

**ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΛΕΚΚΑΣ Σ., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ Α., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ Ε., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ Ι., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ Ε. (2001).** Τεχνητός Εμπλουτισμός των υπόγειων Καρστικών Υδροφορέων στην περιοχή των Φαρσάλων (Θεσσαλία). *Πρακτικά 9<sup>ου</sup> Συνέδριου Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, Δελτίο Ελλην Γεωλ. Ετ., τ. XXXIV/5* σελ. 1843-1850.

## ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΟΥ ΦΥΛΛΗΙΟΥ ΟΡΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΩΝ ΦΑΡΣΑΛΩΝ (ΘΕΣΣΑΛΙΑ)

Η. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ<sup>1</sup>, Σ. ΛΕΚΚΑΣ<sup>1</sup>, Α. ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ<sup>1</sup>, Ι. ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ<sup>1</sup>,  
Ε. ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ<sup>2</sup>, Ι. ΜΙΑΝΤΕΚΑΣ<sup>1</sup>, Δ. ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ<sup>1</sup>, Ε. ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ<sup>1</sup>

### ΣΥΝΟΨΗ

Η περιοχή των Φαρσάλων στη Θεσσαλία αποτελεί μια χαρακτηριστική περίπτωση υπερεκμετάλλευσης των υδάτινων αποθεμάτων, με αποτέλεσμα τη συνεχή πτώση στάθμης τόσο στον κοκκώδη όσο και στον καρστικό υδροφόρο. Η εφαρμογή στον καρστικό υδροφόρο της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού, η οποία διεθνώς κερδίζει συνεχώς έδαφος, κρίθηκε η πλέον κατάλληλη για την αποκατάσταση της ισορροπίας στο υδρογεωλογικό σύστημα της περιοχής. Η επιτυχία της μεθόδου προϋποθέτει βαθιά και λεπτομερή γνώση της γεωλογικής δομής και των υδρογεωλογικών συνθηκών, καθώς επίσης και σχεδιασμό με βάση τις αρχές της περιβαλλοντικής προστασίας και της αιεφόρου ανάπτυξης.

### ABSTRACT

The area of Farsala (Thessaly) is a representative case of overexploitation of water resources, leading to the continuous exhaustion of the grained as well as the karstic aquifers. The application of the increasingly and internationally accepted method of artificial recharge on the karstic aquifer was decided to be the most effective for the restoration of balance of the hydrogeological system. Deep knowledge of the details of the geological structure and the hydrogeological conditions of the area is necessary for the success of the method, whose planning has to be made based on the principles of environmental protection and sustainable development. Use of state-of-the-art technology and estimation of all the parameters involved, are necessary.

### 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή έρευνας βρίσκεται δυτικά των Φαρσάλων, στις (πρώην) κοινότητες Ορφανών και Υπέρειας στα όρια των νομών Λάρισας και Καρδίτσας, μεταξύ των λόφων Φυλλήιον όρος και Χτούρι που συνιστούν τις κύριες ανθρακικές μάζες στο χώρο αυτό. Ο χώρος αυτός επιλέχθηκε λόγω του αυξημένου ενδιαφέροντος του Υπουργείου Γεωργίας για τις δυνατότητες αύξησης των υδάτινων αποθεμάτων, τα οποία στην περιοχή παρουσιάζουν έντονα φαινόμενα εξάντλησης. Ενδεικτικό της κρισιμότητας της κατάστασης είναι ότι στις αρδευτικές γεωτρήσεις η στάθμη, σύμφωνα με τελευταίες μαρτυρίες, κατεβαίνει 3-6 μέτρα το χρόνο.

Στα πλαίσια αυτά αποφασίστηκε να διερευνηθεί η εφαρμοσιμότητα και οι πιθανότητες επιτυχίας της μεθόδου του τεχνητού εμπλουτισμού του καρστικού υδροφόρου.

Λέγοντας τεχνητό εμπλουτισμό εννοούμε την διοχέτευση επιφανειακών υδάτων στους υπόγειους υδροφόρους. Η μέχρι τώρα πείρα έχει δείξει ότι ο τεχνητός εμπλουτισμός, παρά την απλή αρχή στην οποία βασίζεται, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα, αν δεν είναι γνωστές στις λεπτομέρειές τους οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής όπου εφαρμόζεται (PYNE R.D.G., 1995). Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι δυνατόν να γίνει με διάφορες μεθόδους όπως, επιφανειακή κατάκλυση, σημειακή παροχέτευση, αύλακες εμπλουτισμού, τεχνητές σήραγγες εμπλουτισμού (κυρίως σε ανθρακικά πετρώματα), αξιοποίηση φυσικών «σηράγγων», ήτοι καρστικών αγωγών, σπηλαίων, καταβόθρων κλπ. (εφόσον υπάρχουν σε μια περιοχή και εφόσον είναι γνωστή η υδραυλική επικοινωνία μεταξύ των επιφανειακών καρστικών και του υδροφόρου) και τέλος με την αξιοποίηση αυτών των μεγάλων φυσικών καρστικών αγωγών, είτε απευθείας είτε με την κατασκευή σηράγγων προσπέλασης.

Για την καλύτερη όμως αξιοποίηση των καρστικών περιοχών πρέπει να γνωρίσουμε από κοντά, και πέραν των πολλών άλλων, κυρίως το καρστ σε συνδυασμό με την νεοτεκτονική εξέλιξη του Ελλαδικού χώρου.

1. Univ. of Athens, Fac. of Geology, Department of Dynamic-Tectonic-Applied Geology, Panepistimioupoli Zografou, 157 84, Athens, GREECE, e-mail: mariolakos@geol.uoa.gr

2. F.U. Berlin, Institut f. Geologie, Geophysik & Geoinformatik, FR Geoinformatik, Malteserstr. 74 -100, Haus D, D-12249 Berlin, GERMANY, e-mail: vangelis@zedat.fu-berlin.de

## 2. ΚΑΡΣΤ ΚΑΙ ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Ο τεχνητός εμπλουτισμός είναι μία σύνθετη διαδικασία η επιτυχής πραγματοποίηση της οποίας **απαιτεί βαθιά γνώση της γεωλογικής δομής και εξέλιξης μιας περιοχής**. Πιο συγκεκριμένα, η λεπτομερής **μορφοτεκτονική και υδρογεωλογική μελέτη** της περιοχής πρέπει να περιλαμβάνει μια μεγάλη σειρά επιμέρους εργασιών (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, 1999).

Η έρευνα έχει δείξει ότι σε πολλές περιπτώσεις οι μεν καρστικοποιημένοι υδροφορείς προσφέρονται για τεχνητό εμπλουτισμό, ενώ οι καρστικοποιημένοι σχηματισμοί που περιβάλλουν τα διάφορα νεοτεκτονικά βυθίσματα προσφέρονται να χρησιμοποιηθούν ως αγωγοί μεταφοράς του προς εμπλουτισμό ύδατος, όταν φυσικά υπάρχει επικοινωνία μεταξύ αυτών και του καρστικού υδροφορέα. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι όλες οι **καρστικές πηγές** οι γνωστές και ως **κεφαλάρια**, τροφοδοτούνται είτε από καρστικούς σχηματισμούς που βρίσκονται υψηλότερα και με τους οποίους βρίσκονται σε υδραυλική επικοινωνία, είτε από κοκκώδεις υδροφορείς που βρίσκονται σε επαφή. Στην περιοχή μελέτης, στην πρώτη περίπτωση αντιστοιχούν οι πηγές στα Βρυσιά, ενώ στη δεύτερη οι πηγές του Χτουρίου.

Αξιοποιώντας κατ' ανάλογο τρόπο και παρεμβαίνοντας με διάφορα τεχνικά έργα αναρρύθμισης της ροής των ρευμάτων, κυρίως σε καρστικοποιημένες ορεινές περιοχές, είναι δυνατόν να εμπλουτιστούν καρστικοποιημένοι υδροφορείς που αναπτύσσονται σε πεδινές εκτάσεις και που βρίσκονται χαμηλότερα, εφόσον υπάρχει ή είναι δυνατόν να επιτευχθεί υδραυλική επικοινωνία. Εάν όμως δεν υπάρχουν φυσικοί αγωγοί στην επιφάνεια μιας πεδινής έκτασης, τότε θα πρέπει να δημιουργηθούν με την κατασκευή ανάλογων τεχνικών έργων, όπως είναι οι γεωτρήσεις και οι σήραγγες και μάλιστα μέχρι εκείνο το βάθος που θα συναντηθεί το καρστικοποιημένο υπόβαθρο.

**Βασικό πλεονέκτημα** του τεχνητού εμπλουτισμού των καρστικών υδροφορέων είναι ότι, εάν ληφθούν ορισμένα μέτρα, σπάνια σφραγίζονται τα κενά επειδή συνήθως είναι μεγάλα και αναπτύσσονται σχετικά μεγάλες υδραυλικές πιέσεις. Ένας άλλος λόγος είναι η ταχύτητα κίνησης των υδάτων που είναι μεγάλη και τυρβώδης.

Το πιο **ευαίσθητο σημείο** της μεθόδου, είναι ότι εάν το νερό που θα χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό δεν φιλτραριστεί πριν εισέλθει στον υπόγειο υδροφορέα, δημιουργεί μεγάλες πιθανότητες ρύπανσης των υπογείων υδάτων, ειδικά στην περίπτωση που αντλείται απευθείας από τους καρστικούς υδροφόρους. Για την **αποφυγή της ρύπανσης** είναι **απαραίτητο** να προηγηθεί συστηματική μελέτη για τα έργα που πρέπει να κατασκευαστούν, ώστε να επιτευχθεί **καθίζηση των εν αιωρήσει** συστατικών που μεταφέρει το νερό, καθώς και η **διήθησή** του για την παραπέρα ποιοτική του βελτίωση. Τέλος, σε κάθε περίπτωση **πρέπει να ελέγχονται σε μόνιμη βάση τόσο τα προς εμπλουτισμό ύδατα, όσο και εκείνα του εμπλουτιζόμενου υδροφόρου ορίζοντα**.

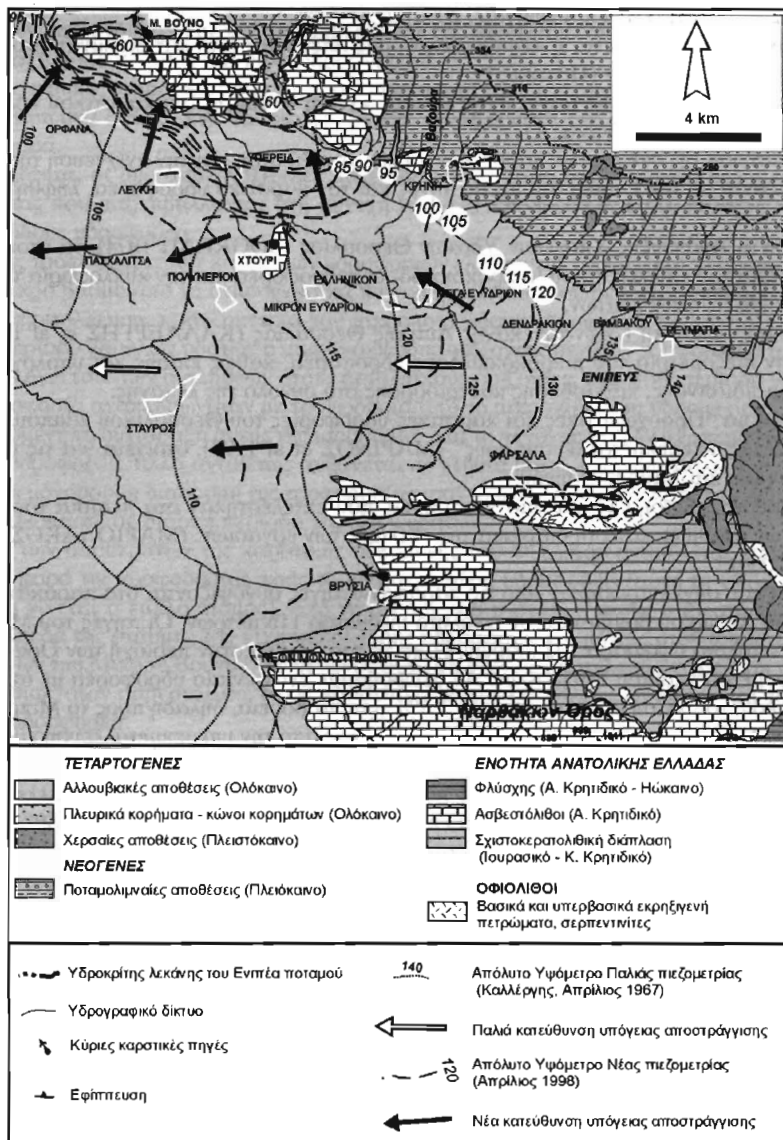
Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η ερευνητική ομάδα έλαβε υπ' όψιν τα κριτήρια της “αιεφόρου ανάπτυξης”, δηλ. **ότι ο ορθολογικός σχεδιασμός και η κατάλληλη διαχείριση των φυσικών πόρων, πρέπει αναγκαστικά να ικανοποιούν τόσο τις βασικές απαιτήσεις του περιβάλλοντος, όσο και των κοινωνικοοικονομικών συμφερόντων της περιοχής**. Για την **διατήρηση της ποσότητας και της ποιότητας του καρστικού υπόγειου νερού** πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες :

- Τα νερά από την **φυσική τροφοδοσία** (ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, και δευτερογενής κατείδωση), πρέπει να είναι καλής ποιότητας.
- Η **φυσική προστασία** προερχόμενη από το κάλυμμα της βλάστησης, το εδαφικό στρώμα και άλλα υπερκείμενα στοιχεία πρέπει να διατηρείται ή να βελτιώνεται.

## 3. Ο ΚΑΡΣΤΙΚΟΣ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ ΤΟΥ ΦΥΛΛΗΙΟΥ ΟΡΟΥΣ

Η σημερινή μεταβολή της στάθμης του καρστικού υδροφορέα στο Φυλλήιο όρος κυμαίνεται σε επίπεδα κάποιων δεκάδων μέτρων χαμηλότερα από το επίπεδο του υψομέτρου των πηγών του Μικρού Βουνού (ΒΔ τμήμα του χάρτη της Εικ.1), όπου βρισκόταν η στάθμη ισορροπίας του συστήματος πριν την υπερεκμετάλλευση του υδροφορέα. Στόχος των υπολογισμών που έγιναν ήταν να προσεγγιστεί με ακρίβεια ο όγκος του νερού που αντιπροσωπεύεται από αυτή την πτώση στάθμης και αποτελεί το έλλειμμα που πρέπει να αναπληρωθεί, καθώς και οι ποσοτικές δυνατότητες του **Ενιπέα** προς την κατεύθυνση αυτή. Για να γίνει αυτός ο υπολογισμός και να μπορεί να αξιοποιηθεί στην πραγματικότητα, έπρεπε ταυτόχρονα να εξακριβωθεί η δομή του υδρογεωλογικού συστήματος και οι σχέσεις με την περιβάλλουσα περιοχή. Προσδιορίστηκαν δηλαδή οι παρακάτω παράμετροι:

- Η **γεωμετρία του τεκτονικού τεμάχους** που περιλαμβάνει σαν ενιαίο τμήμα τον καρστικό υδροφορέα του Φυλλήιου όρους (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et. al., 2001).
- Η **μορφολογία της βάσης των μεταλλικών αποθέσεων** που αποτελεί υπεδαφικά το άνω όριο των ασβεστόλιθων (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et. al., 2001).
- Η **λειτουργία των πηγών του Μικρού Βουνού και του Χτουρίου** και η σχέση μεταξύ τους, όσο και η **σχέση**



Εικ. 1: Η ευρύτερη περιοχή εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού.

του Ενιπέα με τον υδροφορέα των μεταλιτικών σχηματισμών και με τον καρστικό υδροφορέα. (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000)

- Η **περιοχή αναφοράς**, που καθορίζεται από τη γεωμετρία του τεκτονικού τεμάχους όσον αφορά αυτό καθαυτό τον καρστικό υδροφορέα σε βάθος, αλλά όσον αφορά τις μεταλιτικές αποθέσεις καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του καρστικού με τον μικροκοκκώδη υδροφορέα και είναι καταρχήν διαφορετική.
- Οι **υδραυλικές παράμετροι** των καρστικών ασβεστόλιθων και των μεταλιτικών σχηματισμών (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000).
- Ο **όγκος των ασβεστόλιθων που θα πρέπει να επαναπληρωθεί** με νερό, και ο όγκος των κενών τους, ο όγκος δηλαδή του νερού που χρειάζεται για την αναπλήρωση (Πίνακας 1).
- Ο **όγκος των κενών των μεταλιτικών σχηματισμών που αντιστοιχεί στη στήλη που πρέπει να αναπληρωθεί**.
- Η **τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα** (προέλευση και ποσότητα) (Πίνακας 1).
- Η **τροφοδοσία του μικροκοκκώδους υδροφορέα** στην περιοχή αναφοράς (προέλευση και ποσότητα) (ΜΑ-

ΡΙΟΛΑΚΟΣ et al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000)

- Ο όγκος των νερού που δέχεται η περιοχή αναφοράς απευθείας από κατακρημνίσματα, από υπόγεια τροφοδοσία και από τον Ενιπέα (Πίνακας 1).
- Ο όγκος του νερού που αντιστοιχεί στην ετήσια πτώση στάθμης του καρστικού υδροφορέα λόγω της υπερεκμετάλλευσής του (Πίνακας 1).

Για τη διαπίστωση της σχέσης των καρστικών πηγών μεταξύ τους, και την ανίχνευση της σχέσης του μικροκοκκώδους ορίζοντα με τον Ενιπέα και με τις πηγές και τον καρστικό υδροφορέα, λήφθηκαν υπόψη τα ακόλουθα:

- Από τη Μελέτη Ανάπτυξης Υπογείων Υδάτων Θεσσαλίας (SOGREAH 1974), τα στοιχεία που αφορούν την πιεζομετρία του επιφανειακού (μικροκοκκώδους) υδροφορέα και την κυκλοφορία του νερού σε περιοδο χαμηλών και υψηλών υδάτων.
- Από την Υδρογεωλογική έρευνα Λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας (ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ et al 1973), στοιχεία που αφορούν την πιεζομετρία του μικροκοκκώδους υδροφορέα, καθώς επίσης και υπολογισμοί συντελεστών μέσης εξατμισιαπνοής, κατείδυσης και απορροής στο σύνολο της λεκάνης.
- Από την εργασία “Προσχωματικές και καρστικές υδροφορίες του Θεσσαλικού κάμπου. Νεότερα στοιχεία για το καθεστώς υπερεκμετάλλευσής τους” (ΜΑΡΙΝΟΣ et al 1997), στοιχεία για τις μέσες παροχές των πηγών Χτουρίου και Μικρού Βουνού.
- Από υπάρχουσες γεωτρήσεις και από γεωτρήσεις που εκτελέστηκαν στα πλαίσια του προγράμματος, οι μετρήσεις των σταθμών κατά τη διάρκεια της εξέλιξης των εργασιών. (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et al., Μελέτη Υπ. Γεωργίας, 2000).

Τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν από τις παραπάνω πηγές συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Οι πηγές του Χτουρίου βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο 116 μέτρων. Οι πηγές του Μικρού Βουνού βρίσκονται σε απόλυτο υψόμετρο 102 μέτρων. Η κοίτη του Ενιπέα στην περιοχή των Ορφανών βρίσκεται σε απόλυτο υψόμετρο περίπου 110 μέτρων. Αν θεωρούσαμε έναν ενιαίο υδροφορέα με αυτά τα υψόμετρα, η μέση υδραυλική του κλίση θα ήταν περίπου 1,6% προς τα βόρεια, δηλαδή προς το Μικρό Βουνό.
- Οι πηγές του Χτουρίου μέχρι το 1989 που επηρεάστηκαν από την υπερεκμετάλλευση είχαν μια μέση παροχή 0,3 m<sup>3</sup>/sec, δηλαδή μια μέση εκφόρτιση περίπου 9,3 εκατ. m<sup>3</sup> ανά έτος.
- Οι πηγές του Μικρού Βουνού μέχρι το 1985 που επηρεάστηκαν από την υπερεκμετάλλευση είχαν μια μέση παροχή 0,2 m<sup>3</sup>/sec, δηλαδή μια μέση ετήσια εκφόρτιση περίπου 6,2 εκατ. m<sup>3</sup> ανά έτος.
- Οι πηγές του Χτουρίου φαίνεται ότι εκφόρτιζαν μια τοπική δεξαμενή αυξημένης περατότητας και αποθηκευτικότητας που παρεμβάλλεται στο χώρο του μικροκοκκώδους υδροφορέα. Αυτή η καρστική δεξαμενή πληρωνόταν από τα ανατολικά και εκφορτιζόταν προς τα δυτικά από το μικροκοκκώδη υδροφορέα, καθώς η απευθείας τροφοδοσία από τα κατακρημνίσματα δεν θα μπορούσε σε καμιά περίπτωση να δικαιολογήσει τις παροχές των πηγών αυτών. Επίσης το καθεστώς αυτό ήταν μόνιμο και δεν εμφάνιζε εποχικές μεταβολές, όπως αυτές που παρουσίαζε ο καρστικός υδροφορέας του Φυλλήιου.
- Οι διαπιστώσεις αυτές δείχνουν ότι ο μικροκοκκώδης υδροφορέας είναι η κύρια πηγή τροφοδοσίας των καρστικών υδροφοριών στη συγκεκριμένη περιοχή και ίσως η μόνη αιτία που δεν έχουν εξαντληθεί εντελώς τα αποθέματα του καρστικού υδροφορέα από την υπερεκμετάλλευση. Μπορεί να θεωρηθεί δεδομένη η τροφοδοσία του Φυλλήιου από τον επιφανειακό υδροφορέα και από τον Ενιπέα, γεγονός το οποίο έχει και αντίστοιχη σημασία για την ποιότητα του ύδατος που κατεισδύει στους ασβεστόλιθους.
- Η περιοχή εφαρμογής των υπολογισμών όσον αφορά τον καρστικό υδροφορέα του Φυλλήιου αυτόν καθαυτό, περιορίζεται στα όρια του τεκτονικού τεμάχους που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, θα είχε όμως ουσιαστικό νόημα αν δεν υπήρχε η τροφοδοσία από τον μικροκοκκώδη υδροφορέα. Στην πραγματικότητα όμως, στην περιοχή αυτή τη στιγμή γίνεται εκμετάλλευση του μικροκοκκώδους υδροφορέα μέσω των ατομονωμένων μεταξύ τους καρστικών δεξαμενών του Φυλλήιου και του Χτουρίου. Έτσι, η περιοχή αναφοράς πρέπει να επεκταθεί σε μεγαλύτερη ακτίνα από τα όρια του τεκτονικού τεμάχους του Φυλλήιου, ειδικά όσον αφορά τη διερεύνηση της συμπεριφοράς των υδροφορέων κατά τον εμπλουτισμό του καρστικού υδροφορέα και την αποκατάσταση της προηγούμενης ισορροπίας.

Ως προς το υδρογεωλογικό σύστημα του Φυλλήιου όρους, εξήχθησαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Ο ασβεστολιθικός όγκος του Φυλλήιου όρους, όπως και η μικρότερη μάζα του Χτουρίου νοτιότερα, αποτελούν απομονωμένες μεταξύ τους καρστικές δεξαμενές, που σε συνθήκες ισορροπίας, είναι ενοποιημένες στον υδροφορέα που αναπτύσσεται επιφανειακά στα μικροκοκκώδη μεταλλικά υλικά (ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ et al, 2001).
- Η εκδήλωση των πηγών δυτικά του Χτουρίου και βόρεια του Φυλλήιου (Μικρό Βουνό) είναι το αποτέλεσμα της υψομετρικής διαφοράς της ελεύθερης επιφάνειας των μικροκοκκωδών υλικών εκατέρωθεν των ασβε-

στολιθικών μαζών, σε συνδυασμό με την απότομη μείωση της ταχύτητας του νερού στο μέτωπο της υπεδαφικής επαφής μεταξύ ασβεστόλιθου και κοκκώδους υλικού.

- Στο Χτούρι, σε συνθήκες ισορροπίας γίνεται τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα από τα ανατολικά και εκφόρτιση στα δυτικά, ενώ το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται στο Φυλλήιο με κατεύθυνση από το νότο προς το βορρά.
- Στην πραγματικότητα, οι δυο ασβεστολιθικές μάζες δεν είναι παρά δυο ανοικτές δεξαμενές αυξημένης υδαταγωγιμότητας που παρεμβάλλονται στη συνεχή υπόγεια αποστράγγιση του πεδινού τμήματος μέσω του μικροκοκκώδους υδροφορέα.
- Οι ποσότητες της τροφοδοσίας των καρστικών υδροφοριών ελέγχονται κυρίως από το μικροκοκκώδη υδροφορέα και σε μικρό βαθμό από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που δέχονται απευθείας.
- Πριν την υπερεκμετάλλευση, η πιεζομετρία του μικροκοκκώδους υδροφορέα παρουσίαζε μια διπλή λειτουργία. Στην περίοδο χαμηλών υδάτων ο μικροκοκκώδης ορίζοντας δεχόταν τροφοδοσία από τον καρστικό υδροφορέα, λόγω τότε των αντλήσεων στους μεταλλικούς ορίζοντες, ενώ στην περίοδο υψηλών υδάτων η καρστική υδροφορία αναπληρώνονταν με τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα.
- Σήμερα, με δεδομένη τη διατάραξη αυτής της ισορροπίας και το γεγονός ότι δεν αναπληρώνεται η απώλεια στον καρστικό υδροφορέα, αλλά αντιθέτως αυξάνεται σε ετήσια βάση, έχει ανασταλεί η διπλή λειτουργία και παγιώθηκε η μονόδρομη διαδρομή της τροφοδοσίας από το μικροκοκκώδη προς τον καρστικό υδροφορέα, καθώς βρισκόμαστε σε διαρκή περίοδο χαμηλών υδάτων.
- Η αναπλήρωση των αποθεμάτων της καρστικής δεξαμενής του Φυλλήιου αναμένεται να αποκαταστήσει την αντίστροφη φορά της τροφοδοσίας προς το μικροκοκκώδη υδροφορέα (αυτή τη φορά κατά την υγρή περίοδο που θα γίνεται ο εμπλουτισμός), από τη στιγμή που η στάθμη στους ασβεστόλιθους θα φτάσει περίπου στα επίπεδα της στάθμης του μικροκοκκώδους υδροφορέα και μέχρις ότου αποκατασταθεί η λειτουργία των πηγών του Μικρού Βουνού. Το γεγονός αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού της ανόδου της στάθμης στον ασβεστόλιθο, αφού ποσότητες ύδατος θα καλύπτουν πλέον και το έλλειμμα στο μικροκοκκώδη υδροφορέα.

#### 4. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ

Για τις ανάγκες του εμπλουτισμού του καρστικού υδροφορέα, το μέρος των απορροών που παρουσιάζει ουσιαστικό ενδιαφέρον από την άποψη της δυνατότητας αξιοποίησης, είναι οι ποσότητες που αντιστοιχούν μόνο στους υγρούς μήνες του έτους, αφού αυτές θα διατηρήσουν και την δίαιτα του Ενιπέα κατά την περίοδο που προβλέπεται ο εμπλουτισμός.

Λαμβάνοντας υπόψη τα όσα προστάζει η Agenda 21 του Rio, και κυρίως ότι η κάθε ανθρώπινη προσπάθεια παρέμβασης στα διάφορα φυσικογεωλογικά συστήματα πρέπει να κινείται στο πνεύμα της αειφόρου ανάπτυξης, κρίθηκε ως απαραίτητο πλαίσιο για την διαχείριση του προβλήματος και την εκτέλεση των υπολογισμών σε σχέση με τις παροχές του Ενιπέα και τις ποσότητες που θα μπορούσαν να ληφθούν για χρήση στα πλαίσια του τεχνητού εμπλουτισμού, ότι:

- σε καμιά περίπτωση δεν πρέπει να διαταραχθεί η δίαιτα του ποταμού κατά τη θερμή (ξηρά) περίοδο, δηλαδή στη διάρκεια των μηνών από το Μάιο ως και τον Σεπτέμβριο, κατά τους οποίους η παροχή του Ενιπέα είναι μικρότερη από  $1\text{m}^3/\text{sec}$  στο σταθμό μέτρησης Δενδράκια.
- κατά την υγρή περίοδο θα λαμβάνεται νερό μόνον όταν η παροχή του ποταμού είναι μεγαλύτερη από  $1\text{m}^3/\text{sec}$ .

Με γνώμονα τα παραπάνω, έγιναν υπολογισμοί στην κατεύθυνση της προσέγγισης των ποσοτήτων που μπορούν να ληφθούν από τον Ενιπέα, τηρώντας πάντα τις προϋποθέσεις που έχουν τεθεί, και προσδιορίστηκαν οι ακόλουθες παράμετροι του προβλήματος:

1. Η παροχή του Ενιπέα, δηλαδή οι διακυμάνσεις, οι ακραίες τιμές και ο μέσος όρος της παροχής στην πλησιέστερη δυνατή απόσταση από τη θέση ενδιαφέροντος, δηλαδή την περιοχή του Φυλλήιου.
2. Ο μηχανισμός που δημιουργεί τις διακυμάνσεις αυτές.
3. Η συσχέτιση των παροχών του Ενιπέα με τις βροχοπτώσεις και αν είναι δυνατή η αντίχρεωση της αντίδρασης του ποταμού ανάλογα με τα κατακρημνίσματα ανά λεκάνη.
4. Ο μέσος ετήσιος όγκος νερού που απορρέει μέσω του Ενιπέα και οι ακραίες τιμές του.
5. Οι ποσότητες που μπορούν να ληφθούν χωρίς να διαταραχθεί η δίαιτα του ποταμού, με βάση το προηγούμενο σκεπτικό.
6. Η πιθανότητα εξαίρεσης ποσοτήτων από τις υποτιθέμενες ωφέλιμες, λόγω αυξημένων στερεοπαροχών.

Με βάση όλα αυτά τα στοιχεία και τους υπολογισμούς που πραγματοποιήθηκαν, οι μέσες ετήσιες ποσότητες

τες που μπορούν να ληφθούν από τον Ενιπέα συνολικά στο μέλλον για να εμπλουτιστεί ο υπόγειος καρστικός υδροφορέας και μέσω αυτού και οι μικροπερατοί ανέρχονται σε 16.7 εκατ. m<sup>3</sup> περίπου ετησίως. Από άποψη ποσότητας συνελπώς το υδατικό δυναμικό των υπογείων υδροφορέων στον ευρύτερο χώρο της λεκάνης Υπέρειας - Ορφάνων είναι δυνατόν να αυξηθεί κατά 16.7 εκατ. m<sup>3</sup> ανά έτος, χωρίς να διαταραχθεί ο φυσικός εμπλουτισμός αφού κατά την θερμή περίοδο, δηλαδή τους μήνες Μάιο-Σεπτέμβριο δεν θα λαμβάνεται νερό από τον ποταμό. Οι απαιτούμενες ποσότητες για τον εμπλουτισμό φαίνονται στον πίνακα 1, και από τη σύγκριση με τις ωφέλιμες παροχές του Ενιπέα, φαίνεται ότι οι διαθέσιμες ποσότητες επαρκούν για την ισοστάθμιση της ετήσιας αύξησης του ελλείμματος του καρστικού υδροφορέα και για την σταδιακή ισοστάθμιση του συνολικού ελλείμματος.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύγκριση των διαθέσιμων από τον Ενιπέα και των απαιτούμενων για την αναπλήρωση του ελλείμματος ποσοτήτων νερού**

Ποσοστό αποθηκευτικότητας	Όγκος κενών (έλλειμμα νερού) μεταξύ οριακών επιπέδων (εκατ. m <sup>3</sup> )		Μέση ετήσια αύξηση του ελλείμματος (εκατ. m <sup>3</sup> )	Μέση ετήσια κατείσδ. ασβ/θων (εκατ. m <sup>3</sup> )	Αναμενόμενη ετήσια τροφοδοσία από το μικροκοκκώδη υδροφορέα (εκατ. m <sup>3</sup> )	Ετήσιες διαθέσιμες ποσότητες από τον Ενιπέα (εκατ. m <sup>3</sup> )	
	+102m έως +65m	+65m έως +38m				Μέση	16.7
4.22%	27.2	25.6	2.1	4.5	19.0	Μέση	16.7

## 5. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΕΡΓΑ

Για την επιλογή της μεθόδου και το σχεδιασμό των έργων του τεχνητού εμπλουτισμού στη συγκεκριμένη περιοχή, έχουν ληφθεί υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

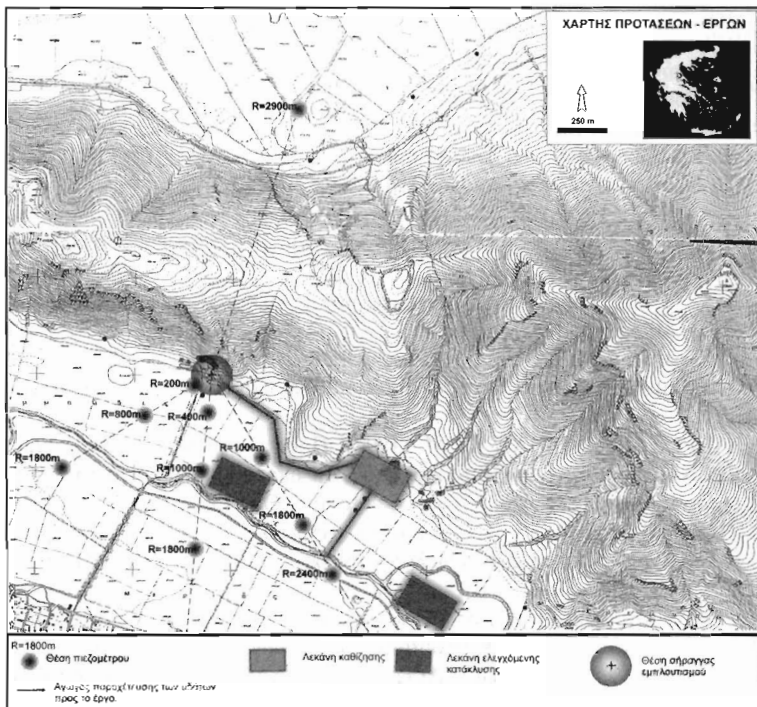
1. Η γεωλογική – τεκτονική – νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη της περιοχής.
2. Η καρστικοποίηση των ανθρακικών σχηματισμών.
3. Η γεωμετρία των βαθιών καρστικών υδροφορέων και κυρίως αυτών που αναπτύσσονται δυτικά της νοητής γραμμής Χτούρι – Υπέρεια.
4. Η παραδοχή ότι οι αποκαρστωμένοι ασβεστόλιθοι του Φυλλήιου επικοινωνούν πλευρικά με τους υπόγειους καρστικούς υδροφορείς.
5. Το γεγονός ότι τόσο οι πλευρικοί, όσο και οι υπόγειοι καρστικοποιημένοι υδροφορείς επικοινωνούν υδραυλικά με τους κοκκώδεις υδροφορείς, αν όχι καθ' όλη την επιφάνεια επαφής τους, τουλάχιστον μερικώς.

Για τον εμπλουτισμό θα χρησιμοποιηθούν κατά ένα ποσοστό οι χειμερινές απορροές του Ενιπέα ποταμού. Τα κυρίως έργα έχουν ως εξής:

- **Μικρό ανασχετικό φράγμα** στην κοίτη του ποταμού. Από το σημείο αυτό, το νερό θα οδηγείται απευθείας στις λεκάνες καθίζησης των εν αιωρήσει υλικών.
- **Λεκάνη καθίζησης των εν αιωρήσει υλικών**, οι διαστάσεις της οποίας θα είναι τέτοιες που να μπορούν να καλύψουν τις παροχές που θα χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό.
- **Αγωγός μεταφοράς των υδάτων από τη λεκάνη καθίζησης στη θέση εμπλουτισμού** μέσω του οποίου τα ελεύθερα από τα εν αιωρήσει υλικά νερά που θα έχουν συγκεντρωθεί στις λεκάνες καθίζησης θα οδηγούνται μέσω μίας αύλακας στη δεξαμενή ηρεμίας.
- **Δεξαμενή ηρεμίας**, η οποία θα είναι φρέαρ σχετικά μικρού βάθους.
- **Σήραγγα εμπλουτισμού**, η οποία θα πρέπει να έχει διατομή διαστάσεων τουλάχιστον 3m x 3m και μήκος αρχικά 30m και κλίση τέτοια ώστε να είναι δυνατή η κίνηση ειδικών σχημάτων, όπως μικρών γεωτρύπανων, σχημάτων μεταφοράς υλικών εκσκαφής, σχημάτων καθαρισμού φίλτρων, κλπ.
- **Φρέατα εντός της σήραγγας εμπλουτισμού**, που θα ανορυχθούν ανά 5 μέτρα και θα έχουν μικρές διαστάσεις (1m x 1m x 1m).
- **Πιεζόμετρα** μέσου βάθους 100 μέτρων σε διάφορες αποστάσεις από τη θέση παροχέτευσης, για την παρακολούθηση της αντίδρασης της υδροφορίας στον εμπλουτισμό.
- **Σταθμοί** αυτόματης ψηφιακής καταγραφής και μετάδοσης των ποιοτικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών των προς εμπλουτισμό υδάτων, στο σημείο της παροχέτευσης καθώς επίσης και ανάντη και κατόντη του σημείου της παροχέτευσης, για τους λόγους που εξηγούνται στη συνέχεια.

## 6. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΠΟΙΟΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ο εμπλουτισμός του καρστικού δεν πρέπει να γίνεται σε βάρος του φυσικού εμπλουτισμού του κοκκώδη υδροφορέα. Εξάλλου, ο όγκος και η ποιότητα των νερών του Ενιπέα που θα φθάνουν στα κατάντη της περιοχής ενδιαφέροντος δεν πρέπει να επηρεάζουν αρνητικά τα υπάρχοντα οικοσυστήματα και υδρογεωλογικές συνθήκες.



Εικ. 2: Η προτεινόμενη περιοχή εφαρμογής του τεχνητού εμπλουτισμού με τις θέσεις των έργων σχηματικά.

Έτσι, προτείνεται ως **απαραίτητη προϋπόθεση για τη λειτουργία** του έργου, μαζί με την κατασκευή των έργων εμπλουτισμού η δημιουργία και ο εξοπλισμός ορισμένων σταθμών παρατήρησης και μετρήσεων με αυτογραφικά όργανα, για όσες παραμέτρους αυτό είναι τεχνολογικά εφικτό. Στους σταθμούς αυτούς θα γίνονται συνεχείς μετρήσεις των παροχών και της στάθμης του Ενιπέα, συνεχείς αναλύσεις συγκεκριμένων ρυπαντών ώστε να αποκλειστεί ο εμπλουτισμός με μολυσμένα και ρυπογόνα νερά, και μέτρηση των στερεοπαροχών του Ενιπέα. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται τόσο οι αναγκαίες ποσότητες, όσο και η απαιτούμενη ποιότητα.

Στον κατάντη σταθμό θα γίνονται συνεχείς μετρήσεις παροχών και στάθμης του Ενιπέα προκειμένου να είναι γνωστές οι απώλειές του από τη θέση εμπλουτισμού μέχρι εκεί.

Τέλος θα πρέπει να παρακολουθείται περιμετρικά και συστηματικά η πιεζομετρία τόσο στον εμπλουτιζόμενο καρστικό υδροφορέα όσο και στον κοκκώδη, σε διάφορες αποστάσεις από τη θέση εμπλουτισμού.

Όταν οι μετρήσεις ξεπερνούν κάποια προκαθορισμένα κρίσιμα όρια τιμών για την παροχή, τους ρυπαντές – μολυντές ή τη στερεοπαροχή θα διακόπτεται αυτόματα ο εμπλουτισμός, μέχρι την άρση των δυσμενών συνθηκών.

## 7. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το Υπουργείο Γεωργίας και ειδικά τη Διεύθυνση Γεωλογίας Υδρολογίας και Μαθηματικών Ομοιομάτων, με τη χρηματοδότηση του οποίου έγινε δυνατή η εκπόνηση της Υδρογεωλογικής Μελέτης Τεχνητού Εμπλουτισμού Καρστικών Υδροφορέων Περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας) –Υπέριχας (Ν. Λάρισας), τμήμα των αποτελεσμάτων της οποίας παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία, καθώς και την ΥΕΒ Λάρισας και τον ΤΟΕΒ Φαρσάλων για τη διάθεση στοιχείων απαραίτητων για την εκπόνηση του έργου.



## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- FRYCKLUND CR. (1998): Long-term sustainability in artificial groundwater recharge.- In: Artificial Recharge of Groundwater, Peters et al. (eds), Balkema, pp. 113-117, Rotterdam.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., ΜΟΡΦΗΣ, Α., ΠΑΠΑΣΠΥΡΟΠΟΥΛΟΣ, Χ., ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ, Θ. (1973): Υδρογεωλογική έρευνα λεκάνης Δυτικής Θεσσαλίας. Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Έρευνες, Αρ.8, σελ.166.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1970): Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας (Δυτ. Θεσσαλία). Ινστιτούτο Γεωλογικών Μεταλλευτικών Ερευνών, τομ.ΧΙV, Νο 1, Αθήνα.
- ΚΑΡΑΓΕΩΡΓΙΟΥ, Ε. (1966): Γεωλογία - Υδρογεωλογία της Θεσσαλίας. Έκθεση, Ι.Γ.Ε.Υ.
- ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Δ. et al. (1996): Ερευνητικό έργο Υδροσκόπιο – Προκαταρκτική εφαρμογή στο υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας – Υπ. Γεωργίας, Δ/ση Γεωλογίας & Υδρολογίας / Ε.Μ.Π., Τομέας Υδατικών Πόρων-Υδραυλικών & Θαλάσσιων έργων. Αθήνα, Σεπτέμβριος 1996.
- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, Δ., & ΠΕΡΓΙΑΛΙΩΤΗΣ, Π. (1986): Ανάπτυξη υπογείων υδάτων Θεσσαλίας. Μαθηματικά μοντέλα. Αναρρύθμιση των μοντέλων υπογείων υδροφορέων. – Υπουργείο Γεωργίας, Δ/ση Γεωλογίας- Υδρολογίας, Αθήνα Ιούνιος 1986.
- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, Δ., (1986): Υδρογεωλογία πηγών Δυτικής Θεσσαλίας. 3ο Επιστημονικό Συνέδριο Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, εκδρομή Δυτικής Θεσσαλίας.
- MARINOS P. (1993): Karstification and ground-water hydraulics of the interior of large calcareous massifs: The case of Giona Mountain in Central Greece.- International Contributions to Hydrogeology, Hannover, V. 13, pp. 241-247.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Π., ΠΕΡΛΕΡΟΣ, Β., ΚΑΒΒΑΔΑΣ, Μ. (1997): Προσχωματικές και καρστικές υδροφορίες του Θεσσαλικού κάμπου. Νεώτερα στοιχεία για το καθεστώς της υπερεκμετάλλευσής τους. Πρακτικά 4<sup>ου</sup> Υδρογεωλογικού Συνεδρίου Ελληνικής επιτροπής Υδρογεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., (1988): Η εφαρμογή του Νόμου του Darcy σε κλειστά γεωμορφολογικά συστήματα. Παράδειγμα η λεκάνη της Άνω Μεσσηνίας (ΝΔ Πελοπόννησος).- Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, Τ.ΧΧ/3, σ. 77-96, Αθήνα.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. (1999): Καρστ και τεχνητός εμπλουτισμός των υδροφορέων στις Νεοτεκτονικές λεκάνες του Ελληνικού Τόξου. Ημερίδα τεχνητού εμπλουτισμού υπόγειων υδροφορέων,(υπό εκτύπωση), Ξάνθη.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΛΕΚΚΑΣ, Σ., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Α., ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Τ., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., et al. (2000): Υδρογεωλογική μελέτη Τεχνητού Εμπλουτισμού καρστικών υδροφορέων περιοχής Ορφανών (Ν. Καρδίτσας)- Υπέριεας (Ν. Λάρισας). Τελική Έκθεση. Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/ση Εργ. Έργων & Γ.Δ., Δ/ση Γεωλογίας – Υδρολογίας. Αθήνα, Ιούλιος 2000.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., ΜΠΑΝΤΕΚΑΣ Ι., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Δ., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ, ΕΜ. (2000): Η γεωμετρία του υπόγειου υδροφορέα στο Ναρθάκιο όρος (Θεσσαλία) ως αποτέλεσμα της νεοτεκτονικής παραμόρφωσης. Πρακτικά 1<sup>ου</sup> Πανελλ. Συν. Ελλην. Υδροτεχνικής Ένωσης, Αθήνα, σ.343-350.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., Λέκκας Σ., Παπαδόπουλος Τ., Αλεξόπουλος Α., Φουντούλης Ι., Αλεξόπουλος Ι., Σπυρίδωνος Ε., Μπαντέκας Ι., Μαριολάκος Δ., Ανδρεαδάκης Ε. (2001): Υπεδαφική τεκτονική δομή στη λεκάνη των Φαρσάλων (Θεσσαλία) ως καθοριστικός παράγων διαμόρφωσης των υδρογεωλογικών συνθηκών της περιοχής, υπό ανακοίνωση στο 9<sup>ο</sup> Συνέδριο της Ε.Γ.Ε.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Ν. (1971): Γεωηλεκτρική αναγνωριστική έρευνα εις α. Περιοχήν Φαρσάλων και β. Περιοχήν Τυρνάβου, Ι.Γ.Ε.Υ., Αθήνα, 1971.
- ΠΑΡΑΣΧΟΥΔΗ Β., ΜΑΡΙΝΟΥ Π., ΒΑΪΝΑΛΗ Δ., (1988): Υδρογεωλογικά καρστικά και προσχωματικά συστήματα και σύνδεση των διαφόρων λεκανών της ευρύτερης περιοχής Βόλου – Κάρλας – Βελεστίνου – Περιβλεπτού, Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Εταιρείας, Τ.ΧΧΙΙΙ/3, σ. 11-19, Αθήνα.
- PYNE, R.D.G. (1995): Ground Water Recharge and Wells: A Guide to Aquifer Storage.- Recovery Lewis Publishers, Boca Raton, p. 375.
- SCHNEIDER, H.E. (1979): L'Histoire géologique du bassin troyène et quaternaire de la Thessalie - in B. Helly, ed., La Thessalie, Collection de la Maison de L'Orient Méditerranéen 6, Surie Archiologique 5. Lyon, 43-50.
- SOGREAH GRENOBLE (1974): Μελέτη ανάπτυξης υπογείων υδάτων πεδιάδος Θεσσαλίας. Τελική Έκθεσις. R 11971. Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/ση Γεωργικής Αναπτύξεως και Ερευνών & Υ.Ε.Β., Δεκέμβριος 1974.