

ΣΥΜΒΟΛΗ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ ΑΡΑΒΗΣΣΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΟΥ ΟΜΩΝΥΜΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ (ΝΟΜΟΥ ΠΕΛΛΑΣ)

Δημόπουλος Γ. και Λουπασάκης Κ.

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ., 54124
Θεσσαλονίκη, gdimop@geo.auth.gr, cloupas@geo.auth.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πηγές της Αραβησσού αναβλύζουν στις νότιες παρυφές του όρους Πάικου. Στο χώρο ανάβλυσής τους λειτουργεί το "Αντλιοστάσιο Αραβησσού" της Ε.Υ.Α.Θ. το οποίο τροφοδοτεί με πόσιμο νερό την πόλη της Θεσσαλονίκης. Στα πλαίσια της παρούσας δημοσίευσης παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της έρευνας που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή με στόχο τη διερεύνηση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών και του υδατικού δυναμικού του υδροφόρου ορίζοντα που τις τροφοδοτεί. Για τη διερεύνηση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών αξιοποιήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα αλλά και δεδομένα από γεωτρητικά προγράμματα που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή. Για τη μελέτη του υδατικού δυναμικού του υδροφόρου ορίζοντα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα που προέκυψαν από τη δοκιμαστική άντληση που πραγματοποιήθηκε με κλιμακωτά αυξανόμενη παροχή στις γεωτρήσεις που λειτουργούν στο χώρο του αντλιοστασίου καθώς επίσης και από τις μετρήσεις παροχής που πραγματοποιήθηκαν στο σύνολο των πηγών που εκδηλώνονται στην ευρύτερη περιοχή του αντλιοστασίου (πηγές Πλατάνου). Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στην ορθολογική αξιοποίηση των αποθεμάτων του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα που εκφορτίζουν οι πηγές Αραβησσού.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πηγές της Αραβησσού αναβλύζουν στις νότιες παρυφές του όρους Πάικου και αποτελούν τη μόνη δίοδο εκφόρτισης του καρστικού υδροφόρου συστήματος που αναπτύσσεται στους Άνω Κρητιδικούς ασβεστόλιθους που καταλαμβάνουν το δυτικό τμήμα του όρους. Από γεωγραφικής άποψης ο χώρος ανάβλυσής των πηγών υπάγεται στα διοικητικά όρια της κοινότητας Αραβησσού του νομού Ημαθίας, βρίσκεται στα ΒΔ του οικιστικού συγκροτήματος της Θεσσαλονίκης και απέχει από αυτό περίπου 70 km. Οι πηγές αυτές τροφοδοτούν με πόσιμο νερό την πόλη της Θεσσαλονίκης και ως εκ τούτου η διερεύνηση του μηχανισμού λειτουργίας τους καθώς και η διερεύνηση του υδατικού δυναμικού του υδροφόρου ορίζοντα που τις τροφοδοτεί παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

Στο χώρο ανάβλυσής των πηγών λειτουργεί το "αντλιοστάσιο Αραβησσού" της Ε.Υ.Α.Θ. (παλαιός Ο.Υ.Θ.). Στο αντλιοστάσιο αυτό έχουν κατασκευαστεί έντεκα παραγωγικές γεωτρήσεις συνολικής παροχетеυτικότητας περίπου 4.700 m³/h και τρία φρεάτια στράγγισης (Ανατολικό, Δυτικό και κεντρικό) τα οποία παροχетеύουν, με φυσική ροή, το νερό που αναβλύζει στις παλαιές θέσεις επιφανειακής εκδήλωσης των πηγών. Οι συνολικές ποσότητες των υδάτων που συγκεντρώνονται από τα τρία φρεάτια στράγγισης και από τις γεωτρήσεις οδηγούνται σε ένα τέταρτο φρεάτιο, το "φρεάτιο Υδροληψίας", και διαμέσου αυτού στον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Η διάταξη του συνόλου των γεωτρήσεων και των φρεατίων παρουσιάζεται στον πιεζομετρικό χάρτη της εικόνας 2.

Σε απόσταση περίπου 150 μέτρα νότια από την τελευταία γεώτρηση του αντλιοστασίου αναβλύζουν οι μη υδρομαστευμένες πηγές "Πλατάνου". Οι παροχές των πηγών αυτών ξεπερνούν πολλές φορές και τα 3000 m³/h. Παράλληλα, έξω από το χώρο του αντλιοστασίου και μέχρι τις πηγές Πλατάνου εντοπίζονται αναβλύσεις, οι οποίες είναι εκδηλώσεις του ίδιου καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Οι ποσότητες νερού που αναβλύζουν από το σύνολο των πηγών που εκδηλώνονται στα κατά-

ντι του αντλιοστασίου αξιοποιούνται για την άρδευση των αγρών της Αραβησσού και του Νέου Μυλοτόπου.

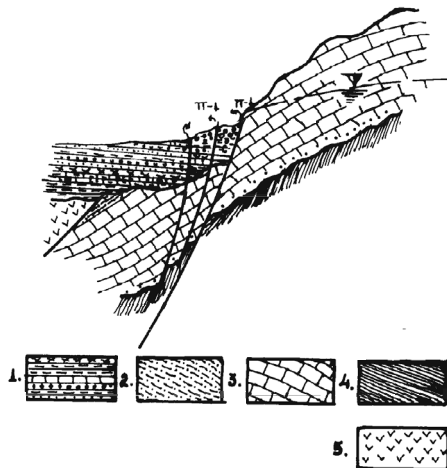
2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

Για τη γεωτεκτονική εξέλιξη του όρους Πάικου έχουν διατυπωθεί κατά καιρούς πολλές αντικρουόμενες απόψεις, οι σημαντικότερες από τις οποίες είναι αυτές του Mercier (1966), των Ricou & Godfriaux (1991) και Brown & Robertson (1994). Σύμφωνα με το Mercier (1966) το όρος Πάικο αποτελεί ένα ύβωμα που διαχώριζε την αύλακα της Αλμωπίας και την αύλακα της Παιονίας, ενώ η σημερινή δομή του είναι αποτέλεσμα της λεπιοειδούς τεκτονικής. Οι Ricou & Godfriaux (1991) εξέφρασαν την άποψη ότι το Πάικο αποτελεί ένα τεκτονικό παράθυρο της Πελαγονικής που αποκαλύπτεται κάτω από επωθημένα τμήματα των οφειολίθων της ζώνης Αξιού. Ενώ οι Brown & Robertson (1994) θεωρούν ότι υπάρχει μια κύρια ασυνέχεια τεκτονικού αλλά και μεταμορφωτικού χαρακτήρα, προ-Κιμερίδιας ηλικίας, η οποία διαχωρίζει τον ορεινό όγκο σε δύο mega-ενότητες, διαφορετικές από αυτές που ορίζονται από τη θεωρία του Mercier.

Παρόλο που οι απόψεις δίστανται σε ότι αφορά τη λιθοστρωματογραφία της ζώνης, όλοι οι ερευνητές συμφωνούν στο γεγονός ότι η περιοχή του όρους Πάικου συνιστά τον τεράστιο θόλο ενός ημιαντικλίνου. Μάλιστα, η δυτική πτέρυγα του αντικλίνου αυτού εμφανίζει την πλήρη συγκρότησή της, ενώ η ανατολική βυθίζεται κάτω από την ενότητα Γευγελής.

Το υδροφόρο σύστημα της Αραβησσού αναπτύσσεται μέσα στον καρστικό ασβεστόλιθο του Άνω Κρητιδικού που καλύπτει σχεδόν ολόκληρη τη δυτική πτέρυγα του μεγααντικλίνου. Μοναδική εκφόρτιση του συστήματος αποτελούν οι ομώνυμες πηγές που εκδηλώνονται στο ΝΝΔ άκρο του όρους (ΒΑ της Κοινότητας Αραβησσού).

Όπως φαίνεται στο σκαρίφημα της εικόνας 1 στη θέση εκδήλωσης των πηγών οι καρστικοί ασβεστόλιθοι εγκλωβίζονται ανάμεσα σε δύο πακέτα αδιαπέρατων σχηματισμών με αποτέλεσμα το υδροφόρο σύστημα της Αραβησσού να συμπεριφέρεται ως ένα κλειστό υπό πίεση υδροφόρο σύστημα. Το αδιαπέρατο υπόβαθρο των ασβεστολίθων αποτελείται από τον Κάτω Κρητιδικό φλύσχη και από το σχιστόλιθο του σχηματισμού Κρώμνης. Ενώ η οροφή του συστήματος αποτελείται από ηφαιστειακά πετρώματα του Κάτω Κρητιδικού, από οφειόλιθους και σερπεντινίτες της Αλμωπίας, από ηφαιστειακά πυροκλαστικά υλικά, από ηφαιστειακούς τόφφους καθώς και από νεογενή αδιαπέρατα αργιλικά ιζήματα. Η μη ομαλή λιθοστρωματογραφική ακολουθία που παρατηρείται είναι αποτέλεσμα της έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής. Η τεκτονική αυτή επέδρασε στον προς τα ΝΝΑ βυθιζόμενο ασβεστόλιθο δημιουργώντας έντονες μεταπτώσεις και φέρνοντάς τον σε τεκτονική επαφή με τον ηφαιστειοιζηματογενή σχηματισμό και με τα μεταγενέστερα αυτού ιζήματα.



Υπόμνημα:

1. Νεώτερα ιζήματα,
2. Φλύσχης Ηωκαίνου,
3. Δολομιτικοί ασβεστόλιθοι, Άνω Κρητιδικού (Υδροφόρο καρστικό σύστημα Αραβησσού),
4. Φλύσχης Κάτω Κρητιδικού,
5. Οφειόλιθοι Αλμωπίας.

Εικόνα 1. Σκαρίφηματική τομή του καρστικού υδροφόρου συστήματος Αραβησσού στη θέση εκδήλωσης των πηγών Αραβησσού.

3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΠΗΓΩΝ

Ο πλέον καθοριστικός παράγοντας για τη διαμόρφωση του μηχανισμού λειτουργίας των πηγών είναι η ρηξιγενής τεκτονική η οποία επέδρασε διαμορφώνοντας τη λιθοστρωματογραφική ακολουθία των σχηματισμών αλλά και το ιδιαίτερο τεκτονικό περιβάλλον της περιοχής των αναβλύσεων.

Η ρηξιγενής τεκτονική που επέδρασε στην ευρύτερη περιοχή διακρίνεται σε δύο κύριες εφελκυστικές φάσεις. Η πρώτη φάση έλαβε χώρα μετά την ολοκλήρωση της αλπικής ορογένεσης κατά τη διάρκεια του Μειο-Πλειοκαίνου, ενώ η δεύτερη κατά τη διάρκεια του Πλειο-Πλειστοκαίνου.

Η πρώτη φάση είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία ή την επαναδραστηριοποίηση κανονικών ρηγμάτων ΒΔ-ΝΑ έως ΒΒΔ-ΝΝΑ διεύθυνσης. Τα ρήγματα αυτά προκάλεσαν την καταβύθιση και τον εγκλωβισμό του Άνω Κρητιδικού ασβεστόλιθου καθώς και το σχηματισμό της πεδιάδας (προλίμνης) των Γιαννισών. Στο συγκεκριμένο λιμναίο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του Πλειο-πλειστοκαίνου αποτέθηκαν τα λιμναία ιζήματα, οι ηφαιστειακοί τόφφοι και τα ηφαιστειακά πυροκλαστικά που, όπως φαίνεται στην τομή της εικόνας 1, υπέρκεινται των ασβεστολίθων.

Η δεύτερη εφελκυστική τεκτονική φάση έλαβε χώρα μετά το τέλος της πλειοκαινικής ιζηματογένεσης και είχε ως αποτέλεσμα την επαναδραστηριοποίηση και τη δημιουργία μεγάλων κανονικών ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ έως Α-Δ διεύθυνσης. Οι διαρρήξεις αυτές έτμησαν τις Πλειο-πλειστοκαινικές αποθέσεις και έδωσαν τη δυνατότητα στον υπό πίεση καρστικό υδροφόρο ορίζοντα να εκδηλωθεί στην επιφάνεια με αρτεσιανισμό δημιουργώντας τις πηγές Αραβησσού. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός λειτουργίας των πηγών τις κατατάσσει στην κατηγορία πηγών "βωκλούζιου" τύπου.

Η μεγάλη καρστικοποίηση των Άνω Κρητιδικών ασβεστολίθων δημιουργεί έντονη δυναμική φόρτισης και εκφόρτισης του υδροφόρου συστήματος με αποτέλεσμα οι παροχές των πηγών να παρουσιάζουν έντονες διακυμάνσεις και πολύ υψηλές τιμές παροχών. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι, σύμφωνα με παλαιότερες μετρήσεις, κατά τη διάρκεια της υδρολογικής περιόδου 1960-61 οι πηγές Αραβησσού παρουσίασαν παροχές που διακυμάνθηκαν από $Q_{\min}=6983 \text{ m}^3/\text{h}$ (Σεπτέμβριος 1961) έως $Q_{\max}=20160 \text{ m}^3/\text{h}$ (Μάιος 1961). Στις παροχές αυτές συμπεριλαμβάνονται και οι παροχές των πηγών Πλατάνου.

Το γεγονός ότι οι πηγές της Αραβησσού τροφοδοτούνται με υπόγεια νερά που προέρχονται απευθείας από τον καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο πιστοποιείται από τη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των πιεζομετρικών φορτίων του φρεάτιου και του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα.

Όπως έδειξε η γεωτρητική έρευνα, που πραγματοποιήθηκε το Σεπτέμβριο του 1999 στον ευρύτερο χώρο εκδήλωσης των πηγών, ο Άνω - Κρητιδικός ασβεστόλιθος συναντάται κάτω από το βάθος των 150m. Κατά τη διάρκεια της διάτρησης και πριν η γεώτρηση φτάσει στο βάθος των 150 m, η στάθμη του νερού στο σωλήνα της γεώτρησης ήταν σταθερή στα 0,80 m από την επιφάνεια του εδάφους. Με τη διάτρηση στρώματος τοφφώδους μαργαϊκού ασβεστόλιθου η στάθμη του νερού ανέβηκε απότομα και η γεώτρηση παρουσίασε αρτεσιανισμό με πιεζομετρικό φορτίο που ξεπέρασε τα 3,0 m από την επιφάνεια. Το γεγονός αυτό δηλώνει την υδραυλική ημι-ανεξαρτησία του καρστικού υδροφόρου συστήματος Αραβησσού από τους χαλαρούς υδροφόρους ορίζοντες που αναπτύσσονται σε νεώτερα υπερκείμενα στρώματα.

Η ανεξαρτησία των υδροφόρων οριζόντων επιβεβαιώνεται και από την παρατήρηση, ότι κοντινές γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί στην ευρύτερη περιοχή των πηγών άλλοτε παρουσιάζουν αρτεσιανισμό (Αξός, Μελίσσι, κ.ά) και άλλοτε παρουσιάζουν υδροστατικές στάθμες πολύ χαμηλότερες από την επιφάνεια του εδάφους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις μεταπτώσεις που έχουν δημιουργήσει στα ιζήματα της περιοχής τα νεώτερα ρήγματα και στο διαφορετικό βάθος εμφάνισης του ασβεστόλιθου. Έτσι, οι γεωτρήσεις που έχουν διανοιχτεί με παρόμοια βάθη άλλοτε συναντούν τον ασβεστόλιθο και παρουσιάζουν αρτεσιανισμό και άλλοτε δεν τον συναντούν και παρουσιάζουν ταπεινωμένες υδροστατικές στάθμες και μικρότερες παροχές.

4 ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΑΝΤΛΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΚΥΡΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΑΝΤΛΙΟΣΤΑΣΙΟΥ ΑΡΑΒΗΣΣΟΥ

Η δοκιμαστική άντληση πραγματοποιήθηκε στις 18 Μαρτίου του 1999. Στόχος της ήταν ο προσδιορισμός της κρίσιμης παροχής που μπορεί να υδρομαστευτεί από τις πηγές χωρίς να διαταραχθούν τα μόνιμα αποθέματα του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Παρόλο που η βέλτιστη περίοδος για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης έρευνας είναι το τέλος της ξηρής περιόδου, η καθορι-

στική σημασία των αντλούμενων ποσοτήτων νερού για την ύδρευση της Θεσσαλονίκης κατέστησε ουσιαστικά αδύνατη τη διακοπή λειτουργίας του αντλιοστασίου κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής.

Για την πραγματοποίηση της δοκιμαστικής άντλησης αρχικά διακόπηκε η λειτουργία των γεωτρήσεων που βρίσκονται στον κύριο χώρο του αντλιοστασίου μέχρι την επίτευξη της απαιτούμενης ισορροπίας. Οι μόνες γεωτρήσεις που εξακολουθούσαν να λειτουργούν ήταν οι αρτεσιανές γεωτρήσεις Γ5, Γ6, Γ7 και Γ9. Οι γεωτρήσεις αυτές παρέμειναν σε λειτουργία προκειμένου να αποτραπεί η εκδήλωση του αρτεσιανισμού και να ελέγχεται η παροχή τους. Οι γεωτρήσεις αυτές έχουν κατασκευαστεί εκτός του κυρίου χώρου του αντλιοστασίου, ανάντη των πηγών Πλατάνου.

Μετά την επίτευξη της ισορροπίας άρχισαν να εφαρμόζονται με κλιμακούμενες παροχές τα πέντε στάδια της δοκιμαστικής άντλησης. Σε κάθε ένα από τα στάδια πραγματοποιούνταν σε τακτά χρονικά διαστήματα μετρήσεις στάθμης σε όλες τις γεωτρήσεις και τα πιεζόμετρα που βρίσκονται στο χώρο του αντλιοστασίου. Η μετάβαση στο επόμενο στάδιο άντλησης αποφασίζονταν όταν οι μεταβολές της στάθμης στο σύνολο των γεωτρήσεων ήταν ελάχιστες ή και μη μετρήσιμες. Η δοκιμαστική άντληση ολοκληρώθηκε με το πέμπτο στάδιο κατά τη διάρκεια του οποίου τέθηκαν σε ταυτόχρονη λειτουργία όλες οι γεωτρήσεις του αντλιοστασίου. Εκτός από τις ποσότητες του νερού που αντλούνταν από τις γεωτρήσεις, κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων άντλησης, στο δίκτυο ύδρευσης της Θεσσαλονίκης διοχετεύονταν επιπλέον 4000 m³/h νερού τα οποία συγκεντρώνονταν, με φυσική ροή, από τα τρία φρεάτια στράγγισης.

Το σύνολο των γεωτρήσεων που τέθηκαν σε λειτουργία σε κάθε ένα από τα στάδια της άντλησης, οι παροχές που υδρομαστεύτηκαν καθώς και τα δεδομένα που αφορούν τις τελικές τιμές των στάθμεων παρουσιάζονται στον πίνακα 1. Αντίστοιχα, στους ισοπιεζομετρικούς χάρτες των εικόνων 2 έως 8 παρουσιάζονται οι ισοπιεζομετρικές επιφάνειες που διαμορφώθηκαν μετά το τέλος των εκάστοτε σταδίων.

Στον πίνακα 1 φαίνεται ότι οι πτώσεις στάθμης που μετρήθηκαν στις αντλούμενες γεωτρήσεις (Γ1, Γ2, Γ8, Γ11 και Γ12) και στα πιεζόμετρα (Γ10, Γ13, Γ14 και Γ15) ήταν πάρα πολύ μικρές ακόμη και κατά το τελευταίο στάδιο της άντλησης. Οι τιμές αυτές στις γεωτρήσεις δεν ξεπέρασαν τα 3,7 m (Γ8) ενώ στα πιεζόμετρα έφτασαν μόλις τα 53 cm (Γ13). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνει τη μεγάλη παροχευτική ικανότητα των πηγών Αραβησσού και το υψηλό δυναμικό του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Μπορεί η δοκιμαστική άντληση να πραγματοποιήθηκε κατά το τέλος του χειμερινού υδρολογικού εξαμήνου, όμως οι μικρές πτώσεις στάθμης που παρατηρήθηκαν δεν παύουν να αποτελούν θετικό στοιχείο για τις δυνατότητες εκμετάλλευσης των πηγών.

Από τους ισοπιεζομετρικούς χάρτες των εικόνων 4 έως 8 διαφαίνεται, ότι οι κώνοι πτώσης στάθμης που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των επιμέρους σταδίων παρουσιάζουν μικρή διάμετρο. Το γεγονός αυτό επίσης επιβεβαιώνει το υψηλό δυναμικό των πηγών Αραβησσού. Το ίδιο συμπέρασμα προκύπτει και από την παρατήρηση της γενικής εικόνας της πτώσης στάθμης στον χώρο του αντλιοστασίου η οποία προσομοιάζει τον κώνο που σχηματίζεται κατά την άντληση φρεατίου μεγάλης διαμέτρου και υψηλής απόδοσης. Η μορφή του ενιαίου κώνου πτώσης στάθμης είναι χαρακτηριστικότερη στα δύο τελευταία στάδια άντλησης (εικόνες 7,8).

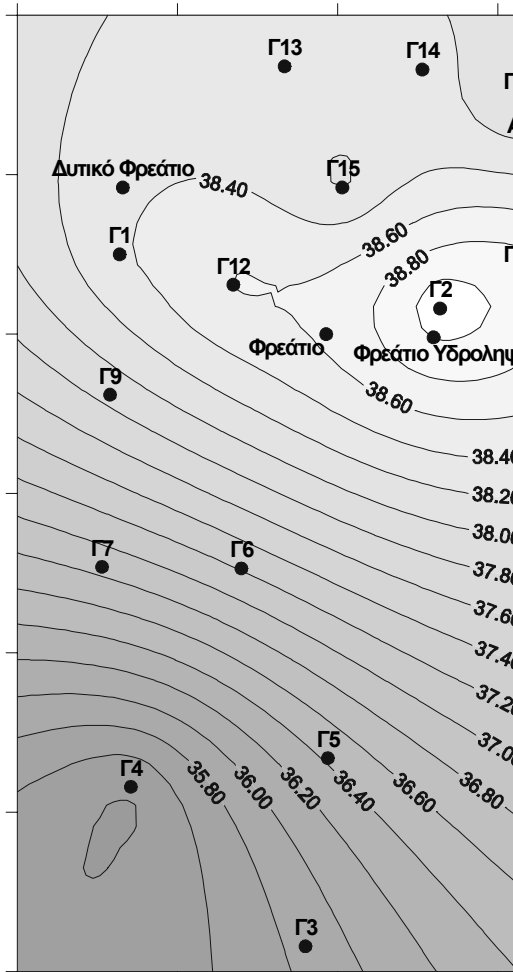
Με βάση τις τιμές της πτώσης στάθμης που μετρήθηκαν στο τέλος του κάθε σταδίου κατασκευάστηκαν οι καμπύλες πτώσης στάθμης – παροχής (εικόνα 9). Από την παρατήρηση των γραφικών παραστάσεων προκύπτει ότι οι καμπύλες τόσο των αντλούμενων γεωτρήσεων όσο και των πιεζομέτρων έχουν τη μορφή σχεδόν οριζόντιας ευθείας γραμμής. Ανωμαλίες εμφανίζονται μόνο στις καμπύλες των αντλούμενων γεωτρήσεων και μόνο στο τμήμα τους που αντιστοιχεί στο στάδιο κατά το οποίο άρχισε η λειτουργία τους.

Η μορφή της σχεδόν οριζόντιας ευθείας γραμμής που εμφανίζουν οι καμπύλες πτώσης στάθμης – παροχής επιβεβαιώνει την υπό πίεση κατάσταση του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα στη θέση ανάβλυσης των πηγών (Σούλιος 1986, Dupuit 1863). Το γεγονός ότι ο γραμμικός χαρακτήρας των καμπυλών δε διαταράσσεται ούτε μετά από την ολοκλήρωση του 5^{ου} σταδίου της άντλησης, υποδηλώνει ότι οι δυνατότητες άντλησης των γεωτρήσεων του αντλιοστασίου (8470 m³/h) δεν επαρκούν για να υποβιβάσουν τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα σε ελεύθερο ή ημιελεύθερο. Η μερική ή πλήρης απελευθέρωση του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να επιβεβαιωθεί από την εμφάνιση κυρτού τμήματος εκθετικής μορφής μετά από την υπέρβαση της κρίσιμης παροχής. Με βάση την παρατήρηση αυτή μπορεί να διατυπωθεί με ασφάλεια το συμπέρασμα ότι κατά το τέλος του χειμερινού υδρολογικού εξαμήνου η κρίσιμη παροχή υπερβαίνει τα 10.000 m³/h.

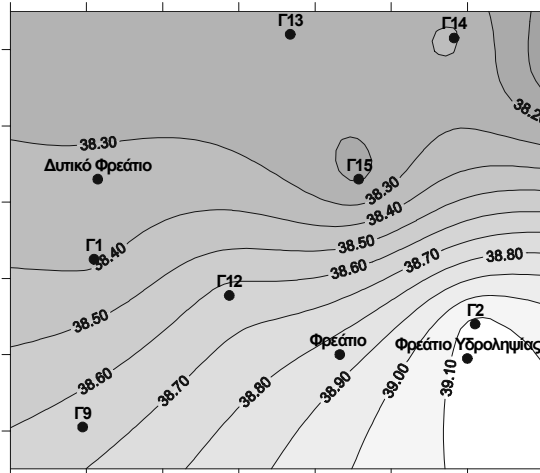
Πίνακας 1. Τα στάδια και τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αντλήσεων στις παραγωγικές γεωτρήσεις του α-ντλιοστασίου Αραβησσού (18/3/1999).

ΣΤΑΔΙΟ ΑΝΤΛΗΣΗΣ		Ημερία	I	II	III	IV	V	
ΑΝΤΛΟΥΜΕΝΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ		Γ5,Γ6, Γ7,Γ9	Γ5,Γ6, Γ7,Γ9, Γ2	Γ5,Γ6, Γ7,Γ9, Γ2,Γ12	Γ5,Γ6, Γ7,Γ9, Γ2,Γ12, Γ11	Γ5,Γ6, Γ7,Γ9, Γ2,Γ12, Γ11,Γ1	Γ5,Γ6, Γ7,Γ9, Γ2,Γ12, Γ11,Γ1, Γ8	
ΠΑΡΟΧΗ		Ελεύθερη Ροή	4000	4000	4000	4000	4000	
ΥΔΡΟΛΗΨΙΑΣ (m ³ /h)		Αντληση	1470	2070	2670	3270	3870	
ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΑ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ (Απόλυτο Υψόμετρο (m) / Αντλούμενη Παροχή (m ³ /h))	Γ1	Στάθμη (m)	2,3	2,33	2,4	2,52	4,3	4,34
	40,68m / 600m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,38	38,35	38,28	38,16	36,38	36,34
		Πτώση Στάθμης (m)	0	0,03	0,1	0,22	2	2,04
		Γ2	Στάθμη (m)	1,73	4,63	4,74	4,95	5,08
	40,87m / 600m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	39,14	36,24	36,13	35,92	35,79	35,73
		Πτώση Στάθμης (m)	0	2,9	3,01	3,22	3,35	3,41
		Γ3	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ					
	33,24m / 0m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	Γ4	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	34,68m / 0m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	Γ5	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	34,60m / 150m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	Γ6	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	34,90m / 120m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
	Γ7	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
35,80m / 600m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ							
Γ8	Στάθμη (m)	2,85	2,88	2,88	3,14	3,18	6,54	
41,20m / 600m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,35	38,32	38,32	38,06	38,02	34,66	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,03	0,03	0,29	0,33	3,69	
	Γ9	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ						
39,33m / 600m ³ /h	ΑΡΤΕΣΙΑΝΗ							
Γ10	Στάθμη (m)	3,05	3,09	3,12	3,28	3,33	3,47	
41,02m / 0 m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	37,97	37,93	37,9	37,74	37,69	37,55	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,04	0,07	0,23	0,28	0,42	
	Γ11	Στάθμη (m)	2,22	2,33	2,37	4,33	4,39	4,55
41,14m / 600m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,92	38,81	38,77	36,81	36,75	36,59	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,11	0,15	2,11	2,17	2,33	
	Γ12	Στάθμη (m)	1,84	1,91	3,05	3,17	3,26	3,3
40,48m / 600m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,64	38,57	37,43	37,31	37,22	37,18	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,07	1,21	1,33	1,42	1,46	
	Γ13	Στάθμη (m)	3,37	3,51	3,57	3,72	3,81	3,9
41,63m / 0m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,26	38,12	38,06	37,91	37,82	37,73	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,14	0,2	0,35	0,44	0,53	
	Γ14	Στάθμη (m)	3,47	3,45	3,5	3,63	3,73	3,81
41,79m / 0 m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,32	38,34	38,29	38,16	38,06	37,98	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	-0,02	0,03	0,16	0,26	0,34	
	Γ15	Στάθμη (m)	2,7	2,8	2,85	3	3,09	3,15
40,87m / 0 m ³ /h	Απόλυτη Στάθμη (m)	38,17	38,07	38,02	37,87	37,78	37,72	
	Πτώση Στάθμης (m)	0	0,1	0,15	0,3	0,39	0,45	

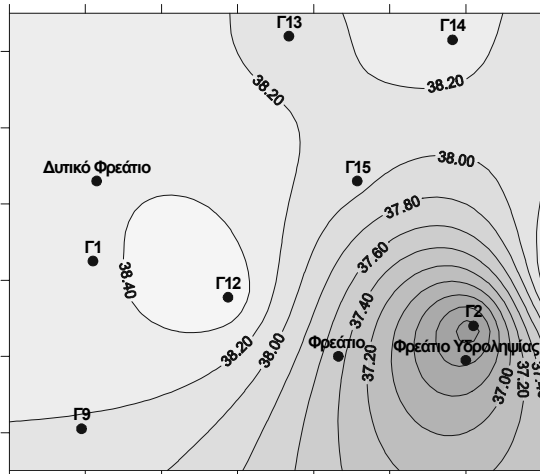
Όπως προαναφέρθηκε, νοτιότερα των πηγών της Αραβησσού εκδηλώνονται οι πηγές Πλατά-νου. Από την ομοιόμορφη κατανομή των ισοπιεζομετρικών καμπυλών στην ευρύτερη περιοχή ανά-βλυσσης των πηγών (εικόνα 2) επιβεβαιώνεται ότι οι πηγές Πλατάνου τροφοδοτούνται από τον υπο-πίεση καρστικό υδροφόρο ορίζοντα που τροφοδοτεί και τις πηγές Αραβησσού.



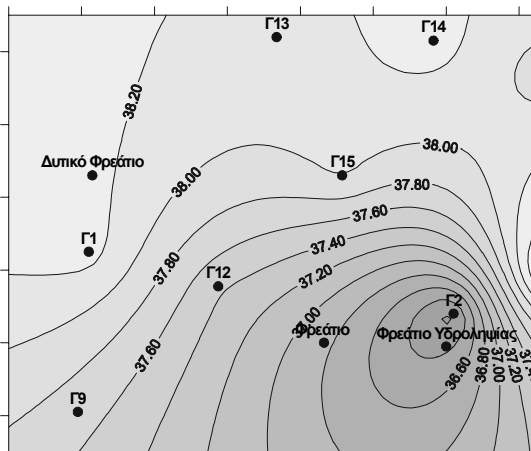
Εικόνα 2. Ισοπιεζομετρικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής του αντλιοστασίου της ΕΥΑΘ και των πηγών Πλατάνου σε κατάσταση ηρεμίας.



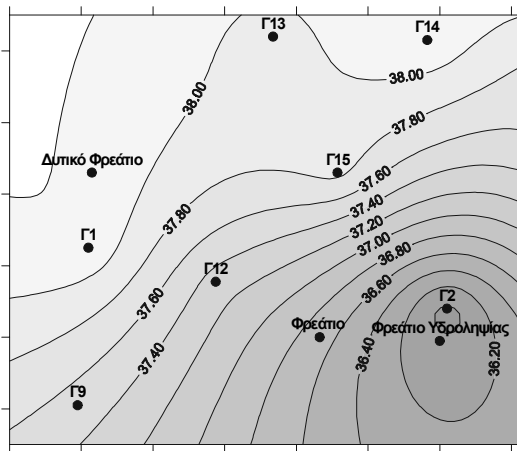
Εικόνα 3. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοσταίου σε Κατάσταση Ηρεμίας.



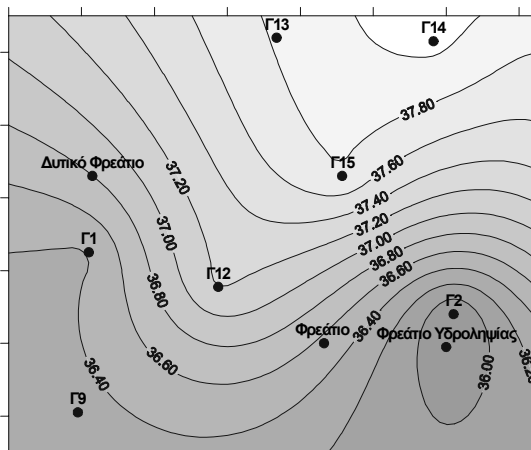
Εικόνα 4. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοστασίου μετά το 1^ο Στάδιο.



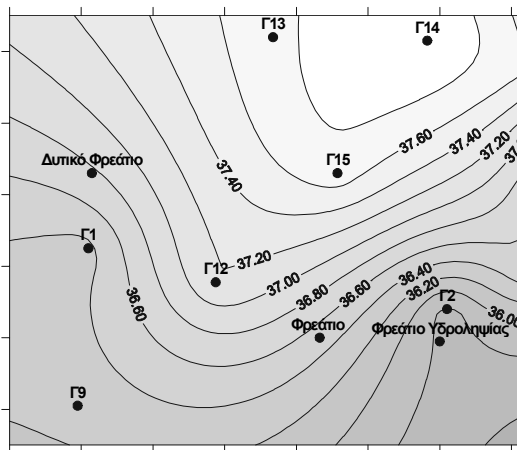
Εικόνα 5. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοστασίου μετά το 2^ο Στάδιο.



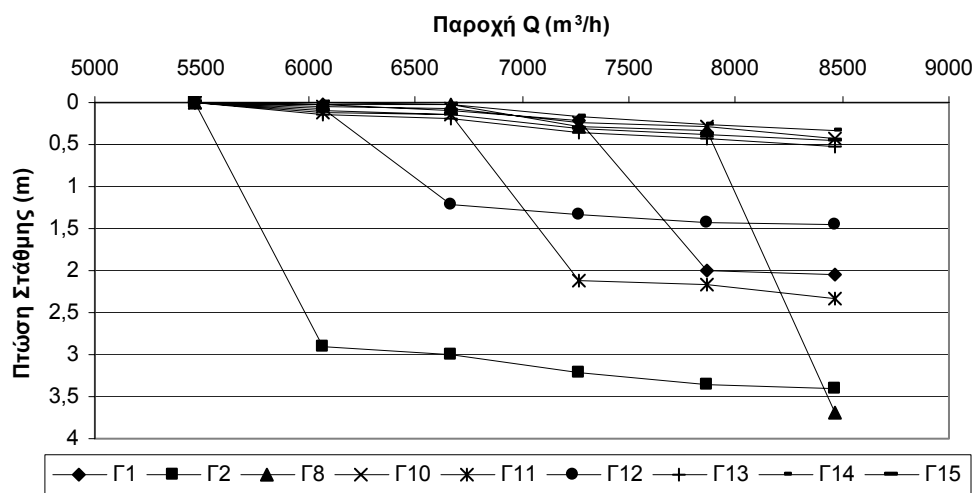
Εικόνα 6. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοστασίου μετά το 3^ο Στάδιο.



Εικόνα 7. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοστασίου μετά το 4^ο Στάδιο.



Εικόνα 8. Ισοπιεζομετρικός χάρτης στη θέση του αντλιοστασίου μετά το 5^ο Στάδιο.



Εικόνα 9. Καμπύλες Πτώσης Στάθμης – Παροχής των γεωτρήσεων και των πιεζομέτρων.

Κατά τη διάρκεια της δοκιμαστικής άντλησης, και προκειμένου να διερευνηθεί η επίδρασή της στις παροχές της πηγής Πλατάνου, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις της παροχής του υδατορέματος που παροχετεύει τα νερά του συνόλου των πηγών που εκδηλώνονται κατάντι του αντλιοστασίου. Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν μετά το τέλος του 2^{ου} και του 5^{ου} σταδίου άντλησης. Από τη σύγκριση των παροχών προέκυψε ότι η αύξηση της αντλούμενης ποσότητας κατά 1800 m³/h προκάλεσε μείωση στην παροχή των πηγών Πλατάνου ίση με 182,05 m³/h. Δηλαδή ενώ η παροχή του υδατορέματος μετά το τέλος του 2^{ου} σταδίου ήταν 3097,2 m³/h μετά το τέλος του 5^{ου} σταδίου μειώθηκε στα 2915,15 m³/h. Η μικρή μείωση της παροχής των πηγών επιβεβαιώνει για μία ακόμα φορά τη μεγάλη δυναμική του καρστικού συστήματος, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα ο ενιαίος κώνος πτώσης στάθμης (εικόνα 8) που αναπτύσσεται στο χώρο του αντλιοστασίου να μην επηρεάζει αισθητά την παροχή των πηγών Πλατάνου.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η σχέση που υπάρχει μεταξύ της ποσότητας του νερού που υδρομαστεύεται από τις πηγές της Αραβησσού και της παροχής των πηγών Πλατάνου κατασκευάστηκε η γραφική παράσταση της εικόνας 10. Στη γραφική παράσταση αυτή συσχετίζονται τιμές της παροχής των πηγών Πλατάνου που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μελέτης με αντίστοιχες τιμές της στάθμης του πιεζόμετρου Γ14. Το σύνολο των προαναφερόμενων τιμών παρουσιάζεται στον πίνακα 2.

Πίνακας 2. Οι τιμές της παροχής των πηγών Πλατάνου και της στάθμης του πιεζόμετρου Γ14.

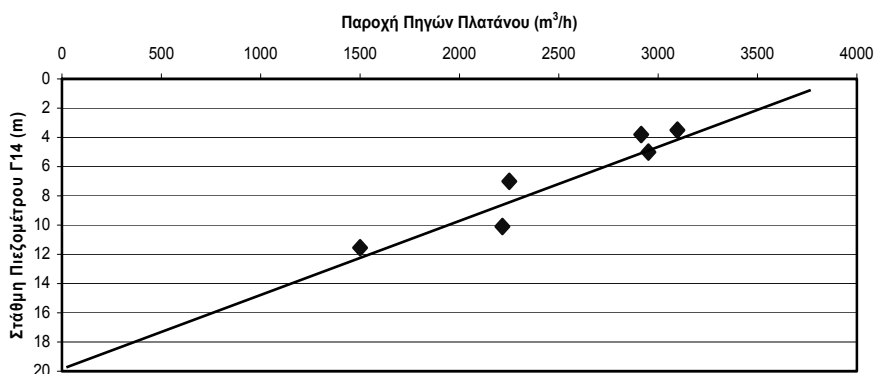
Ημερομηνία	Παροχή Πηγών Πλατάνου (m ³ /h)	Στάθμη Πιεζόμετρου Γ14 (m)
7/8/97	2216,3	10,1
13/5/98	2951,2	5
24/6/98	2250,6	7
5/8/98	1499,7	11,55
18/3/99 (II στάδιο άντλησης)	3097,2	3,5
18/3/99 (V στάδιο άντλησης)	2915,15	3,81

Από τη μελέτη της προαναφερόμενης σχέσης προέκυψε ότι μεταξύ της παροχής των πηγών Πλατάνου και της πιεζομετρικής στάθμης του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα στη θέση του αντλιοστασίου υπάρχει γραμμική σχέση. Μάλιστα η σχέση αυτή μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά με την ακόλουθη εξίσωση:

$$y \approx 19,8 - 0,005 \cdot x \quad (1)$$

όπου: y = Στάθμη Πιεζόμετρου Γ14 (m) & x = Παροχή Πηγών Πλατάνου (m³/h)

Με τη γνώση της προαναφερόμενης σχέσης δίνεται η δυνατότητα της σωστής επιλογής των παροχών με τις οποίες δύναται να αντληθούν οι πηγές της Αραβησσού έτσι ώστε στο υδατόρεμα των πηγών Πλατάνου να διατηρηθούν οι απαιτούμενες για τις αρδευτικές ανάγκες ποσότητες νερού. Έτσι αν υποθέσουμε ότι για τις αρδευτικές ανάγκες της κατάντι περιοχής απαιτούνται περίπου 2000 m³/h τότε η στάθμη της πιεζομετρικής επιφάνειας στη θέση του αντλιοστασίου (πιεζόμετρο Γ14) δεν πρέπει να πέσει κάτω από τα 9,8 m. Από την προαναφερόμενη εξίσωση προκύπτει ότι, εφόσον ο υδροφόρος ορίζοντας εξακολουθεί να λειτουργεί υπό πίεση, η παροχή των πηγών Πλατάνου μηδενίζεται όταν η στάθμη του πιεζόμετρου Γ14 πέσει στα 19,8 m.



Εικόνα 10. Γραφική παράσταση της σχέσης που υπάρχει μεταξύ των τιμών της παροχής των πηγών Πλατάνου και των τιμών της στάθμης του πιεζόμετρου Γ14.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα οι πηγές που εκδηλώνονται στην ευρύτερη περιοχή του αντλιοστασίου της Αραβησσού αποτελούν τη μοναδική διέξοδο εκφόρτισης του καρστικού υπο-πίεση υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται μέσα στον Άνω Κρητιδικό ασβεστόλιθο του όρους Πάικου. Η ιδιαίτερη μη ομαλή λιθοστρωματογραφική ακολουθία που διαμορφώνεται στη θέση ανάβλυσης των πηγών, καθώς και ο τεκτονισμός των σχηματισμών διαμορφώνουν καθοριστικά το μηχανισμό λειτουργίας τους, που τις κατατάσσει στην κατηγορία πηγών "βωκλούζιου" τύπου. Οι πηγές της Αραβησσού αλλά και το σύνολο των αναβλύσεων που εκδηλώνονται μέχρι και τις πηγές Πλατάνου τροφοδοτούνται με υπόγεια νερά που προέρχονται απευθείας από τον καρστικοποιημένο ασβεστόλιθο και όχι από το φρεάτιο υδροφόρο που αναπτύσσεται στα υλικά των υπερκείμενων στρωμάτων. Το γεγονός αυτό πιστοποιείται από τη διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των πιεζομετρικών φορτίων του φρεατίου και του καρστικού υπό πίεση υδροφόρου ορίζοντα.

Από τα δεδομένα της δοκιμαστικής άντλησης προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα, τα οποία και επιβεβαιώνουν τις μεγάλες παροχетеυτικές δυνατότητες των πηγών της Αραβησσού.

1. Οι πτώσεις στάθμης που μετρήθηκαν στις αντλούμενες γεωτρήσεις (Γ1, Γ2, Γ8, Γ11 και Γ12) και στα πιεζόμετρα (Γ10, Γ13, Γ14 και Γ15) ήταν πάρα πολύ μικρές ακόμη και κατά το τελευταίο στάδιο της άντλησης όπου οι υδρομαστευόμενες ποσότητες νερού έφτασαν τα 8470 m³/h.
2. Από την κατανομή των ισοπιεζομετρικών καμπυλών προκύπτει ότι οι κώνοι πτώσης στάθμης που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια των επιμέρους σταδίων παρουσιάζουν μικρή διάμετρο. Επιπλέον, η γενική εικόνα της πτώσης στάθμης στον χώρο του αντλιοστασίου προσομοιάζει τον κώνο που σχηματίζεται κατά την άντληση φρεατίου μεγάλης διαμέτρου και υψηλής απόδοσης.
3. Από τη γραφική παράσταση των σχέσεων πτώσης στάθμης – παροχής προκύπτει ότι οι καμπύλες τόσο των αντλούμενων γεωτρήσεων όσο και των πιεζομέτρων έχουν τη μορφή σχεδόν οριζόντιας ευθείας γραμμής. Η συγκεκριμένη μορφή των καμπυλών επιβεβαιώνει την υπό πίεση κατάσταση του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα στη θέση ανάβλυσης των πηγών.
4. Το γεγονός ότι ο γραμμικός χαρακτήρας των καμπυλών πτώσης στάθμης – παροχής δε διατάσσεται ούτε μετά από την ολοκλήρωση του 5ου σταδίου της άντλησης υποδηλώνει ότι οι δυνατότητες άντλησης των γεωτρήσεων του αντλιοστασίου δεν επαρκούν για να υποβιβάσουν τον καρστικό υδροφόρο ορίζοντα σε ελεύθερο ή ημιελεύθερο.
5. Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στην παροχή του υδατορέματος των πηγών Πλατάνου προέκυψε ότι η κλιμακωτή αύξηση των αντλούμενων παροχών στα τρία τελευταία στάδια της άντλησης προκάλεσε μικρή μείωση στην παροχή του ρέματος. Η μικρή μείωση της παροχής των πηγών Πλατάνου υποδηλώνει ότι ο ενιαίος κώνος πτώσης στάθμης που αναπτύσσεται στο χώρο του αντλιοστασίου δεν επηρεάζει αισθητά την παροχή τους.

Η μεγάλη παροχетеυτική ικανότητα των πηγών της Αραβησσού η οποία υπερβαίνει κατά πολύ τις δυνατότητες του αντλιοστασίου, καθώς και η αδυναμία πραγματοποίησης δοκιμαστικών άντλησεων μετά το πέρας της ξηρής περιόδου δεν επιτρέπουν τον υπολογισμό της κρίσιμης παροχής άντλησης των πηγών. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με την απαίτηση διατήρησης μιας ελάχιστης παροχής στο υδατόρεμα, οδήγησε στην αναζήτηση σχέσεων μεταξύ των τιμών της παροχής των πηγών Πλατάνου και των τιμών του πιεζομετρικού φορτίου στο χώρο του αντλιοστασίου. Η διερεύνηση αυτή οδήγησε στη διατύπωση της γραμμικής σχέσης που αναφέρεται σε προηγούμενη παράγραφο. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα χρήσιμη γιατί επιτρέπει την πλήρη αξιοποίηση των αποθεμάτων του καρστικού υδροφόρου ορίζοντα. Για τον ακριβέστερο προσδιορισμό της συγκεκριμένης γραμμικής σχέσης προτείνεται η πραγματοποίηση επιπλέον μετρήσεων της παροχής του υδατορέματος και της στάθμης του πιεζόμετρου Γ14.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Brown, S., Robertson, A., 1994. New Structural evidence from the Mesozoic – early Tertiary Paicon unit, Northern Greece, *Bul. of the Geol. Soc. Of Greece, vol. XXX/1, 7th Congress, Thessaloniki*, 159 – 170.
- Dupuit, J., 1863. Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les canaux découverts et a travers de terrains perméables, Dunond Paris, 2^e édition, 304 pp.
- Mercier, J., 1966. *Etude géologique des zones internes des Hellénides en Macédoine centrale (Grèce). Contribution a l'étude du métamorphisme et de l'évolution magmatique des zones internes des Hellénides*, Thèses, Paris 1966, Ann. geol. Pays. Hellen., 20 1-792 pp.

1980

- Ricou, L. E., Godfriaux, I., 1991. Une coupe a travers les ophiolites et gneiss allochtones entre le massif pélagonien et la fenêtre du Paikon (grece du Nord), *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 313, Série 2*, 1595 – 1601.
- Σούλιος, Γ., 1986. Γενική Υδρογεωλογία, 2^{ος} Τόμος, Δ. Ροή του υπόγειου νερού προς τα υδρομαστευτικά έργα, Θεσσαλονίκη, University Studios Press, 236 pp.

ABSTRACT

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE RECHARGE – OPERATION MECHANISM OF THE ARAVISSOS' SPRINGS AND TO THE STUDY OF THE WATER SUPPLY'S POTENTIAL OF THE HOMONYMOUS AQUIFER.

Dimopoulos G. and Loupasakis C.

Department Engineering Geology and Hydrogeology, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 54124, Thessaloniki, gdimop@geo.auth.gr, cloupas@geo.auth.gr

The springs of Aravissos gush out at the south foot of mount Paiko. The water resources of these springs are used mainly for covering the necessities of the city of Thessaloniki. For this purpose Thessaloniki Water Supply & Sewerage Company (EYAO) constructed, two decades ago, the pumping-station of Aravissos. This paper presents the results of the research conducted for the study of the recharge – operation mechanism of the springs and the potential of the water supplying aquifer. For the study of the recharge – operation mechanism of the springs we evaluated data coming from the extensive drilling programs conducted in the area and from the substantial bibliographical references. Respectively, for the study of the water supply potential of the aquifer we evaluated the data coming from gradual pumping of the pumping-station's drillings and from the flow measurements of the spring gushing out at the study area. The contribution of this study on the management of the water supplies of the karstic aquifer of Aravissos can become determinatively important.