρήσεων (μήνας Ιούνιος) παρουσίασε κάμψη που κυμάνθηκε από 1-1.5 m. Συνεπώς, η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού των υδροφόρων στρωμάτων της παραπάνω περιοχής κρίνεται αναγκαία για την αντιμετώπιση της κατάστασης αυτής.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ - METHODS OF STUDY AND EQUIPMENT

Για την εκτέλεση του πειράματος επιλέχθηκε η αρδευτική γεώτρηση Π34 του ΤΟΕΒ Εδεσσαίου παροχής 130 m³/h. Η λιθολογική τομή και ο εξοπλισμός της



- (1) Αλλούβια (2) Ηφαιστειοζηματογενής σχηματισμός (3) Οφιολιθικά πετρώματα (4) Σχιστόλιθοι σε εναλλαγές με μάρμαρα (5) Μάρμαρα (6) Επίπλευση - επώθηση (7) Ρήγμα (8) Γεώτρηση (9) Πηγή (10) Γραμμή υπόγειας ροής νερού (11) Ισοπιεζομετρικές καμπύλες (μέτρηση 30/11/92)

Γεωλογικός - υδρογεωλογικός χάρτης της περιοχής νότια της Σκύδρας Ν. Πέλλης. (Με βάση τους γεωλογικούς χάρτες του ΓΓΜΕ, φύλλο ΕΔΕΣΣΑ των Mercier - Vergely, 1971 και φύλλο ΒΕΡΟΙΑ του Brunn, 1982 και παρατηρήσεις των συγγραφέων).

Fig. 1: Geological and hydrogeological map of the southern area of Skydra (Pella Prefecture).

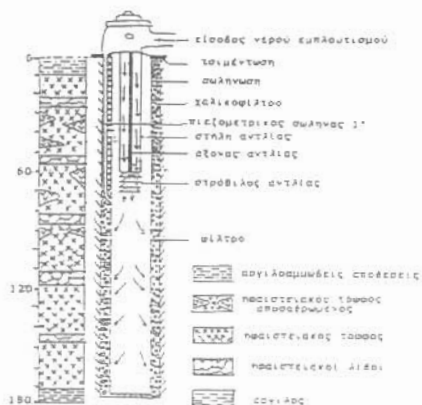
γεώτρησης καθώς επίσης και η ειδική διάταξη σωληνώσεων με τα απαραίτητα όργανα που κατασκευάστηκαν για τη διοχέτευση του νερού στη γεώτρηση, φαίνονται στα σχήματα 2 και 3. Το πείραμα διήρκεσε 13 ημέρες (20/5-1/6/93). Το νερό εμπλουτισμού προερχόταν από αρδευτική γεώτρηση του ΤΟΕΒ Εδεσσαίου, λόγω αδυναμίας χρησιμοποίησης στη φάση αυτή των νερών της καρστικής πηγής Σεβαστιανών που προβλέπεται από το σχετικό ερευνητικό πρόγραμμα. Ακολούθως το νερό ερχόταν με φυσική ροή, μέσω αρδευτικής διώρυγας και διοχετευόταν στη γεώτρηση εμπλουτισμού με φυγοκεντρική αντλία.

Για να αποφευχθεί η μικροβιακή επιβάρυνση του νερού εμπλουτισμού κατά τη μεταφορά του μέσω της ανοιχτής διώρυγας, θεωρήθηκε απαραίτητη η χλωρίωσή του με αέριο χλώριο 3 mg/l σε απόσταση 670 m ανάντη της γεώτρησης Π34. Στη θέση του εμπλουτισμού υπήρχε υπολειμματικό χλώριο σε ποσότητα ίση με 0.2 mg/l (Foxworthy, 1970).

Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος γινόταν συνεχής καταγραφή της παροχής εμπλουτισμού μέσω υδρομέτρου. Οι χρονικές μεταβολές της στάθμης τόσο στη γεώτρηση εμπλουτισμού όσο και σε μία από τις δύο γεωτρήσεις παρατήρησης καταγράφονταν με τη βοήθεια ηλεκτρικών σταθμημέτρων. Στη δεύτερη γεώτρηση οι μεταβολές της στάθμης καταγράφονταν από αυτογραφικό όργανο.

Έγιναν χημικές αναλύσεις του νερού εμπλουτισμού και του νερού της γεώτρησης Π34 πριν από την εκτέλεση του πειράματος, καθώς και μετρήσεις ορισμένων παραμέτρων επί τόπου (θολερότητας, διαλυμένου οξυγόνου, θερμοκρασίας) για να διαπιστωθεί ο βαθμός της χημικής συγγένειας των νερών αυτών και να διερευνηθεί η πιθανότητα μείωσης της απορροφητικής ικανότητας των γεωτρήσεων εμπλουτισμού (clogging effect) λόγω προοδευτικής έμφραξης των φίλτρων και του υδροφόρου γύρω από κάθε γεώτρηση (Price et al. 1965; Rahman, 1969; Foxworthy, 1970; Dvoracek and Peterson, 1971; Aronovici et al. 1972; Lichtler et al, 1980; Bouwer, 1989).

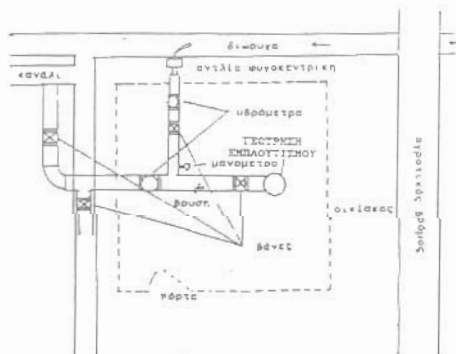
Πριν από την έναρξη, κατά τη διάρκεια και μετά τη λήξη του πειράματος έγιναν μικροβιολογικές αναλύσεις σε όλα τα νερά. Για τον προσδιορισμό του αριθμού των κολοβακτηρισιδών και της E. Coli του νερού εφαρμόστηκε η μέθοδος των πολλαπλών σωλήνων ή μέθοδος MPN (Most Probable Number method). Χρησιμοποιήθηκε το υπόστρωμα Mc Conkey Broth (BBL) 32 °C/48h και E.C. Broth (BBL) 44.5 °C/48h και τα αποτελέσματα δίνονταν ως ο πλέον πιθανός αριθμός (MPN)/100 ml νερού (APHA, 1975). Η απομόνωση των σαλμονελλών περιελάμβανε προεμπλουτισμό και εκλεκτικό εμπλουτισμό στους 35 °C/24h. Για την απομόνωση χρησιμοποιήθηκε το SS agar (OXOID) και ακολουθούσε βιοχημικός και ορολογικός έλεγχος των ύποπτων στελεχών (FDA, 1984).



Εχ. 2: Λιθολογική τομή και εξοπλισμός της γεώτρησης εμπλουτισμού στην περιοχή Πετραίας Ν.Πέλλης.

Fig. 2: Lithological log and equipment of recharge well (Petrea area).

τισμού μετά του χρόνου και του όγκου του νερού που τροφοδοτεί τον υδροφόρα. Με βάση την τιμή της σταθεροποιημένης στο τέλος του πειράματος ειδικής παροχής εμπλουτισμού 5.8 m³/h/m εκτιμούμε ότι η απορροφητική ικανότητα της γεώτρησης είναι 5.8*19m = 110 m³/h (όπου 19m, η υδροστατική στάθμη της γεώτρησης). Δυστυχώς η εγκατεστημένη αντλία έδινε παροχή μόνο 54 m³/h.



ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΥΖΗΤΗΣΗ - RESULTS AND DISCUSSION

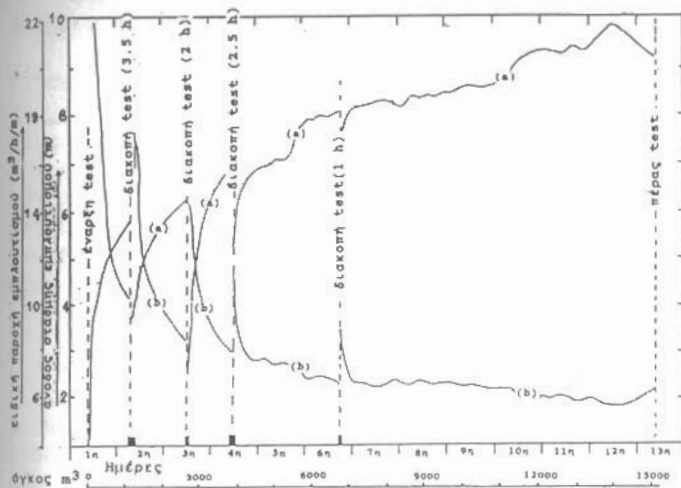
Στο σχήμα 4 παρουσιάζεται η πορεία άνοδου της στάθμης και οι μεταβολές της ειδικής παροχής εμπλουτισμού (specific capacity of the recharge well) συναρτήσει του χρόνου και του συσσωρευμένου όγκου νερού στον υδροφόρα. Η ειδική παροχή εμπλουτισμού χρησιμοποιήθηκε για τη διερεύνηση και εκτίμηση της έκφραξης της γεώτρησης εμπλουτισμού όπως προτείνεται από πολλούς ερευνητές (Foxworthy, 1970; Harpaz, 1971; Lichtler et al. 1980). Η παροχή εμπλουτισμού κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν σταθερή, 54 m³/h, με μικρές αυξομειώσεις.

Παρατηρούμε ότι μετά τις πρώτες πέντε ημέρες του πειράματος η άνοδος της στάθμης ήταν μειωμένη (1.5 m περίπου) και τις τελευταίες δύο ημέρες παρουσίασε τάση σταθεροποίησης με φαινόμενα αυξομείωσης. Ανάλογες παρατηρήσεις προκύπτουν και από τις μεταβολές της ειδικής παροχής εμπλουτισμού. Με το χρόνο και τον όγκο του νερού που τροφοδοτεί τον υδροφόρα. Με βάση την τιμή της σταθεροποιημένης στο τέλος του πειράματος ειδικής παροχής εμπλουτισμού 5.8 m³/h/m εκτιμούμε ότι η απορροφητική ικανότητα της γεώτρησης είναι 5.8*19m = 110 m³/h (όπου 19m, η υδροστατική στάθμη της γεώτρησης). Δυστυχώς η εγκατεστημένη αντλία έδινε παροχή μόνο 54 m³/h.

Με το σταθμηγράφο που εγκαταστάθηκε σε ιδιωτική γεώτρηση, που βρίσκεται σε απόσταση 226 m από τη γεώτρηση εμπλουτισμού, διαπιστώθηκε ότι πριν από το πείραμα υπήρχε βραδεία άνοδος της στάθ-

Εχ. 3: Σχηματικό διάγραμμα (σε κάτοψη) της εγκατάστασης τεχνητού εμπλουτισμού στη γεώτρηση περιοχής Πετραίας Ν.Πέλλης.

Fig. 3: Installation diagram of the recharge well system (Petrea area).



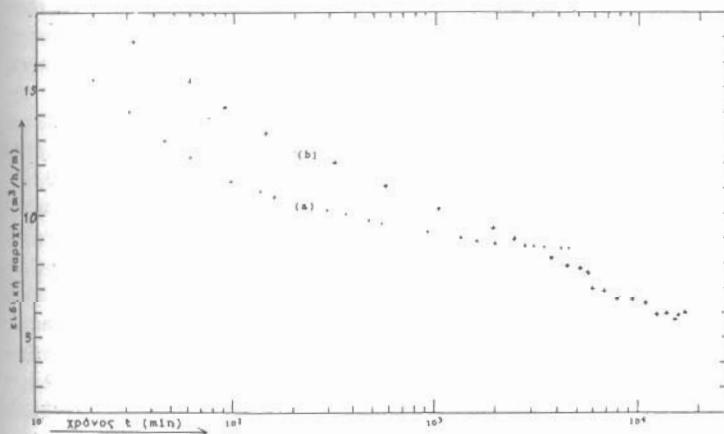
Σχ. 4: Πορεία (α) ανόδου της στάθμης και (β) μεταβολές της ειδικής παροχής εμπλουτισμού στην πειραματική γεώτρηση συναρτήσει του χρόνου και του όγκου του νερού εμπλουτισμού (παροχή 54 m³/h).

Fig. 4: Water level buildup (a) of the recharge well and (b) changes of the specific capacity rates in terms of time and cumulative recharge volume (recharge yield 54 m³/h).

μης του υδροφόρου, λόγω φυσικής τροφοδοσίας, της τάξης των 15 cm το 10ήμερο. Όμως κατά τη διάρκεια του πειράματος η στάθμη ανέβηκε στη γεώτρηση αυτή κατά 90 cm σε 12 ημέρες έναντι 18 cm περίπου που αναμενόταν να ανέλθει στον ίδιο χρόνο δίχως το πείραμα εμπλουτισμού του υδροφορέα. Με τη βοήθεια της γεώτρησης αυτής προσδιορίστηκε η ακτίνα επίδρασης του κώνου εμπλουτισμού για την 12η ημέρα του πειράματος σύμφωνα με τη μέθοδο του Jacob (Καλλέργης, 1986) και βρέθηκε ότι είναι της τάξης των 480 m.

Προκειμένου να διερευνηθεί καλύτερα η χρονική μείωση της απορροφητικής ικανότητας της γεώτρησης, συντάχθηκε το διάγραμμα του σχήματος 5. Από την άντληση της γεώτρησης πριν από το πείραμα εμπλουτισμού (Βαφειάδης κ.α. 1993) φαίνεται ότι η ειδική παροχή της έβαινε προς σταθεροποίηση μετά από 3000 min (50h), γύρω στην τιμή των 8.6 m³/h/m. Απεναντίας η ειδική παροχή εμπλουτισμού συνέχισε να έχει καθοδική πορεία για διάστημα 12000 min (200h) και μόνο κατά τις τρεις (3) τελευταίες ημέρες παρουσίασε τάση σταθεροποίησης της ειδικής παροχής της στην τιμή των 5.8 m³/h/m περίπου.

Διερεύνηση των πιθανών αιτιών που προκάλεσαν τη μικρή έκτασης μείωση



Σχ. 5: Μεταβολές (α) της ειδικής παροχής άντλησης και (β) της ειδικής παροχής εμπλουτισμού συναρτήσει του χρόνου στη γεώτρηση εμπλουτισμού.

Fig. 5: Curves of the (a) pumped specific capacity and (b) the specific capacity rates in the recharge well in terms time.

Πίν. 1: Ποιότητα νερού εμπλουτισμού και υδροφόρου (γεώτρησης Π34) πριν και μετά την πειραματική διαδικασία

Tab. 1: Chemical analysis of the recharge water and the aquifer (Well Π34) before and after the experimental procedure

		Θέσεις δειγματοληψίας νερού		
Χημική ανάλυση	Μονάδα μέτρησης	Γεώτρ. Π34 άντληση πριν τον εμπλουτ.	Νερό εμπλουτ. (κανάλι)	Γεώτρ. Π 34 άντληση μετά τον εμπλουτ.
pH	-	7,48	8,17	8,11
EC	μS/cm	678	591	657
HCO ₃	mg/l	378,2	323,4	378,2
Cl	mg/l	17,7	31,9	17,7
SO ₄	mg/l	52,8	14,4	57,6
Ca	mg/l	102,2	78,2	80,2
Ma	mg/l	25,5	26,7	41,3
Na	mg/l	9,2	9,2	11,5
K	mg/l	7,8	3,9	3,9
Fe	mg/l	0,04	0,04	0,04
NO ₃	mg/l	4,7	19,8	20,2
Mn	mg/l	0	0	0,01
Po ₄	mg/l	0,33	7,50	0,98
Διάλ. O ₂	mg/l	14,3	8,4	14,2
Θολερρότητα	mg/l	0	0	0
Θερμοκρασ.	°C	16°	19°	16°

της απορροφητικής ικανότητας της γεώτρησης απέκλεισε την περίπτωση των αιωρούμενων σωματιδίων (Sniegocki et al. 1965; Aronovici et al. 1972; Lichtler et al. 1980) γιατί το νερό εμπλουτισμού ήταν διαυγέστατο (Πίνακας 1). Αποκλείσθηκε επίσης η δημιουργία αποικιών μικροοργανισμών, γιατί το νερό εμπλουτισμού χλωριονόταν, όπως επίσης και η δημιουργία ιζημάτων λόγω χημικών αντιδράσεων (Sniegocki et al. 1965; Foxworthy, 1970; Lichtler et al. 1980) επειδή τα δύο νερά είχαν παρόμοια χημική σύσταση (Πίνακας 1).

Αντίθετα, ο εισερχόμενος στη γεώτρηση με το νερό εμπλουτισμού αέρας επέδρασε στη μερική απόφραξη της γεώτρησης και του γύρω από αυτή υδροφόρου. Συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι το μανόμετρο και η βρύση που υπήρχαν στο σύστημα σωληνώσεων δε λειτούργησαν όπως αναμενόταν. Κατά τη διάρκεια του πειράματος το μεν μανόμετρο δεν έδειξε ένδειξη ύπαρξης πίεσης μέσα στη σωλήνωση, η δε βρύση όχι μόνο δεν έδινε νερό στο άνοιγμά της, αλλά αναρροφούσε αέρα από έξω προς τα μέσα. Αυτά δείχνουν ότι με το νερό εμπλουτισμού εισερχόταν στα υδροφόρα σημαντικές ποσότητες αέρα. Ο αέρας αυτός ελευθερώνεται εν μέρει στα υδροφόρα στρώματα και οι φυσαλίδες του κολλούν, με μοριακές δυνάμεις στους κόκκους των υδροφόρων γύρω από τη γεώτρηση και μειώνουν την υδροπερατότητά του (Sniegocki et al. 1965; Foxworthy, 1970; Harpaz, 1971; Aronovici et al, 1972; Lichtler et al. 1980).

Για τη μείωση του δυσμενούς αυτού φαινομένου, έπρεπε να διοχετευθεί μεγαλύτερη παροχή στη γεώτρηση. Αυτό δεν μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της μικρής δυναμικότητας της εγκατεστημένης φυγοκεντρικής αντλίας.

Με την άντληση που πραγματοποιήθηκε στη γεώτρηση εμπλουτισμού, αμέσως μετά το πέρας του πειράματος, διαπιστώθηκε ότι η ειδική παροχή της γεώτρησης είχε τιμές ανάλογες εκείνων προ του πειράματος. Συνεπώς το πρόβλημα της μερικής μείωσης της υδαταγωγιμότητας της γεώτρησης λόγω των φυσαλίδων

του αέρα, αποκαταστάθηκε με την άντληση που επακολούθησε στη γεώτρηση.

Η θερμοκρασία του νερού εμπλουτισμού, λόγω της κίνησής του σε ανοικτή διάρρυγα παρουσίασε ημερήσιο εύρος θερμοκρασιών μεταξύ 15 και 22 °C.

Οι μικροβιολογικές εξετάσεις που έγιναν σε δείγματα νερού πριν, κατά τη διάρκεια και μετά τον εμπλουτισμό έδειξαν ότι ο MPN κολοβακτηριοειδών ήταν μικρότερος του 2/100 ml νερού και επομένως τα δείγματα ήταν κατάλληλα σύμφωνα με τα σταθερότυπα της Υγειονομικής διατάξης Γ3α/761 (1968). Επίσης ο MPN E.Coli που ήταν μικρότερος του 2/100 ml και η απουσία σαλμονελλών σε 250 ml σε όλα τα δείγματα νερού, μαρτυρούν ότι το νερό εμπλουτισμού καθώς και εκείνο της γεώτρησης Π34 κατά την άντληση της μετά τον εμπλουτισμό δεν περιείχε παθογόνους μικροοργανισμούς, που θα μπορούσαν να μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Το αποτέλεσμα αυτό οφειλόταν κυρίως στη σωστή εξυγίανση του νερού εμπλουτισμού με χλώριο.

ΕΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - CONCLUSIONS

Το πείραμα τεχνητού εμπλουτισμού έδειξε ότι είναι δυνατό να αποθηκευθούν σημαντικές ποσότητες νερού στα υπό πίεση υδροφόρα στρώματα που αναπτύσσονται στους ηφαιστειοϊζηματογενείς σχηματισμούς της περιοχής Πετραίας Ν. Πέλλας χωρίς να επηρεάζεται δυσμενώς η λειτουργικότητα της γεώτρησης και η ποιότητα του εμπλουτιζόμενου υδροφόρου. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι η εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού με εξοπλισμένες γεωτρήσεις έχει το πλεονέκτημα ότι μειώνεται το κόστος της εφαρμογής του εμπλουτισμού αλλά υπάρχει και η δυνατότητα λειτουργίας της γεώτρησης οποιαδήποτε χρονική στιγμή είτε για αντιμετώπιση της απόφραξης των υδροφόρων είτε για την άρδευση των καλλιεργειών.

Παρόλα αυτά η εκτέλεση δευτέρου πειράματος με παροχετευόμενη παροχή μέχρι 110 m³/h και διάρκεια 3-4 μηνών κρίνεται επιβεβλημένη ώστε να διαπιστωθούν τυχόν νέα δεδομένα ως προς τις μεταβολές της απορροφητικότητας της γεώτρησης συναρτήσει του χρόνου και του αποθηκευόμενου όγκου του νερού εμπλουτισμού στον υδροφόρο.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον ΤΟΕΒ Εδεσσαίου και το γεωλόγο της ΥΕΒ Πέλλας Ι. Παπαδόπουλο για τη συμβολή τους στις διάφορες εργασίες του πειράματος.

Επίσης, ευχαριστούμε θερμά τον Οργανισμό Υδρευσης Θεσσαλονίκης διότι μας διέθεσε τα μέσα και βοήθησε στις εργασίες χλωρίωσης του νερού εμπλουτισμού, το Τμήμα Προστασίας Περιβάλλοντος του Υπουργείου Μακεδονίας - Θράκης για τις μετρήσεις ορισμένων παραμέτρων των νερών και τέλος το προσωπικό των Εργαστηρίων των Ινστιτούτων Εγγείων Βελτιώσεων και Υγεινής Τροφίμων για τις χημικές και μικροβιολογικές αναλύσεις των νερών αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1975). Standard Methods for the examination of Water and Wastewater - 14th ed. O.APHA, Washington.
- ARONOVICI, V.S., SCHNEIDER, A.D. and JONES, O.R. (1972). Basin recharge of the Ogallala aquifer. - Jour. Irrig. Drain. Div. Americ. Soc. Civil Engrs., 98, 1, 65-76.
- ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ, Π., ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ. ΚΑΙ ΠΑΝΩΡΑΣ, Α. (1993). Δοκιμές άντλησης σε ηφαιστειοϊζηματογενή υδροφόρα στρώματα της πεδινής περιοχής Νότια της Σκύδρας (Ν. Πέλλας). - Πρακτικά 2ου υδρογεωλογικού Συνεδρίου, Πάτρα 24-29/11/1993, (υπό δημοσίευση).
- BOUWER, H. (1989). Estimating and enhancing groundwater recharge. Groundwater Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

- recharge.- Publ. A.A. BALKEMA. Rotterdam, Netherlands, 1-9.
- BRUNN, J. (1982). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Φύλλο ΒΕΡΟΙΑ, κλιμ. 1:50.000.- Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- DAVIS, S.N. and DEWIEST, R.G.M. (1966). Hydrogeology.- John Wiley and Sons, Inc. New York, 463.
- DVORACEK, M.J and PETERSON, S.H. (1971). Artificial recharge in water resources management.- Jour. Irrig. Drain. Div. Amer. Soc. Civil Engrs., 97, 2, 219-235.
- ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΔΗΣ, Γ. (1977). Συμβολή εις την μελέτη των ηφαιστειογενών πετρωμάτων της Νοτίου Αλμαπίας.- Διατριβή επί διδακτορία. Θεσσαλονίκη.
- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION (1984). Bacteriological Analytical Manual.- AOAC 6th edition. Publ. Arlington, Virginia, U.S.A.
- FOXWORTHY, B.L. (1970). Hydrologic conditions and artificial recharge through a well in the Salem Heights area of Salem, Oregon.- U.S. Geol. Survey, Water supply paper 1594, 56.
- HARPAZ, Y. (1971). Artificial groundwater recharge by means of wells in Israel.- Jour. Hydraulics Div., Amer. Soc. Civil Engrs., 97, 12, 1947-1964.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία.- Έκδοση ΤΕΕ, Αθήνα Β, 17, 1-29.
- LICHTLER, W.F., STANNARD D.I. and KOUMA, E. (1980). Investigation of artificial recharge of aquifers in Nebraska.- U.S. Geol. Surv. Water Resources Invest. 80-93, 112.
- MERCIER, J. and VERGELY, P. (1971). Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλο ΕΔΕΣΣΑ, κλιμ. 1:50.000.- Εκδόσεις ΙΓΜΕ, Αθήνα.
- ΠΟΥΛΟΒΑΣΙΑΔΗΣ, Α. και ΠΑΓΩΝΗΣ, Κ. (1981). Τεχνητός εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφόρων σχηματισμών. - Δελτίο Ε.Ε.Α.Α. 3-4, 11-16.
- PRICE, D., HARD, D. H. and FOXWORTHY, B. L. (1965). Artificial recharge in Oregon and Washington, 1962.- Geol. Surv., Water - Supply paper, 1594-C, 1-52.
- RAHMAN, M.A. (1969). Effect of sediment concentration on well recharge in a fine sand aquifer.- Water Resources Research V.S., 641-646.
- RICHTER R. C., CHUN, R.Y.D. (1959). Artificial recharge of ground water reservoirs in California.- Jour. Irrig. Drain. Div. Amer. Soc. Civil Engrs., 85, 4, 1-25.
- SNIEGOCKI, R. T., BAYLEY, F.H., ENGLER K. and STEPHENS J.W. (1965). Results of studies of artificial recharge in the Grand Prairie region, Arkansas.- U.S. Geol. Survey, Water supply Paper, 1615-G, 1-56.
- ΤΕΡΖΙΑΔΗΣ, Γ.Α. και ΚΑΡΑΜΟΥΖΗΣ, Δ.Ν. (1985). Υδραυλική υπόγειων νερών. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 352.
- TODD, D.K (1970). The future prospects of artificial groundwater recharge.- Artificial groundwater recharge Conf. University of Reading, England.
- ΥΓΕΙΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ Γ3α/761 (1968). Περί ποιότητας ποτίμου ύδατος ΦΕΚ 154 και 189/Τ.Β