

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΔΥΟ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΣΤΗ ΜΑΖΑ ΤΗΣ ΡΟΔΟΠΗΣ*

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

ΣΥΝΟΨΗ

Στην εργασία αυτή υπολογίζονται και σχολιάζονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και S σε δύο υπόγειους υδροφορείς που δημιουργήθηκαν ο ένας σε περιβάλλον διακλαδιζόμενου ποταμού(υπό πίεση υδροφόρος) στο Ν. Ροδόπης (ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα) και ο άλλος σε λιμναίο (ελεύθερος υδροφόρος) στη λεκάνη Δράμας. Οι τιμές της ειδικής απόδοσης στον υδροφορέα του Ν. Ροδόπης κυμαίνονται από 0.28 έως 33.3 m³/h/m και στον υδροφορέα της Δράμας από 1.2 έως 10 m³/h/m. Οι τιμές των T και S, προσδιορίστηκαν από τα δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων, χρησιμοποιώντας τρία προγράμματα H/Y, το *SATEM* που βασίζεται στην τροποποιημένη από τους Cooper and Jacob μέθοδο του Theis, και τα *ANALYZE* και *THEISFIT* που βασίζονται στην εξίσωση του Theis. Στο Ν. Ροδόπης η T κυμαίνεται από 99 έως 8613 m²/day και ο S από 1.098·10⁻⁵ έως 9.935·10⁻³. Στη Δράμα η T κυμαίνεται από 95 έως 492 m²/day και ο S από 1.4·10⁻³ έως 4·10⁻². Οι τιμές T και s που έδωσαν τα 2 πρώτα προγράμματα στο Ν. Ροδόπης σχεδόν ταυτίζονται ενώ στη λεκάνη της Δράμας παρουσιάζουν σημαντικότερες αποκλίσεις που αποδίδονται στο διαφορετικό περιβάλλον ιζηματογένεσης και στα επιμέρους χαρακτηριστικά του.

SUMMARY

In this work, the hydraulic parameter values of two aquifer systems are estimated and discussed. One of the two aquifer systems is located in the coastal area of Rhodope Prefecture between Lakes Vistonis and Ismaris and the other in Drama basin. The Rhodope aquifer system is formed within paleo-alluvial deposits of Upper Miocene age of a braided river. The aquifer system of Drama basin is formed within lacustrine deposits of Quaternary age. Aquifer material in both systems derived from the same source of parent material, namely, the crystalline mass of Rhodope. Coarse-grained deposits consisted of sands and gravels predominate in Rhodope aquifer system. Braided river deposits appear to be the most coarse-grained ones in relation to any other type of alluvial depositional environment. The heterogeneity of the hydraulic properties controls the small scale varieties of groundwater velocities. Only fine-grained deposits can be recognized in Drama basin aquifer system. The lacustrine deposits are characterized by an upward-coarsening sequence and a simple offshore decrease in grain size. An abrupt transition from alluvial fan environment to offshore lacustrine facies is observed in the southern part of Drama basin. A high potential confined aquifer is formed in Rhodope area with a thickness up to 90 m and consists of one, two and usually three distinct beds which are in hydraulic communication. This aquifer system displays a variety of transmissivity values only in a small scale. Generally a narrow field of fluctuation concerning the transmissivity values is observed in this area. Based on data from 217 wells (mean depth 136 m) the specific yield values range from 0.28 to 33.3 m³/h/m. The respective values of specific yield for the Drama aquifer system ranges from 1.2 to 10 m³/h/m. The values of storage coefficient s, transmissivity T and hydraulic conductivity k have been determined through the evaluation of a considerable number (36) of pumping tests. One or more piezometers were used in all of the pumping tests. In order to determine the hydraulic parameter the following computer programs were used: 1. *SATEM*, 2. *ANALYZE* and 3. *THEISFIT*. *SATEM* is based on the Jacob's modification of the Theis method; meanwhile the other two are based on Theis equation. *THEISFIT* program make use of a statistical approach. In Rhodope aquifer system, T ranges from 99 to 8613 m²/day, with a mean value of 35 m²/day, k ranges from 16 to 176 m/day, with a mean value of 35 m/day and storage coefficient s ranges from 1.098x10⁻⁵ to 9.935x10⁻³, with a mean value of 2.3x10⁻³. In Drama aquifer system

* ESTIMATION AND EVALUATION OF HYDRAULIC PARAMETERS OF TWO AQUIFER SYSTEMS FORMED IN DIFFERENT SEDIMENTARY ENVIRONMENTS WITHIN THE RHODOPE MASS

1. Δημοζοιτείο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
2. Δ.Ε.Η Δ/ση Λιγνιτικών Ερευνών, Κλάσμα επίλεξης Γεωερευνητικών Έργων, 66100 Δράμα

transmissivity ranges from 95 to 492 m²/day, storage coefficient from 3x10⁻¹ to 4X10⁻¹. The values of T and s in the Rhodope system as determined by using SATEM and ANALYZE are almost identical, meanwhile the respective values determined by using THEISFIT differ considerably from the previous ones. In Drama aquifer system values of transmissivity and storage coefficient as determined by using the three computer programs display potential differences among them. The different values can be attributed to the environment of deposition of aquifers material (e.g characteristics of geometry, aquifer type, lithological and facies patterns, and size distribution of aquifer material). The small scale heterogeneity in Rhodope aquifer system does not affect the large scale values of transmissivity and storage coefficient and the aquifer behaves like an almost homogeneous medium. The Drama aquifer system is characterized by large scale vertical heterogeneity which affects seriously the range of transmissivity and storage coefficient values as determined by using different methods. In the last occasion, it became apparent that often it is extremely difficult to have reliable estimates of the hydraulic parameter values, whenever classical methods based on theoretical curves are used. The accurate evaluation of the hydraulic parameters play an important role in constructing groundwater models (e.g. flow, mass transport or management models) simulating the behavior of groundwater systems.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Υδραυλικές παράμετροι, ιζηματογενές περιβάλλον, δοκιμαστικές αντλήσεις

KEY WORDS: hydraulic parameters, sedimentary environment, pumping tests

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πορώδες, η υδραυλική αγωγιμότητα και τα μέτρα ελαστικότητας είναι οι πιο θεμελιώδεις φυσικές ιδιότητες των πορώδων γεωλογικών υλικών για την εκτίμηση των σεζετιζών παραμορφώσεων και των ρυθμών ροής στα πορώδη υλικά (Houston and Kasim, 1982). Γενικά οι ιδιότητες των πορώδων υλικών προσδιορίζονται από ολοκληρωμένα προγράμματα δοκιμών εργαστηρίου, δοκιμών πεδίου και επίλυση του αντιστρόφου προβλήματος μέσω μιας αριθμητικής μεθόδου ικανής να προσομοιώσει τις οριακές συνθήκες που χρησιμοποιούνται στις δοκιμές πεδίου. Στην πράξη συνήθως προσεγγίζονται παράμετροι όπως η υδραυλική αγωγιμότητα k , η μεταβιβαστικότητα T και ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S . Η υδραυλική αγωγιμότητα k είναι μία από τις πιο σημαντικές ιδιότητες ενός πορώδους υλικού, επειδή ελέγχει το ρυθμό της κίνησης του νερού μέσω του υλικού και είναι για το λόγο αυτό θεμελιώδους σημασίας για την επίλυση των προβλημάτων ροής των ρευστών. Οι ευρείας κλίμακας δοκιμαστικές αντλήσεις με γεωτρήσεις παρατήρησης αποτελούν την πιο αποτελεσματική μέθοδο για την απόκτηση αξιόπιστων τιμών των υδραυλικών χαρακτηριστικών των γεωλογικών σχηματισμών μέσω των οποίων κινείται το υπόγειο νερό. Το πλαίσιο για τη σωστή διενέργεια των δοκιμαστικών αντλήσεων και οι μέθοδοι αξιολόγησής τους δίνονται λεπτομερώς από τους Driscoll (1986) και Kruseman et. al. (1992). Στην εργασία αυτή υπολογίστηκαν οι υδραυλικές παράμετροι μέσω της εκτέλεσης δοκιμαστικών αντλήσεων με τη χρήση πιεζομέτρων σε δύο υδροφορείς που δημιουργήθηκαν σε διαφορετικό



Σχήμα 1. Χάρτης με τις θέσεις των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων της Λεκάνης Δράμας και της παράκτιας

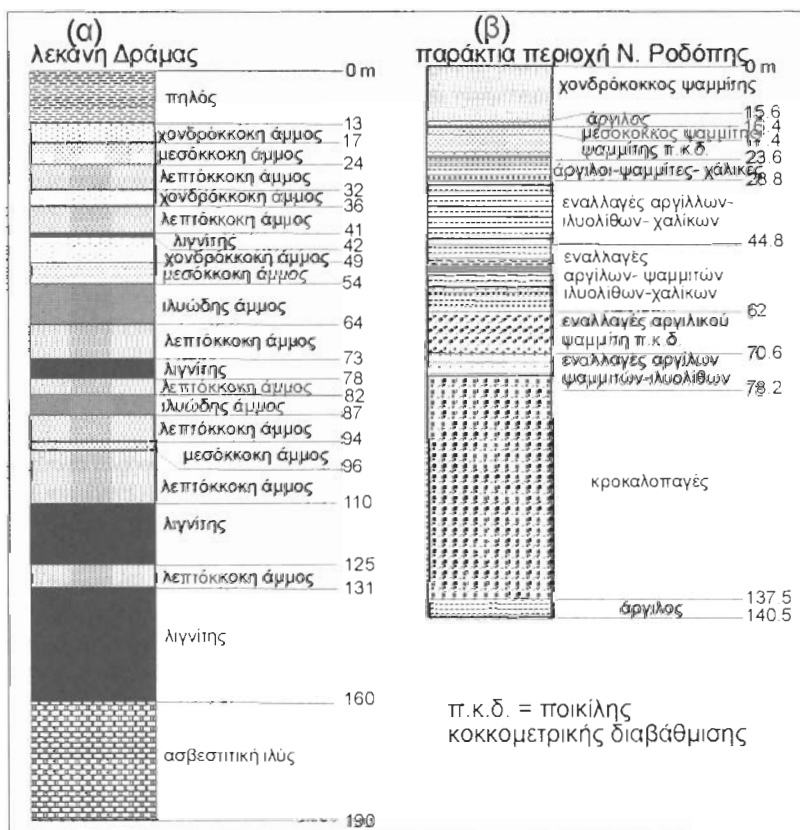
Ροδόπης. Πηλοεικής του Ν. Ροδόπης
 Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος", Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.
 Figure 1. Map displaying the locations of the Drama aquifer system and coastal Rhodope aquifer system.

ιζηματογενές περιβάλλον με κοινή όμως πηγή προέλευσης του υλικού την ορεινή μάζα της Ροδόπης και που εντοπίζονται στο παρακτίτιο τμήμα Ν. Ροδόπης και στη λεζάνη Δράμας (σχήμα 1). Ο ορθός υπολογισμός των υδρανάλων παραμέτρων των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων παίζει καθοριστικό ρόλο στη συντάξη μοντέλων διαχείρισης και ιδιαίτερα στην καλύτερη προσομοίωση των υπόγειων φερσιών συστημάτων.

2. ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Παράκτιο τμήμα του Ν. Ροδόπης

Στην παρακτίτιο περιοχή του Ν. Ροδόπης, που βρισκείται ανάμεσα στις λίμνες Ισμορίδα και Βιτοινίδα, απαντούν σημαντικού πάχους αλλουβιακές αποθέσεις ανοι-μειοζανιτικής ηλικίας με οξείωση από χονδροζοζκα υλικά. Άμμοις, χαλίκια και γρανίτες που αποτέθηκαν στο ιζηματογενές περιβάλλον ενός διακλαδιζόμενου τύπου ποταμού (braided river). Τα ιζηματογενές αυτό περιβάλλον περιγράφεται λεπτομερώς από τον Πεταλά (1997). Οι διακλαδιζόμενοι ποταμοί χαρακτηρίζονται από μια σειρά αβαθών και σημαντικού εύρους ποτάμιων ζοιτών και φραγιών (bars). Το μέγεθος των αλλουβιακών υλικών μπορεί να είναι μεγαλύτερο των 20 cm σε διάμετρο, αλλά το μέσο μέγεθος ζιτανέμεται στο πεδίο των 2 έως 64 mm με ταξινόμηση που ποικίλει. Οι διακλαδιζόμενοι ποταμοί παρουσιάζουν (Miall, 1977) υψηλή τιμή της σχέσης εύρους/βάθους που ξεπερνά την τιμή 300, με ατόπιμη επιφανεία και χαμηλές εγχολτώσεις, ενώ εμφανίζονται ταχύως μετατοπιζόμενες ζοίτες και ενδοζοίτιοι φραγμοί. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι αποθέσεις τους είναι πιο χονδροζοζκες από οποιονδήποτε άλλο ποτάμιο τύπο με κυριαρχία της άμμοις και των γρανιτών. Η χαρακτηριστική ετερογένεια των υδρανάλων ιδιοτήτων ελέγχει κυρίως τη μικρή κλίμακας ποικιλία των ταχυτήτων των υπόγειων νερού μέσω των γεωλογικών υλικών. Στο περιβάλλον αυτό το κυλιόμενο φορτίο υλικών (bedload) είναι μεγαλύτερο



Σχήμα 2.(α) Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στη λεζάνη της Δράμας. (β). Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στην παρακτίτιο περιοχή του Ν. Ροδόπης.

Figure 2.(a) Representative well section from the Drama basin. (b). Representative well section from the Rhodope coastal area.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεοφράστου" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

του 11% του συνόλου των ιζημάτων. Η απόθεση αλλουβιακών υλικών προκαλείται κυρίως από τη μείωση της μεταφορικής ικανότητας, η οποία με τη σειρά της ελέγχεται από παράγοντες όπως η κλίση και το εύρος του υδατορροεύματος, η μείωση της ταχύτητας ροής και οι απώλειες της ροής μέσω διηθήσεων. Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στο ιζηματογενές αυτό περιβάλλον αυτό δίνεται στο σχήμα 2β.

Πεδινό τμήμα λεκάνης Δράμας

Στη λεκάνη της Δράμας τα ρήγματα των κρυσπέδων στα νότια περιθώρια της δημιουργούν κατά το Ανώτερο Πλειόκαινο συνθήκες ευνοϊκές για την απόθεση λιμναίων ιζημάτων (ασβεσטיτική ιλύς ή γκλίτια-μαρροσκοπικοί και χωρίς ιστό λιμναίοι σχηματισμοί αποτελούμενοι από οργανικά κατάλοιπα και συσζύματα διαφόρων προελεύσεων (Μελιδώνης, 1966). Πρόκειται για ένα τυπικό λιμναίο περιβάλλον (Picard and High, Jr, 1981) το οποίο αναπτύσσεται από το Μέσο Πλειόκαινο έως το Ολόκαινο. Η επεξεργασία των δεδομένων από σημαντικό αριθμό κοκκομετρικών αναλύσεων (Πανίλας και Καλλέργης, 1997) έδειξε μείωση του μεγέθους των υλικών από την περιφέρεια προς το κεντρικό τμήμα της λεκάνης όπως και μια κατακόρυφη διαβάθμιση από λεπτόκοκκες προς πιο αδρόκοκκες φάσεις από κάτω προς τα πάνω. Η κατακόρυφη αυτή διάταξη των υλικών χαρακτηρίζει την ιδανική ακολουθία των λιμναίων αποθέσεων (Visher, 1965). Τα σημαντικού πάχους ιζήματα καλύπτουν όλο το ανάπτυγμα του πεδινού τμήματος.

Το λιμναίο περιβάλλον της περιοχής περιλαμβάνει κατά πάσα πιθανότητα περισσότερους από ένα κύκλους δημιουργίας και πλήρωσης της λίμνης. Επίσης μέρος από τα αδρομερέστερα υλικά στο ανώτερο στρώμα αναριστούν τη βαθμιαία μετάβαση σε ένα περιβάλλον ποτάμιου πεδίου καθώς η λίμνη πληροούται με υλικά. Το πρότυπο των φάσεων αλλάζει επαναλαμβανόμενα προκαλώντας ρηγδαίες επαναδιευθετήσιες της κοκκομετρικής διαβάθμισης. Στα περιθώρια της λίμνης (ιδιαίτερα στο νότιο τμήμα της λεκάνης και πλησίον των παρυφών του Παγγαίου και Μενοίκιου είναι χαρακτηριστική η απότομη μετάβαση από αμιγώς λιμναία σε αλλουβιακά ιζήματα σημαντικού πάχους (αλλουβιακά ριπίδια) εξαιτίας της μεγαλύτερης συνίζησης που επικράτησε στο τμήμα αυτό της λεκάνης. Οι δύο αυτοί τύποι ιζημάτων “συρράπτονται” πλευρικά. Η επικράτηση κατά το Μέσο Πλειοστόκαινο τελαματικών συνθηκών στη λεκάνη της Δράμας, ευνοεί το σχηματισμό οργανικών ιζημάτων (τύρφη-λιγνίτης) σ’ όλο το ανάπτυγμα της και με πάχη που αυξάνονται βαθμιαία από τα δυτικά προς ανατολικά (έως 160 m), δημιουργώντας τα λιγνιτικό κοίτασμα της Δράμας (Μηρουσούλης et al 1991) και το κοίτασμα της τύρφης-λιγνίτη των Φιλίππων ανατολικότερα. Στους βορειοδυτικούς και κεντρικούς τομείς, όπου οι συνθήκες δεν ευνοήσαν το σχηματισμό λιγνιτικών στρωμάτων, παρατηρείται σταδιακή αύξηση του πάχους των λεπτομερών χαλαρών κλαστικών υλικών από μεσόκοκκες έως λεπτόκοκκες άμμους με συνδετικό ασβεσטיτικό υλικό. Η διαδικασία της απόθεσης τους έλαβε χώρα σε ήρεμο περιβάλλον απόθεσης που δεν διαταράσσεται από κάποια τεκτονική δραστηριότητα καθόλη την περίοδο από το Μέσο Πλειοστόκαινο έως το Ολόκαινο. Αντιπροσωπευτική τομή γεώτρησης στο ιζηματογενές αυτό περιβάλλον δίνεται στο σχήμα 2α.

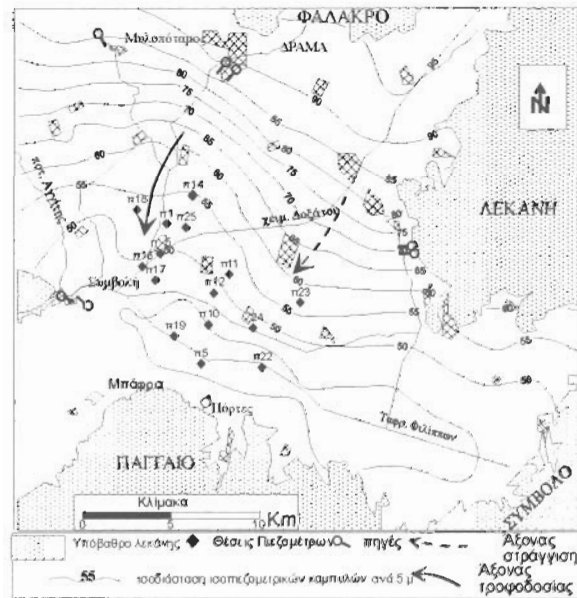
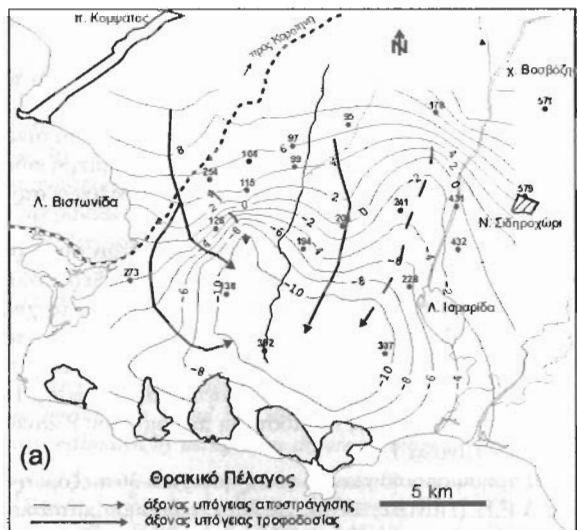
3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υδροφορία των περιοχών

Λεπτομερές περιγραφή των υδρογεωλογικών χαρακτηριστικών των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων για τις δύο περιοχές δίνεται από τους Πεταλά (1997), Πεταλά και Διαμαντή (1994), Σταματάκη κ.ά. (1992), και Πανίλα (1998).

Παράκτιο τμήμα Ν. Ροδόπης

Η υδροφορία των χονδρόκοκκων υλικών μέσα στις αποθέσεις του τμήματος ανάμεσα στις λίμνες Ισμαρίδα και Βιστωνίδα φέρει “αποτυπωμένα” τα αποτελέσματα “ελέγχου” στα χαρακτηριστικά των υλικών που δομούν το υδροφόρο σύστημα και στην υδραυλική αγωγιμότητά τους του μοντέλου της απόθεσης του “διακλαδιζόμενου” ποταμού. Μέσα στα χονδρόκοκκα αυτά υλικά σχηματίζεται ένας πολύ σημαντικός υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση, ο οποίος στη βάση του αλλά και πλευρικά οριοθετείται από την παρουσία της μειοκαινικής γριζορράφινης αργίλου. Ο κύριος όγκος του αποτελείται από ένα και συνήθως δύο και τρία στρώματα σημαντικού πάχους και σε υδραυλική επικοινωνία μεταξύ τους. Σε μικρή κλίμακα χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία στην υδραυλική αγωγιμότητα όπου ιδιαίτερο ρόλο παίζει η παρουσία διασπαιρούμενων στρώσεων. Οι γεωτρήσεις διέτρησαν υδροφόρα στρώματα πάχους μέχρι και 90 m. Η στατιστική επεξεργασία των δεδομένων 217 γεωτρήσεων (μέσου βάθους 136 m) έδωσε μέση ειδική απόδοση των γεωτρήσεων 6.3 m³/h/m με πεδίο τιμών από 0.28 έως 33.3 m³/h/m. Στο σχήμα 3α εμφανίζεται ο πιεζομετρικός χάρτης του έτους 1992 (31 Μαρτίου) που βασίζεται στα δεδομένα 80 γεωτρήσεων με τους κύριους άξονες αποστράγγισης και τροφοδοσίας. Ο χάρτης αυτός φανερώνει αξιολογικά υδραυλικά χαρακτηριστικά αλλά και Βιβλιοθήκη Θεωρητικής Γεωλογίας Α.Π.Θ. τις γεωτρήσεις σε μεγάλο τμήμα της περιοχής.



Σχήμα 3.(α) Πιεζομετρικός χάρτης 31^{ης} Μαρτίου 1992 του υπόγειου υδροφόρου συστήματος παράκτιας περιοχής Ν. Ροδόπης. (β) Πιεζομετρικός χάρτης του υπόγειου υδροφόρου συστήματος της λεκάνης Δράμας.
Figure 3.(a) Piezometric map of the Rhodope coastal aquifer system (March 1992). (b) Piezometric map of the quaternary aquifer system of the Drama basin.

Πεδινό λεκάνης Δράμας

Στις Τεταρτογενείς αποθέσεις της λεκάνης Δράμας που υπέρχεινται των αδιαπέρατων λιγνιτικών στρωμάτων αναπτύσσεται ένας επιτεταμένος ελεύθερος υδροφόρος οριζοντας με μέγιστο πάχος τα 120 m. Η υδροφορία αναπτύσσεται μέσα σε μεσόκοκκα έως λεπτόκοκκα υλικά χαρακτηριστικό το ήζυμο περιβάλλοντος απόθεσης που έλαβε χώρα κατά το Τεταρτογενές. Η επεξεργασία των αντλητικών δεδομένων (Πανίλιας και Καλλέργης, 1997) έδωσε μικρή ειδική απόδοση των γεωτρήσεων (από 1.2 έως 4.9 m³/h/m). Η τριχοτόμηση του υδροφορέα προς το νότιο τμήμα λόγω της παρεμβολής δυο μικρών λιγνιτικών στρωμάτων δημιουργεί δυο υδροφόρους οριζοντες περιορισμένης Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος 1ο Τμήμα Γεωλογίας ΑΠΘ χάρτης (σχήμα 3β) που βασιζεται στα δεδομένα 94 γεωτρήσεων φανερώνει ότι ο υδροφόρος οριζοντας παρουσιάζει ακτινωτή μορφή

με συγγλίνουσες και απογγλίνουσες γραμμές ροής και με αποστάσεις των ισοπιεζομετρικών χαμπύλων να αυξάνουν προς τα χαμηλά τμήματα της πεδιάδας.

Η πλευριική τροφοδοσία των καρσιτικών νερών που συντελείται στο νότιο τμήμα της λεκάνης (παρυφές ορέων Παργαίου και Μενοϊζίου) μέσω των αλλοβιβαίων ριπιδίων, δημιουργούν σημαντική υδροφορία (5 έως 10 m³/h.m) περιορισμένη όμως έκτασης λόγω της πλευριικής συρραφής με τα αδιαπέρατα ληνιτικά στρώματα της πεδιάδας της Δράμιας. Ο υδροφορέας στο τμήμα αυτό παρουσιάζει μικρή ειδική απόδοση από 0.7 έως 1.2 m³/h.m όταν μεταπίπτει σε αδρανικό εξαιτίας της παρουσίας των ληνιτικών στρωμάτων.

Δοκιμαστικές αντλήσεις

Ο συντελεστής εναποθήκευσης S μαζί με τη μεταβιβασιμότητα T και την υδραυλική αγωγιμότητα k , είναι οι τρεις παράμετροι των οποίων προσδιορίστηκαν οι τιμές μέσω της επεξεργασίας δεδομένων από σημαντικό αριθμό δοκιμαστικών αντλήσεων. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιήθηκαν για το χαρακτηρισμό της υδραυλικής συμπεριφοράς των υδροφόρων οριζώντων στις δυο περιοχές έρευνας. Ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων για το τμήμα ανάμεσα στις λίμνες Ιομαρίδα και Βιστωνίδα, βεβαιώθηκε στην αξιοποίηση δεδομένων από 20 δοκιμαστικές αντλήσεις με τη χρησιμοποίηση γεωτρήσεων παρατήρησης. Τα πρωτογενή στοιχεία αυτών όπως παροχή άντλησης Q , διάροξη άντλησης t , απόσταση πιεζομέτρου r καθώς και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους δίνονται στον Πίνακα 1.

Για τη λεκάνη της Δράμιας χρησιμοποιήθηκαν 16 γεωτρήσεις και 36 πιεζόμετρα που κατασκευάστηκαν στο πλαίσιο προγράμματος της Δ.Ε.Η (Πανίλας 1998). Σε κάθε γεώτρηση κατασκευάστηκαν δυο έως τέσσερα δορυφορικά πιεζόμετρα. Η διάταξη των πιεζομέτρων και η απόστασή τους καθορίστηκε με βάση τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων. Η διάταξη των φίλτροσωλήνων και το βάθος των πιεζομέτρων ήταν ίδια με αυτή των γεωτρήσεων. Όλες οι γεωτρήσεις θεωρήθηκαν πλήρεις καθώς διατέρασαν το στεγανό δάπεδο του υδροφορέα. Τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των αντλητικών δεδομένων δίνονται στον Πίνακα 2.

4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων των αντλήσεων των δυο περιοχών με τη χρήση πιεζομέτρων και τον υπολογισμό των παραμέτρων T και S χρησιμοποιήθηκαν τρία προγράμματα Η/Υ:

1. Το πρόγραμμα Η/Υ *SATEM* (Boonstra, 1994) και ιδιαίτερα η υπορουτίνα *JACOB* που βασίζεται στην τροποποιημένη από τους Cooper and Jacob (1946) μέθοδο του Theis (1935). Η ανάλυση με το πρόγραμμα *JACOB* βασίζεται μόνο στο ευθύγραμμο τμήμα της χαμπύλης χρόνου/πτώσης στάθμης και η εφαρμογή του εξαρτάται από την παρουσία ή μη αυτού του ευθύγραμμου τμήματος. Η μέθοδος αυτή διέπεται από περιοριστικούς όρους όπως: α) η αντλούμενη γεώτρηση διατερνά όλο το πάχος του υδροφορέα και β) ο χρόνος άντλησης είναι επαρκής ώστε ένα ευθύγραμμο τμήμα να είναι ορατό στην χαμπύλη χρόνου/πτώσης στάθμης. Η όλη διαδικασία και οι υποθέσεις στις οποίες βασίζεται δίνονται αναλυτικά από τον Boonstra (1994) στο κεφάλαιο 4.
2. Το πρόγραμμα Η/Υ *ANALYSE* (Clarke, 1988.) το οποίο βασίζεται στην εξίσωση του Theis (1935) και ο υπολογισμός των παραμέτρων γίνεται μέσω γραμμικής συσχέτισης του επιλεγμένου τμήματος του ημιλογαριθμικού διαγράμματος χρόνου/πτώσης στάθμης.
3. Η υπορουτίνα του *ANALYSE* Η/Υ *THEISFIT*, (McElwee, 1980) που επιτρέπει τον υπολογισμό των T και S με το μικρότερο δυνατό σφάλμα (root square error), στηριζόμενο στην καλύτερη σύμπτωση (fit) στατιστικά (μετά από συνεχείς επαναλήψεις) μιας χαμπύλης τύπου Theis με το επιλεγμένο τμήμα της χαμπύλης των πραγματικών μετρήσεων χρόνου/πτώσης στάθμης.

Τα δύο τελευταία προγράμματα παρέχουν τη δυνατότητα εξαίρεσης των εκτός των ορίων σημείων.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των ανωτέρω προγραμμάτων εμφανίζονται στους Πίνακες 1 και 2. Συγκρίνοντας τις τιμές των T και S προκύπτουν τα παρακάτω:

- 1) Για την περιοχή μεταξύ των λιμνών Ιομαρίδα και Βιστωνίδα οι τιμές T και S από τα προγράμματα *JACOB* και *ANALYSE* σχεδόν ταυτίζονται ή είναι παραπλήσιες. Μια σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στις τιμές T και S που προέκυψαν από το πρόγραμμα *THEISFIT*. Οι τιμές του T είναι συνήθως μικρότερες απ' ό,τι στα δύο προηγούμενα προγράμματα, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις παρουσιάζεται και μια διαφοροποίηση ως προς την τάξη μεγέθους του S . Γενικά θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας αριθμός από αιτίες (Boonstra, 1989) συντελεί ώστε οι χαμπύλες χρόνου-πτώσης στάθμης να απογγλίνουν από τις θεωρητικές. Η επαρκής γνώση επομένως των γεωλογικών συνθηκών στη θέση της δοκιμαστικής άντλησης είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή ανάλυση των πληροφοριών. Ειδικότερα στην περιοχή η T κυμαίνεται από 99 έως 8613 m²/d. Η υδροφορία της περιοχής χαρακτηρίζεται σύμφωνα με την ταξινόμηση του U.S. Bu-

reau of Reclamation (1977) από μεγάλη υδροπερατότητα (τιμές $10^{-5} < K < 10^{-7}$). Οι τιμές της μεταβιβασιμότητας T του υδροφόρου συστήματος είναι μεγαλύτερες της τιμής $0.015 \text{ m}^2/\text{sec}$ και χαρακτηρίζουν σύμφωνα με τον Καλλέογρη (1986) καλούς υδροφόρους που προσφέρονται για εκμετάλλευση. Οι τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας S κυμαίνονται από $1.098 \cdot 10^{-5}$ έως $9.935 \cdot 10^{-3}$, με μέση τιμή $2.3 \cdot 10^{-3}$. Δεδομένου ότι οι τυπικές τιμές του συντελεστή υδροχωρητικότητας S είναι για τους υπό πίεση υδροφόρους (Driscoll, 1986) από 10^{-5} έως 10^{-3} , είναι φανερό ότι η υδροφορία εδώ όσον αφορά τον S χαρακτηρίζεται από τιμές που προσεγγίζουν τα ανώτερα όρια του πεδίου αυτού. Τα στοιχεία αυτά έρχονται να επιβεβαιώσουν τα συμπεράσματα που αναφέρονται στα υδραυλικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων της περιοχής και τα οποία προέκυψαν από τη μελέτη της υδροχημείας των υπόγειων νερών (χαρακτηριστική κατανομή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και του SiO_2), τα ιζηματολογικά χαρακτηριστικά των υλικών που φιλοξενούν την υδροφορία και τις μακρόχρονες παρατηρήσεις της πορείας της πιεζομετρικής στάθμης (Πετράκης, 1997).

Πίνακας 1. Τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και s στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης μεταξύ των Λ. Ισμαρίδας και Βιστωνίδας που προέκυψαν με τη χρήση τριών προγραμμάτων Η/Υ.

Table 1. Values of hydraulic parameters T and s in the coastal Rhodope area between Lakes Vistonis and Ismaris, estimated by using three different computer programs.

A/Γ	T_{Jacob}	T_{Theis}	$T_{\text{Theis-Fit}}$	S_{Jacob}	S_{Theis}	$S_{\text{Theis-Fit}}$	Q (m ³ /day)	t (min)	r (m)	σφάλμα
P203	2411	2426	1746	$5 \cdot 10^3$	$4.72 \cdot 10^3$	$7.45 \cdot 10^3$	1920	1980	349.3	0.004
P571	433	433	429	$9.8 \cdot 10^4$	$1.184 \cdot 10^5$	$1.03 \cdot 10^5$	1357	180	13.5	0.038
P431	1578	1582	1532	$2.9 \cdot 10^2$	$3.07 \cdot 10^2$	$3.28 \cdot 10^2$	840	700	19.2	0.034
P138	116	116	62	$1.3 \cdot 10^4$	$1.28 \cdot 10^4$	$1.92 \cdot 10^4$	1680	450	322.0	0.027
P241	5517	5516	4303	$2 \cdot 10^3$	$1.85 \cdot 10^3$	$2.86 \cdot 10^3$	1920	420	334.5	0.002
P115	3087	3087	2252	$1.9 \cdot 10^3$	$1.65 \cdot 10^3$	$2.65 \cdot 10^3$	3216	480	363.5	0.003
P104	452	452	450	$3 \cdot 10^3$	$3.7 \cdot 10^3$	$2.87 \cdot 10^3$	2160	820	12.4	0.049
P95	99	99	86	$8.9 \cdot 10^3$	$8.61 \cdot 10^3$	$1.14 \cdot 10^4$	2016	347	19.3	0.047
P178	271	271	240	$2.3 \cdot 10^3$	$2.08 \cdot 10^3$	$3.43 \cdot 10^3$	1680	900	20.0	0.003
P97	1604	1603	984	$4.9 \cdot 10^3$	$4.68 \cdot 10^3$	$7.15 \cdot 10^3$	2148	480	187.4	0.004
P579	231	229	139	$7.9 \cdot 10^5$	$7.04 \cdot 10^5$	$1.29 \cdot 10^4$	2016	390	389.6	0.019
P99	8615	8613	7342	$1.5 \cdot 10^3$	$1.16 \cdot 10^3$	$1.98 \cdot 10^3$	2928	480	437.0	0.002
P126	6527	6728	3845	$1.9 \cdot 10^3$	$1.16 \cdot 10^3$	$3.52 \cdot 10^3$	2898	570	433.0	0.005
P254	213.7	214	202	$9.1 \cdot 10^3$	$8.57 \cdot 10^3$	$10.69 \cdot 10^3$	1984	420	16.5	0.041
P432	2017	2010	1086	$1.2 \cdot 10^3$	$1.20 \cdot 10^3$	$1.71 \cdot 10^3$	1080	420	431.0	0.002
P194	1389	1394	640	$4.9 \cdot 10^4$	$3.88 \cdot 10^4$	$7.93 \cdot 10^4$	6780	480	480.0	0.007
P392	1890	1890	1469	$8.2 \cdot 10^4$	$7.14 \cdot 10^3$	$1.19 \cdot 10^3$	2160	490	327.0	0.005
P228	130	130	119	$5.6 \cdot 10^4$	$4.93 \cdot 10^4$	$7.36 \cdot 10^4$	1440	300	19.2	0.001
P273	293	293	156	$1.8 \cdot 10^4$	$1.94 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	2580	480	473.0	0.025
P307	1043	1043	707	$1.3 \cdot 10^4$	$1.08 \cdot 10^4$	$2.29 \cdot 10^4$	936	300	400.0	0.003

2) Για τον υδροφόρο των τετατογενών αποθέσεων της λεκάνης Δράμης παρατηρούμε ότι οι τιμές των T και S που προέκυψαν από τα τρία προγράμματα παρουσιάζουν σε κάθε πιεζόμετρο σημαντικές αποκλίσεις. Μικρότερες αποκλίσεις παρουσιάζουν οι γεωτρήσεις στα όρια της περιοχής οι οποίες εντοπίζονται σε τμήματα του υδροφόρου που δομοίνονται από πιο αδρανή υλικά. Οι τρεις διαφορετικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν εδώ για τον υπολογισμό των υδραυλικών παραμέτρων έδωσαν και διαφορετικές τιμές η κάθε μια. Αυτό έρχεται σε συμφωνία με την αναφορά των Freeze και Cherry (1979), περί της μη μοναδικότητας της ερμηνείας των δοκιμασιών αντλήσεων, διότι πολλές φορές η ταύτιση της πειραματικής καμπύλης με τη θεωρητική δεν σημαίνει ότι ο υδροφόρος εκπληρώνει τις προϋποθέσεις στις οποίες βασίζεται η χρήση της πρότυπης καμπύλης. Οι αποκλίσεις των τιμών των παραμέτρων στο κεντρικό τμήμα της πεδιάδας Δράμης αυξάνουν με τη μείωση του μεγέθους των υλικών των υδροφόρων στρωμάτων. Οι τιμές της μεταβιβασιμότητας στο κεντρικό τμήμα της λεκάνης λαμβάνει χαμηλές τιμές T από 95 έως $172 \text{ m}^2/\text{day}$ που αποδίδονται στην επικράτηση λεπτομερών υλικών. Ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S κυμαίνεται από $1.4 \cdot 10^{-3}$ έως $4 \cdot 10^{-4}$. Υψηλότερες τιμές της T που κυμαίνονται από 173 έως $492 \text{ m}^2/\text{day}$ παρατηρούνται στα περιθώρια της λεκάνης. Ο συντελεστής υδροχωρητικότητας S στο ίδιο τμήμα του υδροφόρου κυμαίνεται από $3 \cdot 10^{-3}$ έως $3.0 \cdot 10^{-4}$. Φηφιάκη Βιβλίδου, Ξεσφραγιστός, 4ο Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ. κεντρικού τμήματος της λεκάνης. Η αύξηση αυτή των τιμών συνδέεται με τα αυξανόμενα πάχη των υδροπερατών σχηματισμών στην

περιοχή αυτή αλλά και με την αύξηση της παρουσίας πιο αδρόκοκκων υλικών. Ο υδροφόρος που υπόκειται των αδιαπέραστων λιγνιτιζών στρωμάτων και περιορίζεται στο νότιο τμήμα της λεκάνης λαμβάνει τιμές μεταβιβασιμότητας T από 26 έως 95 m^2/day και τιμές συντελεστή εναποθήκευσης s από 1×10^{-4} έως 1×10^{-1} . Στην περίπτωση των επάλληλων υδροφόρων στρωμάτων οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων που λαμβάνουμε από τις δοκιμαστικές αντλήσεις είναι οι μέσες τιμές του συγκεκριμένου τμήματος του υδροφόρου συστήματος και όχι οι ιδιαίτερες εκείνες τιμές που χωροαπορρίζουν το κάθε υδροφόρο στρώμα.

Πίνακας 2. Τιμές των υδραυλικών παραμέτρων T και s του τεταρτογενούς υδροφόρου της λεκάνης Δράμας όπως υπολογίστηκαν με τη χρήση τριών προγραμμάτων ΗΥ.

Table 2. Values of hydraulic parameters T and s in the Drama quaternary aquifer system, estimated by using three different computer programs.

A/Γ	T_{Jacob}	T_{Theis}	$T_{Theis-Fit}$	S_{Jacob}	S_{Theis}	$S_{Theis-Fit}$	$Q (m^3/day)$	$t (min)$	$r (m)$
Π1α	251		950	$1.4 \cdot 10^{-2}$		$7.5 \cdot 10^{-3}$	1584	3360	25.0
Π1β	251		259	$2.0 \cdot 10^{-3}$		$1.4 \cdot 10^{-2}$	1584	3360	43.0
Π2α	138		156	$2.4 \cdot 10^{-3}$		$2.0 \cdot 10^{-3}$	1560	3420	25.0
Π2β	311		216	$4.3 \cdot 10^{-3}$		$2.8 \cdot 10^{-4}$	1560	3420	37.5
Π5α	415		328	$3.0 \cdot 10^{-3}$		$2.2 \cdot 10^{-1}$	4608	2400	18.0
Π5β	467		337	$2.9 \cdot 10^{-1}$		$3.9 \cdot 10^{-1}$	4608	2400	25.0
Π10α	190	173	320	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$		1008	2760	11.0
Π10β	130	173	117	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	1008	2760	23.0
Π11α	449		311	$5.6 \cdot 10^{-3}$		$1.3 \cdot 10^{-2}$	696	3120	25.0
Π11γ	181			$6.1 \cdot 10^{-4}$			696	3120	60.7
Π12α	216	199	173	$1.1 \cdot 10^{-2}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	$1.7 \cdot 10^{-2}$	1560	3000	43.4
Π14α	138	216	199	$1.6 \cdot 10^{-3}$	$8.9 \cdot 10^{-4}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	1440	4440	28.0
Π14β	251	233	156	$2.3 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	1440	4440	24.3
Π14γ	173		259	$3.0 \cdot 10^{-3}$		$6.7 \cdot 10^{-4}$	1440	4440	73.0
Π15β		173	251		$9.6 \cdot 10^{-3}$	$6.3 \cdot 10^{-3}$	528	1320	24.0
Π15γ	285	173	164	$6.4 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$	$7.4 \cdot 10^{-3}$	528	1320	51.8
Π16α	95	95	95	$6.3 \cdot 10^{-2}$	$3.3 \cdot 10^{-3}$	$4.2 \cdot 10^{-3}$	1224	2100	31.06
Π16β	328	259	302	$3.1 \cdot 10^{-2}$	$3.4 \cdot 10^{-3}$	$3.4 \cdot 10^{-2}$	1224	2100	25.7
Π16γ	276	242	259	$5.3 \cdot 10^{-3}$	$4.3 \cdot 10^{-3}$	$5.4 \cdot 10^{-3}$	1224	2100	47.4
Π17α	207	458	207	$1.7 \cdot 10^{-2}$	$4.6 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-2}$	1560	4260	43.0
Π17β	458	242	207	$1.6 \cdot 10^{-2}$	$7.1 \cdot 10^{-3}$	$8.0 \cdot 10^{-3}$	1560	4260	32.0
Π17γ	112	104	112	$2.8 \cdot 10^{-4}$	$2.7 \cdot 10^{-3}$	$2.3 \cdot 10^{-4}$	1560	4260	63.0
Π18α	752	354	553	$3.0 \cdot 10^{-2}$	$8.1 \cdot 10^{-2}$	$6.7 \cdot 10^{-2}$	1440	1680	32.2
Π18β	346	302	233	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$3.5 \cdot 10^{-2}$	$3.5 \cdot 10^{-2}$	1440	1680	22.0
Π18γ		760	760		$1.0 \cdot 10^{-2}$	$8.7 \cdot 10^{-3}$	1440	1680	45.3
Π19α	95	65	24	$2.0 \cdot 10^{-2}$	$1.8 \cdot 10^{-3}$	$3.0 \cdot 10^{-3}$	576	960	33.2
Π19β	138	48	66	$6.4 \cdot 10^{-3}$	$7.5 \cdot 10^{-3}$	$7.9 \cdot 10^{-3}$	576	960	28.1
Π19γ	86	38	32	$5.3 \cdot 10^{-3}$	$5.5 \cdot 10^{-3}$	$5.6 \cdot 10^{-3}$	576	960	32.15
Π22δ	156	147	173	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$2.2 \cdot 10^{-3}$	2040	2736	45.98
Π22γ	156		164	$1.1 \cdot 10^{-3}$		$1.2 \cdot 10^{-3}$	2040	2736	44.82
Π22β	259	380	501	$2.3 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-4}$	2040	2736	45.62
Π22α	207		432	$6.7 \cdot 10^{-4}$		$2.0 \cdot 10^{-3}$	2040	2736	950.0
Π23α	86	95	86	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-3}$	$1.3 \cdot 10^{-3}$	996	2730	27.0
Π24α	79	95	82	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$9.4 \cdot 10^{-4}$	$2.0 \cdot 10^{-5}$	1560	2820	49.3
Π25α	1123		950	$1.5 \cdot 10^{-3}$		$3.0 \cdot 10^{-3}$	2440	3060	52.72
Π25β	562		596	$6.5 \cdot 10^{-4}$		$2.0 \cdot 10^{-5}$	2440	3060	53.42

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων στα υδροφόρα συστήματα, στην παράκτια περιοχή του Ν. Ροδόπης ανάμεσα στις λίμνες Ιομαρίδα και Βιστωνίδα και στη λεκάνη της Δράμας παρουσιάζουν όπως αυτά υπολογίστηκαν με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Υδροφόρο σύστημα Ν. Ροδόπης - Οι τιμές των T και S που βασίζονται μέθοδο του Jacob και στην εξίσωση του Theis σχεδόν ταυτίζονται ή είναι παραλήψεις. Μια σημαντική διαφοροποίηση παρατηρείται στις τιμές T και S που προέκυψαν από το πρόγραμμα THEISFIT. Οι τιμές του T είναι συνήθως μικρότερες απ' ότι στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, ενώ μερικές φορές παρουσιάζεται και μια διαφοροποίηση ως προς την τάξη μεγέθους του S .
2. Υδροφόρο σύστημα λεκάνης της Δράμας: Οι τιμές των T και S που προέκυψαν με τη χρήση των τριών μεθόδων παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις. Οι μικρότερες αποκλίσεις παρατηρούνται σε γεωτρήσεις στα όρια της περιοχής και οι μεγαλύτερες σε γεωτρήσεις του κεντρικού τμήματος της λεκάνης.

Οι διαφορετικές τιμές της μεταβιβασιμότητας T (υψηλότερες στο Ν. Ροδόπης) που παρουσιάζουν τα δυο υδροφόρα συστήματα θα πρέπει να αποδοθούν στο περιβάλλον ιζηματογένεσης και πιο συγκεκριμένα: 1. στα χαρακτηριστικά της γεωμετρίας των δύο συστημάτων και στον τύπο της υδροφορίας, 2. στο μέγεθος της διαμέτρου των υλικών και στην κατανομή τους στο χώρο. Στο περιβάλλον του διακλαδιζόμενου ποταμού, έχουμε επικράτηση των αδρόκοκκων υλικών, ενώ στην πεδιάδα της Δράμας κυριαρχούν οι λεπτόκοκκες φάσεις, 3. στα λιθολογικά πρότυπα και στα πρότυπα των διαφόρων φάσεων που συνθέτουν το διαφορετικό ιζηματογενές περιβάλλον.

Στο υδροφόρο σύστημα του Ν. Ροδόπης η έντονη ετερογένεια των υλικών σε μικρή κλίμακα δεν επηρεάζει ιδιαίτερα τη διακύμανση των τιμών των υδραυλικών παραμέτρων σε μεγάλη κλίμακα. Στο υδροφόρο σύστημα της Δράμας η ετερογένεια εμφανίζεται σε μεγάλη κλίμακα κυρίως κατά την κατακόρυφη έννοια και επηρεάζει, τόσο την ερμηνεία των διαφόρων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την προσέγγιση των υδραυλικών παραμέτρων όσο και αυτή καθαυτή την απόδοση του υδροφόρου συστήματος (περιορισμένης δυναμικότητας).

Στα χονδρόκοκα υλικά, όπως στην περίπτωση του Ν. Ροδόπης, ο υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων με τη χρήση διαφορετικών μεθόδων, παρουσιάζει ελάχιστες αποκλίσεις στις τιμές, σε αντίθεση με το πεδινό τμήμα της λεκάνης Δράμας όπου παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις που σχετίζονται με την παρουσία λεπτομερών υλικών και τη διάταξή τους στο ανάπτυγμα του υδροφορέα. Στην τελευταία περίπτωση διαφαίνεται και η δυσκολία εκτίμησης αξιόπιστων τιμών των υδραυλικών παραμέτρων όπου χρησιμοποιήθηκαν κλασιζες μέθοδοι που βασίζονται στη χρήση πρότυπων θεωρητικών καμπυλών. Το διαφορετικό ιζηματογενές περιβάλλον, ακόμη και όταν η πηγή προέλευσης του υλικού είναι κοινή, παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση των τιμών των διαφόρων υδραυλικών παραμέτρων. Ο αξιόπιστος υπολογισμός των υδραυλικών παραμέτρων είναι ιδιαίτερα σημαντικός στη σύνταξη των διαφόρων μοντέλων (π.χ. ροής, μεταφοράς ρύπαντών ή διαχειριστικών) που προσομοιώνουν τη συμπεριφορά των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BOONSTRA, J., (1994). SATEM: Selected Aquifer Test Evaluation Methods. A microcomputer program, ILRI publication 48, 80 p.
- CLARKE, D., (1988). Groundwater Discharge tests: 2. Simulation and analysis. Elsevier, Amsterdam, Developments in Water Science, Vol. 37, p. 319.
- COOPER, H. H. AND C. E. JACOB, (1946). A generalised graphical method for evaluating formation constants and summarising well history. Am. Geophys. Union Trans., Vol. 27, pp. 526-534.
- DRISCOLL, F. G., (1986). Groundwater and wells. 2nd ed. St. Paul, Johnson Division.
- FREEZE, R. A. AND J. CHERRY (1979). Groundwater. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs N.J., 604 p.
- HOUSTON, W. N. AND A. G. KASIM, (1982). Physical Properties of Porous Geologic materials In: Recent Trends in Hydrogeology, Geological Society of America, Special Paper 189, ed. T. N. Narasimhan, pp. 143-162.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. 2 Τόμοι. Έκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- KRUSEMAN, G. P. AND N. A. DE RIDDER, (1992). Analysis and evaluation of pumping test data. Second edition, Publication 47. International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, Wageningen, 377 p.
- MCELWEE, C. D., (1980). The Theis Equation: An evaluation, sensitivity to storage and transmissivity, and automatic fit of pump test data. Kansas Geol. Surv., Univ. of Kansas, USA.
- ΜΕΛΙΔΥΝΗΣ, Ν., (1966). Φύλλα Γεωλογική και κοιτασματολογική πολεοτέχνη. Γ.Ε.Υ. Αθήνα.
- MIALL ANDREW, D., (1977). A review of the braided-river depositional environment. Earth Science Re-

- views, Vol. 13, pp. 1-62.
- ΜΠΡΟΥΣΟΥΑΝΗΣ Ι. Π. ΓΙΑΚΚΟΥΪΝΗΣ, Ε. ΛΑΡΠΟΠΑΝΝΗΣ ΚΑΙ Ι. ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ. (1991): "Γεωλογική κοιτασματολογική μελέτη κοιτάσματος λιγνίτη Δράμας". Ι.Γ.Μ.Ε., 1990.
- ΠΑΝΙΛΑΣ Σ. ΚΑΙ Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ. (1997). Υδρογεωλογικές συνθήκες της πεδιάδας Δράμας. 4^ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσ/νίκη 1997, σελ. 376 – 392.
- ΠΑΝΙΛΑΣ Σ. ΚΑΙ Γ. ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ. (1997). Διερεύνηση των υδρογεωλογικών συνθηκών και της υδροχημείας των υπόγειων νερών στο λιγνιτικό πεδίο της Δράμας. 4^ο Υδρογεωλογικό Συνέδριο, Θεσ/νίκη, 1997 σελ. 393 – 407.
- ΠΑΝΙΛΑΣ, Σ., (1998). Υδρογεωλογικά προβλήματα κατά την εξμετάλλευση λιγνιτιζόν κοιτασμάτων με τη μέθοδο της ανοιχτής εκσκαφής. Η περίπτωση του λιγνιτικού κοιτάσματος Δράμας. Διδακτορική Διατριβή Πανεπιστημίου Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας.
- ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ. ΚΑΙ Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ. (1994). Υδρογεωλογική διερεύνηση του υδροφόρου συστήματος των νεογενών αποθέσεων ανατολικού τμήματος λεζάνης Ξάνθης-Κομοτηνής. Πρακτικά 2^ο Υδρογεωλογικού Συνεδρίου της Ελληνικής Επιτροπής Υδρογεωλογίας, σελ. 403-418.
- ΠΕΤΑΛΑΣ, Χ., (1997). Ανάλυση υδροφόρων συστημάτων στο ετερογενές και παραότιο πεδίο Ν. Ροδόπης. Διδακτορική Διατριβή Δημοζογίτου Πανεπιστημίου Θράκης-Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Ξάνθη 288 σελ.
- PICARD, M.D. AND L.R. HIGH, JR., 1981. Physical stratigraphy of ancient lacustrine deposits. In 'Recent and ancient nonmarine depositional environments: Models for exploration' SEPM Special Publication No. 31, eds. F.G. Ethridge and R.M. Flores, pp. 233-259.
- ΣΤΑΜΑΤΑΚΗΣ, Γ., Ι. ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ ΚΑΙ Χ. ΠΕΤΑΛΑΣ (1992). Υπολογισμός εμπειρικής σχέσης για την εκτίμηση της μεταφοριζότητας (T) σ' ένα εκτεταμένο λοφώδες ετερογενές πεδίο - επιβεβαίωση της ετερογένειας. Πρακτικά 5^ο Πανελλήνιου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Λάρισα, Νοέμβριος 1992, σελ. 251-258.
- THEIS, C. V., (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well groundwater storage. Am. Geophys. Union Trans., Vol. 16, pp. 519-524.
- VISHER, G.S., 1965. Use of vertical profile in environmental reconstruction: Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull., Vol. 49, pp. 41-61.