

Εποπτεία και διερεύνηση των γεωτρήσεων της περιοχής Υλίκης με την βοήθεια συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας

Β. Ρόζος, Δ. Κουτσογιάννης και Α. Κουκουβίνος
Τομέας Υδατικών Πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Ηρώων Πολυτεχνείου 5, 157 80 Ζωγράφου

Περίληψη

Διερευνάται η δυνατότητα εποπτείας των υπόγειων υδατικών πόρων της περιοχής Υλίκης στα πλαίσια ενός συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας. Στο σύστημα αποθηκεύτηκαν και οργανώθηκαν κυρίως πληροφορίες για τη διακύμανση της στάθμης των γεωτρήσεων και της λίμνης, καθώς και πληροφορίες για την τοπογραφία και γεωλογία της περιοχής. Έτσι έγινε δυνατή η συνδυασμένη παρουσίαση των δεδομένων αυτών ώστε να μπορούμε να εξαγάγουμε συμπεράσματα για τις σχέσεις που διέπουν την διακύμανση της στάθμης γεωτρήσεων και Υλίκης. Οι σχέσεις αυτές αντανακλούν τους υφιστάμενους υδρογεωλογικούς μηχανισμούς και αποτελούν τις ενδείξεις που μας βοηθούν στην ορθολογικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων.

1. Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας είναι η διερεύνηση της δυνατότητας να συσχετιστούν με απλό τρόπο επιμέρους πληροφορίες (γεωγραφικές, περιγραφικές, υδρογεωλογικές και υδρολογικές) σε ένα πληροφοριακό σύστημα που να βοηθά στην κατανόηση και την εποπτεία του μηχανισμού της υπόγειας ροής του νερού.

Ως περιοχή μελέτης θεωρήθηκε η περιοχή της λίμνης Υλίκης, μια περιοχή με σημαντικό ενδιαφέρον τόσο από υδρολογικής και υδρογεωλογικής πλευράς όσο και από διαχειριστική άποψη. Το υδατικό σύστημα που εξετάζεται αποτελείται από την λίμνη Υλίκη και τις παρακείμενες γεωτρήσεις. Αυτές χωρίζονται σε πέντε ομάδες ανάλογα με την περιοχή που βρίσκονται:

- περιοχή Μουρικίου- Υπάτου (YYΣ2, YM3, YM4, YM5, YM7, YM10)
- περιοχή Ούγγρας (ΕΠ6, ΕΠ9, ΕΠ10, ΕΠ14)
- περιοχή Ν.Δ. Υλίκης (YY4, YY5, YY9, YY14)
- περιοχή Ταξιαρχών (YT1, YT7, YT8)
- περιοχή Κάστρου (EK1, EK9)

Οι γεωτρήσεις αυτές διανοίχτηκαν την περίοδο 1990-1991 με σκοπό να εξασφαλιστούν επιπλέον πόροι για την υδροδότηση της Αθήνας. Σήμερα οι μόνες γεωτρήσεις που λειτουργούν είναι οι γεωτρήσεις της περιοχής Ούγγρας, το νερό των οποίων διατίθεται για την υδροδότηση της Χαλκίδας.

Στην περιοχή αυτή από γεωλογικής άποψη έχουμε την κυριαρχία έντονα καρστικοποιημένου ασβεστόλιθου. Αυτό μας οδηγεί στην υποψία ότι οι παρακείμενες της Υλίκης γεωτρήσεις αντλούν νερό από αυτήν. Το σύστημα που αναπτύχθηκε βοηθά να διερευνήσουμε και να βγάλουμε συμπεράσματα για την προέλευση του νερού που αντλείται.

2. Γενική περιγραφή του συστήματος

Ο κορμός της μελέτης είναι η κατασκευή και λειτουργία ενός συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας (ΣΓΠ) με βάση το πακέτο ArcView (ESRI, 1996). Συνοπτικά η κατασκευή του συστήματος περιέλαβε τα εξής βήματα:

- Συλλογή των δεδομένων που αφορούν στις γεωτρήσεις, στις παρακείμενες λίμνες (Υλίκη, Παραλίμνη), καθώς και στη γεωμορφολογία και γεωλογία της περιοχής.
- Εισαγωγή και ολοκλήρωση των επιμέρους πληροφοριών σε γεωγραφική βάση δεδομένων του ArcView.
- Κατασκευή των επιπέδων γεωγραφικής πληροφορίας (Coverages) και σύνδεση τους με τα περιγραφικά δεδομένα.
- Ανάπτυξη αυτοματισμών για εποπτεία της διακύμανσης της στάθμης των γεωτρήσεων και της λίμνης.
- Προσθήκη ενεργών συνδέσμων (hot links) για τις γεωλογικές τομές.

Με την ανάπτυξη του συστήματος καθίσταται δυνατή η παρακολούθηση της στάθμης της κάθε γεώτρησης σε αντιπαράθεση και με την αντίστοιχη στάθμη της Υλίκης. Αυτήν την αντιπαράθεση μπορούμε να την έχουμε από δύο οπτικές γωνίες.

- Αντιπαράθεση όλης της χρονοσειράς της στάθμης μιας γεώτρησης με αυτή της Υλίκης (μία γεώτρηση - όλο το διάστημα μετρήσεων) μέσω του εργαλείου Chart (ESRI, 1996).
- Αντιπαράθεση της στάθμης όλων των γεωτρήσεων με αυτή της Υλίκης για μια δεδομένη ημερομηνία (όλες οι γεωτρήσεις - μία ημερομηνία) μέσω του εργαλείου View (ESRI, 1996).

Η οπτικοποίηση της στάθμης γεωτρήσεων και λίμνης βοηθά στη διατύπωση των υποθέσεων σχετικά με την κίνηση του νερού στην περιοχή. Επιπλέον με την αξιοποίηση των ενεργών συνδέσμων μπορούμε να δούμε το γεωλογικό υπόβαθρο και να επιχειρήσουμε την ερμηνεία των ενδείξεων που μας οδηγούν τα διαγράμματα αντιπαράθεσης στάθμης Υλίκης και γεωτρήσεων.

Όλα τα παραπάνω μας βοήθησαν να διακρίνουμε ορισμένα στοιχεία των υδραυλικών μηχανισμών που διέπουν την κάθε μία από τις γεωτρήσεις. Παρακάτω δίνουμε αναλυτικότερη περιγραφή του συστήματος που κατασκευάστηκε και των συμπερασμάτων που προέκυψαν από την λειτουργία του.

3. Προπαρασκευαστικές εργασίες

Η πλήρης περιγραφή του υδατικού συστήματος της περιοχής Υλίκης απαιτεί χωρικές πληροφορίες για τις γεωτρήσεις, τις λίμνες, το ανάγλυφο περιοχής, και τη γεωλογική μορφή υπεδάφους.

Για τη σωστή οργάνωση του ΣΓΠ οι απαραίτητες πληροφορίες γεωγραφικού χαρακτήρα συστηματοποιούνται στα ακόλουθα θεματικά επίπεδα (coverages), εκ των οποίων τα δύο τελευταία προήλθαν από ψηφιοποίηση γεωλογικών χαρτών κλίμακας 1 : 50 000 (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 1970)

- ανάγλυφο·
- λίμνες·

- γεωτρήσεις·
- γεωλογικές τομές·
- γεωτεκτονικά ρήγματα.

Τα περιγραφικά δεδομένα, τα οποία συνδέονται με την ψηφιοποιημένη γεωγραφική πληροφορία, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στα χρονικά εξαρτημένα και τα χρονικά ανεξάρτητα. Τα χρονικά εξαρτημένα τα οποία συνοδεύονται από ημερομηνίες είναι:

- το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης νερού σε γεώτρηση υπό ηρεμία·
- το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης νερού σε γεώτρηση, όταν γίνεται άντληση·
- το απόλυτο υψόμετρο της στάθμης της Υλίκης·
- η συγκέντρωση χλωριόντων σε ppm·
- διάφορες παρατηρήσεις·

Τα χρονικά ανεξάρτητα δεδομένα είναι:

- ο κωδικός αριθμός της γεώτρησης·
- η ονομασία της γεώτρησης·
- οι καρτεσιανές συντεταγμένες της γεώτρησης·
- το απόλυτο υψόμετρο του σημείου διάνοιξης της γεώτρησης·
- η παροχή της αντλητικής εγκατάστασης·

Τα περιγραφικά δεδομένα προήλθαν από εννέα τεύχη μετρήσεων του ΙΓΜΕ (Παπαπέτρος, 1994-1995). Καθένα από αυτά καλύπτει χρονική περίοδο ενός τριμήνου. Τα δεδομένα συνολικά εκτείνονται στο χρονικό διάστημα από 15/03/94 έως 20/12/95. Το μέσο χρονικό βήμα μετρήσεων είναι 11 ημέρες.

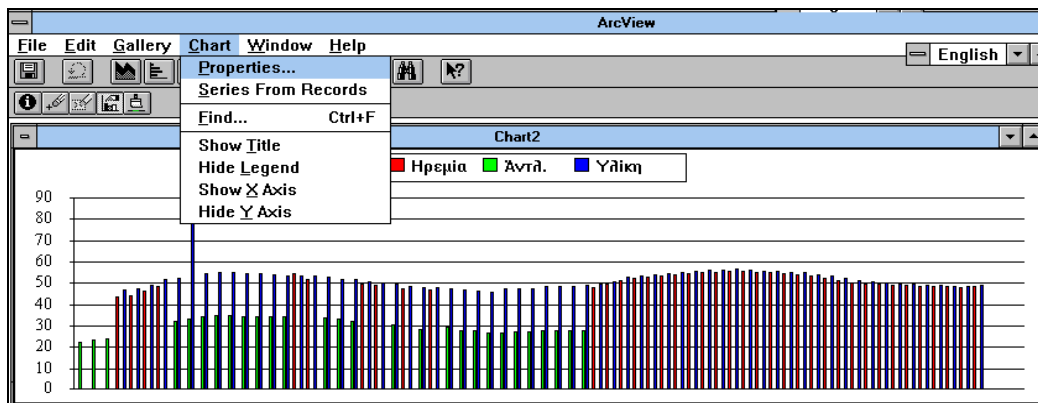
4. Κατασκευή συστήματος εποπτείας της διακύμανσης της στάθμης των γεωτρήσεων

Η λογική στην οποία στηριχθήκαμε προκύπτει από την ακόλουθη απλή παρατήρηση: Αν επικοινωνούν οι γεωτρήσεις με την λίμνη αναμένουμε μια ισχυρή εξάρτηση της διακύμανσης της στάθμης λίμνης με την στάθμη γεωτρήσεων. Αυτό μπορεί να ελεγχθεί αν αντιπαραθέσουμε τις χρονοσειρές των μετρήσεων της στάθμης αυτών με μορφή ραβδογραμμάτων (Σχ. 1). Ο πιο κομψός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό είναι να μπορεί ο χρήστης να επιλέγει κάθε φορά από τον ψηφιακό χάρτη την γεώτρηση για την οποία θέλει να κάνει αυτή την αντιπαραθέση.

Για να γίνει αυτό συνδέθηκαν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χάρτη που αναπαριστούν τις γεωτρήσεις (points) με τα περιγραφικά δεδομένα που τα αφορούν (Σχ. 2).

Το γράφημα της διακύμανσης της στάθμης μιας γεώτρησης συναρτήσει του χρόνου είναι διαφωτιστικό για την εξέλιξη της στάθμης μιας γεώτρησης, αλλά δεν επιτρέπει την σύγκριση με τη συμπεριφορά άλλων γεωτρήσεων. Ένας τρόπος, για να επιτευχθεί αυτή η σύγκριση είναι να χρωματίσουμε τα σύμβολα των γεωτρήσεων στον χάρτη ανάλογα με τα υψόμετρα της στάθμης τους. Ο χρωματισμός των συμβόλων των γεωτρήσεων πρέπει να γίνεται βάσει των εγγραφών που αντιστοιχούν στις διάφορες ημερομηνίες μετρήσεων. Όμως σε ένα κλασικό θεματικό επίπεδο υπάρχει αυστηρά ένα προς ένα αντιστοιχία των γεωγραφικών χαρακτηριστικών με τις εγγραφές στον πίνακα των περιγραφικών δεδομένων. Δηλαδή στον πίνακα χαρακτηριστικών των γεωτρήσεων υπάρχουν τόσες εγγραφές όσες και οι γεωτρήσεις

στο χάρτη. Την λύση του προβλήματος αυτού δίνει η δυνατότητα του ArcView να φτιάχνει θεματικά επίπεδα με σημεία βάσει δύο πεδίων που περιέχουν τις καρτεσιανές συντεταγμένες τους (Events· ESRI, 1996). Σε αυτά τα θεματικά επίπεδα μπορεί ένα σημείο να αντιστοιχεί σε πολλές εγγραφές στον πίνακα των χαρακτηριστικών και έτσι είναι δυνατή η αντιστοιχία ένα σε πολλά. Η διαδικασία επιλογής της ημερομηνίας βάσει των μετρήσεων της οποίας θα χρωματίσουμε τα σύμβολα των γεωτρήσεων αυτοματοποιείται μέσω διαφόρων προγραμμάτων.



Σχ. 1 Ραβδόγραμμα για την γεώτρηση YY14

Area	Perimeter	Rgwt	Rgwt_id	NewField	Z	PLACE
0	0	1	1	F1	YY14	ND YLIKI
0	0	2	2	F2	YY5	ND YLIKI
0	0	3	3	F3	YT7	TAXIARXES
0	0	4	4	F4	YT1	TAXIARXES
0	0	5	5	F5	EK9	KASTRO
0	0	6	6	F6	EK1	KASTRO

Id	Gewtr	Alt	Amount	Date	Downdis	Absalth	Absalta	Absaltyliki	Clppm	Notes	X	Y
F1	YY14	136.36	310	15/3/1994	89.95	0	46.41	53.86	35.4	A	433629	4247143
F1	YY14	136.36	310	28/3/1994	89.29	0	47.07	54.34	35.4	A	433629	4247143
F1	YY14	136.36	310	13/4/1994	89.09	0	47.27	55	34	A	433629	4247143
F1	YY14	136.36	310	19/4/1994	88.45	0	47.91	55.06	31.9	A	433629	4247143
F10	ET6	41.96	60	15/3/1995	4.92	37.04	0	54.97	0	H	439039	4254217
F10	ET6	41.96	60	27/3/1995	5.39	0	36.57	55.7	54	A	439039	4254217

Σχ. 2 Σύνδεση πίνακα χαρακτηριστικών με πίνακα περιγραφικών δεδομένων.

5. Δημιουργία ενεργών συνδέσμων

Η έρευνα του συσχετισμού της στάθμης της Υλίκης και των γεωτρήσεων διαφωτίζεται από την εξέταση της γεωλογικής σύστασης και δομής του υπεδάφους. Έτσι, κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή μερικών γεωλογικών τομών, οι οποίες περνάνε από τις γεωτρήσεις, καθώς και μιας ενδεικτικής που περνάει από την Υλίκη. Η κατασκευή βασίστηκε σε τοπογραφικό και γεωλογικό χάρτη, και ακολούθησε η μετατροπή σε ψηφιακή μορφή και αποθήκευση σε αρχεία εικόνας με μορφή bitmap.

Αυτά τα αρχεία εικόνας συνδέθηκαν με το σύστημα μέσω ενός ενεργού σύνδεσμου (hot link) έτσι ώστε, κάνοντας κλικ πάνω στις ευθείες που αναπαριστούν στην οριζοντιογραφία τις γεωλογικές τομές, εμφανίζεται αυτόματα η εικόνα που περιέχει την αντίστοιχη γεωλογική τομή.

6. Μελέτη της συμπεριφοράς των γεωτρήσεων

Μέσω του συστήματος εποπτείας που κατασκευάσαμε, επιθεωρούμε κάθε γεώτρηση χωριστά και σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες και την Υλίκη. Τις απορίες και τις ενδείξεις που μας γεννά το πρώτο βήμα τις λύνουμε μελετώντας τις γεωλογικές τομές. Παρακάτω δίνουμε ένα ενδεικτικό παράδειγμα που αναφέρεται στις γεωτρήσεις της Νοτιοδυτικής Υλίκης, ενώ αναλυτικότερα στοιχεία για το σύνολο των γεωτρήσεων δίνονται από τον Ρόζο (1997)

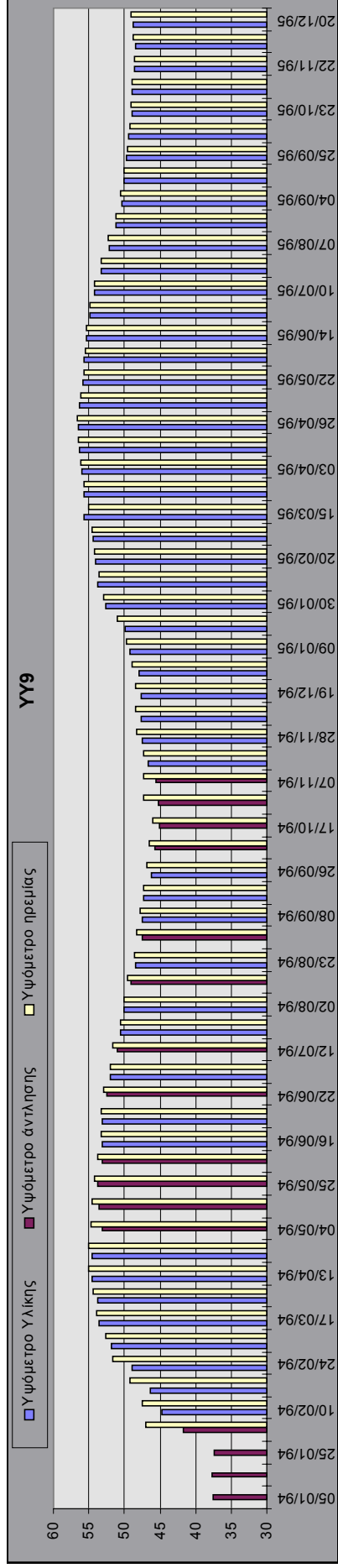
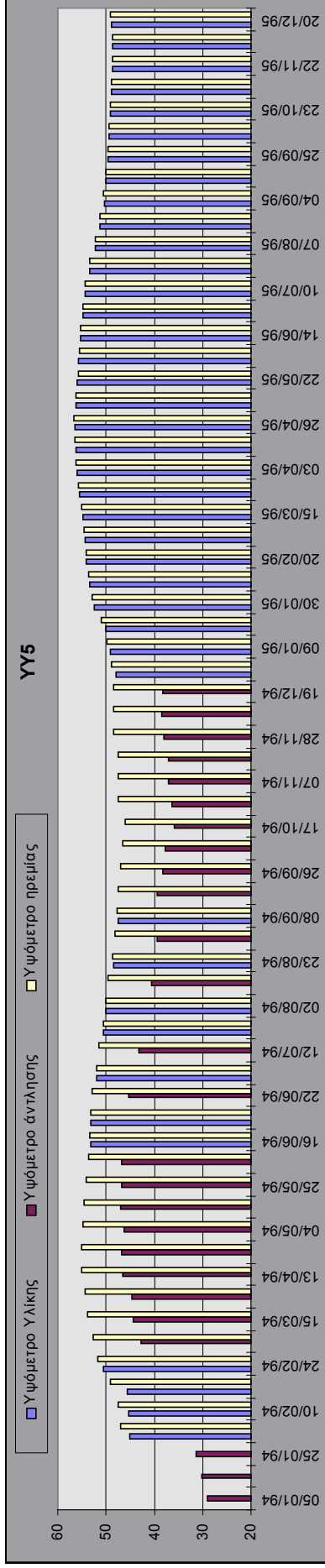
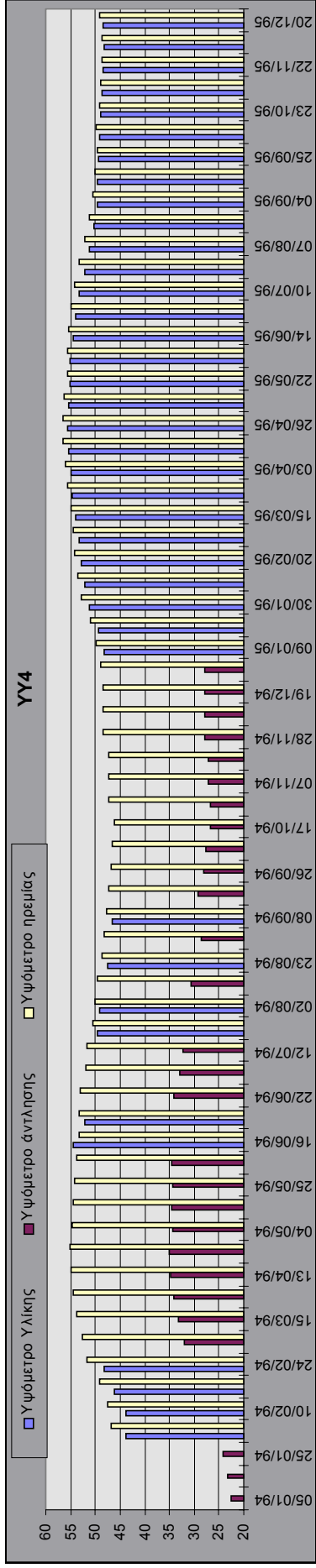
Οι γεωτρήσεις YY4, YY5 και YY9 αντλούνται για όλη την διάρκεια των μετρήσεων (περίοδος 5/1/94 - 19/12/95) με κάποια ενδιάμεσα διαλείμματα. Ορισμένα στατιστικά στοιχεία φαίνονται στον Πίν. 1.

Πίν. 1 Στατιστικά στοιχεία των γεωτρήσεων της περιοχής ΝΔ Υλίκης.

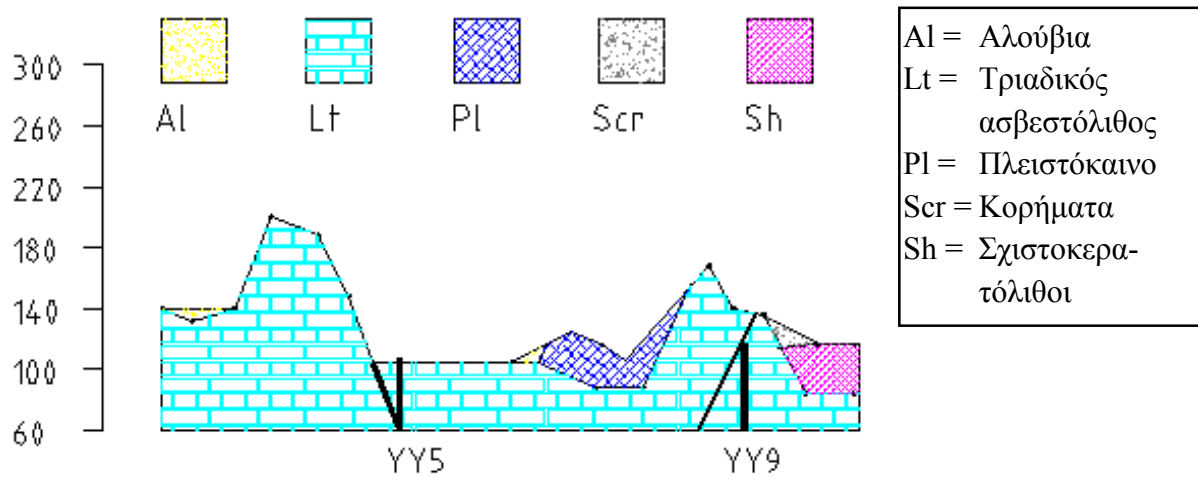
Γεώτρηση	Μέση διαφορά στάθμης ηρεμίας γεώτρησης από Υλίκη (m)	Μέση διαφορά στάθμης άντλησης γεώτρησης από Υλίκη (m).	Συντελεστής συσχέτισης στάθμης ηρεμίας γεώτρησης με Υλίκη	Παροχή άντλησης (m ³ /h)	Απόσταση από Υλίκη(m)
YY4	-1	-22	0.96	324	1141
YY5	0	-12	0.98	340	289
YY9	-1	-3	0.98	300	1357

Οι γεωτρήσεις αυτής της ομάδας παρουσιάζουν σχεδόν το ίδιο μέσο υψόμετρο στάθμης υπό ηρεμία με το μέσο υψόμετρο της Υλίκης (52 μέτρα). Η γεώτρηση YY5 που βρίσκεται κοντά στην λίμνη έχει ακριβώς το ίδιο. Ο μεγάλος συντελεστής συσχέτισης και το μεγάλο πλήθος των μετρήσεων δίνουν σημαντική βαρύτητα σε αυτές τις ενδείξεις που υποδηλώνουν επικοινωνία των γεωτρήσεων με την Υλίκη. Εντύπωση προκαλεί η μικρή μέση διαφορά, στάθμης άντλησης της γεώτρησης YY9 από την στάθμη της Υλίκης.

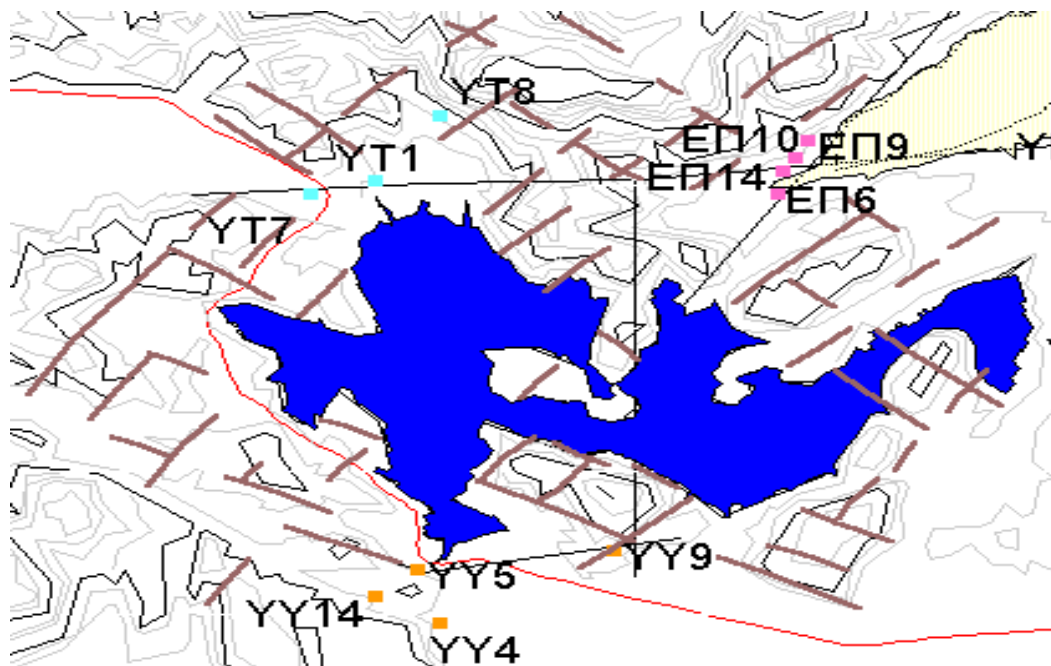
Από τα τα ραβδογράμματα γεωτρήσεων YY4, YY5 και YY9 (Σχ. 3) φαίνεται ότι η στάθμη υπό ηρεμία των γεωτρήσεων ακολουθεί πιστά την στάθμη της Υλίκης. Φαίνεται ακόμα ότι υπάρχει απόλυτη συμφωνία φάσης στην διακύμανση αυτών των δύο μεγεθών. Δεν μπορεί με κανένα τρόπο να θεωρηθεί ότι οι γεωτρήσεις αυτές αντλούν από υδροφορέα ανεξάρτητο της Υλίκης.



Σχ. 3 Διακύμανση της στάθμης νερού των γεωτρήσεων (YG4, YG5, YG9).



Σχ. 4 Γεωλογική τομή γεωτρήσεων ΝΔ Υλίκης.



Σχ. 5 Χάρτης γεωλογικών ρηγμάτων στην περιοχή της Υλίκης.

Για να ερμηνεύσουμε τη συμπεριφορά των γεωτρήσεων αναζητούμε τα αίτια στην γεωτεκτονική μορφή των σχηματισμών που αυτές συνάντησαν. Για τη γεώτρηση YY9, στη γεωλογική τομή (Σχ. 4) σημειώνεται η παρουσία ρήγματος κοντά της. Όπως είναι γνωστό ένα ρήγμα με τον κερματισμό (μυλωνιτίωση) που προκαλεί κατά μήκος του, είναι ο καλύτερος σύμμαχος στη δράση του υπόγειου νερού, το οποίο διεισδύει στην μάζα του ασβεστόλιθου ευκολότερα και έτσι επιταχύνεται η καρστικοποίηση του. Αυτό σημαίνει ότι η YY9 είναι ανοιγμένη σε μια έντονα καρστικοποιημένη ζώνη. Επίσης στην οριζοντιογραφία (Σχ. 5) φαίνεται ότι αυτό το ρήγμα κατευθύνεται προς την Υλίκη (ένα δεύτερο ρήγμα εγκάρσιο στο πρώτο φαίνεται επίσης να περνάει κοντά από την YY9 και να κατευθύνεται προς την Υλίκη) σε αντίθεση με το ρήγμα που περνάει από την YY5. Άρα το νερό κινείται εύκολα προς την YY9 διαμέσου της καρστικοποιημένης ζώνης και αυτό εξηγεί τη μικρή πτώση στάθμης κατά την άντληση της γεώτρησης αυτής.

7. Συμπεράσματα

Η όλη διερεύνηση έδειξε ότι ένα απλό στη δομή του σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας που συνδυάζει με σωστό τρόπο ετερογενείς πληροφορίες (τοπογραφία, γεωλογία, χρονοσειρές στάθμης γεωτρήσεων και λιμνών) μπορεί να είναι ιδιαίτερα διαφωτιστικό για την κατανόηση και εποπτεία των υδραυλικών μηχανισμών που διέπουν την κίνηση του νερού σε ένα συνδυασμένο σύστημα υπογείων και επιφανειακών υδάτινων σωμάτων. Ασφαλώς η πλήρης μαθηματική περιγραφή των μηχανισμών της κίνησης του νερού προϋποθέτει την ανάπτυξη ενός σύνθετου μαθηματικού μοντέλου του υδατικού συστήματος. Όμως, δεδομένης της δυσκολίας ενός τέτοιου εγχειρήματος, τόσο από υπολογιστικής πλευράς, όσο και από πλευράς δεδομένων και μετρήσεων που απαιτεί, ένα απλό σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας σαν αυτό της παρούσας εργασίας, μπορεί να θεωρηθεί ως ένα χρήσιμο πρώτο βήμα άμεσης εφαρμογής, προς την κατεύθυνση της ορθολογικότερης διαχείρισης του υδατικού δυναμικού.

Στην παρούσα εφαρμογή που αναφέρεται στην περιοχή της Υλίκης εξετάστηκε κατ' αρχήν η συσχέτιση της στάθμης των γεωτρήσεων με αυτή της Υλίκης. Επιπλέον η συμπεριφορά της κάθε γεώτρησης συγκρίθηκε με την συμπεριφορά των γειτονικών της. Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής διερευνήθηκε με την βοήθεια τομών που ενσωματώθηκαν στο σύστημα γεωγραφικής πληροφορίας.

Οι διερευνήσεις οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η πλειονότητα των γεωτρήσεων έχουν άμεση σύνδεση με την Υλίκη και δεν έχει νόημα να αντλούνται παρά μόνο αν η στάθμη της Υλίκης πέσει σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα και υπάρχει κίνδυνος άντλησης απ' αυτήν ποιοτικά υποβαθμισμένου νερού. Εξαιρέση αποτελούν οι γεωτρήσεις της περιοχής Ούγγρας. Πάντως φαίνεται ότι και το νερό αυτών των γεωτρήσεων θα κατέληγε στην Παραλίμνη, αλλά η άντληση του από τις γεωτρήσεις Ούγγρας υπερέρχει ποιοτικά.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε το Ν. Μαμάση, ερευνητή του Τομέα Υδατικών Πόρων του ΕΜΠ, για τη βοήθειά του σε θέματα σχετικά με το υδρολογικό ισοζύγιο της Υλίκης, τον Π. Παπαπέτρο, Αναπληρωτή Διευθυντή Υδρογεωλογίας του ΙΓΜΕ, για την παροχή των βασικών δεδομένων για τις γεωτρήσεις, τα οποία ήταν καθοριστικής σημασίας για την εργασία αυτή, τον Δ. Ρόζο, Αναπληρωτή Διευθυντή Τεχνικής Γεωλογίας του ΙΓΜΕ για την βοήθεια του στην ανάλυση του θέματος από γεωλογικής πλευράς, και τον Α. Ξανθάκη, διευθυντικό στέλεχος της ΕΥΔΑΠ, για την περιγραφή του ιστορικού των γεωτρήσεων και για την ευγενική προσφορά δεδομένων για τις γεωτρήσεις.

Αναφορές

Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας κλίμακας 1 : 50 000, φύλλα χάρτη Θήβα και Βάγια, ΙΓΜΕ, Αθήνα, 1970.

Παπαπέτρος Π., Συνολική παρακολούθηση-βελτίωση των συνθηκών ύδρευσης της Αθήνας μέσω γεωτρήσεων, Τεύχη 1-9, ΙΓΜΕ, Αθήνα 1994-1995.

Ρόζος Ε., Παρακολούθηση των γεωτρήσεων της Υλίκης με τη βοήθεια συστήματος γεωγραφικής πληροφορίας, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1997.

ESRI, *Using ArcView GIS*, Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, 1996.