

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Διπλωματική Εργασία:

*«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά
σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»*

ΚΙΣΣΑ ΑΘΗΝΑ

Εξεταστική Επιτροπή:

ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (επιβλέπων)

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΚΑΛΟΓΕΡΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

Χανιά, Οκτώβριος 2007

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με βοήθησαν στην ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή Γιώργο Καρατζά. Ευχαριστώ ακόμα τον κ. Μπαλαμώτη της Διεύθυνσης Εγγείων Βελτιώσεων και Διαχείρισης Υδάτινων Πόρων Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης Λάρισας για την πολύτιμη βοήθειά του στη συλλογή του βιβλιογραφικού υλικού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	6
----------------------	----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

1.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ.....	7
1.1.1 Εισαγωγή.....	7
1.1.2 Πρωτόκολλο μοντελοποίησης.....	8
1.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ.....	9
1.2.1 Εξαγωγή θεμελιωδών εξισώσεων.....	12
1.2.2 Αριθμητικές μέθοδοι.....	16
1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ.....	17
1.3.1 Κατασκευή του θεμελιώδους μοντέλου.....	17
1.3.2 Σχεδιασμός του πλέγματος.....	19
1.3.3 Προσδιορισμός παραμέτρων.....	21
1.4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	22
1.4.1 Είδη οριακών συνθηκών.....	22
1.4.2 Τοποθέτηση ορίων.....	23
1.4.3 Προσομοίωση ορίων.....	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PTC

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ PTC.....	27
2.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΥΠΟΓΕΙΑ ΡΟΗ.....	29

2.2.1 Θεμελιώδης εξίσωση.....	29
2.2.2 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων.....	30
2.2.3 Εφαρμογή της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών.....	32
2.2.4 Οριακές συνθήκες.....	34
2.2.5 Συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα.....	36
2.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΥΠΩΝ.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	40
3.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ.....	40
3.3 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ.....	42
3.4 ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ - ΤΑΜΙΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ.....	43
3.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ.....	46
3.6 ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	49
3.7 ΣΥΝΟΨΗ.....	50

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 ΘΕΣΗ – ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ.....	52
4.2 ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	54
4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	56
4.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	59
4.4 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ.....	61
4.5 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ.....	62
4.6 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ	64
4.7 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ.....	64
4.8 ΧΗΜΙΣΜΟΣ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	65

4.9 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	66
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	69
5.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ PTC.....	69
5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	71
5.4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	81
6.2 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	82
6.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ.....	85
6.3.1 Σενάριο 1 ^ο	85
6.3.2 Σενάριο 2 ^ο	88
6.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ.....	91
6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	103

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	106
--------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	107
-----------------------	------------

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία γίνεται προσομοίωση της υπόγειας ροής της πεδιάδας του Πηνειού ποταμού, με χρήση του μαθηματικού μοντέλου τρισδιάστατης υπόγειας ροής Princeton Transport Code (PTC). Η περιοχή μελέτης ανήκει στο ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας και εντάσσεται στην ευρύτερη πεδινή περιοχή της Κάρλας. Στην περιοχή αυτή, η επέκταση των αντλήσεων και η υπερεκμετάλλευση του υδατικού δυναμικού για αρδευτικούς κυρίως λόγους, έχει σαν αποτέλεσμα τη συστηματική κάμψη της πιεζομετρικής επιφάνειας, η οποία συνδυάζεται με τη δυσκολία επαναπλήρωσης των αφαιρούμενων ποσοτήτων, δεδομένης της απόστασης της περιοχής από τις ζώνες τροφοδοσίας.

Αρχικά γίνεται αναφορά στο θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο βασίζεται η μοντελοποίηση της υπόγειας ροής και στη χρήση των μοντέλων στην ερμηνεία και στην πρόβλεψη των υδρολογικών συνθηκών. Περιγράφεται αναλυτικότερα το μοντέλο PTC καθώς και οι εξισώσεις στις οποίες βασίζεται η λειτουργία του.

Στη συνέχεια γίνεται σύντομη αναφορά στο υδρολογικό καθεστώς που επικρατεί σε ολόκληρη τη Θεσσαλία, με έμφαση στο ελλειμματικό ισοζύγιο που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια λόγω της υπερεκμετάλλευσης, και στις επιπτώσεις αυτής, σε υπόγεια και επιφανειακά νερά. Ακολουθεί η περιγραφή της περιοχής μελέτης, που περιλαμβάνει εξέταση γεωλογικών, υδρολογικών και κλιματικών χαρακτηριστικών της περιοχής.

Με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά γίνεται βαθμονόμηση του μοντέλου, τα αποτελέσματα της οποίας αποτελούν την αρχική κατάσταση που θα χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση με τις τιμές που προκύπτουν από τα εναλλακτικά σενάρια. Με τα σενάρια αυτά γίνεται προσομοίωση της ροής σε περίπτωση ημιδιπλασιασμού ή διπλασιασμού των παροχών άντλησης. Παράλληλα πραγματοποιείται ανάλυση ευαισθησίας της υδραυλικής αγωγιμότητας. Η κατανομή των υδραυλικών υψών που προκύπτουν τόσο από τα σενάρια, όσο και από την ανάλυση ευαισθησίας αναλύονται διεξοδικά στα συμπεράσματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΡΟΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

1.1 ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΡΟΗΣ

1.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

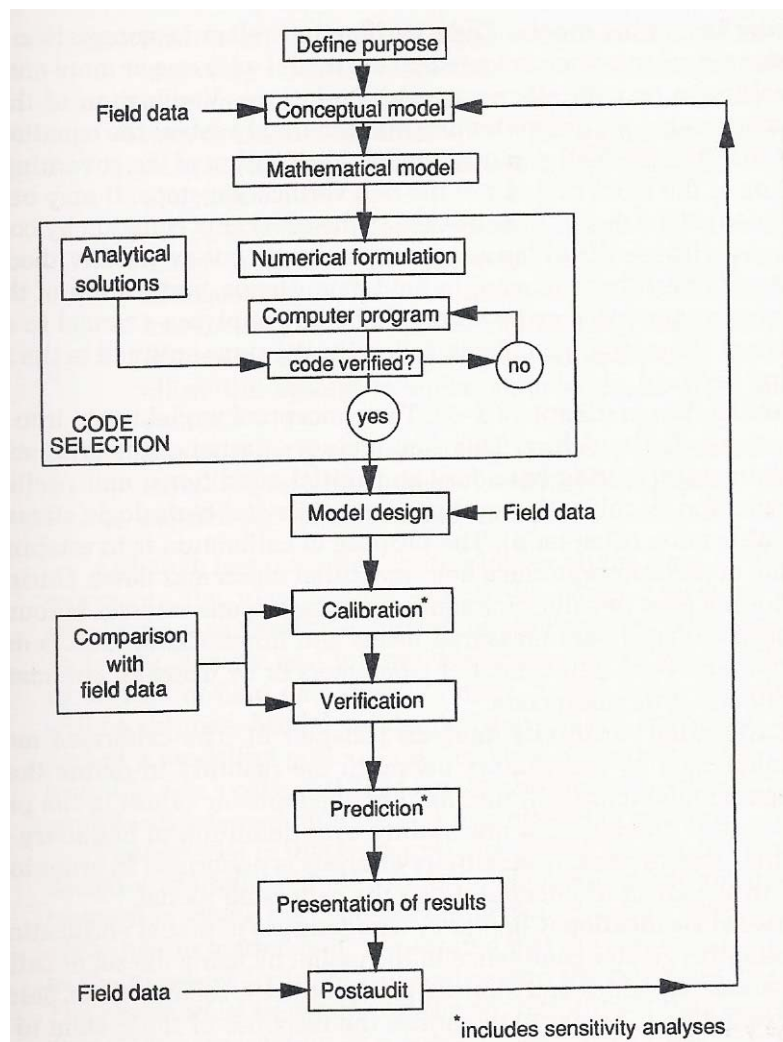
Στο πλαίσιο της μελέτης της υπόγειας ροής ενός συστήματος, καθώς και για την πρόβλεψη μελλοντικών συνθηκών είναι απαραίτητη η χρήση ενός μοντέλου ροής υπόγειων υδάτων.

Με τον όρο *μοντέλο* εννοούμε οποιοδήποτε εργαλείο που αντιπροσωπεύει μία προσέγγιση της πραγματικής κατάστασης του πεδίου. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες μοντέλων, τα φυσικά, τα οποία προσομοιάζουν άμεσα την υπόγεια ροή και τα μαθηματικά, που την προσομοιάζουν έμμεσα με χρήση μίας θεμελιώδους εξίσωσης που θεωρείται ότι αντιπροσωπεύει επαρκώς τις επικρατούσες συνθήκες, και άλλων δευτερευουσών εξισώσεων που περιγράφουν τα υδραυλικά ύψη, ή τη ροή στα όρια του συστήματος (οριακές συνθήκες). Για προβλήματα που εξαρτώνται από το χρόνο χρησιμοποιείται ακόμα μία εξίσωση που ερμηνεύει την αρχική κατανομή των υδραυλικών υψών στο σύστημα (αρχικές συνθήκες). Τα μαθηματικά μοντέλα επιλύονται είτε αναλυτικά, είτε αριθμητικά, για την επίλυσή τους όμως απαιτείται πάντα η χρήση υπολογιστή.

Τα μοντέλα παρέχουν ένα πλαίσιο εργασίας για τη σύνθεση των πληροφοριών που αφορούν την εξεταζόμενη περιοχή, ενώ μπορούν να προειδοποιήσουν το μελετητή για φαινόμενα που δεν έχουν ξαναεμφανισθεί. Αποτελούν τον ιδανικότερο τρόπο για την ανάλυση ή την πρόβλεψη μίας ενέργειας και αυτή είναι και η συνηθέστερη χρήση τους. Ωστόσο, μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν ερμηνευτικά στη μελέτη της δυναμικής του συστήματος καθώς και στην οργάνωση δεδομένων του πεδίου. Χρησιμοποιούνται τέλος και σε γενικές εφαρμογές, όπως για την ανάλυση της ροής σε υποθετικά υδρογεωλογικά συστήματα. [1]

1.1.2 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός μοντέλου ακολουθεί μία σειρά διαδικασιών, η οποία περιλαμβάνει επιλογή και επαλήθευση του κώδικα, σχεδιασμό του μοντέλου, βαθμονόμηση, ανάλυση ευαισθησίας και τελικά πρόβλεψη. Τα βήματα ενός πρωτόκολλου μοντελοποίησης δίνονται επιγραμματικά στο Σχήμα 1.1 [1]:



Σχήμα 1.1: Βασικά Βήματα πρωτοκόλλου για εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου, *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, Mary P. Anderson, William W. Woessner.

1.2 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Όπως προαναφέρθηκε για την πλήρη μαθηματική περιγραφή ενός μοντέλου απαιτούνται μία θεμελιώδης εξίσωση, οριακές συνθήκες και αρχικές αν το πρόβλημα εξαρτάται από το χρόνο.

Πριν εξάγουμε μία θεμελιώδη εξίσωση της υπόγειας ροής χρειαζόμαστε ένα αρχικό μοντέλο του συστήματος (conceptual model). Υπάρχουν δύο θεμελιώδεις προσεγγίσεις των υπογείων συστημάτων, εκείνη του υδροφορέα και εκείνη του συστήματος ροής.

Η προσέγγιση του υδροφορέα βασίζεται στην ύπαρξη ελεύθερων και περιορισμένων υδροφορέων. Περιορισμένος καλείται ένας υδροφορέας που υπερκαλύπτεται από ένα περιοριστικό στρώμα, δηλαδή μία μονάδα πορώδους υλικού που καθυστερεί την κίνηση του νερού, ενώ ελεύθερος είναι εκείνος που ως άνω όριό του έχει τον υδροφόρο ορίζοντα. Η προσέγγιση αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ανάλυση τη ροής σε πηγάδια άντλησης και αποτελεί τη βάση για πολλές αναλυτικές λύσεις, όπως των Thiem, Theis και Jacob. Εδώ θεωρείται πως η υπόγεια ροή είναι αυστηρώς οριζόντια διαμέσου των υδροφορέων και αυστηρώς κάθετη διαμέσου των περιοριστικών στρωμάτων. Η ικανότητα ενός υδροφορέα να μεταφέρει νερό περιγράφεται από την υδραυλική του αγωγιμότητα, ή αλλιώς από τη μεταβιβασιμότητά του. Σε όλες τις αναλυτικές λύσεις οι υδροφορείς θεωρούνται ομογενείς και ενιαίου πάχους, με αποτέλεσμα να παραμένουν σταθερές οι δύο αυτές παράμετροι, παρότι στο πεδίο μεταβάλλονται χωρικά, εφόσον οι υδροφορείς είναι πάντα ετερογενείς.

Η προσέγγιση του υδροφορέα χρησιμοποιείται για την προσομοίωση δισδιάστατης οριζόντιας ροής σε περιορισμένους και ελεύθερους υδροφορείς, ενώ για περιορισμένους υδροφορείς με διαρροή ενδείκνυται η χρήση μιας ημι-τριδιάστατης προσέγγισης, στην οποία η κάθετη ροή διαμέσου των περιοριστικών στρωμάτων αντιπροσωπεύεται από έναν όρο διαρροής που προσθέτει ή αφαιρεί νερό από τους υδροφορείς που υπέρκεινται ή υπόκεινται του περιορισμένου υδροφορέα που διαρρέει.

Στην προσέγγιση του υδροφορέα, σε αντίθεση με εκείνη του συστήματος ροής, τα υδραυλικά ύψη στα περιοριστικά στρώματα δεν ενδιαφέρουν και έτσι δεν υπολογίζονται κατά την προσομοίωση. Τα ύψη στους ελεύθερους υδροφορείς δεν υπολογίζονται αλλά χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της υδραυλικής κλίσης στο περιοριστικό στρώμα. Σε μία προσέγγιση συστήματος ροής τα υδραυλικά ύψη υπολογίζονται σε κάθε στρώμα.

Η γενική μορφή της θεμελιώδους εξίσωσης της προσέγγισης του υδροφορέα είναι η εξής:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S \frac{\partial h}{\partial t} - R + L \quad (1.1)$$

,όπου

$$L = -K_z' \frac{h_{source} - h}{b'}$$

Οι όροι στο αριστερό μέρος της εξίσωσης (1.1) αντιπροσωπεύουν οριζόντια ροή διαμέσου του υδροφορέα, με h το υδραυλικό ύψος και T_x , T_y τους συντελεστές της μεταβιβασιμότητας κατά την αντίστοιχη διεύθυνση. Στη δεξιά μεριά το S είναι ο συντελεστής αποθηκευτικότητας, ενώ το R αποτελεί έναν όρο εμπλουτισμού / άντλησης που στην εξίσωση θεωρείται θετικός επομένως θεωρούμε εμπλουτισμό. Σε περίπτωση που πρόκειται για άντληση τότε ισχύει $R = -W$, όπου W είναι ο ρυθμός άντλησης. Ο τελευταίος όρος L αντιπροσωπεύει τη διαρροή διαμέσου ενός αδιαπέρατου στρώματος με κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα K_z' και πάχος b' . Τέλος h_{source} είναι το υδραυλικό ύψος της πηγής στην άλλη πλευρά του αδιαπέρατου.

Για ελεύθερους υδροφορείς, η εφαρμογή της εξίσωσης (1.1) ακολουθεί τις παραδοχές Dupuit, δηλαδή οι γραμμές ροής θεωρούνται οριζόντιες και οι ισοδυναμικές κάθετες, ενώ η οριζόντια υδραυλική κλίση ισούται με την κλίση της ελεύθερης επιφάνειας και δεν εξαρτάται από το βάθος. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η πιο συνήθης

πρακτική είναι η υπόθεση $T_x = K_x h$ και $T_y = K_y h$, όπου με h συμβολίζεται το κορεσμένο πάχος του υδροφορέα. Με αντικατάσταση στην εξίσωση (1.1) προκύπτει η μη γραμμική εξίσωση γνωστή ως εξίσωση *Boussinesq*:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y h \frac{\partial h}{\partial y} \right) = S_y \frac{\partial h}{\partial t} - R$$

Όπου το L της εξίσωσης (1.1) είναι ίσο με μηδέν και ο συντελεστής αποθήκευσης S είναι ίσος με την ειδική αποθηκευτικότητα S_y . Επειδή όμως ισχύει ακόμα πως:

$$\frac{\partial h^2}{\partial x} = 2h \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$\frac{\partial h^2}{\partial y} = 2h \frac{\partial h}{\partial y}$$

η εξίσωση μπορεί να γραφεί ως εξής:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h^2}{\partial y} \right) = 2S_y \frac{\partial h}{\partial t} - 2R$$

Η παραπάνω εξίσωση είναι μη γραμμική εφόσον ο όρος h είναι υψωμένος στη δεύτερη δύναμη στο αριστερό μέρος της εξίσωσης και στην πρώτη δύναμη στο δεξιό. Σε ένα αριθμητικό μοντέλο συνήθως η εξίσωση ανάγεται σε γραμμική χρησιμοποιώντας μία γνωστή τιμή του κορεσμένου πάχους του υδροφορέα.

Στην προσέγγιση του συστήματος ροής δε μας ενδιαφέρει αυτή καθαυτή η αναγνώριση των υδροφορέων και των αδιαπέρατων στρωμάτων, αλλά η κατασκευή της τρισδιάστατης κατανομής των υδραυλικών υψών, των υδραυλικών αγωγιμοτήτων και των αποθηκευτικών ιδιοτήτων σε κάθε σημείο του συστήματος. Θεωρεί τόσο κάθετη όσο

και οριζόντια συνιστώσα της ροής και έτσι επιτρέπει τη μελέτη της ροής σε δισδιάστατο προφίλ ή σε τρεις διαστάσεις.

Μία γενική μορφή της θεμελιώδους εξίσωσης είναι η εξής:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - R^* \quad (1.2)$$

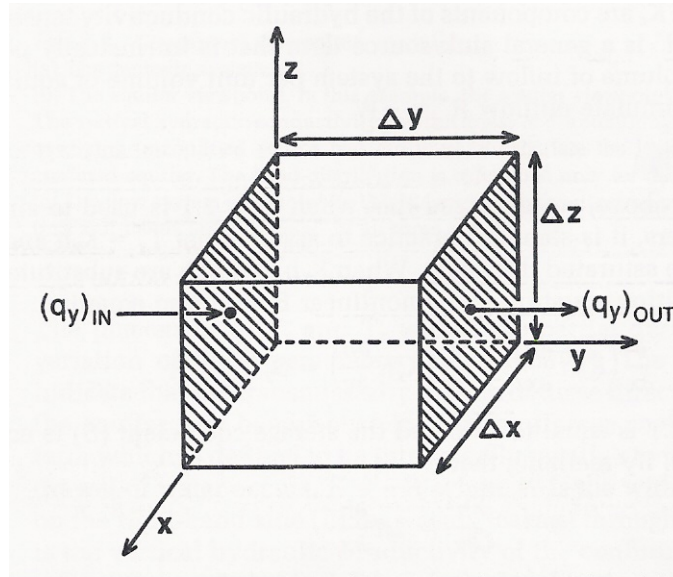
όπου K_x , K_y και K_z είναι οι συνιστώσες του τένσορα της υδραυλικής αγωγιμότητας, S_s η ειδική αποθηκευτικότητα και R^* ένας γενικός όρος εμπλουτισμού / άντλησης, που θεωρείται θετικός και δηλώνει τον όγκο της εισροής. Σε περίπτωση εκροής θεωρούμε όπως και στην προσέγγιση του υδροφορέα $R^* = -W^*$. [1]

1.2.1 ΕΞΑΓΩΓΗ ΘΕΜΕΛΙΩΔΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ

Η εξίσωση (1.2) εξάγεται από το μαθηματικό συνδυασμό της εξίσωσης ισορροπίας του νερού με το νόμο του Darcy. Συγκεκριμένα, αναφερόμαστε σε έναν κύβο πορώδους υλικού. Το μέγεθός του πρέπει να είναι τόσο μεγάλο ώστε να είναι αντιπροσωπευτικό των ιδιοτήτων του πορώδους μέσου και ταυτόχρονα τόσο μικρό ώστε μέσα στον κύβο να μην υπάρχει σημαντική μεταβολή του υδραυλικού ύψους. Ο όγκος του κύβου είναι ίσος με $\Delta x \Delta y \Delta z$ και η ροή του νερού διαμέσω αυτού εκφράζεται σε σχέση με το ρυθμό εκροής q , όπου το q είναι ένα διάνυσμα με τρεις συνιστώσες q_x , q_y και q_z . Δηλαδή ισχύει:

$$q = q_x i_x + q_y i_y + q_z i_z \quad (1.3)$$

με i_x , i_y και i_z μοναδιαία διανύσματα στους άξονες x , y και z αντίστοιχα.



Σχήμα 1.2: Αντιπροσωπευτικός στοιχειώσης όγκος που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή της θεμελιώδους εξίσωσης, *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, Mary P. Anderson, William W. Woessner.

Από το ισοζύγιο της μάζας ισχύει ότι:

$$\text{Εκροή} - \text{Εισροή} = \text{Μεταβολή Αποθέματος} \quad (1.4)$$

Θεωρούμε πως η ροή γίνεται κατά μήκος του άξονα y του κύβου, επομένως η εισροή σε αυτόν γίνεται από την επιφάνεια $\Delta x \Delta z$ και ισούται με $(q_y)_{IN}$, ενώ η εκροή με $(q_y)_{OUT}$. Επομένως ο ρυθμός ογκομετρικής εκροής μείον την ογκομετρική εισροή, κατά μήκος του άξονα y είναι

$$[(q_y)_{OUT} - (q_y)_{IN}] \Delta x \Delta z$$

ή αλλιώς

$$\frac{(q_y)_{OUT} - (q_y)_{IN}}{\Delta y} (\Delta x \Delta y \Delta z)$$

Ο ρυθμός ροής επομένως ισούται με

$$\frac{\partial q_y}{\partial y} (\Delta x \Delta y \Delta z)$$

Αντίστοιχες εξισώσεις είναι δυνατόν να γραφούν και για τους ρυθμούς ροής κατά τους άξονες x και z. Η ολική μεταβολή του ρυθμού ροής ισούται με τη μεταβολή του αποθέματος και εκφράζεται ως εξής:

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \text{μεταβολή αποθέματος}$$

Στην περίπτωση άντλησης ή εμπλουτισμού του κύβου από κάποια πηγή, θεωρούμε το ρυθμό της ογκομετρικής εισροής ίσο με $R^* \Delta x \Delta y \Delta z$. Αναφέρθηκε παραπάνω πως ο συντελεστής R^* είναι θετικός όταν πρόκειται για πηγή εμπλουτισμού, επομένως τον μεταφέρουμε στο αριστερό μέρος της εξίσωσης και προκύπτει

$$\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} - R^* \right) \Delta x \Delta y \Delta z = \text{μεταβολή αποθέματος} \quad (1.5)$$

Όσον αναφορά το δεξιό μέρος της εξίσωσης (1.4) η μεταβολή του αποθέματος αντιπροσωπεύεται από την ειδική αποθηκευτικότητα, δηλαδή από τον όγκο του νερού που απελευθερώνεται από το απόθεμα ανά μονάδα μεταβολής του υδραυλικού ύψους ανά μονάδα όγκου του υδροφορέα:

$$S_s = - \frac{\Delta V}{\Delta h \Delta x \Delta y \Delta z}$$

Ο ρυθμός μεταβολής του αποθέματος μέσα στον κύβο είναι:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = -S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta x \Delta y \Delta z$$

Με αντικατάσταση της παραπάνω εξίσωσης στην εξίσωση (1.5) και με διαίρεση δια τον όγκο του κύβου προκύπτει:

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} + \frac{\partial q_z}{\partial z} = -S_s \frac{\partial h}{\partial t} + R^* \quad (1.6)$$

Η παραπάνω εξίσωση ωστόσο δε χρησιμοποιείται συχνά επειδή το q δε μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται ο νόμος του Darcy για τη συσχέτιση του q με το h , εφόσον το υδραυλικό ύψος h μπορεί να μετρηθεί άμεσα. Ο νόμος του Darcy στις τρεις διευθύνσεις γράφεται ως εξής:

$$\begin{aligned} q_x &= -K_x \frac{\partial h}{\partial x} \\ q_y &= -K_y \frac{\partial h}{\partial y} \\ q_z &= -K_z \frac{\partial h}{\partial z} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Όταν οι εξισώσεις (1.7) αντικατασταθούν στην εξίσωση (1.6) προκύπτει η εξίσωση (1.2). Η εξίσωση (1.1) προκύπτει από την (1.2), θέτοντας $\partial h / \partial z = 0$, πολλαπλασιάζοντας επί b , προσθέτοντας τον όρο διαρροής και θέτοντας $bS_s = S$ και $bR^* = R^*$.

Στις εξισώσεις (1.1) και (1.2) θεωρείται πως τα K_x , K_y και K_z είναι συγγραμμικά με τους άξονες x , y και z . Αν η γεωλογία της περιοχής δεν επιτρέπει την ευθυγράμμιση των αρχικών διευθύνσεων της υδραυλικής αγωγιμότητας με ένα ορθογωνικό σύστημα συντεταγμένων, χρησιμοποιείται μία τροποποιημένη μορφή της θεμελιώδους εξίσωσης

που περιλαμβάνει όλους τους συντελεστές του τένσορα της υδραυλικής αγωγιμότητας (\overline{K}), ο οποίος γράφεται ως εξής:

$$\overline{K} = \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix}.$$

1.2.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Οι εξισώσεις (1.1) και (1.2) μπορούν να επιλυθούν είτε αναλυτικά είτε αριθμητικά. Οι αριθμητικές μέθοδοι, ωστόσο, είναι πολύ πιο διαδεδομένες καθώς η χρήση τους είναι πιο εύκολη σε σχέση με τις περισσότερες πολύπλοκες αναλυτικές λύσεις.

Οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη μοντελοποίηση της υπόγειας ροής είναι εκείνες των πεπερασμένων διαφορών, των πεπερασμένων στοιχείων, των ολοκληρωμένων πεπερασμένων διαφορών, των αναλυτικών στοιχείων και η μέθοδος ολοκληρωμένης οριακής εξίσωσης. Για την επίλυση προβλημάτων ροής, οι πιο διαδεδομένες τεχνικές είναι εκείνες των πεπερασμένων διαφορών και των πεπερασμένων στοιχείων.

Ένα πρόγραμμα ή ένας κώδικας επιλύουν ένα σύνολο αλγεβρικών εξισώσεων που έχουν προκύψει από την προσέγγιση των μερικών διαφορικών εξισώσεων (θεμελιώδης εξίσωση, οριακές συνθήκες και αρχικές συνθήκες) που αποτελούν το μαθηματικό μοντέλο. Οι διάφορες τεχνικές προσέγγισης όπως είναι οι πεπερασμένες διαφορές ή τα πεπερασμένα στοιχεία ενεργούν στο μαθηματικό μοντέλο και το μετατρέπουν σε μία μορφή που μπορεί εύκολα να επιλυθεί από τον υπολογιστή. Το σύνολο των αλγεβρικών εξισώσεων που παράγονται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να εκφραστεί σε μορφή πίνακα. Η διαδικασία της επίλυσης, επομένως, περιλαμβάνει δύο βήματα: 1) την εφαρμογή των πεπερασμένων διαφορών ή των πεπερασμένων στοιχείων στο μαθηματικό μοντέλο και 2) την επίλυση του πίνακα που προκύπτει.

Η επιλογή ανάμεσα στις δύο μεθόδους εξαρτάται από τον τύπο του προβλήματος που πρόκειται να επιλυθεί. Σε γενικές γραμμές, οι πεπερασμένες διαφορές είναι πιο κατανοητές και ευκολότερες στην εφαρμογή, ενώ απαιτούν μικρότερο αριθμό δεδομένων για την κατασκευή του πλέγματός τους. Ωστόσο, τα πεπερασμένα στοιχεία ενδείκνυνται περισσότερο για την προσέγγιση ορίων ακανόνιστου σχήματος, εφόσον είναι ευκολότερη η προσαρμογή τόσο του μεγέθους των μεμονωμένων στοιχείων, όσο και της θέσης των ορίων, πράγμα που καθιστά πολύ πιο εύκολο των έλεγχο της επίδρασης της διάταξης των κόμβων στη λύση. Ακόμα, τα πεπερασμένα στοιχεία χειρίζονται καλύτερα εσωτερικά όρια και μπορούν να προσομοιώσουν καλύτερα σημεία εμπλουτισμού και άντλησης, καθώς και κινούμενους υδροφόρους ορίζοντες.

Αν και η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών θεωρείται συνήθως ειδική περίπτωση των πεπερασμένων στοιχείων, διακρίνεται μία θεμελιώδης διαφορά στη φιλοσοφία τους. Οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών υπολογίζουν μια τιμή του υδραυλικού ύψους σε κάθε κόμβο, η οποία αποτελεί επίσης και το μέσο υδραυλικό ύψος του κελιού που περιβάλλει τον κόμβο, χωρίς να γίνεται καμία υπόθεση για το είδος της μεταβολής του υδραυλικού ύψους από τον ένα κόμβο στον επόμενο. Τα πεπερασμένα στοιχεία, αντίθετα, προσδιορίζουν με ακρίβεια τη μεταβολή αυτού μέσα σε ένα στοιχείο, με τη χρήση βασικών συναρτήσεων. Τα ύψη υπολογίζονται στους κόμβους για μεγαλύτερη ευκολία, αλλά προσδιορίζονται παντού μέσω των βασικών συναρτήσεων.

1.3 ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

1.3.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΘΕΜΕΛΙΩΔΟΥΣ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το αρχικό, ή αλλιώς θεμελιώδες μοντέλο, αποτελεί μία εικονική αναπαράσταση του υπόγειου υδατικού συστήματος και εμφανίζεται συνήθως σε κάθετη διατομή ή σε μορφή διαγράμματος με κουτιά. Το θεμελιώδες μοντέλο είναι αυτό που καθορίζει τελικά τις διαστάσεις του αριθμητικού μοντέλου και το σχεδιασμό του πλέγματος.

Ο σκοπός της κατασκευής του είναι η απλούστευση του πραγματικού προβλήματος και η οργάνωση των δεδομένων του πεδίου, ώστε η ανάλυση του συστήματος να είναι ευκολότερη. Η απλούστευση όμως του προβλήματος πρέπει να γίνεται σε τέτοιο βαθμό που το θεμελιώδες μοντέλο να παραμένει αντιπροσωπευτικό των πραγματικών υδρογεωλογικών συνθηκών.

Κατά τη δημιουργία του θεμελιώδους μοντέλου πρέπει να ταυτοποιούνται τα πραγματικά υδρογεωλογικά όρια του συστήματος. Γενικά η κατασκευή του περιλαμβάνει τρία στάδια:

1) Προσδιορισμός των υδροστρωματογραφικών μονάδων

Για τον προσδιορισμό των υδροστρωματογραφικών μονάδων του θεμελιώδους μοντέλου, γίνεται συνδυασμός γεωλογικών πληροφοριών που προκύπτουν από γεωλογικούς χάρτες και πληροφοριών σχετικών με τις υδρογεωλογικές ιδιότητες. Στη μοντελοποίηση τοπικών συστημάτων ροής, οι υδροφορείς και τα αδιαπέραστα στρώματα καθορίζονται από τις υδροστρωματογραφικές μονάδες, οι οποίες περιλαμβάνουν γεωλογικές μονάδες με κοινές υδρογεωλογικές ιδιότητες.

2) Προετοιμασία του υδατικού ισοζυγίου

Από τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί στο πεδίο σχετικά με τα μεγέθη των εισροών (βροχόπτωση, εμπλουτισμός από επιφανειακά νερά, επιφανειακή απορροή) και των εκροών (άντληση, εξατμισοδιαπνοή, εναπόθεση σε ρέματα) της εξεταζόμενης περιοχής υπολογίζεται ένα υδατικό ισοζύγιο, από το οποίο περιγράφονται και οι μεταβολές στο απόθεμα.

3) Προσδιορισμός του συστήματος ροής

Η υδροστρωματογραφία αποτελεί το σκελετό του θεμελιώδους μοντέλου. Για τον καθορισμό της κίνησης του υπογείου νερού μέσα στο σύστημα, χρησιμοποιούνται υδρολογικές πληροφορίες σχετικές με τη βροχόπτωση, την εξατμισοδιαπνοή και την επιφανειακή απορροή, δεδομένα υδραυλικών υψών καθώς και γεωχημικά στοιχεία. Ακόμα, χρησιμοποιούνται μετρήσεις του επιπέδου του νερού για τον προσδιορισμό της γενικής διεύθυνσης της υπόγειας ροής, της θέσης σημείων εμπλουτισμού και άντλησης αλλά και της σύνδεσης υδροφορέα και επιφανειακών υδατικών συστημάτων. [1]

1.3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Στα αριθμητικά μοντέλα, το συνεχές πεδίο του προβλήματος αντικαθίσταται από ένα διακριτοποιημένο πεδίο που αποτελείται από παρατεταγμένους κόμβους μέσα σε κελιά πεπερασμένων διαφορών ή σε πεπερασμένα στοιχεία. Το πλέγμα που δημιουργείται αποτελεί το σκελετό του μοντέλου. Για τον καθορισμό του είδους του πλέγματος που απαιτείται, πρέπει να γίνει ταξινόμηση του μοντέλου σε σχέση με τη χωρική του διάσταση. Βάσει αυτής της ταξινόμησης τα μοντέλα διακρίνονται σε δισδιάστατα επιφανειακά, δισδιάστατα profile, ημι-τρισδιάστατα και τρισδιάστατα

Τα δύο κυριότερα είδη πλεγμάτων αναλύονται παρακάτω:

Πλέγματα πεπερασμένων διαφορών

Υπάρχουν δύο είδη πλεγμάτων πεπερασμένων διαφορών. Τα πλέγματα block-centered και τα πλέγματα mesh-centered. Η διαφορά τους έγκειται στην αντιμετώπιση των οριακών συνθηκών της ροής.

Οι κόμβοι σε αυτά τα πλέγματα ταυτοποιούνται με τη χρήση δεικτών i , j και k ανάλογα με τη γραμμή, τη στήλη και το στρώμα στο οποίο βρίσκονται. Οι αποστάσεις των κόμβων στις τρεις διευθύνσεις Δx , Δy , και Δz είναι σταθερές αλλά όχι απαραίτητα

ίσες μεταξύ τους. Συνήθως, ωστόσο, χρησιμοποιείται ένα ακανόνιστο πλέγμα, ώστε να είναι δυνατή η χρήση πλέγματος μικρών αποστάσεων σε σημεία στο εσωτερικό της περιοχής όπου αυτό κρίνεται απαραίτητο. Η απόσταση μεταξύ των κόμβων θα πρέπει να αυξάνεται προς τα όρια της περιοχής με ρυθμό όχι μεγαλύτερο από 1,5 φορά την προηγούμενη απόσταση.

Πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων

Το βασικό τους μειονέκτημα είναι ο μεγάλος αριθμός δεδομένων που απαιτούνται σε σχέση με τα πλέγματα πεπερασμένων διαφορών. Τα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων απαιτούν την εισαγωγή του αριθμού κάθε στοιχείου και κόμβου, τις συντεταγμένες x , y , z του κάθε κόμβου και των αριθμών των κόμβων που συνδέονται με κάθε στοιχείο. Κατά το σχεδιασμό ενός τέτοιου πλέγματος για ισοτροπικά υλικά, θα πρέπει το κάθε στοιχείο να κατασκευάζεται έτσι ώστε ο λόγος της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη διάσταση του στοιχείου να είναι κοντά στη μονάδα. Γενικά πάντως, τιμές μεγαλύτερες του πέντε θα πρέπει να αποφεύγονται.

Τα πεπερασμένα στοιχεία επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό του πλέγματος. Η πιο συνηθισμένη μορφή δισδιάστατων στοιχείων είναι η τριγωνική. Το είδος της βασικής εξίσωσης (εξίσωση παρεμβολής) που χρησιμοποιείται καθορίζει κατά πόσον τα στοιχεία θα είναι γραμμικά, τετραγωνικά ή κυβικά.

Ανάλογα με τον τύπο του μοντέλου που επιλέχθηκε, θα προσδιοριστεί και ο αριθμός των στρωμάτων που απαιτούνται. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια του θεμελιώδους μοντέλου.

Το πλέγμα πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένο με τις συνιστώσες K_x , K_y και K_z του διανύσματος της υδραυλικής αγωγιμότητας. Εάν αυτό δεν είναι εφικτό, και τα φαινόμενα ανισοτροπίας είναι σημαντικά, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία τροποποιημένη μορφή της θεμελιώδους εξίσωσης. Σε πλέγματα πεπερασμένων διαφορών πρέπει ακόμα να ελαχιστοποιείται ο αριθμός των κόμβων που βρίσκονται εκτός των ορίων της

μοντελοποιημένης περιοχής (ανενεργοί κόμβοι). Η ύπαρξη ανενεργών κόμβων οφείλεται στο γεγονός ότι τα πλέγματα πεπερασμένων διαφορών είναι ορθογώνια, ενώ τα όρια της περιοχής συνήθως δεν είναι. Σε πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων δεν υπάρχει τέτοιο πρόβλημα εφόσον τα στοιχεία προσαρμόζονται ακριβώς στα όρια της περιοχής.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας στο σχεδιασμό του πλέγματος είναι η επιλογή της απόστασης μεταξύ των κόμβων, η οποία είναι συνάρτηση της καμπύλης που αναμένεται στον υδροφόρο ορίζοντα ή της ποτενσιομετρικής επιφάνειας και της μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του υδροφορέα. Θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη μεταβολές που σχετίζονται με εμπλουτισμό ή άντληση στην περιοχή, καθώς και η συνολική έκταση της περιοχής. [1]

1.3.3 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Τα δεδομένα που απαιτούνται για τα μοντέλα υπόγειας ροής μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες. Τα μοντέλα της πρώτης κατηγορίας περιγράφουν τα φυσικά χαρακτηριστικά της περιοχής και προσδιορίζουν τη γεωμετρία του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων του πάχους και της έκτασης στο χώρο της κάθε υδροστρωματογραφικής μονάδας. Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται τα υδρογεωλογικά δεδομένα του συστήματος. Αυτά περιλαμβάνουν πληροφορίες για τα υδραυλικά ύψη και της παροχές, οι οποίες είναι απαραίτητες για τη διαμόρφωση του θεμελιώδους μοντέλου και για τον έλεγχο της βαθμονόμησής του. Τα υδρολογικά δεδομένα επίσης καθορίζουν τις ιδιότητες του υδροφορέα και τις υδρολογικές πιέσεις.

Κατά την προσομοίωση ανισοτροπικών μέσων απαιτούνται πληροφορίες για τις τρεις συνιστώσες της υδραυλικής αγωγιμότητας K_x , K_y και K_z . Η οριζόντια ανισοτροπία αντιπροσωπεύεται από τον λόγο των K_x και K_y , ενώ η κάθετη από το λόγο K_x και K_z .

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων στο πλέγμα, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί ώστε οι τιμές των διαφόρων παραμέτρων να είναι συμβατές με την κλίμακα του μοντέλου. Στη συνέχεια, μπορούν να προσδιοριστούν οι ιδιότητες του υδροφορέα σε υδρογραφική μονάδα που αναγνωρίζεται από το θεμελιώδες μοντέλο.

Τα μοντέλα πεπερασμένων διαφορών υπολογίζουν το υδραυλικό ύψος στον κόμβο, ενώ η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει και το κελί στο οποίο περιέχεται ο κόμβος. Σε ένα πλέγμα block-centered οι ιδιότητες του υδροφορέα και οι τάσεις προσδιορίζονται στο τετράγωνο που περιβάλλει τον κόμβο, ενώ αντίθετα σε ένα πλέγμα mesh-centered οι ιδιότητες αυτές, προσδιορίζονται για την περιοχή επιρροής που περιβάλλει τον κόμβο.

Στα μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων, οι ιδιότητες του υδροφορέα προσδιορίζονται είτε στον κόμβο, είτε στο στοιχείο, προτιμάται όμως το δεύτερο όταν αυτές μεταβάλλονται σημαντικά. [1]

1.4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

1.4.1 ΕΙΔΗ ΟΡΙΑΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ

Όπως προαναφέραμε ένα πλήρες μαθηματικό μοντέλο απαρτίζεται από μία θεμελιώδη εξίσωση, τις οριακές και τις αρχικές συνθήκες. Οι οριακές συνθήκες αποτελούν τη μαθηματική δήλωση που καθορίζει την εξαρτημένη μεταβλητή (υδραυλικό ύψος) ή την παράγωγο της εξαρτημένης μεταβλητής (ροή) στα όρια της εξεταζόμενης περιοχής. Σε προσομοιώσεις σταθερών συνθηκών, οι οριακές συνθήκες καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τη μορφή της ροής, γι' αυτό η προσεκτική επιλογή τους αποτελεί σημαντικό βήμα για τον επιτυχή σχεδιασμό του μοντέλου.

Τα φυσικά όρια των συστημάτων υπόγειας ροής σχηματίζονται από τη φυσική παρουσία μίας αδιαπέραστης μάζας ή βράχου, ή από μία μεγάλη μάζα επιφανειακού νερού. Τα υδραυλικά όρια αντίθετα, ορίζονται βάσει των υδρολογικών συνθηκών και είναι νοητά.

Τα υδρογεωλογικά όρια αντιπροσωπεύονται από τα τρία παρακάτω είδη μαθηματικών συνθηκών:

1^ο είδος: Όρια καθορισμένου υδραυλικού ύψους (συνθήκες Dirichlet), για τα οποία το υδραυλικό ύψος είναι σταθερό.

2^ο είδος: Όρια καθορισμένης ροής (συνθήκες Neumann), για τα οποία είναι δεδομένη η παράγωγος του υδραυλικού ύψους (ροή). Για τον ορισμό οριακών συνθηκών μηδενικής ροής, η σταθερή ροή ορίζεται ίση με το μηδέν.

3^ο είδος: Όρια ροής εξαρτώμενης από το υδραυλικό ύψος (συνθήκες Cauchy ή μικτές οριακές συνθήκες), για τα οποία η ροή δια μέσου του ορίου υπολογίζεται με δεδομένη μία τιμή του υδραυλικού ύψους. Αυτές οι οριακές συνθήκες συχνά αποκαλούνται μικτές γιατί συσχετίζουν τις οριακές στάθμες με τις οριακές ροές. [1]

1.4.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΡΙΩΝ

Κατά τη επιλογή των ορίων γενικά είναι προτιμότερη η επιλογή φυσικών ορίων, όπου αυτό είναι δυνατόν γιατί αποτελούν σταθερά χαρακτηριστικά του συστήματος. Τα αδιαπέραστα στρώματα συνιστούν συνήθως το κατώτερο όριο της μοντελοποιημένης περιοχής. Για την τοποθέτηση ενός αδιαπέραστου ορίου, επαρκεί μία διαφορά δύο τάξεων μεγέθους στην υδραυλική αγωγιμότητα των δύο στρωμάτων. Επιφανειακές μάζες νερού που διαπερνούν εξ' ολοκλήρου τον υδροφορέα αποτελούν ιδανικά όρια καθορισμένου υδραυλικού ύψους. Ιδανικά όρια μηδενικής ροής αποτελούν υδροφορείς που καταλήγουν σε αδιαπέραστο στρώμα, ενώ για παραλιακούς υδροφορείς τέτοια όρια αποτελούν ελαττωματικές ζώνες, καθώς και η επιφάνεια του θαλασσινού νερού.

Σε περίπτωση που δεν μπορούν να συμπεριληφθούν τα φυσικά όρια της περιοχής, συχνά χρησιμοποιούνται ως όρια μηδενικής ροής τοπικά υπόγεια χωρίσματα, τα οποία εντοπίζονται συνήθως κοντά σε τοπογραφικά υψώματα.

Ένα σύστημα ροής συνήθως περιλαμβάνει όρια τόσο καθορισμένου υδραυλικού ύψους, όσο και καθορισμένης ροής. Η αποκλειστική χρήση ορίων ροής θα πρέπει να αποφεύγεται.

Εάν δεν είναι δυνατή η χρήση ούτε φυσικών ορίων, ούτε υπόγειων χωρισμάτων, επιλέγονται άλλα υδραυλικά όρια που καθορίζονται από πληροφορίες σχετικές με τη διαμόρφωση του συστήματος ροής. [1]

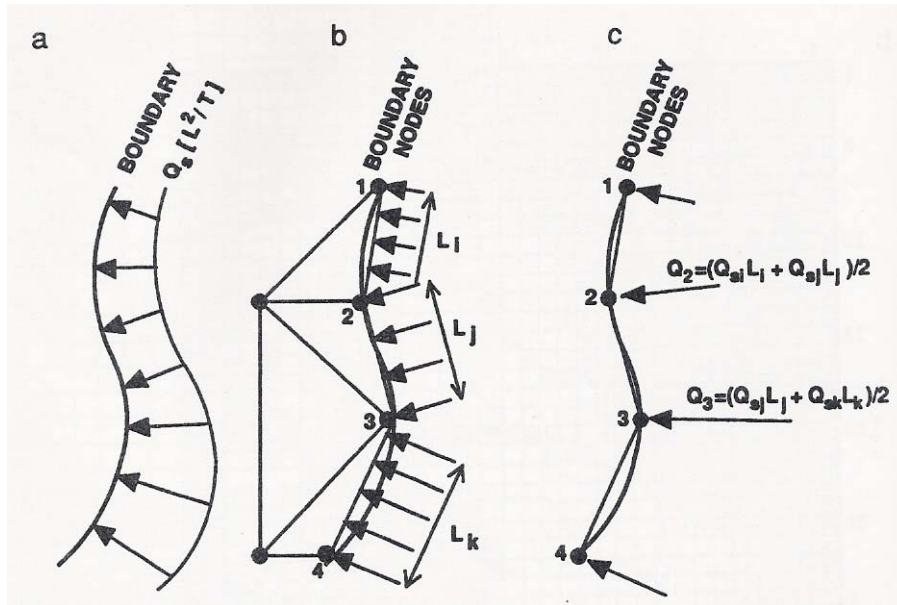
1.4.3 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΟΡΙΩΝ

Σε πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών mesh-centered, οι κόμβοι πέφτουν πάντα πάνω στο όριο. Σε πλέγματα πεπερασμένων διαφορών block-centered, τα όρια καθορισμένου υδραυλικού ύψους βρίσκονται ακριβώς πάνω στον κόμβο, αλλά τα όρια ροής βρίσκονται στην εξωτερική πλευρά του τετραγώνου.

Οι οριακές συνθήκες καθορισμένου υδραυλικού ύψους, προσομοιώνονται θέτοντας το υδραυλικό ύψος στους αντίστοιχους οριακούς κόμβους, ίσο με γνωστές τιμές του. Όταν το όριο είναι ένα ποτάμι, το ύψος κατά μήκος του ορίου θα μεταβάλλεται χωρικά, ενώ θα παραμένει σταθερό σε περίπτωση λιμνών ή πηγών. Οι οριακές συνθήκες αυτού του είδους παριστάνουν ένα ανεξάντλητο απόθεμα νερού. Δηλαδή, το υπόγειο σύστημα μπορεί να τραβήξει, ή να αποβάλλει νερό προς το όριο χωρίς να αλλάζει το υδραυλικό ύψος στον αντίστοιχο οριακό κόμβο.

Οι οριακές συνθήκες καθορισμένης ροής χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της ροής σε επιφανειακές υδάτινες μάζες, της ροής από πηγή, της υπόγειας ροής, ή της διαρροής από ή προς πετρώματα που υπόκεινται του μοντελοποιημένου συστήματος.

Όταν είναι δυνατόν, είναι προτιμότερο να επιλέγονται συνθήκες 1^{ου} είδους, αφενός επειδή η μέτρηση του υδραυλικού ύψους είναι ευκολότερη από εκείνη της ροής, αφ' εταίρου επειδή χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Σε μοντέλα πεπερασμένων διαφορών, οι οριακές συνθήκες καθορισμένης ροής προσομοιώνονται με τη χρήση πηγαδιών άντλησης ή εμπλουτισμού νερού με συγκεκριμένο ρυθμό και η ροή θεωρείται πως διανέμεται ομοιόμορφα σε όλο το κελί. Σε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων, ο χρήστης καθορίζει τη ροή στο τμήμα του ορίου που βρίσκεται ανάμεσα σε δύο κόμβους και στη συνέχεια ο κώδικας ανάγει την τιμή αυτή στους κόμβους.



Σχήμα 1.3: Οι οριακές συνθήκες σε ένα πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων με τριγωνικά στοιχεία: α) συνεχής κατανομή ροής κατά μήκος του ορίου, β) διακριτοποιημένη αναπαράσταση της ροής κατά μήκος των πλευρών των στοιχείων, γ) καθορισμός της ροής στους κόμβους, *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport, Mary P. Anderson, William W. Woessner.*

Συνθήκες μηδενικής ροής έχουμε όταν η ροή διαμέσου του ορίου είναι μηδέν. Τέτοιες περιπτώσεις είναι εκείνες αδιαπέραστων στρωμάτων, αδιαπέραστων ελαττωματικών ζωνών, ή υπογείων χωρισμάτων. Ακόμη μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε παραλιακούς υδροφορείς για την προσομοίωση της επιφάνειας όπου συναντάται το θαλασσινό με το γλυκό νερό. Σε πλέγματα πεπερασμένων διαφορών block-centered οι συνθήκες αυτές προσομοιώνονται θέτοντας ίση με μηδέν τη μεταβιβασιμότητα (ή την υδραυλική αγωγιμότητα) στα ανενεργά κελιά εκτός του ορίου, ενώ σε πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων, τίθεται ίση με μηδέν απευθείας η ροή στο όριο.

Στην περίπτωση οριακών συνθηκών ροής εξαρτώμενης από το υδραυλικό ύψος, η ροή διαμέσου των ορίων εξαρτάται από τη διαφορά ανάμεσα στο υδραυλικό ύψος που εισάγει ο χρήστης στη μία πλευρά του ορίου και σε εκείνο που υπολογίζεται από το

μοντέλο στην άλλη του πλευρά. Η αντιμετώπιση τέτοιων συνθηκών είναι όμοια τόσο σε μοντέλα πεπερασμένων διαφορών όσο και πεπερασμένων στοιχείων, με τη μόνη διαφορά ότι στα δεύτερα, η ροή αντιστοιχεί στον κόμβο, ενώ σε μοντέλα πεπερασμένων διαφορών στα κελιά. Με τη χρήση τέτοιων συνθηκών, μπορεί να προσομοιωθεί η διαρροή από ή προς ποτάμια, λίμνες, ή πηγές. Ο ρυθμός διαρροής σε αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L = \frac{Q_L}{A} = K_z' \frac{(h_{source} - h)}{b'}$$

όπου Q_L είναι η ογκομετρική παροχή, A η περιοχή του κελιού διαμέσου της οποίας λαμβάνει χώρα η διαρροή, h_{source} το υδραυλικό ύψος στην πηγή, h το υδραυλικό ύψος στον υδροφόρα ακριβώς κάτω ή δίπλα στην πηγή, K_z' η κάθετη υδραυλική αγωγιμότητα της επιφάνειας που χωρίζει τον υδροφόρα από την πηγή και b' το πάχος της.

Η εξατμισοδιαπνοή διαμέσου του υδροφόρου ορίζοντα μπορεί επίσης να προσομοιωθεί με οριακές συνθήκες αυτού του είδους, όπου η ροή διαμέσου του ορίου είναι ανάλογη του βάθους του υδροφόρου ορίζοντα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

Για την προσομοίωση του εσωτερικού της περιοχής μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλα τα είδη οριακών συνθηκών που περιγράφηκαν παραπάνω. [1]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ PTC

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ PTC

Παρακάτω περιγράφεται η θεωρία του κώδικα PTC (Princeton Transport Code) και η μέθοδος επίλυσης των μερικών διαφορικών εξισώσεων που περιγράφουν την υπόγεια ροή και τη μεταφορά των ρύπων:

Ο κώδικας PTC χρησιμοποιεί το ακόλουθο σύστημα μερικών διαφορικών εξισώσεων για να περιγράψει την υπόγεια ροή, η οποία χαρακτηρίζεται από το υδραυλικό ύψος h ,

$$\frac{\partial}{\partial x}(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - S \frac{\partial h}{\partial t} + Q = 0 \quad (2.1)$$

από τις συνιστώσες της ταχύτητας,

$$V_x = -K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}, \quad V_y = -K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}, \quad V_z = -K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \quad (2.2)$$

και από τη μεταφορά ρύπων με συγκέντρωση c ,

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} [D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \frac{\partial}{\partial y} [D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \frac{\partial}{\partial z} [D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z}] \\ & - [V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z}] + Q(c^w - c) - \theta[1 + E(c)](\frac{\partial c}{\partial t}) = 0 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Οι εξισώσεις αυτές παρήχθησαν από τις αρχές διατήρησης της μάζας και από το νόμο του Darcy. Η εξήγηση των συμβολισμών γίνεται στο κεφάλαιο 2.2.

Η επίλυση των τριών εξισώσεων γίνεται με σειρά από την (2.1) έως την (2.3) και για πολύπλοκα φυσικά συστήματα απαιτεί γενικά την εφαρμογή αριθμητικών μεθόδων. Για συστήματα σε κλίμακα πεδίου ο υπολογιστικός φόρτος που απαιτείται στην διακριτοποίηση αυτών των τρισδιάστατων εξισώσεων είναι μεγάλος. Για το λόγο αυτό το PTC χρησιμοποιεί ένα διαχωριστικό αλγόριθμο, ο οποίος μειώνει σημαντικά τον υπολογιστικό φόρτο.

Ο αλγόριθμος περιλαμβάνει διαχωρισμό του πεδίου σε κατά προσέγγιση παράλληλα οριζόντια στρώματα. Σε κάθε στρώμα εφαρμόζεται τεμαχισμός σε πεπερασμένα στοιχεία, πράγμα το οποίο επιτρέπει την ακριβή αντιπροσώπευση ακανόνιστων πεδίων. Τα στρώματα συνδέονται στην κάθετη διεύθυνση με τεμαχισμό πεπερασμένων διαφορών. Αυτός ο συνδυασμός πεπερασμένων στοιχείων και πεπερασμένων διαφορών επιτρέπει την εφαρμογή της διαδικασίας διαχωρισμού. Κατά τη διάρκεια μιας ολοκλήρωσης δεδομένου χρόνου όλοι οι υπολογισμοί χωρίζονται σε δύο βήματα. Στο πρώτο βήμα επιλύονται όλα τα οριζόντια τμήματα πεπερασμένων στοιχείων ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Στο δεύτερο βήμα επιλύονται οι κάθετες εξισώσεις που ενώνουν τα στρώματα. [2]

2.2 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΥΠΟΓΕΙΑ ΡΟΗ

2.2.1 ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗ

Το PTC καθορίζει τα χαρακτηριστικά της ροής ενός υπογείου συστήματος επιλύοντας για το υδραυλικό ύψος μέσω της ακόλουθης μερικής διαφορικής εξίσωσης:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - S \frac{\partial h}{\partial t} + \sum_{i=1}^r Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i) = 0$$

(2.4)

όπου σε μονάδες μήκους (L), χρόνου (T) και μάζας (M),

h είναι το υδραυλικό ύψος (L),

K_{xx} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην οριζόντια διεύθυνση x (LT^{-1}),

K_{yy} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην οριζόντια διεύθυνση y (LT^{-1}),

K_{zz} είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στην κάθετη διεύθυνση z (LT^{-1}),

S είναι ο συντελεστής αποθηκευτικότητας (L^{-1}),

Q_i είναι ο όρος πηγής-χοάνης στη θέση i (L^3T^{-1}),

$\delta(\)$ είναι η δελτοειδής συνάρτηση Dirac,

r είναι ο αριθμός των σημείων όπου βρίσκονται πηγές-πηγάδια.

Στη συνάρτηση (2.1) ο τελευταίος όρος της εξίσωσης (2.4) συμβολίζεται με Q.

Η παραπάνω εξίσωση επιλύεται αριθμητικά από το PTC χρησιμοποιώντας τις μεθόδους πεπερασμένων διαφορών και πεπερασμένων στοιχείων.

2.2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Ο διαχωριστικός αλγόριθμος που χρησιμοποιείται από το PTC για την επίλυση της (2.4), επιτυγχάνει την προσέγγιση των όρων της που περιλαμβάνουν παραγώγους των x και y χρησιμοποιώντας μια μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων.

Η μέθοδος αυτή θεωρεί ότι υπάρχει ένα άπειρο σύνολο συναρτήσεων οι οποίες θα αντιπροσωπεύσουν επακριβώς τη λύση της μερικής διαφορικής εξίσωσης που περιγράφει την υπόγεια ροή.

Μία πεπερασμένη προσεγγιστική μορφή της σειράς αυτής είναι η εξής:

$$h(x, y, z, t) \sim \hat{h}(x, y, z, t) = \sum_{i=1}^N h_i(z, t) w_i(x, y) \quad (2.5)$$

όπου,

h είναι το υδραυλικό ύψος (L),

\hat{h} είναι η προσεγγιστική σειρά του h (L),

h_i είναι ένας μη καθορισμένος συντελεστής (L),

w_i είναι μια αδιάστατη βασική συνάρτηση (ή παρεμβολής) και

N είναι ο αριθμός των κόμβων στο πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.

Η προσεγγιστική σειρά (2.5) παρέχει πιο ακριβείς αναπαραστάσεις όσο το N πλησιάζει το άπειρο, δηλαδή όσο το \hat{h} πλησιάζει το h . Με προσεκτική επιλογή των βασικών συναρτήσεων w_i , οι ακαθόριστες συνιστώσες h_i γίνονται οι τιμές των υψών στους κόμβους με συντεταγμένες (x, y, z) . Σημαντικό ρόλο στην υπολογιστική ικανότητα της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων παίζει η χρήση τμηματικών συνεχών βασικών συναρτήσεων, οι οποίες είναι μη μηδενικές μόνο σε μία μικρή υποπεριοχή του συνολικού πεδίου. Το PTC χρησιμοποιεί τμηματικές γραμμικές βασικές συναρτήσεις μεταξύ γειτονικών κόμβων πεπερασμένων στοιχείων.

Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων συνεχίζει σημειώνοντας ότι, παρότι ο διαφορικός τελεστής (operator) L (εξίσωση 2.4) που τελείται στο h είναι ίσος με μηδέν, όταν το L λειτουργεί στην προσεγγιστική συνάρτηση εισάγεται λάθος. Παριστώντας μαθηματικά την (2.4) γράφουμε:

$$L(h) = 0$$

ενώ

$$L(\hat{h}) = R$$

όπου R είναι το σφάλμα που παραμένει.

Το λάθος αυτό πρέπει να ελαχιστοποιηθεί για να επιλυθεί η εξίσωση (2.5) με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων. Αυτό επιτυγχάνεται θεωρώντας αρχικά ένα πλήρες σύνολο συναρτήσεων w_j και αναγκάζοντας το υπολειπόμενο σφάλμα R να είναι ορθογωνικό προς όλες τις θετικές τιμές του w_j . Το R θεωρείται έτσι ίσο με μηδέν και εξάγεται μια λύση της (2.5). Επομένως:

$$L(\hat{h}) = L(h) \quad \text{όταν } R = 0.$$

2.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ

Η τελική μορφή της εξίσωσης (2.5) μετά από ολοκλήρωση σε ολόκληρη την οριζόντια τομή της περιοχής που εξετάζουμε δίνεται υπό τη μορφή πινάκων από την εξής εξίσωση:

$$\mathbf{A}\mathbf{h} + \mathbf{B}\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t} - \mathbf{v} + \mathbf{f} = 0$$

όπου ο \mathbf{A} και ο \mathbf{B} είναι πίνακες διαστάσεων $(N \times N)$, ενώ τα \mathbf{h} , $\frac{\partial \mathbf{h}}{\partial t}$, \mathbf{v} και \mathbf{f} είναι διανύσματα στήλης μήκους N . Τα στοιχεία των \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{v} και \mathbf{f} είναι :

$$A_{ij} = \iint_{\Omega} \left[K_{xx} \frac{\partial w_i}{\partial x} \frac{\partial w_j}{\partial x} + K_{yy} \frac{\partial w_i}{\partial y} \frac{\partial w_j}{\partial y} \right] dx dy \quad (2.6a)$$

$$B_{ij} = \iint_{\Omega} [S w_i w_j] dx dy \quad (2.6b)$$

$$f_i = - \iint_{\Omega} Q w_i dx dy - \int_{\sigma} \left[K_{xx} \frac{\partial \hat{h}}{\partial x} l_x + K_{yy} \frac{\partial \hat{h}}{\partial y} l_y \right] w_i d\sigma \quad (2.6c)$$

όπου τα l_x και l_y αποτελούν τα συνημίτονα ανάμεσα στο κανονικό με το όριο της κάθετης τομής σ (το $d\sigma$ αντιπροσωπεύει ένα μικρό μήκος κατά μήκος αυτού του ορίου).

$$v_i = \sum_{j=1}^N \left[\iint_{\Omega} \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h_j}{\partial z} \right) w_i w_j dx dy \right] \quad (2.6d)$$

Η κάθετη παράγωγος

Το κεντρικό χαρακτηριστικό αυτού του κώδικα είναι η χρήση ενός κεντρικού διαφορικού σχεδίου για τις χωρικές παραγώγους στην κατεύθυνση z της εξίσωσης (2.6d). Η κάθετη τμηματοποίηση επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας ότι τα οριζόντια πλέγματα πεπερασμένων στοιχείων επαναλαμβάνονται σε στρώματα με τον κάθε κόμβο να είναι τοποθετημένος ακριβώς πάνω από τον αντίστοιχό του στο επόμενο στρώμα, όπως στο Σχήμα 2.1. Αυτό σημαίνει ότι στην κάθετη διεύθυνση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία μονοδιάστατη εξίσωση πεπερασμένων διαφορών για να προσεγγίσει την (2.6d).

Ονομάζοντας k τον κάθετο δείκτη, με $k = 1$ το χαμηλότερο στρώμα, η προσέγγιση αυτή γράφεται σε μορφή πινάκων:

$$v \cong C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1}) \quad (2.7)$$

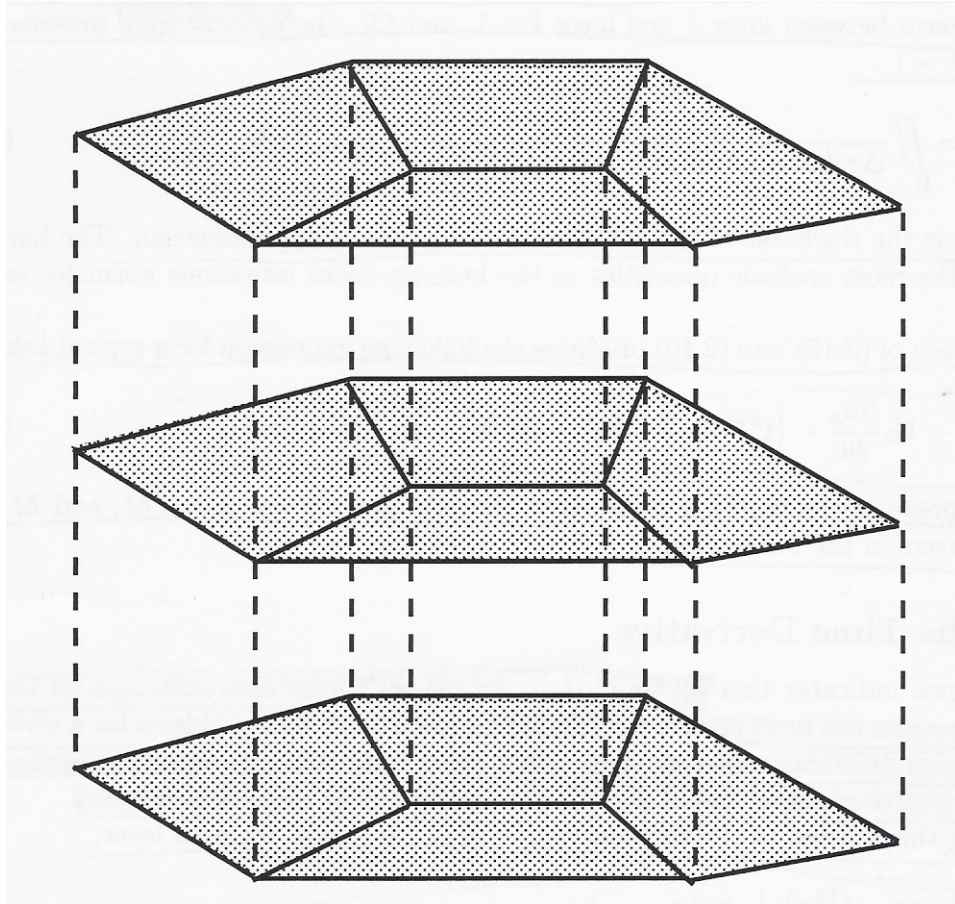
όπου C_k^+ είναι ο κάθετος όρος ανάμεσα στο στρώμα k και στο στρώμα $k+1$, ενώ C_k^- είναι ο κάθετος όρος ανάμεσα στα στρώματα k και $k-1$.

Η παράγωγος του χρόνου

Η πιο ακριβής λύση προβλημάτων υπόγειας ροής για συγκεκριμένο κόστος προκύπτει από ανάδρομη διαφορική προσέγγιση της παραγώγου του χρόνου. Σε μια ανάδρομη διαφορική αναπαράσταση χρησιμοποιείται ένα σχήμα διόρθωσης πρώτου βαθμού για να προσεγγίσει την παράγωγο του χρόνου και οι χωρικές παράγωγοι γράφονται στο νέο χρονικό επίπεδο. Βάσει αυτού του σχεδίου προκύπτει τελικά:

$$A_k h_k^{(t+\Delta t)} + \frac{(B_D)_k}{\Delta t} [h_k^{(t+\Delta t)} - h_k^t] - [C_k^+ (h_{k+1} - h_k) - C_k^- (h_k - h_{k-1})]^{t+\Delta t} + f_k^t = 0 \quad (2.8)$$

Η εξίσωση (2.8) αποτελεί την πλήρη διακριτοποίηση της (2.4) και μας παρέχει $M \times N$ εξισώσεις για τους N αγνώστους της (2.5) σε καθένα από τα M στρώματα.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση οριζοντίων πλεγμάτων πεπερασμένων στοιχείων τοποθετημένα το ένα επί του άλλου, δημιουργώντας τον τρισδιάστατο διαχωρισμό, *PTC manual*

2.2.4 ΟΡΙΑΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Το PTC υποστηρίζει τρεις τύπους οριακών συνθηκών στην εξίσωση ροής. Οι τρεις αυτοί τύποι είναι καθορισμένου ύψους (Dirichlet), καθορισμένης ροής (Neumann) και τρίτου τύπου (διαρροής). Σε περίπτωση που δεν έχει προσδιοριστεί οριακή συνθήκη, το μοντέλο θεωρεί μηδενική ροή για όλα τα όρια. Αυτό δηλώνει την ύπαρξη ενός

περιορισμένου υδροφορέα με αδιαπέραστο πυθμένα και πλευρές. Επιλέγοντας εναλλακτικές οριακές συνθήκες στο πεδίο, ο χρήστης μπορεί να αναπαραστήσει άλλες υδρολογικές συνθήκες.

Καθορισμένου ύψους

Τα όρια σταθερών υψών προσδιορίζονται, καθορίζοντας τους κόμβους, καθώς και τις τιμές των υψών που αντιστοιχούν σε αυτούς τους κόμβους. Ο κώδικας αυτόματα απαλοίζει τις γραμμές και στήλες στον πίνακα των συνιστωσών που έχουν σχέση με αυτούς τους κόμβους.

Καθορισμένης ροής

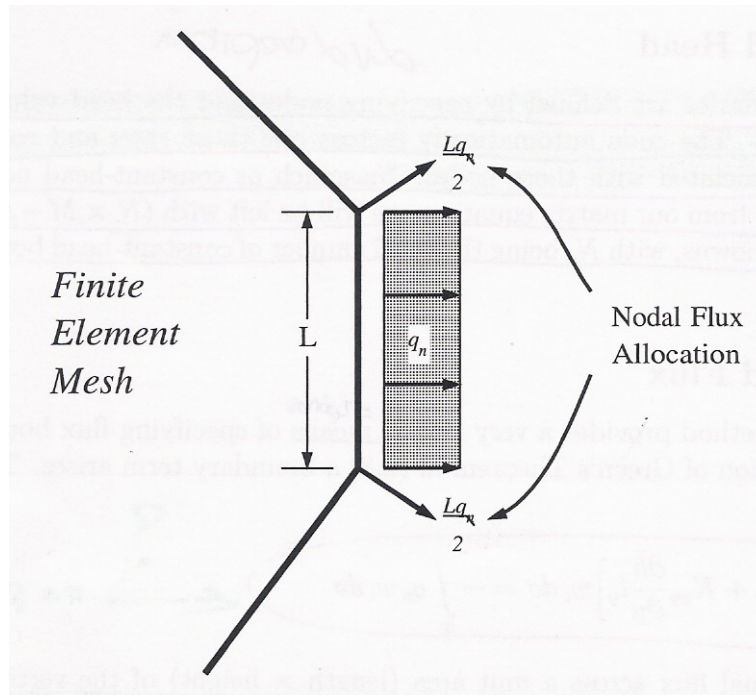
Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων προσδιορίζει με εύκολο τρόπο οριακές συνθήκες καθορισμένης ροής. Ο χρήστης χρειάζεται μόνο να καθορίσει την ογκομετρική ροή σε έναν κόμβο για να αναπαραστήσει τη ροή κατά μήκος ενός ορίου.

Τρίτου τύπου

Οριακές συνθήκες διαρροής εισάγονται με τον τύπο:

$$Q = k_L (h_{j,L}^t - h_{j,k}^t),$$

όπου το $h_{j,k}^t$ είναι το άγνωστο ύψος στον κόμβο j στο στρώμα k σε χρόνο t . Το $h_{j,L}^t$ είναι το αντίστοιχο ύψος στο σημείο αναφοράς της διαρροής και k_L είναι η αγωγιμότητα της διαρροής (ισούται με την υδραυλική αγωγιμότητα διαιρεμένη με την απόσταση).



Σχήμα 2.2: Κατανομή της ροής q στους κόμβους σε ένα στοιχείο μήκους L , *PTC manual*

2.2.5 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΥ ΟΡΙΖΟΝΤΑ

Η επιβολή οριακών συνθηκών υδροφόρου ορίζοντα ή ελεύθερου υδροφορέα απαιτεί την εισαγωγή δύο οριακών συνθηκών που εφαρμόζονται στο επίπεδο του νερού στο υψηλότερο στρώμα. Στο Σχήμα 2.3 δίνεται ένα διάγραμμα της κατάστασης, στην οποία περιλαμβάνεται ένας κινούμενος υδροφόρος ορίζοντας που υπόκειται σε διήθηση μεγέθους $R(x, y, t)$. Το καθορισμένο υψόμετρο του ανώτερου ορίου του πεδίου ροής θα είναι $z = z_{M+1}(x, y, t)$ και το πραγματικό υψόμετρο του υδροφόρου ορίζοντα δηλώνεται ως $z = z_{WT}(x, y, t)$.

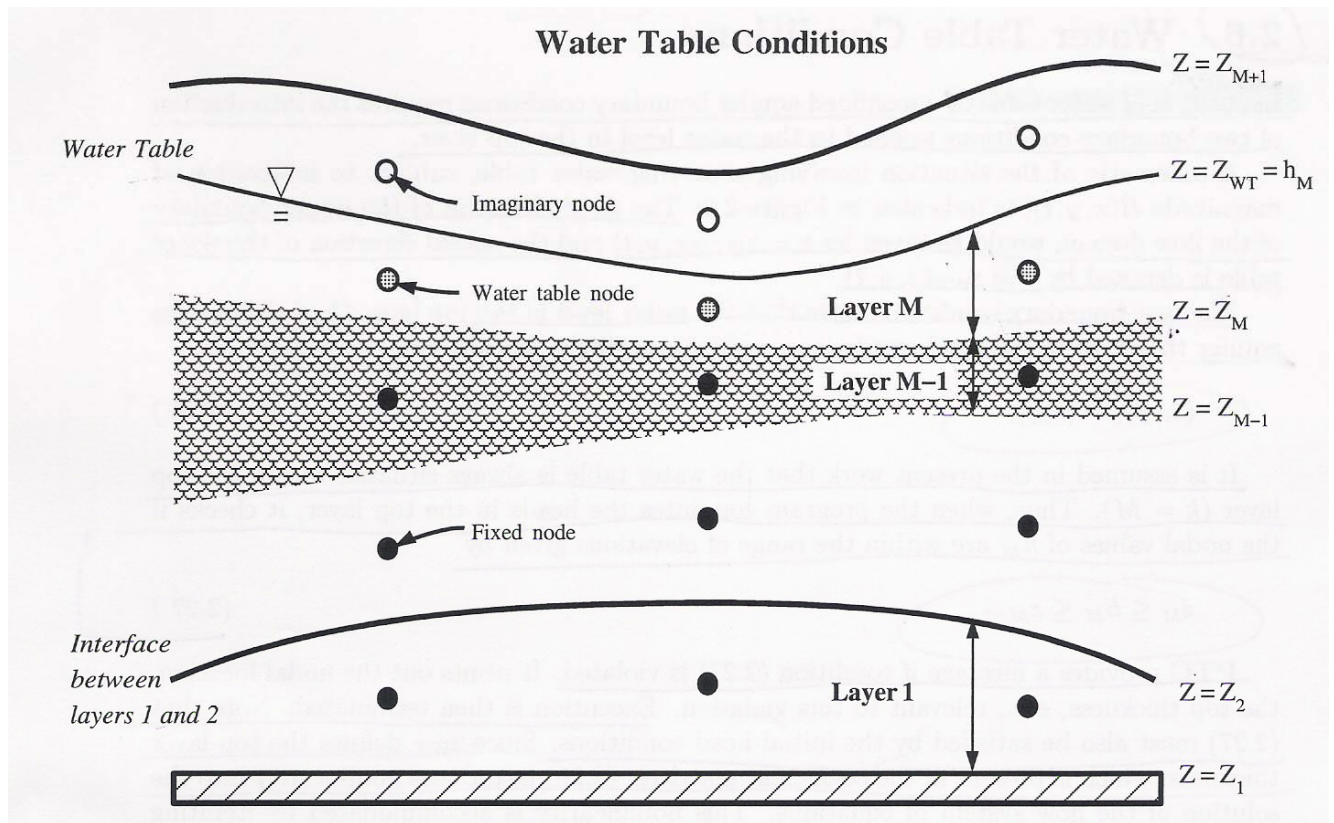
Η πρώτη οριακή συνθήκη δηλώνει ότι το επίπεδο του νερού στο ανώτερο στρώμα (h_M) καθορίζει το πάχος του υδροφορέα σε αυτό ($z_{WT} - z_M$). Συνεπώς σε κάθε κόμβο απαιτούμε να ισχύει η συνθήκη:

$$(z_{WT})_i = (h_M)_i.$$

Θεωρούμε ότι ο υδροφόρος ορίζοντας τοποθετείται πάντα μέσα στο ανώτερο στρώμα, δηλαδή ότι $k = M$. Έτσι, όταν το πρόγραμμα υπολογίζει τα ύψη σε αυτό, ελέγχει αν οι τιμές του h_M στους κόμβους είναι μέσα στα όρια των υψομέτρων που δίνονται από τη συνθήκη:

$$z_M \leq h_M \leq z_{M+1}.$$

Εάν η παραπάνω συνθήκη δεν ικανοποιείται το PTC παρέχει μήνυμα και η εκτέλεση τερματίζεται. Η παραπάνω συνθήκη πρέπει να ικανοποιείται και από τις αρχικές οριακές συνθήκες. [2]



Σχήμα 2.3: Συνθήκες υδροφόρου ορίζοντα και κατακρήμνισης στο πάνω όριο. Οι επιφάνειες που σημαίνονται με $z = z_1$, $z = z_2$ κλπ, είναι σταθερά όρια στο χώρο και καθορίζουν τα στρώματα, PTC manual

2.3 ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΡΥΠΩΝ

Η εξίσωση μεταφοράς όπως δόθηκε και παραπάνω είναι:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} [D_{xx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{xy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{xz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \frac{\partial}{\partial y} [D_{yx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{yy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{yz} \frac{\partial c}{\partial z}] + \frac{\partial}{\partial z} [D_{zx} \frac{\partial c}{\partial x} + D_{zy} \frac{\partial c}{\partial y} + D_{zz} \frac{\partial c}{\partial z}] \\ & + Q(c^w - c) - [V_x \frac{\partial c}{\partial x} + V_y \frac{\partial c}{\partial y} + V_z \frac{\partial c}{\partial z}] - \theta[1 + E(c)](\frac{\partial c}{\partial t}) = 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Οι όροι διασποράς στην (2.9) ορίζονται ως:

$$D_{xx} = (a_L V_x^2 + a_T V_y^2 + a_V V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{yy} = (a_T V_x^2 + a_L V_y^2 + a_V V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{zz} = (a_V V_x^2 + a_V V_y^2 + a_L V_z^2) / V + D_M$$

$$D_{yx} = D_{xy} = (a_L - a_T) V_x V_y / V$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (a_L - a_V) V_y V_z / V$$

$$D_{zx} = D_{xz} = (a_L - a_V) V_z V_x / V$$

και οι υπόλοιποι όροι είναι:

D_M είναι ο συντελεστής μοριακής διάχυσης, συνήθως μικρός (L^2/T),

a_L είναι η επιμήκης διασπορά (L),

a_T είναι η οριζόντια εγκάρσια διασπορά (L),

a_V είναι η κάθετη εγκάρσια διασπορά (L),

V είναι το μέγεθος του διανύσματος της ταχύτητας (L/T) ($V \equiv \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$),

c είναι η χημική συγκέντρωση στο σημείο (x, y, z) σε χρόνο t (M/L³),

θ είναι το πορώδες του υδροφορέα (αδιάστατο),

$E(c)$ είναι η συνάρτηση που αντιπροσωπεύει ιδιότητες χημικής απορρόφησης,

Q είναι η δύναμη της άντλησης (πηγής- πηγαδιού) (1/T)

($Q \equiv Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \delta(z - z_i)$),

Q_i είναι ο ρυθμός ογκομετρικής εμπλουτισμού / άντλησης (L³/T) στο σημείο (x_i, y_i, z_i),

C^w είναι η συγκέντρωση του αντλούμενου ρευστού στο σημείο (x_i, y_i, z_i),

$\delta()$ είναι η δελταειδής συνάρτηση Dirac.

Σε κάθε περίπτωση εμπλουτισμού-άντλησης από αντλία ($Q_i \leq 0$), υποθέτουμε πως η συγκέντρωση C^w του εξαγόμενου ρευστού στην αντλία ισούται με τη συγκέντρωση του υπόλοιπου περιβάλλοντος νερού c . Έτσι σε κάθε αντλία που αντλείται, ο όρος $Q(c^w - c) = 0$ στην (2.9) και ο κώδικας διατηρεί τους όρους με Q στην (2.9) μόνο όταν στην αντλία εισρέει ($Q_i > 0$) το διάλυμα, με συγκέντρωση c^w που αντιπροσωπεύει τη συγκέντρωση του ρευστού που εισρέει. [2]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΓΕΝΙΚΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Θεσσαλία αποτελεί μία κατεξοχήν αγροτική περιοχή, για της οποίας την ανάπτυξη είναι σαφές πως το νερό διαδραματίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο. Η ανάγκη για αναδιάρθρωση των καλλιεργειών, αλλά και για μείωση του κόστους παραγωγής των αγροτικών προϊόντων οδήγησε σε μία συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων με αποτέλεσμα δυσμενείς επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά.

Η εντεινόμενη πίεση που ασκείται εδώ και σαράντα χρόνια στο υδατικό δυναμικό της Θεσσαλίας έχει σαν αποτέλεσμα πλήθος περιβαλλοντικών προβλημάτων όπως είναι η ρύπανση και η μείωση της παροχής του Πηνειού ποταμού, η σημαντική πτώση της στάθμης, η υποβάθμιση και η υφαλμύρωση των υπόγειων νερών. Η επέκταση των αρδεύσεων χωρίς τα ανάλογα έργα υδατικών πόρων είναι τα βασικά αίτια της ευρύτερης υπερεκμετάλλευσης και προκαλούν πολλές φορές ακόμα και καθιζήσεις του εδάφους.

3.2 ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΙ ΥΔΑΤΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας έχει συνολική έκταση 13377 km² και αποτελείται από τις κύριες υδρολογικές λεκάνες του Πηνειού και της Κάρλας και τις δευτερεύουσες, παράκτιες λεκάνες (Λάρισας, Μαγνησίας, Βόλου και Αλμυρού). Στη δυτική και ανατολική λεκάνη το υδατικό διαμέρισμα χαρακτηρίζεται υδρογεωλογικά, από προσχωματικούς υδροφορείς και καρστικές γεωλογικές ενότητες.

Οι κύριοι υδατικοί της πόροι είναι ο Πηνειός, τα νερά του Ταυρωπού και οι υπόγειοι υδροφορείς της, οι οποίοι όμως δεν επαρκούν για την κάλυψη των αυξανόμενων αναγκών, με αποτέλεσμα το υδατικό ισοζύγιο να είναι ελλειμματικό. Συγκεκριμένα, η υετόπτωση στο μεγαλύτερο μέρος της Θεσσαλίας σε ετήσια βάση ανέρχεται στα

500 – 750 mm, ενώ στην κεντρική Θεσσαλία, δηλαδή στην περιοχή γύρω από τη Λάρισα και στη λεκάνη της Κάρλας κυμαίνεται μεταξύ 250 – 500 mm, γεγονός που συντελεί στο έλλειμμα νερού και οδηγεί στην επέκταση των αρδεύσεων.

Οι συχνές συνθήκες ανομβρίας και έλλειψης νερού που επικρατούν στην περιοχή εντείνουν την υποβάθμιση και εξάντληση του Πηνειού και των υπόγειων υδροφορέων της. Η λεκάνη του Πηνειού αποτελεί την κύρια υδρολογική λεκάνη της Θεσσαλίας με συνολική έκταση 9448 km² και κυριότερους παραποτάμους τον Ενιπέα, το Φαρσαλιώτη, το Σοφαδίτη και τον Καλέντζη στο νότιο μέρος της λεκάνης, τον Πλιούρη και τον Πορταϊκό στο νότιο και νοτιοδυτικό μέρος και στο βόρειο μέρος το Ληθαίο, το Νεοχωρίτη και τον Τιταρήσιο.

Ακόμα, η θεσσαλική πεδιάδα χωρίζεται σε δύο κύριες αυτοτελείς υδρογεωλογικές λεκάνες (δυτική και ανατολική) ως προς τα υπόγεια νερά. Χαρακτηρίζεται γενικά από τρεις τύπους υδροφορίας δηλαδή ελεύθερης πιεζομετρικής επιφάνειας, υπό πίεση και καρστικούς, ενώ το πρακτικά εκμεταλλεύσιμο υπόγειο υδατικό δυναμικό της ανέρχεται στα 394 hm³ / έτος. Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι απολήψιμες ποσότητες επιφανειακών νερών που δε θα διαταράξουν τα υπόγεια νερά κατάντη των ταμιευτήρων. Οι ποσότητες αυτές προκύπτουν αφαιρώντας από τη μέση απόληψη τις ποσότητες για τροφοδοσία και τις απώλειες των ταμιευτήρων:

Φράγμα – Ταμιευτήρες	Απόληψη για να μη διαταραχθούν τα υπόγεια νερά
Ταυρωπού	76
Σμόκοβο	114
Γυρτώνη	55
Κάρλα	125
Μουζάκι – Πύλη	122
Καλούδα	30
Παλιοδερλί	43
Νεοχώρι	19
Παλαιομονάστηρο	15
Φράγματα Πηνειού	24
ΣΥΝΟΛΟ	623

***Πίνακας 3.1:** Απολήψιμες ποσότητες επιφανειακών νερών, «Οι αρδεύσεις στη θεσσαλική πεδιάδα: Επιπτώσεις σε επιφανειακά και υπόγεια νερά». Κων. Γκούμας, 2005*

Σήμερα καταναλώνονται περίπου 750 hm³ (200-250 hm³ από επιφανειακά και 500-550 hm³ από υπόγεια νερά) για την άρδευση των εκτάσεων της θεσσαλικής πεδιάδας, ποσότητα η οποία δεν επαρκεί για την κάλυψη των αναγκών της. Οι ανάγκες αυτές αναμένεται είτε να μείνουν στάσιμες, είτε να εμφανίσουν ελαφρά αυξητική τάση στο μέλλον, σαν συνέπεια της ανάπτυξης καινούριων, περισσότερο υδροβόρων καλλιεργειών. [3]

3.3 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Οι ανάγκες της Θεσσαλίας σε νερό ανέρχονται στα 1836 hm³ ετησίως. Το υπόγειο νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το υδατικό δυναμικό υπολογίζεται στα 400 hm³, ενώ με την κατασκευή ταμιευτήρων που δεν προκαλούν ιδιαίτερα περιβαλλοντικά προβλήματα το εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό

είναι περίπου 623 hm^3 ετησίως. Συνολικά επομένως για την κάλυψη των αναγκών της Θεσσαλίας μπορούν να διατεθούν 1023 hm^3 και προκύπτει έλλειμμα μεγέθους 800 hm^3 . Μόνο στη λεκάνη του Πηνειού, βάσει νέων μελετών, το έλλειμμα κυμαίνεται μεταξύ 750 και 1000 hm^3 , ενώ με προσθήκη και των ελλειμμάτων της λεκάνης της Κάρλας και των τεσσάρων παράκτιων λεκανών το συνολικό έλλειμμα αυξάνεται κατά 200 hm^3 . Ακόμα και με μεταφορά νερού από το υδατικό διαμέρισμα του Αχελώου, δεν αναμένεται επαρκής κάλυψη του ελλείμματος. [3], [4]

3.4 ΑΡΔΕΥΤΙΚΑ - ΤΑΜΙΕΥΤΙΚΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗ ΘΕΣΣΑΛΙΑ

Η Θεσσαλία είναι περιοχή με έντονα αγροτικό χαρακτήρα, ενώ η οικονομία της στηρίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό στην πρωτογενή παραγωγή. Έχει συνολική έκταση 14 εκατ. στρεμ. με καλλιεργήσιμη έκταση τα 5 εκατ. στρεμ. εκ των οποίων αρδεύονται τα $2.525.000$ στρ. Από την ποσότητα αυτή το $29,7\%$ αντιστοιχεί στα επιφανειακά νερά και το $70,3\%$ στα υπόγεια νερά της Θεσσαλίας. Σε ποσοστό 63% των αρδευόμενων εκτάσεων καλλιεργήθηκε βαμβάκι.

Στη Θεσσαλία λειτουργούν συλλογικά 105 αρδευτικά έργα, 76 αντλιοστάσια, 85 μικρά και μεγάλα φράγματα, 13 ταμιευτήρες, 1712 κρατικές γεωτρήσεις (ΟΤΑ και ΤΟΕΒ) και 31000 ιδιωτικές γεωτρήσεις και παίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομία της περιοχής εξυπηρετώντας την πρωτογενή παραγωγή. Τα δίκτυα διανομής του νερού στα συλλογικά κρατικά έργα ωστόσο, κατασκευάστηκαν τις δεκαετίες του '60 και '70 και παρουσιάζουν σημαντικά προβλήματα στην αποδοτικότητά τους, με αποτέλεσμα την απώλεια σημαντικών ποσοτήτων νερού κατά τη μεταφορά του. Στον Πίνακα 3.2 συνοψίζονται τα αρδευτικά έργα που έχουν πραγματοποιηθεί στη Θεσσαλία:

Είδος έργου	Λάρισα	Καρδίτσα	Μαγνησία	Τρίκαλα	Θεσσαλία Σύνολο
Γεωτρήσεις κρατικές – ΟΤΑ	720	422	30	540	1712
Γεωτρήσεις ιδιωτικές	14000	7000	4000	5900	30900
Ταμιευτήρες πεδινόι	12		1	-	13
Φράγματα μικρά	36	30	-	-	66
Φράγματα μεγάλα	157	2	1	1	19
Διώρυγες τσιμέντινες	60	924	200	34	1218
Διώρυγες χωμάτινες	600	850	50	1950	3450
Κλειστοί επιφανειακοί αγωγοί	770	885	30	1050	2735
Κλειστοί υπόγειοι αγωγοί	280	10	-	216	506
Διάφορα αρδευτικά – αντλιοστάσια	42	112	21	6	181

Πίνακας 3.2: Κατηγορίες και αριθμός αρδευτικών έργων Θεσσαλίας, «Οι αρδεύσεις στη θεσσαλική πεδιάδα: Επιπτώσεις σε επιφανειακά και υπόγεια νερά». Κων. Γκούμας, 2005

Για τη λύση του αρδευτικού προβλήματος της Θεσσαλίας κατασκευάστηκαν ακόμα ταμιευτικά έργα, εξετάζοντας κατά πόσον η εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών από μόνη της θα επαρκούσε για την κάλυψη του ελλείμματος. Οι αρδεύσεις στη Θεσσαλία στηρίχθηκαν κυρίως σε ιδιωτικά έργα υπογείων υδάτων με φρέατα και γεωτρήσεις, δεδομένης της απουσίας μεγάλων συλλογικών αρδευτικών έργων. Τα έτη 1987-1988 άρχισε η κατασκευή έργων ταμίευσης με φράγματα και λιμνοδεξαμενές για την κάλυψη της έλλειψης νερού που κατέστρεψε μεγάλο αριθμό καλλιεργειών. Οι πεδινόι ταμιευτήρες που κατασκευάστηκαν, έγιναν σε ακαλλιέργητες εκτάσεις του δημοσίου που εξυπηρετούν 50000 – 60000 στρ. για μέρος της άρδευσης του ΤΟΕΒ Πηνειού. Η έκταση, η χωρητικότητα και το έτος κατασκευής τους φαίνονται στον Πίνακα 3.3.

Ονομασία - Τοποθεσία	Έκταση (στρ.)	Χωρητικότητα (m ³)	Έτος κατασκευής
Καλαμάκι – 1	2000	5.500.000	1989
Νιάματα – 1	570	1.800.000	1988-89
Πλατύκαμπος - 1	250	500.000	1989-92
Ελευθέριο – 1	300	900.000	1990-91
Δήμητρα	400	1.000.000	1990-91 & 1997
Καστρί	350	1.100.000	1992–93
Γλαύκη	550	2.100.000	1993–97
Καλαμάκι – 2	750	2.500.000	1999 – 2000
Μαυροβούνι	90	260.000	2000-01
Νιάματα – 2	413	1.100.000	2001-02
Πλατύκαμπος – 2	500	1.450.000	2002-04
Ελευθέριο – 2	300	800.000	2003-04
Σύνολο	6473	19.010.000	

Πίνακας 3.3: Πεδινοί ταμιευτήρες Ν. Λάρισας «Οι αρδεύσεις στη θεσσαλική πεδιάδα:

Επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά», Κων. Γκούμας, 2005.

Από τους 13 ταμιευτήρες, τα 85 φράγματα και τα 60 πρόχειρα φράγματα σε συλλεκτήρες και ποταμούς που έχουν κατασκευασθεί μέχρι σήμερα στη Θεσσαλία, γίνεται αποθήκευση 320 εκατ. m³ νερού, το οποίο χρησιμοποιείται για άρδευση καλλιεργειών, για ενίσχυση της παροχής ποταμών και υπόγειων υδροφορέων, για ύδρευση, σε υδροηλεκτρικά, καθώς και για κτηνοτροφικούς σκοπούς. Τόσο τα ήδη υπάρχοντα έργα, όσο και εκείνα που βρίσκονται ακόμα σε στάδιο μελέτης, δεν μπορούν να μειώσουν το έλλειμμα που παρουσιάζεται στο υδατικό δυναμικό της περιοχής σε ποσοστό μεγαλύτερο του 15-20%. Με τα έργα ταμίευσης αποθηκεύονται ήδη 300 εκατ. m³ νερού ετησίως, ποσότητα η οποία θα αυξηθεί κατά 50% με τα έργα που κατασκευάζονται (π.χ Κάρλα) και που τελικά αδυνατεί να καλύψει το έλλειμμα των 600

εκ. m^3 . Η ποσότητα αυτή που δεν μπορεί τελικά να καλυφθεί από μεγαλύτερη εκμετάλλευση των επιφανειακών νερών προβλέπεται να μεταφερθεί από τον Αχελώο, λύση που αποδεικνύεται συγκριτικά οικονομικότερη σε σχέση με την κατασκευή επιπλέον μικρών «φθηνών» φραγμάτων. [3]

3.5 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΕ ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΝΕΡΑ

Οι υδατικοί πόροι της Θεσσαλίας εδώ και κάποιες δεκαετίες υπόκεινται τόσο ποσοτική, όσο και ποιοτική υποβάθμιση λόγω της υπερεκμετάλλευσής τους. Η αύξηση των αρδευόμενων εκτάσεων, ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός των γεωτρήσεων καθώς και η υπερεκμετάλλευση της θερινής επιφανειακής απορροής του Πηνειού και άλλων ποταμών αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες του προβλήματος. Τα εγγειοβελτιωτικά έργα και οι αρδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν με στόχο τη διευκόλυνση της πρωτογενούς παραγωγής και την οικονομική ανάπτυξη της περιοχής, δε συνδυάστηκαν με ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων με αποτέλεσμα να παρουσιαστούν φαινόμενα υστέρησης της τροφοδοσίας των υπόγειων υδροφορέων, εξαιτίας του περιορισμού των περιοχών διήθησης. [3]

Υπόγεια νερά

Στα υπόγεια νερά της θεσσαλικής πεδιάδας, η υποβάθμιση του υδατικού δυναμικού εκδηλώνεται με διαφορετικούς τρόπους.

Η συνηθέστερη επίπτωση που παρατηρείται και συναντάται σχεδόν σε όλες τις γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στη Θεσσαλία, είναι η συνεχής πτώση της υδροστατικής στάθμης από την υπεράντληση των υπόγειων νερών, ως αποτέλεσμα της εξάντλησης των μη ανανεώσιμων υπόγειων υδροφορέων σε ορισμένες περιοχές. Ο χρόνος στον οποίο παρουσιάστηκε πτώση των υδροφορέων εμφανίζει αρκετές διακυμάνσεις στη θεσσαλική πεδιάδα και εξαρτάται από την ένταση της υπερεκμετάλλευσης. Γενικά σε κάποιες περιοχές το πρόβλημα αντιμετωπίζεται

ικανοποιητικά με άμεση αναπλήρωση των αντλούμενων ποσοτήτων και η μείωση της πιεζομετρικής στάθμης δε γίνεται αισθητή. Σε μία δεύτερη κατηγορία εντάσσονται περιοχές με σχετικά επαρκές υδατικό δυναμικό, που καλύπτει συνήθως τις ανάγκες για επανατροφοδοσία και η πτώση εξελίσσεται αργά. Υπάρχουν ωστόσο και περιοχές, όπου η αύξηση των αντλήσεων δεν καλύπτεται από το τοπικό υδατικό δυναμικό με αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης και την αδυναμία επαναπλήρωσης των ποσοτήτων που αφαιρούνται.

Συχνή είναι επίσης και η μείωση ή ακόμα και ο μηδενισμός των εκμεταλλεύσιμων παροχών των εν λόγω γεωτρήσεων. Η ανεξέλεγκτη ανόρυξή τους συντελεί στην επέκταση του οικολογικού προβλήματος με κίνδυνο για τη γονιμότητα των εδαφών, τη δημιουργία ερημικών συνθηκών και φυσικά την αναμενόμενη οικονομική υποβάθμιση. Είναι σαφές πως οι συνέπειες έχουν και οικονομικές επεκτάσεις, εφόσον οι αρδευτές αναγκάζονται να προσθέσουν νέα στελέχη στις αντλίες τους ώσπου αυτές να προσεγγίσουν το σημείο στο οποίο έχει ταπεινωθεί ο υδροφορέας. Το αυξημένο κόστος άντλησης νερού που προκύπτει επιβαρύνει τους Θεσσαλούς αγρότες.

Πολύ συχνά, ακόμα, οι υδροφορείς του θεσσαλικού χώρου υπόκεινται σε ποιοτική υποβάθμιση, εκ των οποίων σημαντικότερες είναι η ρύπανση των υδάτων με αύξηση της συγκέντρωσης των νιτρικών και των αμμωνιακών που συναντώνται στα λιπάσματα, αλλά και η υφαλμύρωσή τους. Με τον όρο υφαλμύρωση εννοούμε τη διείσδυση του νερού της θάλασσας στα υπόγεια νερά. Όταν η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα βρίσκεται πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και υπάρχει υδραυλική επικοινωνία, παρατηρείται κίνηση του νερού από την πεδιάδα προς τη θάλασσα. Όταν όμως η στάθμη των υδροφορέων πέσει κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, τότε το νερό ακολουθεί αντίστροφη πορεία και εισχωρεί από τη θάλασσα στα υπόγεια νερά, με σκοπό την κάλυψη του ελλείμματος που δημιουργείται στους υδροφορείς από τις υπεραντλήσεις. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση του αλμυρού νερού και η ακαταλληλότητά του για οποιαδήποτε χρήση. Υπολογίζεται πως για να αποκατασταθεί το φαινόμενο της υφαλμύρωσης, αφού σταματήσει ο λόγος από τον οποίο προκλήθηκε

απαιτείται 7-10πλάσιος χρόνος από το διάστημα που χρειάστηκε για να φτάσει στην απόσταση που παρατηρήθηκε.

Μία τελευταία κατηγορία επιπτώσεων σε ότι αφορά τα υπόγεια νερά είναι η παρουσίαση φαινομένων καθίζησης και ρωγμών του εδάφους, τα οποία οφείλονται στη συρρίκνωση των εξαντληθέντων υδροφόρων στρωμάτων με λεπτόκοκκα υλικά, λόγω συμπίεσης των κενών των πόρων τους που προκαλεί η πτώση της στάθμης. Τέτοια φαινόμενα συναντώνται συχνά στη ΝΑ και ΒΔ πλευρά της Ανατολικής Θεσσαλίας και μπορεί να επηρεάσει την ευστάθεια οικοδομών.

Επιφανειακά νερά

Υποβάθμιση έχουν υποστεί και τα επιφανειακά νερά του θεσσαλικού χώρου, για την οποία υπεύθυνες είναι κυρίως οι αρδεύσεις. Τα νερά ποταμών καθώς και πηγών υπόκεινται σε ανεξέλεγκτη εκμετάλλευση για την εξυπηρέτηση των αναγκών καλλιεργειών. Τα όρια ελάχιστης ροής για τη λειτουργία του ποταμού και τη διατήρηση της υδρόβιας ζωής δεν τηρούνται σχεδόν ποτέ. Κυριότερο παράδειγμα είναι ο Πηνειός ποταμός, η παροχή του οποίου εξαντλείται μέχρι μηδενισμού, πράγμα το οποίο επιφέρει σημαντικότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ελάχιστη παροχή του υπολογίζεται στα $1-3 \text{ m}^3/\text{s}$, ενώ κατά την αρδευτική περίοδο ανεβαίνει στα $12-15 \text{ m}^3/\text{s}$ και η μέση ετήσια απορροή αυτού και των παραποτάμων του φθάνει τα 3 δισεκ. m^3 . Από την ποσότητα αυτή αρδεύονται 150 εκατ. m^3 για την κάλυψη των αναγκών των νομών Τρικάλων, Καρδίτσας και Λάρισας. Τελικά η ελάχιστη προβλεπόμενη οικολογική παροχή των $5 \text{ m}^3/\text{s}$ ικανοποιείται σπάνια.

Ακόμη και σε πηγές, οι επιπτώσεις από την υπεράντληση των υπόγειων νερών εκδηλώθηκε με μείωση ή και μηδενισμό των παροχών σε αρκετά σημεία ιδιαίτερα σε καρστικούς σχηματισμούς. Οι παροχές σε σχιστολιθικούς σχηματισμούς ήταν σχετικά σταθερές.

Οι ποιοτικές επιπτώσεις αφορούν και τα επιφανειακά νερά, κυρίως εκείνα ποταμών και πηγών και εντείνονται κατά τη θερινή περίοδο, όπου η παροχή του νερού

μειώνεται από τις αρδεύσεις και αυξάνονται οι εισροές λιπασμάτων και γεωργικών φαρμάκων. Την περίοδο αυτή αυξάνονται οι θάνατοι των ψαριών και παρατηρούνται ευρύτερες καταστροφές στην πανίδα, λόγω αυξομειώσεων στη ροή και στην παροχή του ποταμού. Η κατάσταση διορθώνεται σε κάποιο βαθμό με την ανάμιξη του Πηνειού με νερά του Ταυρωπού (διαφορετικά ο Πηνειός θα βρισκόταν σε συνθήκες ελάχιστης παροχής για 4 περίπου μήνες), ενώ η κατάστασή του βελτιώνεται σημαντικά μετά την κοιλιάδα των Τεμπών, όπου εμπλουτίζεται από πηγές μεγάλης παροχής της περιοχής.

3.6 ΕΡΓΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Όπως προαναφέρθηκε, η κάλυψη του ελλείμματος που προκύπτει σαν αποτέλεσμα της υπερεκμετάλλευσης του υδατικού δυναμικού της περιοχής, αναμένεται να πραγματοποιηθεί με την εκτροπή του άνω ρου του ποταμού Αχελώου. Με τη μεταφορά νερού από τον Αχελώο θεωρείται πως θα αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό η οικολογική καταστροφή που θα υποστεί η Θεσσαλία σε περίπτωση που δεν πραγματοποιηθεί το έργο. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα επιφέρει το έργο δεν είναι σημαντικές για τον κάτω ρου του ποταμού, όπως άλλωστε επιβεβαιώνουν οι Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, ενώ η εφαρμογή του κρίνεται πλέον απαραίτητη, σύμφωνα και με τη νέα Ευρωπαϊκή οδηγία για τη βιωσιμότητα των υδατικών ισοζυγίων, η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο στο πλαίσιο ολοκληρωμένης πολιτικής διαχείρισής τους.

Τα έργα για τη μεταφορά νερού από τον Αχελώο που έχουν εγκριθεί με περιβαλλοντικούς όρους είναι τα παρακάτω:

- Υδροηλεκτρικό έργο Μεσοχώρας: είναι το πρώτο από τα έργα που ξεκίνησαν στον άνω ρου του Αχελώου και ολοκληρώθηκε το 1996. Πρόκειται για λιθόρριπτο φράγμα με ανάντη πλάκα από σκυρόδεμα και ύψος 150 m.
- Φράγμα Συκιάς και ΥΗΣ Συκιάς: το φράγμα της Συκιάς είναι χωμάτινο, κατασκευασμένο από αμμοχάλικα της κοίτης και αργιλικό πυρήνα με ύψος 145

- m. Το υδροηλεκτρικό έργο βρίσκεται ακόμα υπό κατασκευή και εντοπίζεται στο σημείο συμβολής του Αχελώου με τον ποταμό Κουμπουργιανίτικο, στα όρια των νομών Καρδίτσας και Άρτας.
- Σήραγγα εκτροπής προς Θεσσαλία και ΥΗΣ Πευκοφύτου: η σήραγγα εκτροπής έχει μήκος 17.315 m και εντοπίζεται στο νομό Καρδίτσας. Η υδροληψία της βρίσκεται στον ταμιευτήρα του έργου Συκιάς και αφού διασχίσει την οροσειρά της Πίνδου, πλησιάζει την επιφάνεια του εδάφους στη Θεσσαλία στην περιοχή Δρακότρυπας.
 - Αναρρυθμιστική δεξαμενή και ΥΗΣ Μαυρομματίου
- Ακόμα και σε περίπτωση μείωσης των αρδευόμενων εκτάσεων, παραμένει επιβεβλημένη η ανάγκη για μεταφορά νερού από τον Αχελώο για την ενίσχυση της θεσσαλικής πεδιάδας, καθώς μόνο έτσι μπορεί να επιτευχθεί αποκατάσταση των υπόγειων υδροφορέων, με παράλληλη προστασία του Πηνειού, καθώς και αύξηση της παραγωγής «καθαρής» ενέργειας από τους προβλεπόμενους υδροηλεκτρικούς σταθμούς. [3], [9]

3.7 ΣΥΝΟΨΗ

Οι επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά της Θεσσαλίας από τα έργα που έχουν πραγματοποιηθεί είναι αρκετά εκτεταμένες και την κατατάσσουν σε περιοχή όχι ιδιαίτερα ευνοϊκή από υδρολογικής απόψεως. Οι εκτεταμένες αρδεύσεις έχουν δημιουργήσει έλλειμμα στο υδατικό ισοζύγιο, το οποίο για να καλυφθεί απαιτείται μεταφορά νερού από τα υδατικά διαμερίσματα του Αχελώου. Τα νέα αυτά τεχνικά έργα που επιβάλλονται και από τη νέα Ευρωπαϊκή οδηγία στο πλαίσιο της διατήρησης της βιωσιμότητας των υδατικών ισοζυγίων, δεν αναμένεται να έχουν σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ενώ με τη λειτουργία τους θα διασφαλιστεί η προστασία του Πηνειού ποταμού, καθώς και η ποιότητα της ύδρευσης εξασφαλίζοντας την ορθολογική διαχείριση των υπογείων υδάτων.

Οι αρδεύσεις δεν αναμένεται να μειωθούν στο θεσσαλικό χώρο, ενώ οι υδατικές ανάγκες αναμένεται να αυξηθούν με την ανάπτυξη νέων, πιο υδροβόρων καλλιεργειών. Κρίνεται επομένως σκόπιμη η εξοικονόμηση νερού και η μείωση της χρήσης των υπόγειων νερών, σε συνδυασμό με έργα τεχνητού εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων που θα αποκαταστήσουν μερικώς τις εκτεταμένες επιπτώσεις της υπερεκμετάλλευσής τους.

Είναι τέλος σαφές, πως για τις περιβαλλοντικές μεταρρυθμίσεις που κρίνονται πλέον απαραίτητες στο θεσσαλικό χώρο, καθώς και για την καλύτερη δυνατή διαχείριση των οικονομικών πόρων που αναμένεται να διατεθούν από την Ε.Ε. για τη κατασκευή περιβαλλοντικών έργων, είναι αναγκαία η συνεργασία όλων των φορέων με τους χρήστες νερού, κάτω από την επίβλεψη κατάλληλης τοπικής αυτοδιοίκησης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

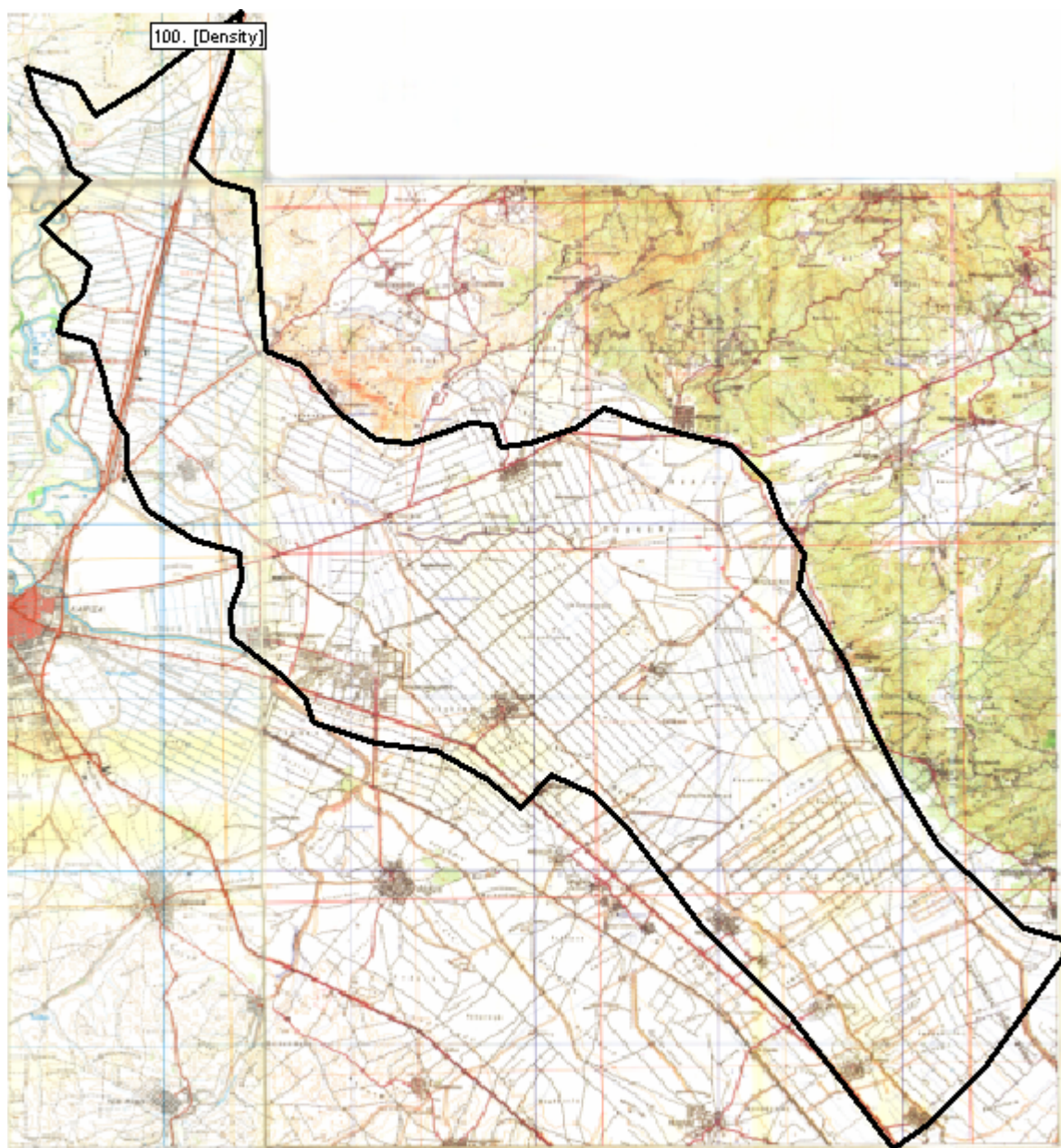
4.1 ΘΕΣΗ – ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ

Η περιοχή μελέτης ανήκει στη δικαιοδοσία του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού και καλύπτει μέρος του κεντρικού τμήματος της υδρογεωλογικής λεκάνης της Ανατολικής Θεσσαλίας (Σχήμα 4.1). Η ενότητα αυτή αποτελεί συνέχεια του βορειοδυτικού τμήματος και καταλαμβάνει την ευρύτερη πεδινή περιοχή των διαμερισμάτων Κουλουρίου, Πλατύκαμπου, Αμφιθέας, Γυρτώνης, Μελισσοχωρίου και Ομορφοχωρίου. Στην περιοχή συμπεριλαμβάνεται ακόμα μέρος του ΝΑ τμήματος της υδρογεωλογικής λεκάνης Ανατολικής Θεσσαλίας, δηλαδή της πεδιάδας Κάρλας, η οποία αποτελεί συνέχεια του κεντρικού τμήματος.

Στην ευρύτερη περιοχή του κάμπου της Λάρισας δεν παρατηρούνται σημαντικές εξάρσεις στο ανάγλυφό της. Η διεύθυνση της πεδιάδας είναι ΒΔ – ΝΑ και συμπίπτει με το κύριο σύστημα ρηγμάτων των σχηματισμών του υποβάθρου.

Ο υδροφόρος ορίζοντας της περιοχής υφίσταται έντονη υπερεκμετάλλευση για γεωργικές κυρίως χρήσεις του νερού. Ο μέσος ετήσιος όγκος αντλούμενου νερού για την καλλιέργεια υδρόφυλλων κυρίως φυτών ανέρχεται στα $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1996).

Κύριο υδάτινο στοιχείο της περιοχής είναι ο Πηνειός ποταμός. Η ξήρανση της πεδιάδας Κάρλας κατά τη δεκαετία του 1950 στέρησε από την περιοχή ένα σημαντικό υδάτινο πόρο. [4], [5]



Σχήμα 4.1: Τοπογραφικός χάρτης ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού, ΙΓΜΕ

4.2 ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η κυριότερη απασχόληση των κατοίκων της περιοχής είναι οι γεωργικές καλλιέργειες. Ασχολούνται ακόμη με την κτηνοτροφία, είναι μισθωτοί του δημοσίου ή του ιδιωτικού τομέα ή μικροεπαγγελματίες.

Οι κύριες καλλιέργειες που αναπτύσσονται στην περιοχή είναι το βαμβάκι στο μεγαλύτερο ποσοστό, ο αραβόσιτος, τα ζαχαρότευτλα, οι μηδικές καλλιέργειες, τα λαχανικά, οι ελιές, οι αμυγδαλιές, τα καπνά και διάφορες δενδρώδεις καλλιέργειες. Σημαντικό ποσοστό της έκτασης καλύπτεται ακόμα από βοσκότοπους, ενώ τα δάση καταλαμβάνουν ένα μικρό μέρος της περιοχής μελέτης. Στον Πίνακα 4.1 συνοψίζονται οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις σε στρέμματα καθώς και τα είδη των καλλιεργειών για τρία δημοτικά διαμερίσματα της πεδιάδας του Πηνειού [6], [7]:

Δημοτικό Διαμέρισμα	Καλλιέργειση έκταση (στρέμματα)	Βοσκότοποι	Δάση	Αρδευόμενες εκτάσεις (στρέμματα)	Σιτηρά	Αραβόσιτος	Βαμβάκι	Ζαχαρότευτλα	Μποστανία	Μηδική	Λαχανοκομικά	Ελιές	Αμυγδαλιές	Λοιποί Δενδρόνες
Πλατύκαμπος	44.400	33.000	0	27.777	16.444	1.163	24.975	1.166	0	150	437	0	75	0
Γλαύκη	41.919	-	107	32.082	13.900	750	25.530	300	20	400	1.000	10	80	-
Χάλκη	30.300	1.000	-	22.875	8.500	600	18.000	1.600	-	200	900	-	40	-
Μελισσοχώρι	15.920	1.000	-	12.052	6.630	250	8.823	-	-	150	-	-	25	-
Ελευθέριο	10.934	1.200	-	9.017	1.340	1.230	7.286	190	10	220	-	-	58	-
Ομορφοχώρι	14.770	-	-	11.915	2.566	292	9.543	591	-	1.357	204	3	91	-

Πίνακας 4.1: Είδη καλλιεργειών σε δημοτικά διαμερίσματα της περιοχής, «Ποιοτικός έλεγχος υδρευτικών γεωτρήσεων στα δημοτικά διαμερίσματα του Δήμου Πλατυκάμπου, Ν. Λαρίσης», Ν. Βεράνη, Ν. Αποστόλου, 2003.

4.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι τριτογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί που έχουν αποτεθεί στην ευρύτερη περιοχή του τμήματος που εξετάζεται από τους παλαιότερους προς τους νεότερους είναι:

- Φλύσχης του ανώτερου Κρητιδικού – Ηώκαινου,
- Μάργες θαλάσσιας προέλευσης και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι του Μειοκαίνου,
- Σχηματισμοί χερσαίας – χειμάρρειας προέλευσης του Πλειοκαίνου και
- Σχηματισμοί του τεταρτογενούς, αποτελούμενοι από αλλουβιακές αποθέσεις, αποθέσεις χειμάρρειες και χερσαίες.

Οι παραπάνω τριτογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί δημιουργούν ένα στρώμα εδαφικών σχηματισμών πάχους περίπου 250 – 300 m, ενώ σε ορισμένες περιοχές φτάνουν ακόμα και τα 400 m.

Το πεδινό τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται από σχηματισμούς του Ολοκαίνου και συγκεκριμένα από αλλουβιακές αποθέσεις (ανοικτότεφρα έως καστανότεφρα ασύνδετα υλικά), εφόσον δημιουργήθηκε υπό συνθήκες ποταμολιμνιαίας φάσης από φερτά υλικά του Πηνειού ποταμού από την εποχή του Τριτογενούς μέχρι σήμερα, τα οποία δημιούργησαν εναλλαγές ενστρώσεων αργίλου, αργιλλοίλου (ανατολικό τμήμα), κροκαλοατύπων και άμμων ψιλόκοκκων έως χονδρόκοκκων (δυτικό τμήμα) με απολιθώματα (όστρακα) και τύρφη. Στα κράσπεδα των λεκανών οι εν λόγω αποθέσεις είναι περισσότερο αδρομερείς, ενώ γίνονται βαθμιαία λεπτομερέστερες προς το κέντρο. Η πρόσχωση έγινε τόσο από τα φερτά υλικά του Πηνειού, όσο και από τη διάβρωση περιφερειακών ορεινών όγκων. Η διαδικασία συνεχίζεται ακόμα και σήμερα επηρεάζοντας σημαντικά τη γεωγραφική κατανομή των ιδιοτήτων των υδροφορέων.

Τα ιζήματα που περιγράφηκαν επικάθονται κατά τόπους στις γλωσσοειδείς απολήξεις των αποθέσεων του Τιταρρησίου (Ομορφοχώρι, Κουλούριο, Γυρτώνη) αρκετά πριν εγκαταλείψει ο Πηνειός τη Θεσσαλία, ή στα κροκαλοπαγή της Χασάμπαλης ή στο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της Πελαγονικής.

Η λοφώδης - ορεινή περιοχή στην περιοχή Πλατυκάμπου δομείται από Παλαιοζωϊκής ηλικίας μεταμορφωμένα πετρώματα (σχιστόλιθους, μαρμαρυγακούς γνεύσιους, αμφιβολίτες, σερπεντινίτες), τα οποία είναι έντονα σχιστοποιημένα λόγω των Αλπικών πτυχώσεων. Από τις νεοτεκτονικές κινήσεις του Μειόκαινου – Τεταρτογενούς έχουν αναπτυχθεί συστήματα από ασυνέχειες (κατακλάσεις, ρήγματα, ρωγμές) που αυξάνουν το δευτερογενές πορώδες και διευκολύνουν την κίνηση του υπόγειου νερού.

Στο ανώτερο μέρος της περιοχής μελέτης, στην περιοχή της Γυρτώνης συναντώνται επιφανειακοί σχηματισμοί του Πλειστοκαίνου που αποτελούνται από ποταμολιμνιαίες αποθέσεις της λεκάνης της Λάρισας, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλη έκταση των βορείων παρυφών της και αποτελούνται κυρίως από αργίλους και άμμους ποικίλου πάχους. Ακόμα, έχουμε εδώ και σχηματισμούς της Πελαγονικής ζώνης (Παλαιοζωϊκού – Μεσοτριάδικου), η οποία εκτείνεται με κατεύθυνση ΒΔ – ΝΑ από την πρώην Γιουγκοσλαβία προς τους ορεινούς όγκους των Βόρα, Βίτσι, Βερμίου, Ολύμπου, Πηλίου, Βόρειας Εύβοιας, κάμπτεται ανατολικά προς τις βόρειες Σποράδες και καταλήγει στη Μ.Ασία. Συγκεκριμένα εντοπίζονται γνεύσιοι και γνευσιοσχιστόλιθοι, όπως είναι ο χαλαζίας, οι άστριοι, ο βιοτίτης και οι μαρμαρυγίες.

Στο ΝΑ τμήμα της λεκάνης, η γεωλογία συνίσταται κυρίως από:

- κώνους κορημάτων,
- παλαιά πλευρικά κορήματα,
- υλικά αναβαθμίδων (ύψους περίπου 20 m) και
- ιζήματα λιμνοχερσαίας φάσης.

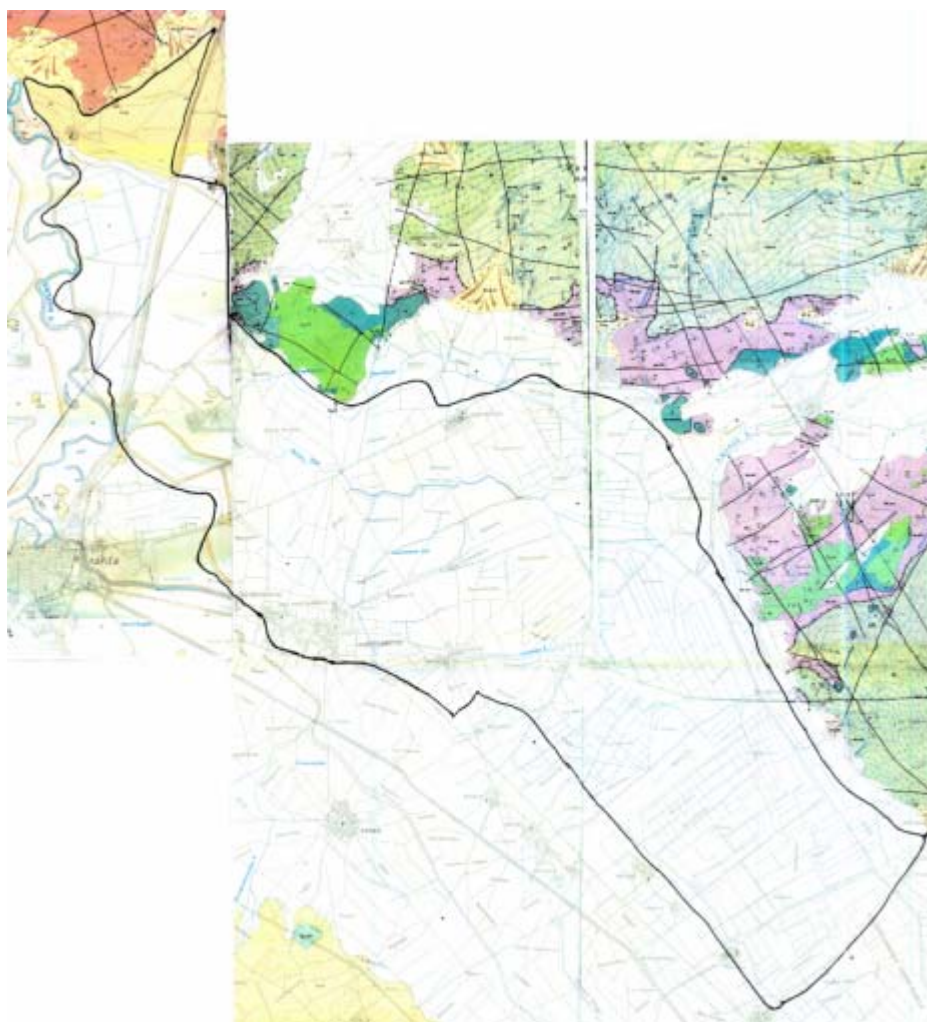
Τα κορήματα συνίστανται από αδρομερή υλικά με κροκαλολατύπες ποικίλου μεγέθους συγκολλημένα συνήθως με ανθρακική συγκολλητική ύλη.

Τα λιμναία ιζήματα (Κ. Πλειστόκαινο) αποτελούνται από αργίλους, αργιλλοίλεις και από σημαντικό ποσοστό μαργαϊκού υλικού σε μεγάλο πάχος 200 – 500 m. Αποτελούν την βαθμιαία προς τα άνω εξέλιξη των υποκείμενων λιμναίων μαργαϊκών αποθέσεων του Μειόκαινου. Τα ιζήματα επικάθονται στο παλαιογεωγραφικό ανάγλυφο μεταμορφωμένων βασικών πετρωμάτων και μεταϊζημάτων (προανωκρητιδικό τεκτονικό κάλυμμα) που αποτελούνται κυρίως από γνευσιο - σχιστόλιθους με πακέτα ενστρώσεων

μαρμάρων και χαλαζιτών της Πελαγονικής ζώνης, των οποίων η ενότητα διακόπτεται με αποτέλεσμα να επηρεάζεται και ο σχηματισμός του καρστ, όπου αναπτύσσονται ζώνες υδροφορίας με αποθεματικό χαρακτήρα. Πιο συγκεκριμένα εντοπίζονται σε ορισμένες περιοχές λιμναίες έως υφάλμυρες αποθέσεις (Μειόκαινο) που αποτελούνται από μάργες τεφρές έως υπόλευκες, εύθραστες σε στρώματα πάχους 5 – 20 cm και κατά θέσεις φυλλώδεις αργιλούχες πράσινες. Ακόμα κατά θέσεις συναντώνται και ψαμμιτικές ενστρώσεις με παρεμβολές κροκαλοπαγών μεγέθους μέχρι 10 cm και αργιλομαργαϊκό συνδετικό υλικό. Οι ασβεστόλιθοι υπόκεινται των μαργών και φαίνεται να αποτελούν το κρυσταλλικό υπόβαθρο στην περιοχή της Μέλισσας, ενώ εντοπίζονται ακόμα μαρμαρυγικοί σχιστόλιθοι.

Οι σχηματισμοί αυτοί συναντώνται κυρίως στη νότια και στη δυτική πλευρά της πεδιάδας της Κάρλας και από τη στρωματογραφία της περιοχής διαπιστώνεται ότι οφείλονται σε τεκτονικό βύθισμα που δημιουργήθηκε εξαιτίας της δράσης ρηγμάτων με αντίθετες διευθύνσεις και στη συνέχεια πληρώθηκε από χαλαρά ιζήματα λιμναίας και ποταμοχειμάρρειας προέλευσης. [4], [5], [6], [8]

Παρακάτω παρατίθεται ο γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της πεδιάδας του Πηνειού.



Σχήμα 4.2: Γεωλογικός χάρτης πεδιάδας Πηνειού, ΙΓΜΕ

4.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στα χαλαρά ιζήματα της πεδινής περιοχής (άργιλοι, άμμοι, αμμο – άργιλοι, κροκαλοπαγή, μάργες) εντοπίζονται διαφορετικοί υδροφορείς σε βάθη 10 – 200 m, ενώ οι παροχές των υδρογεωτρήσεων είναι της τάξης των 20 – 80 m³ / ώρα.

Στα βραχώδη, μη ανθρακικά πετρώματα (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, φυλλίτες, σερπεντινίτες, αμφιβολίτες) της λοφώδους – ορεινής περιοχής του κεντρικού τμήματος της υπό εξέταση περιοχής (ΒΑ του Δ. Πλατυκάμπου), το υπόγειο νερό κυκλοφορεί μέσω

του δευτερογενούς πορώδους που δημιουργούν οι ασυνέχειες. Ένα μέρος των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων που κατεισδύει στην περιοχή αυτή εκφορτίζεται στα χαμηλότερα τοπογραφικά σημεία και έτσι ενισχύεται η επιφανειακή απορροή των ρεμάτων κατά τη χειμερινή περίοδο. Ακόμα ένα μικρό ποσοστό των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων κυκλοφορεί υπό πίεση μέσω ρηγμάτων σε βαθύτερα επίπεδα και εκφορτίζεται υπόγεια πλευρικά στα χαλαρά ιζήματα της πεδινής περιοχής.

Στο ΝΑ τμήμα η υδρογεωλογική κατάσταση διαφοροποιείται από εκείνη του κεντρικού τμήματος. Τα ιζήματα εδώ είναι περισσότερο λεπτόκοκκα (κυρίως άργιλος), με αποτέλεσμα να μη δημιουργούνται σημαντικοί υδροφορείς. Η τροφοδοσία των πορώδων αυτών υδροφορέων γίνεται από τις ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, την υπόγεια πλευρική διήθηση νερού από τους υπόγειους υδροφορείς των γειτονικών βραχωδών πετρωμάτων των ορεινών όγκων, την πλευρική διήθηση κατά μήκος της κοίτης του ρέματος Κουσμπασανιώτη και από την επιστροφή του αρδευτικού νερού σε ποσοστό 10%. Η επιφανειακή απορροή εντοπίζεται κατά μήκος των χειμάρρων και των αρδευτικών καναλιών.

Οι κυριότερες ζώνες υδροφορίας που έχουν αναπτυχθεί περιμετρικά της λεκάνης στην περιοχή της Κάρλας είναι οι παρακάτω: α) στη ΝΑ περιοχή της πεδιάδας Κάρλας με τις ζώνες υδροφορίας Χάλκης, Κιλελέρ και Ριζόμυλου – Στεφανοβίκειου, β) στη ΒΑ περιοχή με τις ζώνες υδροφορίας κώνων κορημάτων στη Μαρμαρίνη και τα πλευρικά κορήματα Πλασιάς – Καστρίου – Καλαμακίου – Καναλιών και γ) στην κεντρική περιοχή (ο κορμός της πεδιάδας Κάρλας από Πλατύκαμπο έως Ριζόμυλο) , όπου η προσχωματική πεδινή έκταση δομείται σε μεγάλο βάθος από λιμναία ιζήματα (αργίλους, αργιλλοίλεις, μάργες σε μεγάλο πάχος 200 – 500 m), που αποτελούν αδιαπέραστους σχηματισμούς, των οποίων η υδροφορία είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Τα ασβεστολιθικά πετρώματα που εντοπίζονται ανατολικά της Κάρλας και στο υπόβαθρο της πεδινής περιοχής λόγω της καρστικοποίησης σχηματίζουν ανοιχτές ρωγμές, διαμέσου των οποίων κινείται το νερό.

Η αποφόρτιση της καρστικής μονάδας γίνεται στα ΒΔ προς το Αιγαίο Πέλαγος και στα ΝΔ προς τον Παγασητικό κόλπο. Τα υπόγεια νερά αυτής της περιοχής δεν έρχονται σε επαφή με τα νερά που αναπτύσσονται στις παλιότερες αποθέσεις, πράγμα που οφείλεται τόσο στην έξοδο προς τη θάλασσα, όσο και η διαφοροποίηση μεταξύ των

υδραυλικών συστημάτων. Το νερό από τις νέες αποθέσεις στραγγίζεται στο καρστ σε μικρές ποσότητες λόγω της χαμηλής διαπερατότητας, της έλλειψης εμπλουτισμού αλλά και της εκτεταμένης άντλησης του νερού των πρόσφατων αποθέσεων. Στα μάρμαρα της λεκάνης δε σχηματίζεται ενιαίος υπόγειος υδροφορέας όπως προκύπτει από μετρήσεις σε πηγάδια, εξαιτίας των παρεμβαλλόμενων στρωμάτων γενύσιων και σχιστόλιθων, που δημιουργούν δευτερογενείς υδρογεωλογικές μονάδες. Στη δυτική πλευρά (Καλαμάκι – Κανάλια) το νερό χαρακτηρίζεται από καλή ποιότητα εξαιτίας της υψηλής στάθμης της θάλασσας, σε αντίθεση με εκείνο της νοτιοδυτικής πλευράς. Η αύξηση των γεωτρήσεων σε αυτήν την περιοχή έχει οδηγήσει σε υποβάθμιση του νερού που βρίσκεται στο καρστ, πράγμα το οποίο θεωρείται επικίνδυνο, δεδομένης της ένωσης του καρστικού συστήματος με τη θάλασσα. [4], [5], [8]

4.4 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ

Η στρωματογραφία της περιοχής υποδεικνύει πως οι ενστρώσεις των άμμων σε μεγάλα βάθη, οι αμμοχάλικες του Τιταρρησίου και τα κροκαλοπαγή της Χασάμπαλης αποτελούν τους επικρατέστερους υδροφόρους σχηματισμούς. Η υδροφορία της περιοχής είναι μέσης δυναμικότητας και η δίαίτά της εξασφαλίζεται μερικώς από την κατείδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, τις πλευρικές τροφοδοσίες του Τιταρρησίου, από τα πλευρικά κορήματα της Χασάμπαλης και σε μικρό βαθμό από τον Πηνειό ποταμό, ο οποίος τροφοδοτεί τον φρεάτιο ορίζοντα. Η δυναμικότητα αυξάνεται στο δυτικό τμήμα της πεδιάδας, όπου τα υλικά είναι πιο χονδρόκοκκα.

Στην πεδιάδα Κάρλας συναντώνται οι παρακάτω περιμετρικές ζώνες υδροφορίας:

- Κώνοι κορημάτων (ζώνες υδροφορίας Χάλκης και Μαρμαρίνης)
- Πλευρικά κορήματα (ζώνη υδροφορίας Καλαμακίου – Καναλίων)
- Πλευρικά κορήματα και λιμναίες αποθέσεις (ζώνες υδροφορίας Κιλελέρ και Ριζόμυλου – Στεφανοβίκειου)

Οι πλευρικές τροφοδοσίες που εμπλουτίζουν τις παραπάνω ζώνες, καθιστούν αειφορική τη δυναμική των υδροφορέων. [4]

4.5 ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ

Η εξεταζόμενη περιοχή υπόκειται σε έντονο αρδευτικό καθεστώς. Από τα 85.000 στρέμματα στα οποία υπολογίζεται η αρδευόμενη περιοχή, τα 10.000 αρδεύονται από γεωτρήσεις του Τ.Ο.Ε.Β. , 70.000 αρδεύονται από το επιφανειακό δίκτυο του Πηνειού, ενώ 5.000 στρέμματα αρδεύονται από ιδιωτικές γεωτρήσεις. Επιπλέον λειτουργεί σημαντικός αριθμός παράνομων γεωτρήσεων για την κάλυψη των αναγκών σε ξηρές χρονιές. Αποτέλεσμα αυτών είναι η πτωτική τάση που παρατηρείται από το 1985 και έπειτα στην πιεζομετρία της περιοχής, η οποία διορθώνεται σε μικρό βαθμό κατά τα βροχερά έτη. Η πτώση της στάθμης σήμερα έχει φθάσει τα 25 – 30 m. Οι αγρότες συνήθως προχωρούν σε επιπλέον εκβάθυνση των γεωτρήσεών τους και σε τοποθέτηση των στροβίλων των αντλιών σε μεγαλύτερα βάθη.

Σ’ ότι αναφορά το ΝΑ τμήμα της Ανατολικής Θεσσαλίας η πιεζομετρία παρουσιάζει δύο κυρίως συμπεριφορές: α) στη ΝΔ περιοχή (Χάλκη, Κιλελέρ, Ριζόμυλος, Στεφανοβίκειο, Νίκη): από το 1980 μέχρι σήμερα παρατηρείται συνεχής πτώση στάθμης της τάξης των 50 – 60 m χωρίς καμία ανάκαμψη κατά τα βροχερά έτη (Χάλκη, Κιλελέρ), ενώ στο Ριζόμυλο, στο Στεφανοβίκειο και τη Νίκη εμφανίζονται μερικές ανακάμψεις με γενική πτώση 20 – 30 m, β) στη ΒΑ περιοχή (πλευρικά κορήματα Καλαμάκι, Καστρί, Κανάλια) παρατηρείται γενικά καλύτερη πιεζομετρία με σημαντικές ανακάμψεις και η πτώση στάθμης δεν ξεπερνάει τα 7 – 15 m, ενώ στο πεδινό της τμήμα (Ελευθέριο, Νάματα, Πλασιά) η πιεζομετρία παραμένει σχεδόν αμετάβλητη λόγω της φτωχής υδροφορίας και του αρδευτικού δικτύου του Πηνειού ποταμού.

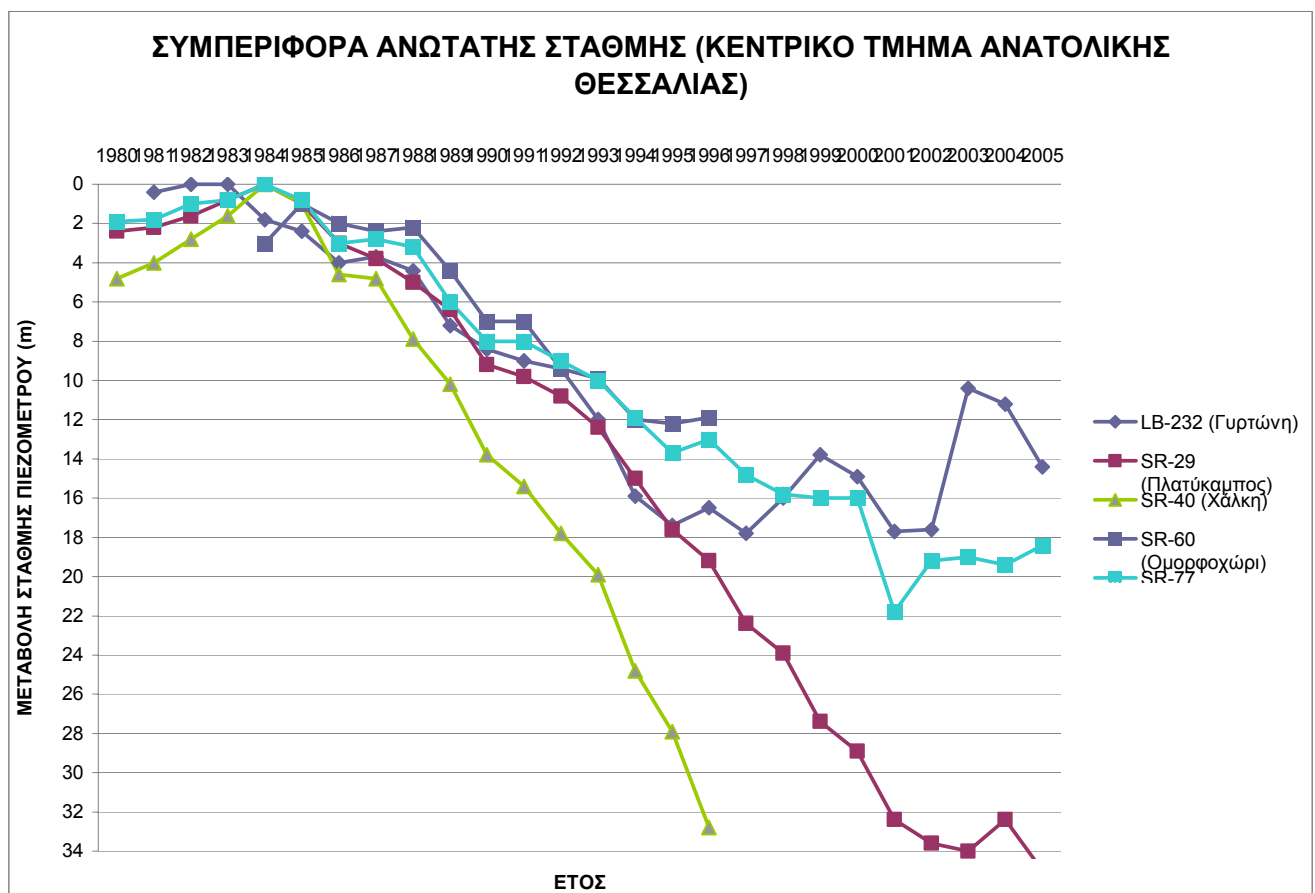
Η πτώση στάθμης στα περιθώρια της λεκάνης είναι γενικά μικρότερη εφόσον η περιοχή αυτή τροφοδοτείται πλευρικά από νερά της ημι-ορεινής περιοχής των βραχωδών πετρωμάτων.

Η ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας έχει προκαλέσει σημαντικές καθιζήσεις του εδάφους γραμμικής μορφής, σε πολλά σημεία της ανατολικής θεσσαλικής πεδιάδας. Αυτό συμβαίνει όταν κατά την υποχώρηση της πιεζομετρικής επιφάνειας, τα στρώματα αργίλου που παρεμβάλλονται μεταξύ άμμων και χαλίκων στην πεδινή περιοχή, γίνονται σταδιακά ακόρεστα σε νερό λόγω της στράγγισης και έτσι

συμπυκνώνονται. Οι προβλέψεις για το μέλλον δεν είναι ενθαρρυντικές, εφόσον η περαιτέρω ταπείνωση της πιεζομετρικής επιφάνειας θα προκαλέσει ανυπολόγιστες καταστροφές σε οικισμούς, δρόμους αλλά και τεχνικά έργα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος κρίνεται απαραίτητος ο περιορισμός των αντλήσεων με παράλληλη αξιοποίηση των επιφανειακών υδάτων του Πηνειού ποταμού. Στην άρση του προβλήματος θα συντελέσει και η επαναδημιουργία της αποξηραμένης λίμνης Κάρλας με την αποθήκευση των επιφανειακών υδάτων του Πηνειού ποταμού κατά τη χειμερινή περίοδο.

Στο Σχήμα 4.3 απεικονίζεται η πτώση στάθμης που παρατηρείται στην περιοχή μελέτης για τα έτη 1980 – 2005: [4], [5], [8]

:



Σχήμα 4.3

Πηγή: Διαχειριστική μελέτη του υπόγειου υδάτινου περιοχών δικαιοδοσίας των Τ.Ο.Ε.Β.

Ν. Λάρισα, Ευαγγελόπουλος Α. , Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Λάρισα, 2005

4.6 ΥΔΑΤΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Το ισοζύγιο του υπόγειου νερού είναι ελλειμματικό όπως και σε ολόκληρη τη θεσσαλική πεδιάδα, πράγμα που αποδεικνύεται από την παρατηρούμενη πτώση στάθμης, από την οποία προκύπτει ότι η άντληση νερού από τις αρδευτικές γεωτρήσεις γίνεται από τα μόνιμα αποθέματα. Το υπόγειο υδάτινο δυναμικό υφίσταται υπερεκμετάλλευση και στη ΝΔ περιοχή της πεδιάδας Κάρλας, ενώ στο ΒΑ τμήμα παρατηρείται αειφορία στην εκμετάλλευση κυρίως στα πλευρικά κορήματα Μαρμαρίνης και Καλαμακίου. [4]

4.7 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η διεύθυνση της πεδιάδας Λάρισας (ΒΔ – ΝΑ) συμπίπτει με το κύριο σύστημα ρηγμάτων που εντοπίζεται στους σχηματισμούς του υποβάθρου, κάτι που υποδηλώνει πως αποτελεί τεκτονική τάφρο, η οποία αποτέλεσε λεκάνη απόθεσης ιζημάτων κατά το Τριτογενές – Τεταρτογενές. Στην περιοχή εντοπίζονται επίσης και τα εξής συστήματα ρηγμάτων:

- Ένα ενεργό σύστημα ρηγμάτων με παράταξη Α – Δ
- Ένα μάλλον ανενεργό κατά τη διάρκεια του τεταρτογενούς σύστημα ρηγμάτων, με παράταξη ΒΒΑ – ΝΝΔ.

Τα συστήματα αυτά εντοπίζονται με σαφήνεια στους ορεινούς όγκους γύρω από την πεδιάδα. Ενδεικτικές είναι οι ρωγμές που εντοπίζονται στις περιοχές της Χάλκης, του Ριζόμυλου, του Στεφανοβίκειου, της Νίκης, του Καστρίου καθώς και μία μεγάλη ρωγή που εμφανίζεται στο χώρο του αεροδρομίου. Η ύπαρξη και άλλων δεν αποκλείεται, δεν είναι όμως εύκολο να διαπιστωθεί λόγω του υπάρχοντος επιφανειακού δικτύου, το νερό του οποίου εμπλουτίζει τον φρεάτιο ορίζοντα με αποτέλεσμα να αποσβέννυνται οι ρωγμές.

Το φαινόμενο των εδαφικών ρωγμών στην περιοχή είναι σύνθετο και αποδίδεται σε συνδυασμό τεκτονικών και υδρογεωλογικών αιτίων και συγκεκριμένα στην προέκταση ρηγμάτων του υποβάθρου στους τεταρτογενείς σχηματισμούς και την

ασεισμική κίνησή τους, καθώς και τη σημαντική πτώση του υδροφόρου ορίζοντα που παρατηρείται σε όλη την περιοχή λόγω της υπερεκμετάλλευσής του. [4], [5]

4.8 ΧΗΜΙΣΜΟΣ – ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η υδροχημική σύσταση του νερού εξαρτάται από τη λιθολογική, την ορυκτολογική σύσταση των πετρωμάτων διαμέσου των οποίων κινείται, το χρόνο παραμονής μέσα στα πετρώματα αυτά, την ταχύτητα αναπλήρωσής του, τις κλιματολογικές συνθήκες, αλλά και από εξωγενείς παράγοντες, όπως είναι οι εστίες ρύπανσης (π.χ. χρήση φυτοφαρμάκων).

Στην περιοχή μελέτης το υπόγειο νερό είναι επιβαρυμένο από νιτρικά και χλωριούχα σε μεγάλα βάθη, λόγω της μη καλής έκπλυσης των λιμνοθαλασσίων αποθέσεων κυρίως από το Ομορφοχώρι προς την Κάρλα. Σε δείγματα που λήφθηκαν από υδρευτικές γεωτρήσεις στην περιοχή Αγ. Νικολάου, οι συγκεντρώσεις στα υπόλοιπα κύρια στοιχεία διαπιστώθηκε ότι κυμαίνονται σε επιτρεπτά επίπεδα για το πόσιμο νερό. Συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων, βαρέων μετάλλων και τοξικών στοιχείων βρίσκονται σε πολύ χαμηλές τιμές.

Στους βαθείς υδροφορείς της πεδιάδας Κάρλας παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο μέχρι και σε βάθος 200 m, σε χαμηλές όμως συγκεντρώσεις και οφείλεται κυρίως στις λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις. Στις περιμετρικές υδροφορίες (Καλαμάκι, Μαρμαρίνη, Κιλελέρ, Χάλκη) συναντώνται χλωριονατριούχα ιόντα σε βάθη μεγαλύτερα των 200 m. Στις πεδινές περιοχές που εφάπτονται ασβεστολίθων (Ριζόμυλος, Στεφανοβίκειο), παρατηρούνται σημαντικές συγκεντρώσεις χλωριούχων και νιτρικών, λόγω της διείσδυσης του θαλασσινού νερού στους κοκκώδεις σχηματισμούς της πεδινής έκτασης διαμέσου του καρστ των ασβεστολίθων. Ακόμα, σε ορισμένες ζώνες υδροφορίας (Χάλκης, Κιλελέρ) παρατηρείται ρύπανση από τη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων. Ως προς τα υπόλοιπα κύρια στοιχεία (ιχνοστοιχεία, βαρέα μέταλλα, τοξικά στοιχεία) και εδώ κυμαίνονται σε επιτρεπτά επίπεδα όπως προέκυψε από δειγματοληψίες σε υδρευτικές γεωτρήσεις στις περιοχές Καλαμακίου και Μέλισσας. [4],

4.9 ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα αποτελούν μαζί με τα ύδατα του Πηνειού το κύριο μέσο εμπλουτισμού των υδροφόρων οριζόντων της πεδιάδας της Λάρισας. Στη Λάρισα είναι εγκατεστημένος μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ, ο οποίος βρίσκεται σε υψόμετρο 73,6 m και σε συντεταγμένες Γεωγρ. πλάτος $39^{\circ} 39'$, και Γεωγρ. μήκος $22^{\circ} 27'$. Τα δεδομένα του σταθμού αυτού καλύπτουν την περίοδο 1932 – 2002 και η μικρή του απόσταση από την εξεταζόμενη περιοχή σε συνδυασμό με το σχετικά όμοιο ανάγλυφό τους, καθιστά τα δεδομένα επαρκώς αντιπροσωπευτικά. Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει τα μέσα ύψη βροχής και τις μέσες θερμοκρασίες του σταθμού Λάρισας της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1932 – 2002.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΕΤΟΣ
Ύψος βροχής (mm)	41,2	39,1	43,5	32,3	42,6	29,1	19,3	8,9	29,8	59,9	51,6	67,9	465,2
Θερμοκρασία (C °)	5,3	7,0	9,5	14,4	19,9	25,3	28,0	27,4	22,6	16,8	11,7	6,8	

Πίνακας 4.1: Μέσα ύψη και μέσες θερμοκρασίες του σταθμού Λάρισας της ΕΜΥ, 1932 – 2002, « Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης φαινομένων εδαφικών ρωγμών στην περιοχή του ΔΔ Χάλκης, Δ. Πλατυκάμπου, Ν. Λάρισας», Βότσογλου Ν., 2003

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν αναφέρονται παρακάτω:

- Για τα έτη 1932 – 2002 το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων στη Λάρισα ανέρχεται στα 465,2 mm, με το 27% περίπου να υπολογίζεται για τους μήνες Οκτώβριο και Δεκέμβριο, που αποτελούν και τους μήνες υψηλότερης συγκέντρωσης.
- Η περίοδος Οκτωβρίου – Δεκεμβρίου αποτελεί την πιο βροχερή περίοδο σε ετήσια βάση, με ποσοστό βροχοπτώσεων της τάξης του 39% περίπου.
- Η μεγαλύτερη θερμοκρασιακή διαφορά σημειώνεται ανάμεσα στους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο και αντιστοιχεί σε $22,7^{\circ}$ C. Τον Ιούλιο και τον Αύγουστο

σημειώνονται οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες, ενώ τον Ιανουάριο και το Φεβρουάριο οι μικρότερες.

Η κατείδυση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων στις κοκκώδεις τεταρτογενείς αποθέσεις δεν επαρκεί για την κάλυψη του αρνητικού ισοζυγίου που προκύπτει από την υπεράντληση του υδροφόρου ορίζοντα, με αποτέλεσμα την παρατηρούμενη πτώση στάθμης. [5]

Από το βροχομετρικό χάρτη Θεσσαλίας προκύπτει ότι το ύψος των κατακρημνισμάτων στην πεδινή περιοχή του ΝΑ τμήματος της λεκάνης (περιοχή Κιλελέρ) είναι 450 – 500 mm / έτος και στη λοφώδη 500 – 600 mm / έτος αντίστοιχα.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας ύψους μηνιαίων βροχοπτώσεων (mm) για το σταθμό Σωτηρίου, για το διάστημα 1983 – 2007:

ΕΤΟΣ	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	ΙΝ	ΙΑ	Α	Σ	ΕΤΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (mm/year)
1983-1984	-	36	145.9	-	2.8	42	84	12.5	18.5	11	40.9	-	393.6
1984-1985	50	59	40.8	53	4.5	49.5	20.5	19	23.5	10	2.5	0.8	333.1
1985-1986	49.1	130.5	17	19.5	36.5	25.5	13	36	48	13.3	5	10	403.4
1986-1987	44.5	79.5	15	19.5	-	-	48	18.5	23	10.4	16	9	283.4
1987-1988	59	78	17.5	18	20.5	19.5	16	7.5	11	1.5	-	5	253.5
1988-1989	22	100.5	28	2	4.5	29.5	14	27	-	33.5	-	4.5	265.5
1989-1990	31	40	78.5	1	2	12	18	37	15	9	36	7	286.5
1990-1991	22	53	80.5	22	14.5	45	77	67.5	6	22	13.5	30	453
1991-1992	14	79	0.5	7	14	11	45.5	47.5	44.7	23	0	79.6	365.8
1992-1993	39.5	39	45.2	7.3	25	27.4	17.8	60.4	3	2.5	14	0	281.1
1993-	3.3	117.9	26.5	68.3	18.6	16.1	44	42	1.5	24.6	13.8	4.2	380.8

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»

1994													
1994-1995	124.7	64.6	41.6	48.37	2.3	65.4	16.1	9.2	39.2	10.6	11	0.5	433.57
1995-1996	25	30.28	94	40.7	61.1	36.9	21.5	41.9	0	7.6	5.5	22.9	387.38
1996-1997	60.7	21.5	48.7	40.7	11	29.4	49.9	30	18	4.5	46.6	51	412
1997-1998	66.1	18.3	76.6	10	52.9	64	2.5	108.5	4.5	0	0	5.7	409.1
1998-1999	11	174.8	64.5	31.5	-	-	-	-	-	-	6.5	19.3	307.6
1999-2000	80.5	96.8	59	34	63	21	16	23.5	10.6	11.5	0	32.1	448
2000-2001	71.7	25.5	7.2	62.5	14.8	7.5	60.5	73.5	2.5	39	-	16.3	381
2001-2002	-	-	-	-	5.7	71	73.4	9.3	2.3	94.2	6.2	-	340
2002-2003	36.4	84.1	137.6	157.7	43.3	16.4	-	-	8.5	18.2	1	155	658.2
2003-2004	140.3	23.1	98.7	99.8	20.1	43.5	47.9	56	73.6	-	-	29.4	632.4
2004-2005	-	-	49.4	31.9	66.6	36.2	3.1	28	5.5	6	22.1	-	248.8
2005-2006	45.1	48.7	52.6	115.7	23	47.9	45.4	12.5	19	33.6	5.5	28.5	487.5
2006-2007	152.6	11	11.1	7.2	30	28.8	13	64.3	-	-	-	117.5 5	435.55

Πίνακας 4.2: Μηνιαίες βροχοπτώσεις σε mm, σταθμός Σωτηρίου, Υπουργείο Γεωργίας, Δ/ση Σχεδιασμού Εγγειοβελτιωτικών Έργων και Αξιοποίησης Εδαφοϋδατικών Πόρων, 2007

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την προσομοίωση της υπόγειας ροής της πεδιάδας του Πηνειού ποταμού με χρήση του μοντέλου PTC , είναι απαραίτητη η εισαγωγή κάποιων στοιχείων της περιοχής, βάσει των οποίων θα προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα. Τα στοιχεία αυτά περιλαμβάνουν τον ορισμό του τύπου του υδροφορέα, το χρόνο της προσομοίωσης, τη θέση των πηγαδιών και τις τιμές των παροχών με τις οποίες αντλούν, την υδραυλική αγωγιμότητα που χαρακτηρίζει τα πετρώματα που συναντώνται, τη βροχόπτωση, τις αρχικές και οριακές συνθήκες, καθώς και τα υψόμετρα σε διάφορα σημεία της εξεταζόμενης περιοχής. Βάσει των παραπάνω στοιχείων, το μοντέλο προσομοιώνει την περιοχή και μπορεί να δώσει αποτελέσματα σχετικά με την κατανομή των υδραυλικών υψών και των κάθετων και οριζοντίων ταχυτήτων ροής του νερού. Είναι ακόμα δυνατή η μελέτη της διασποράς ενός ρύπου μέσα στον υδροφορέα, η οποία μεταβάλλεται με την υπόγεια ροή. Τα αποτελέσματα που εξάγονται χρησιμοποιούνται ως μέτρο σύγκρισης για την εξέταση διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων.

5.2 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΑΡΧΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ PTC

Αρχικά, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, πρέπει να οριστούν ορισμένα βασικά χαρακτηριστικά του δικτύου. Γίνεται επιλογή του είδους των πεπερασμένων στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν (τριγωνικά), καθώς και επιλογή ύπαρξης υδροφόρου ορίζοντα, εφόσον πρόκειται για ελεύθερο υδροφορέα. Στη συνέχεια είναι απαραίτητος ο ορισμός του αριθμού των στρωμάτων (layers), στα οποία θα χωρίζεται ο υδροφορέας. Αυτό επιτυγχάνεται με βάση τα βάθη των σωληνώσεων των γεωτρήσεων, που είναι γνωστά από τις γεωλογικές τους τομές και τα υψόμετρα στα οποία βρίσκονται αυτές, τα οποία είτε επίσης αναγράφονται στις γεωλογικές τομές, είτε προσδιορίζονται από τους τοπογραφικούς χάρτες. Ανάλογα με το βάθος κάτω από τη θάλασσα στο οποίο φτάνει η

κάθε γεώτρηση, αυτή εντάσσεται στο αντίστοιχο στρώμα. Στη δική μας περίπτωση διακρίνονται τρία διαφορετικά βάθη, επομένως οι γεωτρήσεις κατηγοριοποιούνται ανά στρώμα σε ρηχές, μεσαίες και βαθιές. Συνολικά τα στρώματα είναι τέσσερα, ορίζοντας ως Στρώμα 1 το βαθύτερο και φτάνοντας στο Στρώμα 4 που ξεκινάει από το επίπεδο της θάλασσας και καταλήγει στην επιφάνεια του εδάφους. Το μεγαλύτερο βάθος που εντοπίζεται σε γεώτρηση είναι τα 170 m και αυτό ορίζεται ως επίπεδο αναφοράς. Ο προσδιορισμός του αριθμού των στρωμάτων φαίνεται στο Σχήμα 5.1.

Έπειτα είναι απαραίτητος ο καθορισμός του αριθμού των περιόδων για τις οποίες θα τρέξουμε το μοντέλο και της διάρκειάς τους. Για την πιο αντιπροσωπευτική προσομοίωση των πραγματικών συνθηκών, επιλέξαμε δύο περιόδους, δηλαδή το μοντέλο θα τρέχει τόσο για το καλοκαίρι (περίοδος 1), όσο και για το χειμώνα (περίοδος 2). Η διάρκεια της κάθε περιόδου είναι 180 ημέρες, επομένως η συνολική διάρκεια της προσομοίωσης είναι περίπου ένας χρόνος (360 ημέρες). Όλες οι μονάδες χρόνου εκφράζονται σε ημέρες και οι μονάδες μήκους σε μέτρα.

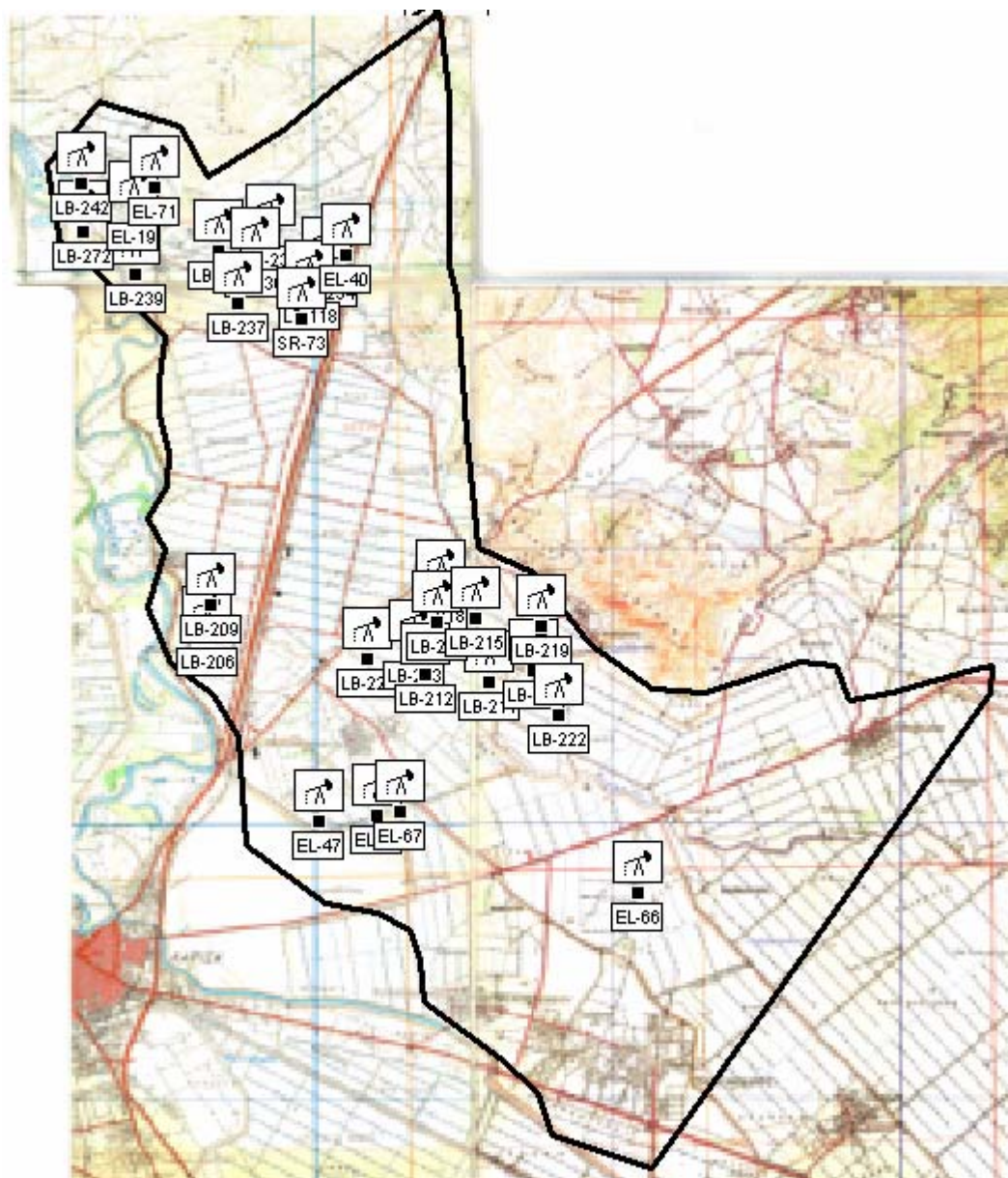
5.3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Μετά τον καθορισμό των αρχικών στοιχείων ακολουθεί η κατασκευή ενός ομοιώματος της περιοχής. Το πρώτο βήμα για το σκοπό αυτό, είναι η εισαγωγή γεωλογικών, τοπογραφικών, ή και υδρογεωλογικών χαρτών της. Εδώ χρησιμοποιήσαμε τρεις συνολικά χάρτες κλίμακας 1:50000, και συγκεκριμένα ένα γεωλογικό και δύο τοπογραφικούς, στον έναν εκ των οποίων αναγράφονται οι θέσεις των γεωτρήσεων. Αφού εισαχθούν οι χάρτες ακολουθείται μία διαδικασία κατά την οποία αυτοί προσαρμόζονται ώστε να συμπίπτουν. Στη συνέχεια σχεδιάζεται πάνω τους το περίγραμμα της περιοχής μελέτης. Λόγω έλλειψης στοιχείων, αντί για την εξέταση ολόκληρης της πεδιάδας του Πηνειού (ή αλλιώς περιοχή της αποξηρανθείσας λίμνης Κάρλας), θα εξεταστεί μόνο το βορειότερο τμήμα της που περιλαμβάνει τις περιοχές Πλατυκάμπου, Γαλήνης, Μελισσοχωρίου, Ομορφοχωρίου, Χασάμπαλης, Κουλουρίου, έως και Γυρτώνης. Ο μέγιστος αριθμός πεπερασμένων στοιχείων που επιτρέπει η συγκεκριμένη έκδοση του ArgusOne είναι 2000, επομένως είναι απαραίτητος ο καθορισμός της πυκνότητάς τους, ώστε να μην ξεπερνούν αυτήν την τιμή.

Έπειτα απαιτείται ο καθορισμός των υψομέτρων των στρώματων. Τα στρώματα 1, 2 και 3 έχουν σταθερό υψόμετρο ίσο με 55, 115 και 170 m αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές προέκυψαν υπολογίζοντας κάθε φορά το πάχος του στρώματος και προσθέτοντας την απόστασή του από τον πυθμένα. Για τον καθορισμό του υψομέτρου του στρώματος 4 που δεν παραμένει σταθερό, μεταφέρθηκαν στο μοντέλο γνωστές τιμές υψομέτρων, όπως αυτές προέκυψαν από τις ισοϋψείς των τοπογραφικών χαρτών της περιοχής. Στα υψόμετρα που αναγράφονται στο χάρτη προστέθηκε η τιμή 170, εφόσον σε αυτό το βάθος έχει οριστεί το επίπεδο αναφοράς. Το μοντέλο παρέχει τη δυνατότητα επιλογής της μεθόδου γραμμικής παρεμβολής, με την οποία υπολογίζονται υψόμετρα για όλη την εξεταζόμενη περιοχή και έτσι απεικονίζεται αντιπροσωπευτικά το ανάγλυφό της.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των γεωτρήσεων στο στρώμα που ανήκει καθεμιά από αυτές. Στην περιοχή του Τ.Ο.Ε.Β. Πηνειού έχουν πραγματοποιηθεί συνολικά 82

γεωτρήσεις. Από αυτές άλλες δεν είναι εξοπλισμένες, άλλες δε λειτουργούν λόγω άμμου και από άλλες λείπουν οι γεωλογικές τομές. Λόγω έλλειψης στοιχείων και για να αποφευχθεί η εισαγωγή λανθασμένων δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 29 γεωτρήσεις. Από αυτές, 12 ανήκουν στο Στρώμα 1, 5 στο Στρώμα 2 και 12 στο Στρώμα 3. Οι γεωτρήσεις αντλούν με σταθερή παροχή και αποτελούν οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους. Στην περιοχή μελέτης, άντληση λαμβάνει χώρα μόνο κατά τη θερινή περίοδο και κατά το χειμώνα οι γεωτρήσεις κλείνουν εντελώς, επομένως η παροχή τους κατά τη δεύτερη περίοδο θεωρήθηκε ίση με μηδέν. Στο Σχήμα 5.2 φαίνεται η κατανομή των 29 γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης.



Σχήμα 5.2: Γεωτρήσεις περιοχής μελέτης

Ο παρακάτω πίνακας περιλαμβάνει τα βάθη και τις παροχές όλων των γεωτρήσεων (για την περίοδο 1), όπως αυτές προέκυψαν από τις γεωλογικές τους τομές, οι οποίες παρατίθενται στο Παράρτημα 1.

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ	ΟΛΙΚΟ ΒΑΘΟΣ	ΒΑΘΟΣ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ	Q1 (m ³ /h)	Q1 (m ³ /d)	LAYERS
EA-71	87	246	159	-80	-1920	L1
LB-218	62	177	115	-150	-3600	L1
LB-221	62.2	185	122.8	-140	-3360	L1
LB-213	63.2	206	142.8	-100	-2400	L1
LB-212	63.2	193.5	130.3	-120	-2880	L1
LB-211	63	181.6	118.6	-60	-1440	L1
EA-47	71	219	148	-120	-2880	L1
EA-48	71	241	170	-80	-1920	L1
EA-67	71	240	169	-80	-1920	L1
LB-220	62.5	189	126.5	-130	-3120	L1
LB-222	63	187	124	-50	-1200	L1
EA-66	65	330	265	-70	-1680	L1
LB-272	66	149	83	-240	-5760	L2
LB-209	65	168	103	-180	-4320	L2
LB-206	65.4	151.3	85.9	-220	-5280	L2
LB-214	63	176	113	-180	-4320	L2
LB-215	63	118	55	-130	-3120	L2
LB-242	64.5	100	35.5	-300	-7200	L3
EA-19	71	100	29	-120	-2880	L3
LB-239	66.5	105	38.5	-300	-7200	L3
LB-270	82	120.52	38.52	-40	-960	L3
LB-233	74.6	94.2	19.6	-100	-2400	L3
LB-236	73.7	101	27.3	-130	-3120	L3
LB-237	75	120	45	-260	-6240	L3
EA-40	80	104	24	-100	-2400	L3
LB-234	73.4	91	17.6	-130	-3120	L3
LB-118	73	122	49	-160	-3840	L3
SR-73	73.3	112.5	39.2	-65	-1560	L3
LB-219	62	97.4	35.4	-120	-2880	L3

Πίνακας 5.1: Κατανομή γεωτρήσεων σε στρώματα και παροχές άντλησης

Ένα ακόμα δεδομένο που απαιτείται για την ακριβή αναπαράσταση της περιοχής, είναι η υδραυλική αγωγιμότητα στις τρεις διευθύνσεις x, y και z για όλα τα πετρώματα που την απαρτίζουν. Όπως φαίνεται από το γεωλογικό χάρτη (Σχήμα 4.2), το μεγαλύτερο μέρος της εξεταζόμενης περιοχής αποτελείται ουσιαστικά από αλλουβιακές αποθέσεις (άμμος, άργιλος), που αποτελούν χαλαρούς σχηματισμούς, επομένως λόγω έλλειψης λεπτομερέστερων στοιχείων, θα θεωρηθεί για όλα τα στρώματα η ίδια τιμή, πράγμα που απλούστευσε σημαντικά την περαιτέρω διαδικασία. Στις κατευθύνσεις x και y η υδραυλική αγωγιμότητα τοποθετείται ίση με 0,01 m/s, ενώ η τιμή της στην την κατεύθυνση z, θεωρείται πάντα 10 τάξεις μεγέθους μικρότερη, δηλαδή 0,001 m/s.

Στη συνέχεια τοποθετούνται σε κάθε στρώμα οι τιμές των αρχικών υδραυλικών υψών, όπως προκύπτουν από τις υδατικές στάθμες που παρέχονται από τις γεωλογικές τομές, και τα υψόμετρα των γεωτρήσεων. Ο υπολογισμός γίνεται βάσει της σχέσης:

$$\text{Αρχικό Υδραυλικό Ύψος} = \text{Υψόμετρο γεώτρησης} + \text{Υψόμετρο επιπέδου θάλασσας} - \text{Υδατική στάθμη}$$

Ο πίνακας υπολογισμού τους παρατίθεται παρακάτω:

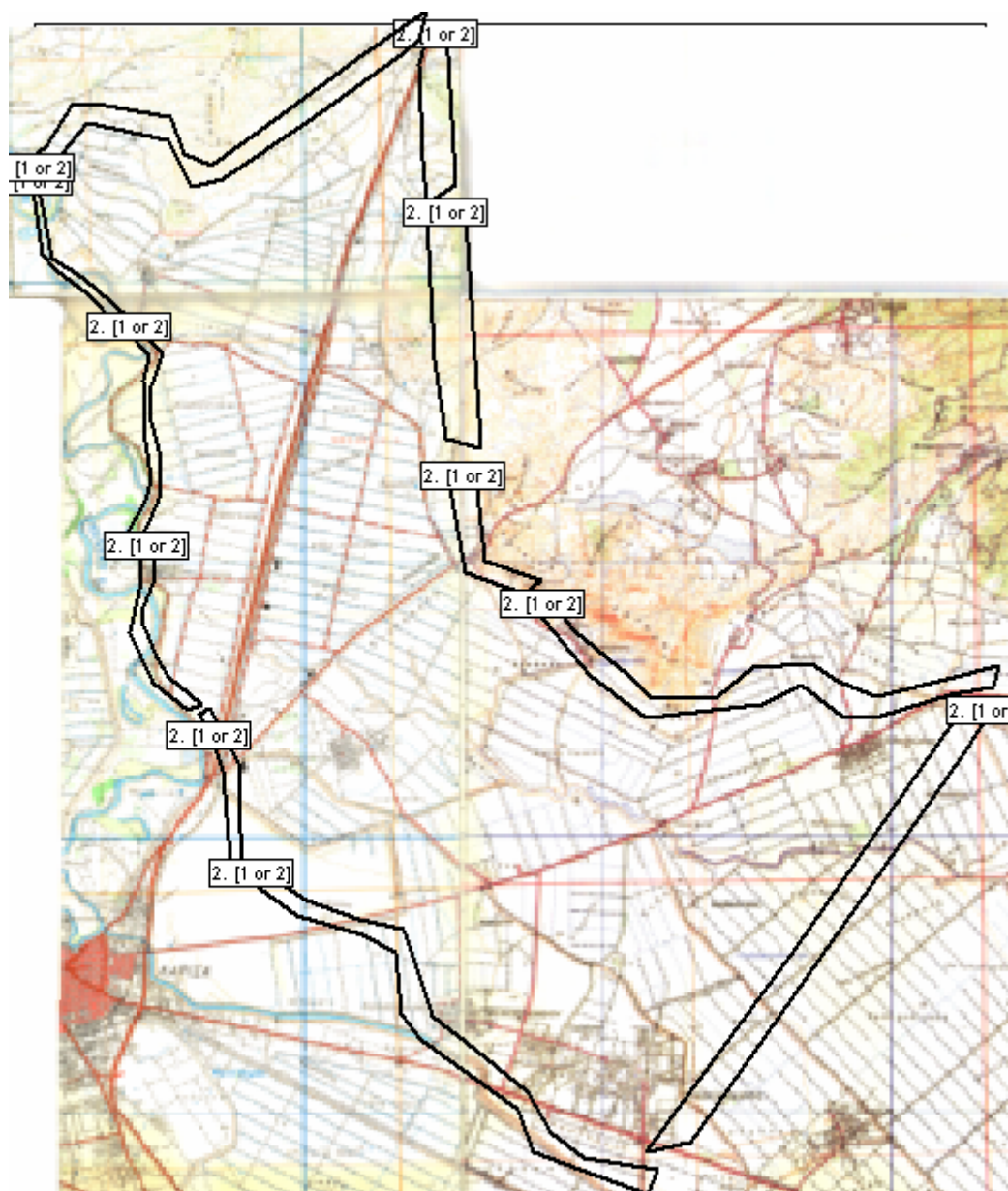
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	ΥΨΟΜΕΤΡΑ	Υ.Σmax	Initial Heads (m)	LAYERS
EA-71	87	27	230	L1
LB-218	62	2	230	L1
LB-221	62.2	5	227.2	L1
LB-213	63.2	3	230.2	L1
LB-212	63.2	5	228.2	L1
LB-211	63	5	228	L1
EA-47	71	20	221	L1
EA-48	71	18	223	L1
EA-67	71	29	212	L1
LB-220	62.5	5	227.5	L1
LB-222	63	5	228	L1
EA-66	65	10	225	L1
LB-272	66	8	228	L2
LB-209	65	2	233	L2

LB-206	65.4	5	230.4	L2
LB-214	63	5	228	L2
LB-215	63	5	228	L2
LB-242	64.5	10	224.5	L3
EA-19	71	9.67	231.33	L3
LB-239	66.5	2	234.5	L3
LB-270	82	18	234	L3
LB-233	74.6	10	234.6	L3
LB-236	73.7	8	235.7	L3
LB-237	75	10	235	L3
EA-40	80	9.1	240.9	L3
LB-234	73.4	10	233.4	L3
LB-118	73	10	233	L3
SR-73	73.3	8	235.3	L3
LB-219	62	5	227	L3

Πίνακας 5.2: Υπολογισμός αρχικών υδραυλικών υψών

Όπως για τα υψόμετρα, έτσι και για τα αρχικά υδραυλικά ύψη επιλέγεται η μέθοδος της γραμμικής παρεμβολής, η οποία υπολογίζει τις τιμές των υδραυλικών υψών για όλα τα σημεία της περιοχής. Από την κατανομή τους μπορούμε να βγάλουμε μία πρώτη εικόνα για την κατεύθυνση με την οποία κινείται το νερό μέσα στην περιοχή. Στη δική μας περίπτωση το νερό φαίνεται να μπαίνει από το βόρειο τμήμα και να κατευθύνεται προς το νοτιότερο.

Απαραίτητος είναι επίσης και ο καθορισμός των οριακών συνθηκών της εξεταζόμενης περιοχής. Θεωρήσαμε σε όλη την περιοχή οριακές συνθήκες 2^{ου} είδους, με σταθερές τιμές ροής, εφόσον όπως είπαμε έχουμε εισροή νερού στο βόρειο τμήμα και εκροή στο νότιο. Οι τιμές αυτές μεταβλήθηκαν κατά τη δεύτερη περίοδο (χειμερινή) εφόσον το χειμώνα παρατηρείται μεγαλύτερη εισροή νερού στην περιοχή, κυρίως λόγω αύξησης των βροχοπτώσεων και παύσης της άντλησης.



Σχήμα 5.3: Οριακές συνθήκες περιοχής μελέτης

Μία ακόμα παράμετρος που εισήχθη στο μοντέλο ήταν εκείνη του πορώδους. Όπως και για την υδραυλική αγωγιμότητα, η τιμή του ήταν κοινή για όλα τα στρώματα και ίση με 0,4. Για τους παράγοντες της αποθηκευτικότητας και της διασποράς αφήσαμε τις τιμές που προκαθορίζει το μοντέλο.

Τέλος, το μοντέλο απαιτεί ακόμα εισαγωγή της βροχόπτωσης, και συγκεκριμένα του ποσοστού της βροχόπτωσης που διηθείται και καταλήγει στους υδροφορείς. Τα δεδομένα βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν διαχωρίστηκαν σε εκείνα της πρώτης περιόδου (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) και σε εκείνα της δεύτερης, χειμερινής περιόδου (Οκτώβριος – Μάρτιος). Από τον Πίνακα 4.2 με τις μηνιαίες βροχοπτώσεις όπως αυτές προκύπτουν από το σταθμό του Σωτηρίου εξάγεται ο παρακάτω πίνακας αποτελεσμάτων, θεωρώντας λόγω έλλειψης δεδομένων πως η διήθηση είναι ίση με το 20% της βροχόπτωσης:

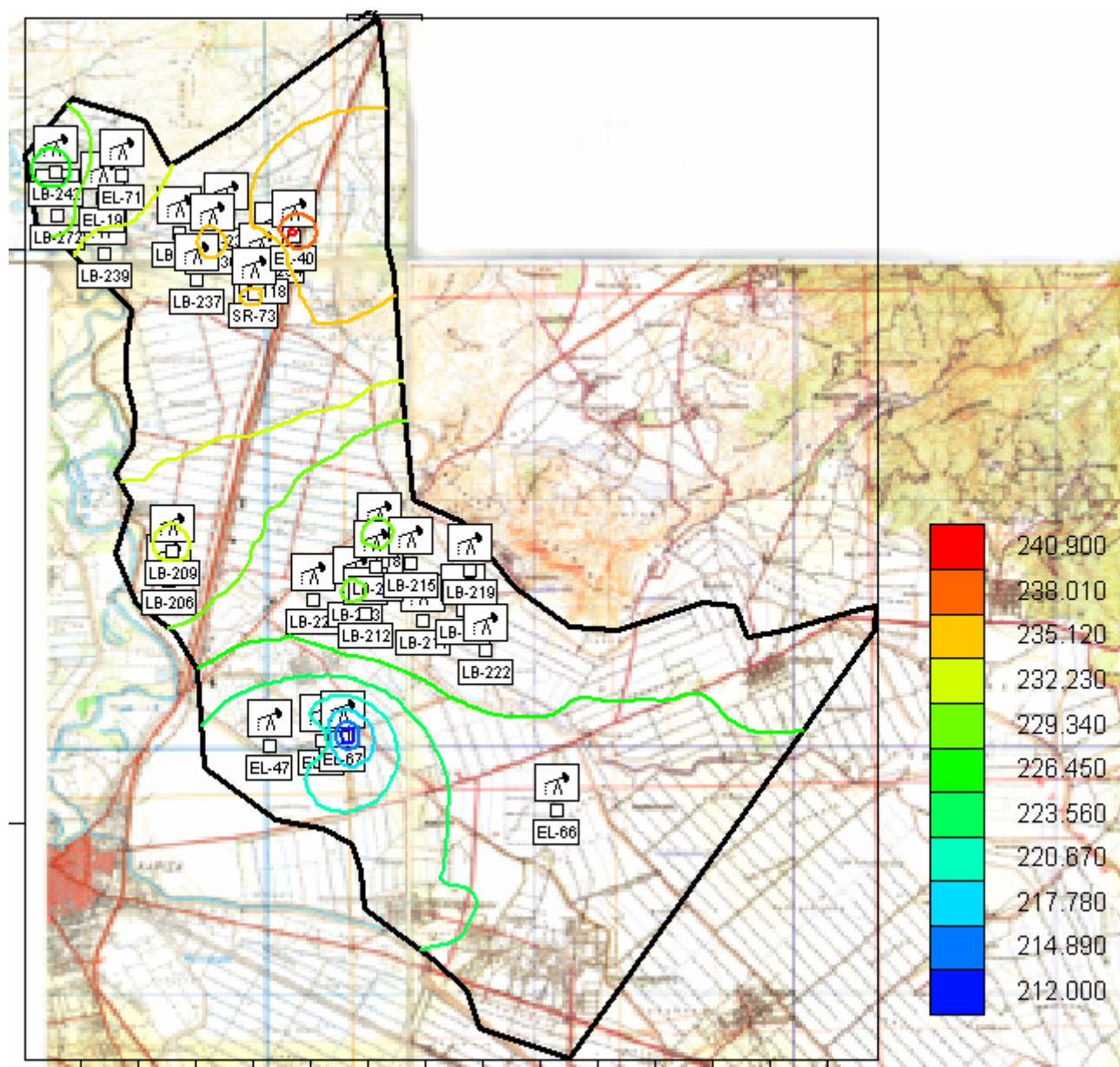
ΠΕΡΙΟΔΟΣ 1						
	A	M	IN	ΙΑ	A	Σ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm/month)	32.14	37.8	18	17.55	11.72	29.92
Μέση ημερήσια βροχόπτωση (m/day)	0.001071	0.001219	0.0006	0.000566	0.000378	0.000997
Μ.Οπεριόδου (m/day)	0.000805369					
RAIN Stress 1	0.000161074					

ΠΕΡΙΟΔΟΣ 2						
	Ο	Ν	Δ	Ι	Φ	Μ
Μέση μηνιαία βροχόπτωση (mm/month)	54.69	64.14	53.76	40.8	25.53	33.89
Μέση ημερήσια βροχόπτωση (m/day)	0.001764	0.002138	0.001734	0.001316	0.0009118	0.001093
Μ.Οπεριόδου (m/day)	0.001492921					
RAIN Stress 2	0.000298584					

Πίνακας 5.3: Υπολογισμός συντελεστών βροχόπτωσης

5.4 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Κατά τη βαθμονόμηση του μοντέλου, συγκρίνουμε τις τιμές των αρχικών υδραυλικών υψών με εκείνες που προκύπτουν από το ‘τρέξιμο’ του μοντέλου. Ανάλογα με τις τιμές αυτές κάθε φορά αλλάζουμε τις παροχές εισροής και εκροής στις οριακές συνθήκες ώστε τα αποτελέσματα που δίνει το μοντέλο να προσεγγίζουν όσο γίνεται περισσότερο τα αρχικά υδραυλικά ύψη. Μετά από αρκετές δοκιμές, η προσέγγιση που επιτεύχθηκε τελικά είναι ικανοποιητική. Στο Σχήμα 5.4 φαίνεται η περιοχή μελέτης με τα αρχικά υδραυλικά ύψη (m).



Σχήμα 5.4: Αρχικά υδραυλικά ύψη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

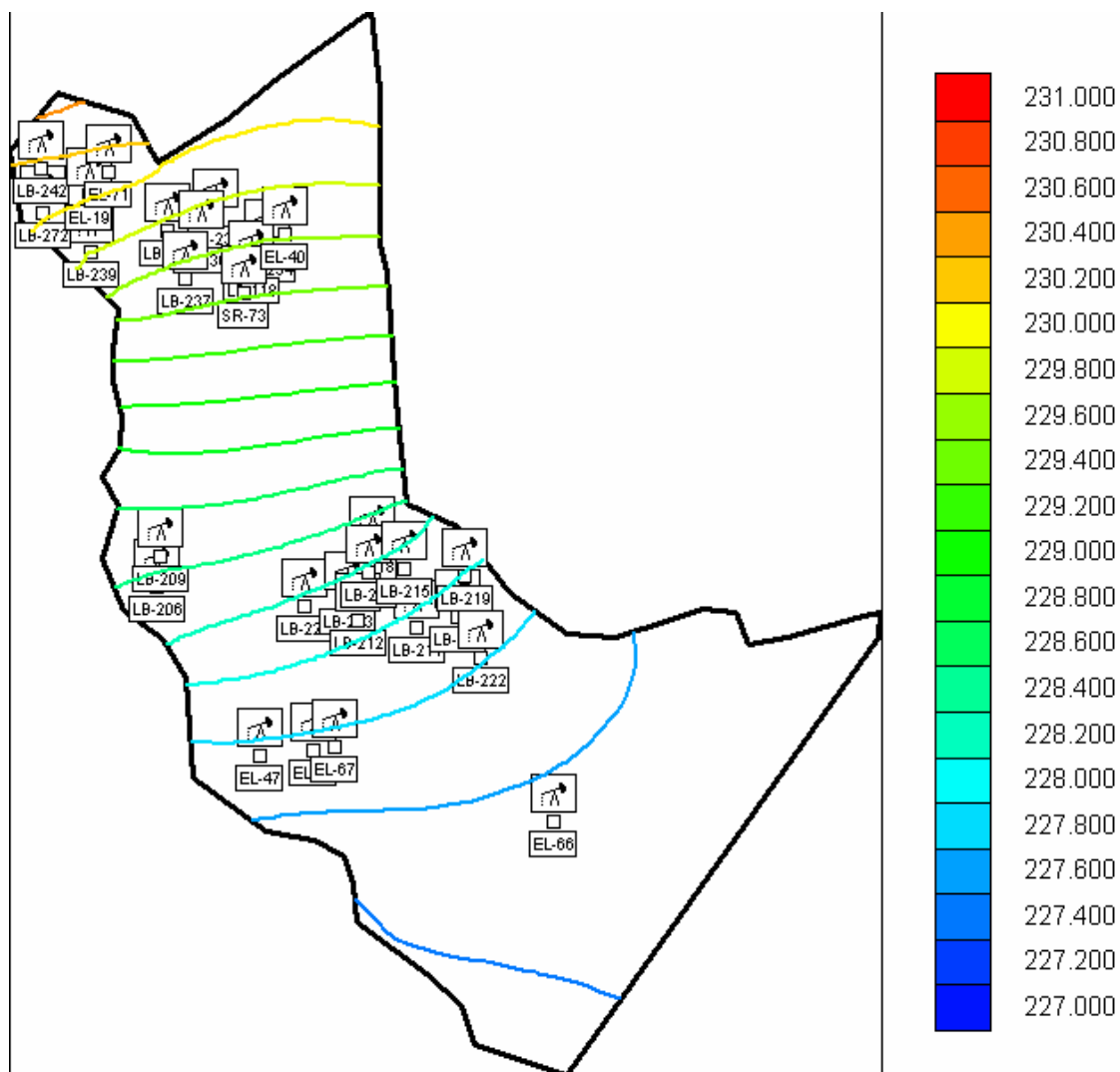
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ & ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

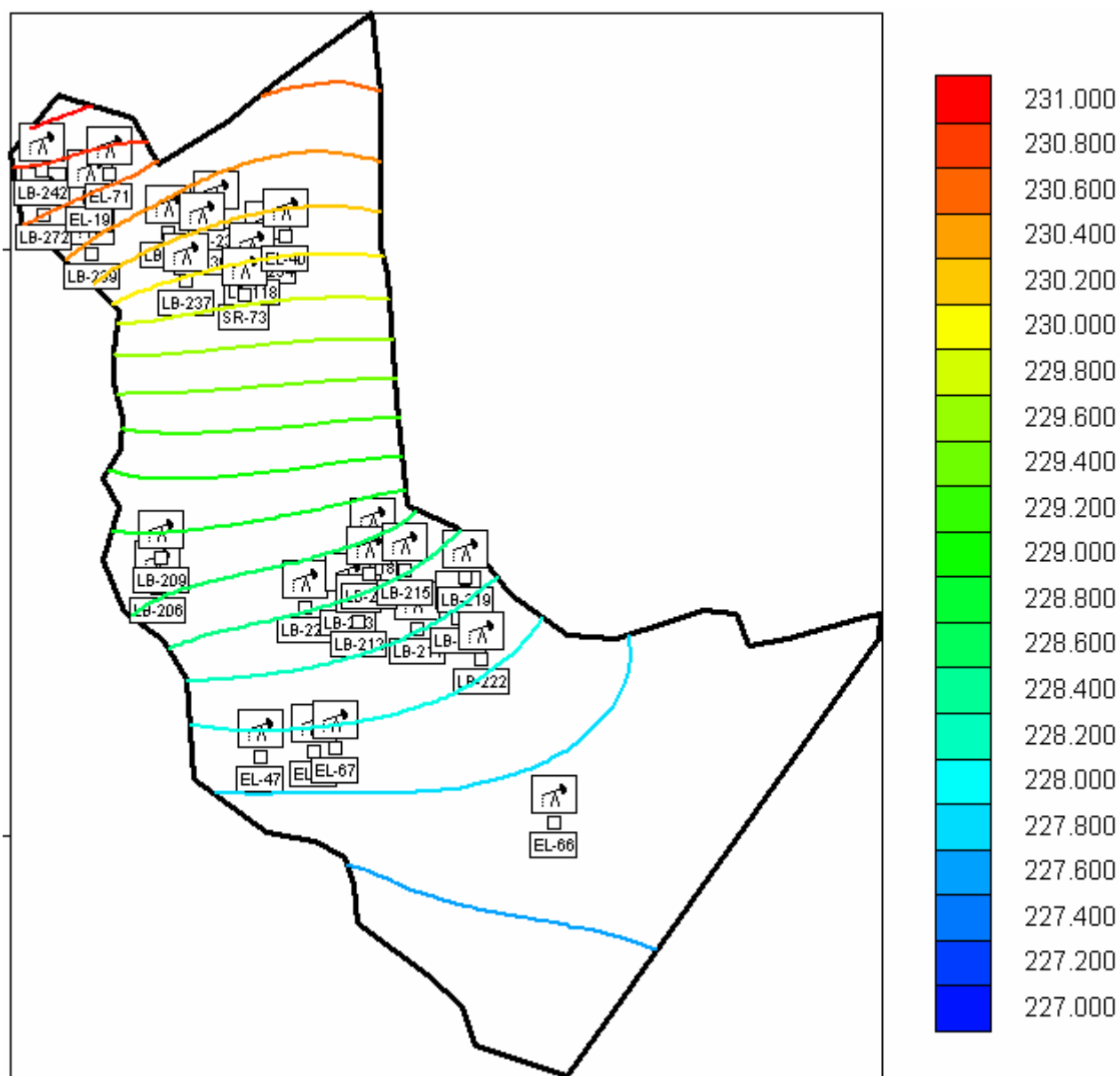
Μετά την εισαγωγή των δεδομένων στο μοντέλο και την κατασκευή του ομοιώματος της περιοχής, μπορεί να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση της υπόγειας ροής. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα που έδωσε το μοντέλο για τις αρχικές συνθήκες που εισήγαμε σε αυτό, ενώ στη συνέχεια γίνεται σύγκριση των υδραυλικών υψών που προέκυψαν με τα αποτελέσματα δύο εναλλακτικών σεναρίων που αφορούν αύξηση της παροχής άντλησης κατά 50% και 100%. Τέλος, γίνεται ανάλυση ευαισθησίας της υδραυλικής αγωγιμότητας, επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία για διαφορετικές τιμές της. Οι τιμές των υδραυλικών υψών που προέκυψαν στη θέση της κάθε γεώτρησης παρατίθενται σε πίνακες.

6.2 ΑΡΧΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της υπόγειας ροής βάσει των αρχικών συνθηκών που εισήγαμε ως δεδομένα. Στα παρακάτω διαγράμματα, δεν εμφανίζεται ο χάρτης της περιοχής για να είναι πιο ευκρινή τα αποτελέσματα:



Σχήμα 6.1: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) για τις αρχικές συνθήκες, θερινή περίοδος.

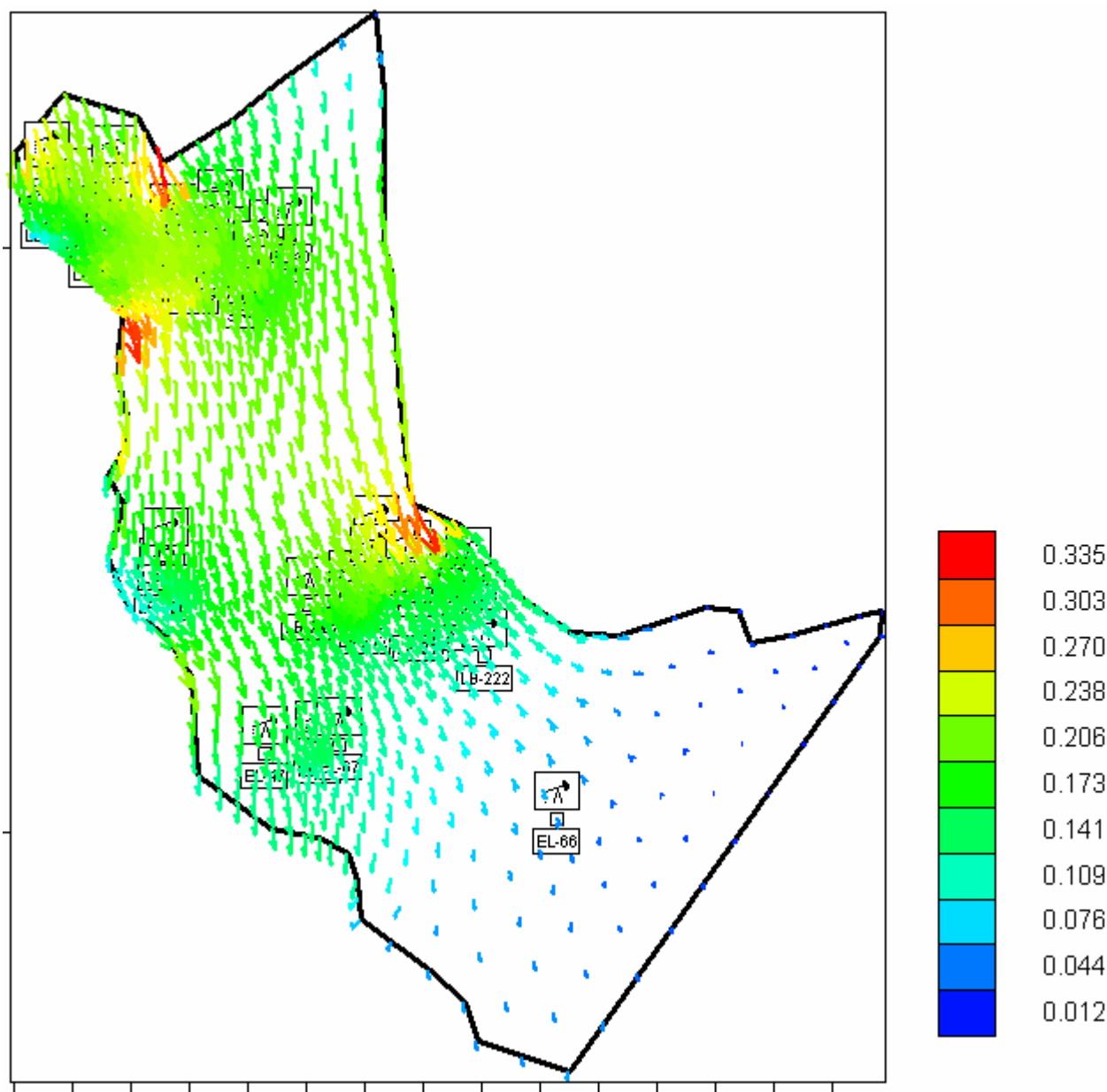


Σχήμα 6.2: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) για τις αρχικές συνθήκες, χειμερινή περίοδος

Τα σχήματα 6.1 και 6.2 δείχνουν την κατανομή των υδραυλικών υψών για την αρχική κατάσταση. Η κλίμακα στα δεξιά της περιοχής μελέτης δηλώνει το υδραυλικό ύψος σε m με βήμα 0,2 m. Οι τιμές των υδραυλικών υψών παρότι δεν εμφανίζουν πολύ σημαντικές διακυμάνσεις, παρουσιάζουν μείωση στο νοτιότερο τμήμα της περιοχής, πράγμα που σημαίνει ότι το νερό εισρέει από το βόρειο τμήμα της - επομένως και από τον ποταμό - και κατευθύνεται προς τα νότια. Όπως ήταν αναμενόμενο, τα υδραυλικά

ύψη κατά τη χειμερινή περίοδο είναι λίγο πιο υψηλά από τη θερινή (απόκλιση μέχρι 0.5 m), σαν αποτέλεσμα της παύσης της άντλησης και της αύξησης των κατακρημνίσεων.

Για την αρχική κατάσταση έχει γίνει ακόμα υπολογισμός της κατεύθυνσης των υδραυλικών ταχυτήτων κατά τη θερινή περίοδο όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Σχήμα 6.3: Προσομοίωση υδραυλικών ταχυτήτων (m/d) αρχικής κατάστασης.

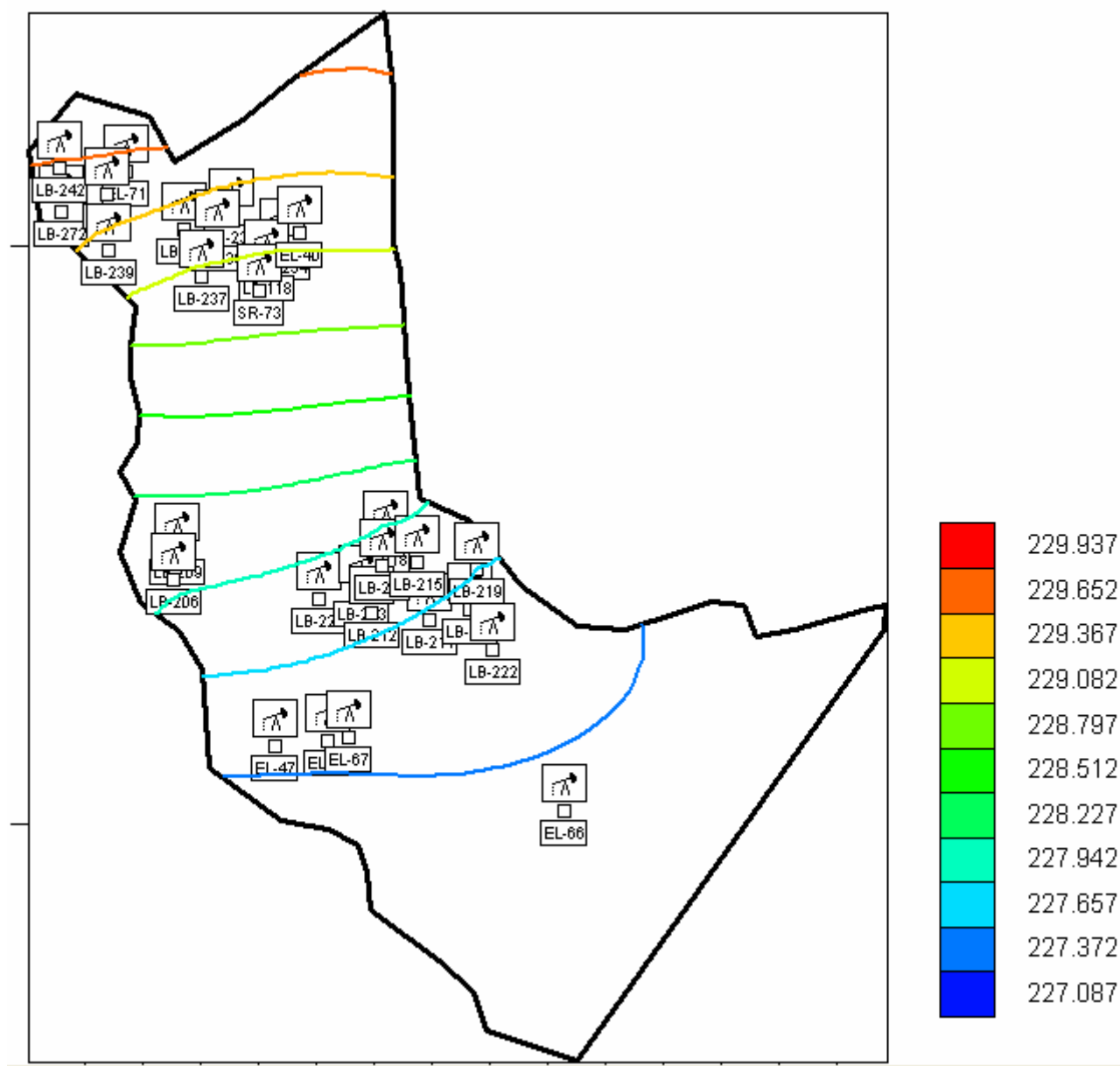
Από το διάγραμμα των υδραυλικών ταχυτήτων και τα βέλη που δηλώνουν τη διεύθυνσή τους, επιβεβαιώνεται πως η ροή γίνεται από το βορειότερο μέρος προς το νότιο. Στις περιοχές όπου συγκεντρώνονται οι γεωτρήσεις τα βέλη είναι πυκνότερα, εφόσον το νερό κινείται προς αυτήν την κατεύθυνση. Στο διάγραμμα των ταχυτήτων κατά τη χειμερινή περίοδο, όπου δεν πραγματοποιείται άντληση, το νερό κινείται κατευθείαν προς τα κάτω. Οι τιμές της ταχύτητας δίνονται σε m/day.

6.3 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ

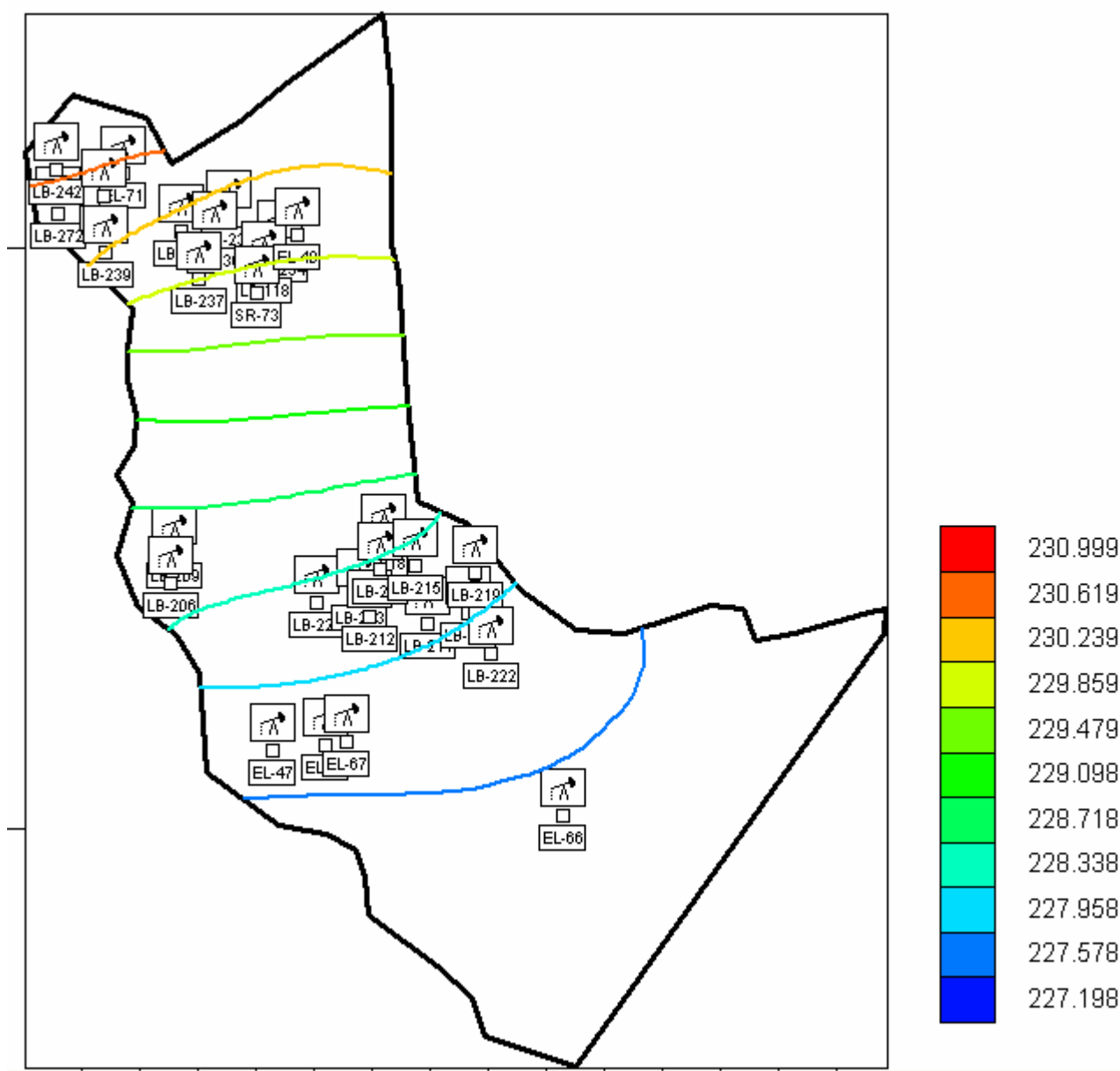
Η εξέταση των σεναρίων έχει σκοπό τον προσδιορισμό της μεταβολής της υπόγειας ροής, όταν ο υδροφορέας υποβληθεί σε διαφορετικές συνθήκες άντλησης. Οι συνθήκες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν αλλαγή στις παροχές αντλήσεως, προσθήκη ορισμένων γεωτρήσεων, ή παύση της λειτουργίας κάποιων άλλων. Στη δική μας περίπτωση, εξετάστηκαν δύο σενάρια, με τα οποία έγινε προσομοίωση της υπόγειας ροής σε περίπτωση αύξησης των παροχών άντλησης κατά 50% και κατά 100% αντίστοιχα. Η αύξηση της παροχής άντλησης προφανώς αφορά μόνο τη θερινή περίοδο, εφόσον κατά το χειμώνα, οι γεωτρήσεις δε λειτουργούν.

6.3.1 ΣΕΝΑΡΙΟ 1^ο

Το πρώτο σενάριο αφορά τη μελέτη της αντίδρασης του υδροφορέα σε περίπτωση αύξησης των παροχών άντλησης κατά 50% την πρώτη περίοδο (θερινή). Η μεταβολή των υδραυλικών υψών κατά την εξέταση αυτού του σεναρίου και για τις δύο περιόδους, παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 6.4: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) με αύξηση των παροχών άντλησης κατά 50%, θερινή περίοδος.

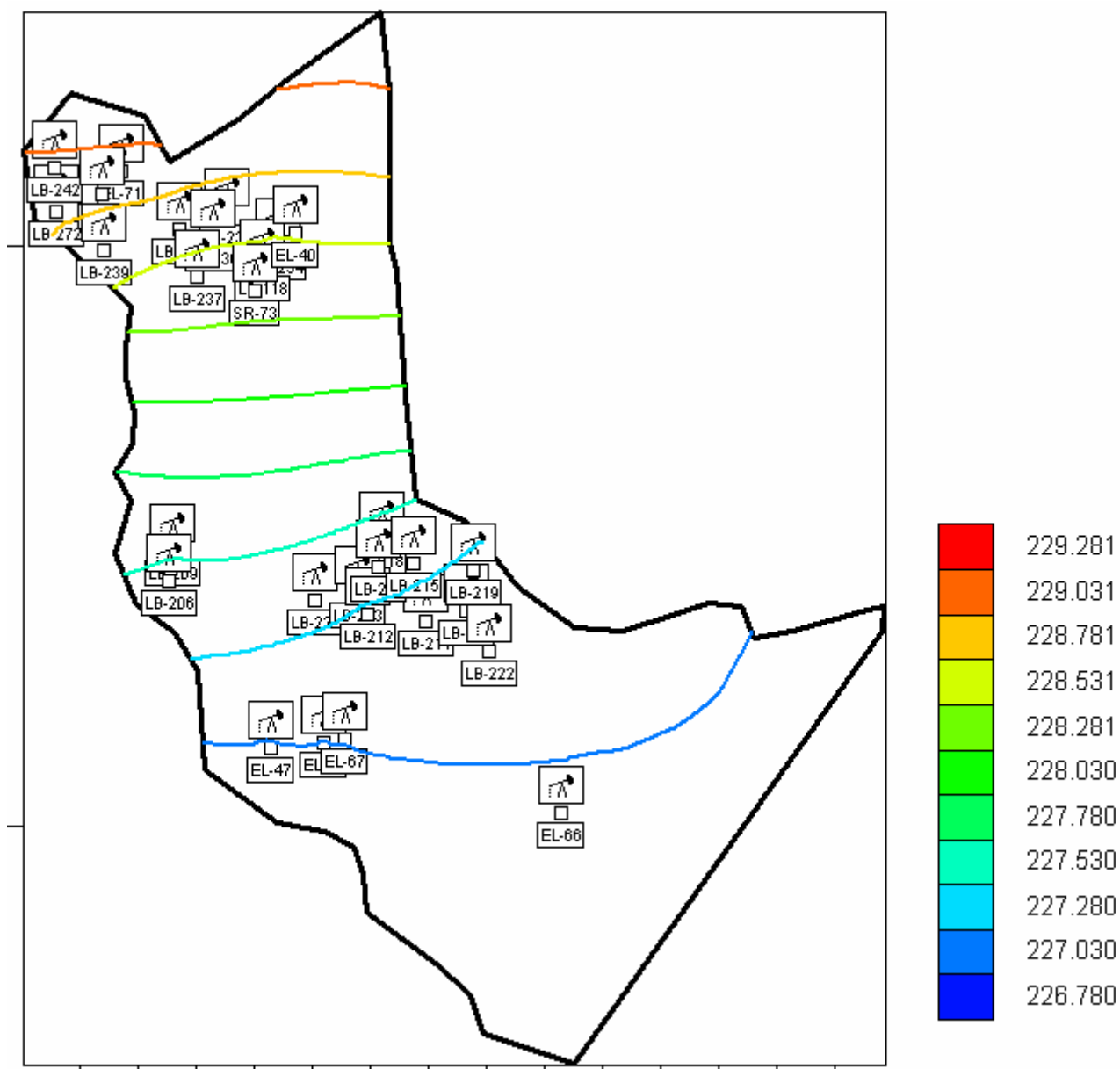


Σχήμα 6.5: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) με αύξηση των παροχών άντλησης κατά 50%, χειμερινή περίοδος.

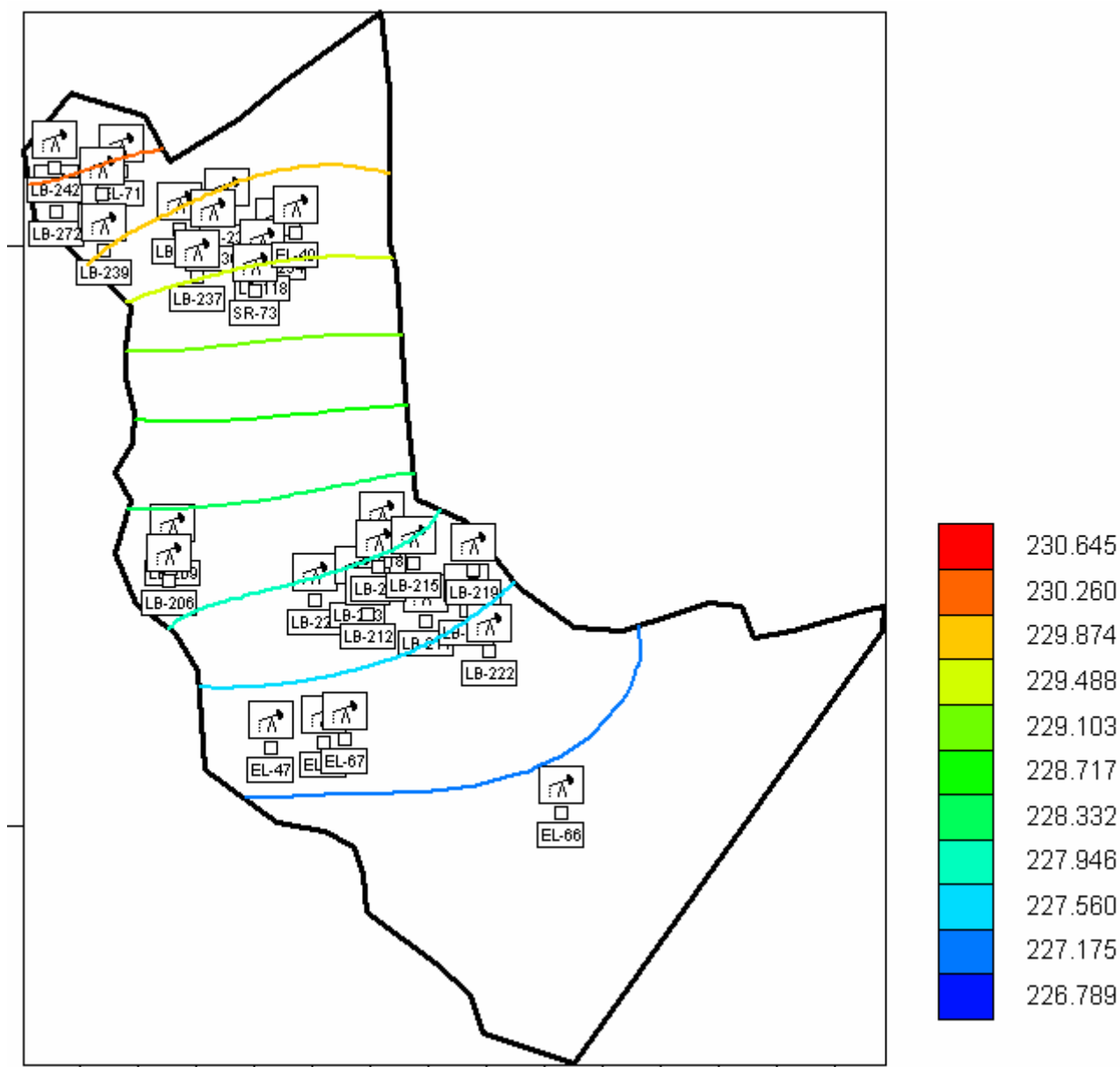
Όπως αναμένεται, με τον ημιδιπλασιασμό των παροχών άντλησης σημειώνεται πτώση της υδατικής στάθμης και στις δύο περιόδους, η οποία κατά τη θερινή περίοδο κυμαίνεται περίπου στο 1 m. Με την εφαρμογή αυτού του σεναρίου, η απόκλιση μεταξύ των υδατικών σταθμών της πρώτης και της δεύτερης περιόδου μεγεθύνεται (φτάνει μέχρι και 1 m), εφόσον κατά τη χειμερινή περίοδο δεν πραγματοποιείται άντληση.

6.3.2 ΣΕΝΑΠΙΟ 2^ο

Κατά την εξέταση του 2^{ου} σεναρίου γίνεται αύξηση των παροχών άντλησης κατά 100%. Τα διαγράμματα των αποτελεσμάτων φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα 6.6: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) με αύξηση των παροχών άντλησης κατά 100%, θερινή περίοδος.



Σχήμα 6.7: Κατανομή υδραυλικών υψών (m) με αύξηση των παροχών άντλησης κατά 100%, χειμερινή περίοδος.

Με το διπλασιασμό των παροχών άντλησης παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη ταπείνωση του υδροφορέα, ιδιαίτερα κατά τη θερινή περίοδο, όπου η πτώση σε σχέση με την αρχική κατάσταση φτάνει το 1.5 m στις βορειότερες γεωτρήσεις. Παρότι η κατάσταση βελτιώνεται αρκετά το χειμώνα και σε αυτό το σενάριο, παρατηρείται γενική μείωση των υδραυλικών υψών και κατά αυτήν την περίοδο.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου κατά τις αρχικές συνθήκες, καθώς και κατά την εξέταση των δύο εναλλακτικών σεναρίων φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Λόγω της κατεύθυνσης της ροής, η μείωση της στάθμης που παρατηρείται στις βόρειες γεωτρήσεις επηρεάζει και τις νότιες. Οι τιμές αφορούν και τις δύο περιόδους:

ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	Α.Σ		ΣΕΝΑΡΙΟ 1 ^ο		ΣΕΝΑΡΙΟ 2 ^ο	
	Stress1	Stress2	Stress1	Stress2	Stress1	Stress2
ΕΛ-66	227.545	227.584	227.307	227.506	226.984	227.1
LB-222	227.813	227.853	227.52	227.843	227.134	227.445
LB-220	227.915	227.961	227.596	227.986	227.18	227.591
ΕΛ-67	227.752	227.744	227.445	227.743	227.042	227.348
ΕΛ-48	227.751	227.735	227.439	227.739	227.03	227.344
LB-211	227.994	228.039	227.665	228.075	227.239	227.685
LB-219	227.997	228.046	227.665	228.09	227.236	227.699
ΕΛ-47	227.755	227.715	227.434	227.728	227.016	227.335
LB-212	228.051	228.085	227.704	228.135	227.256	227.746
LB-213	228.121	228.153	227.764	228.197	227.306	227.832
LB-215	228.127	228.173	227.773	228.243	227.318	227.856
LB-214	228.17	228.211	227.806	228.292	227.34	227.906
LB-221	228.157	228.18	227.797	228.244	227.335	227.857
LB-218	228.271	228.312	227.9	228.404	227.427	228.02
LB-206	228.356	228.362	227.964	228.473	227.466	228.093
LB-209	228.44	228.444	228.044	228.564	227.542	228.186
SR-73	229.425	229.484	228.957	229.738	228.372	229.375
ΕΛ-40	229.625	229.712	229.151	229.98	228.557	229.62
LB-118	229.509	229.581	229.031	229.851	228.435	229.491
LB-237	229.516	229.578	229.032	229.869	228.425	229.509
LB-234	229.572	229.657	229.099	229.93	228.502	229.569
LB-236	229.667	229.749	229.177	230.045	228.564	229.686
LB-233	229.735	229.821	229.247	230.117	228.635	229.759
LB-270	229.752	229.827	229.255	231.139	228.634	229.781
LB-239	229.799	229.867	229.276	230.24	228.626	229.885
ΕΛ-19	230.013	231.104	229.483	230.48	228.828	231.125
ΕΛ-71	230.087	230.186	229.559	230.55	228.91	230.195
LB-272	230.01	230.097	229.464	230.5	228.793	230.146
LB-242	230.15	230.26	229.605	230.672	228.932	231.319

Πίνακας 6.1: Υδραυλικά ύψη στο σημείο της κάθε γεώτρησης για αρχική κατάσταση και εναλλακτικά σενάρια

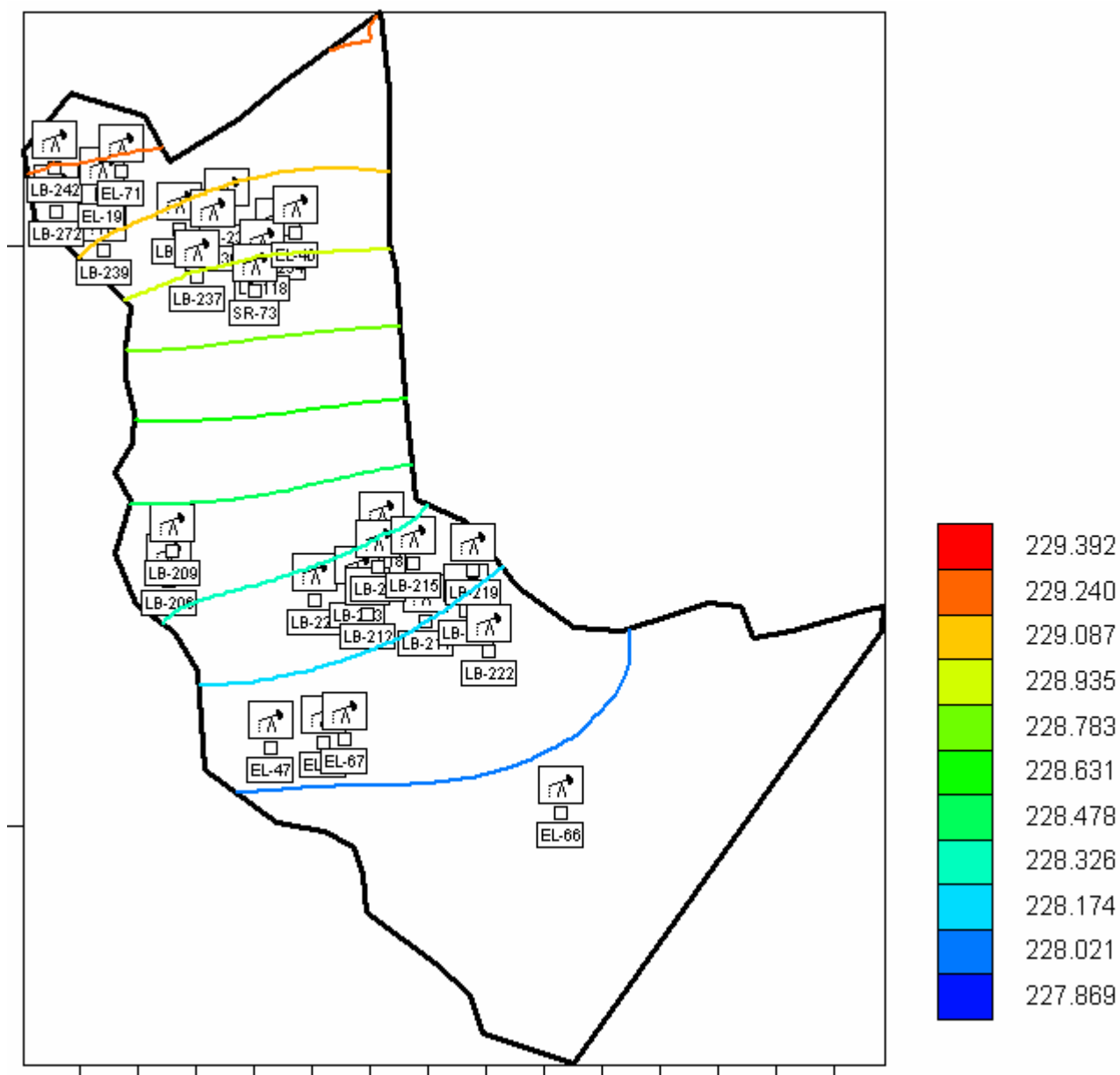
* Η κατάταξη των γεωτρήσεων στον Πίνακα 1 ακολουθεί την αρίθμηση των κόμβων από το μοντέλο, η οποία γίνεται από κάτω προς τα πάνω, κατά συνέπεια οι γεωτρήσεις είναι κατανεμημένες από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη.

6.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ

Κατά την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων στο μοντέλο, λόγω έλλειψης σχετικών στοιχείων από τη βιβλιογραφία, θεωρήσαμε τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας 0.01 m/s , τιμή η οποία θεωρείται αντιπροσωπευτική των χαλαρών σχηματισμών που συνθέτουν την περιοχή μελέτης. Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ανάλυση ευαισθησίας της υδραυλικής αγωγιμότητας, συγκρίνοντας τα αρχικά αποτελέσματα, με εκείνα που δίνει το μοντέλο στις περιπτώσεις όπου αυτή λαμβάνει τιμές $0,02$, $0,03$, $0,04$ και $0,05 \text{ m/s}$.

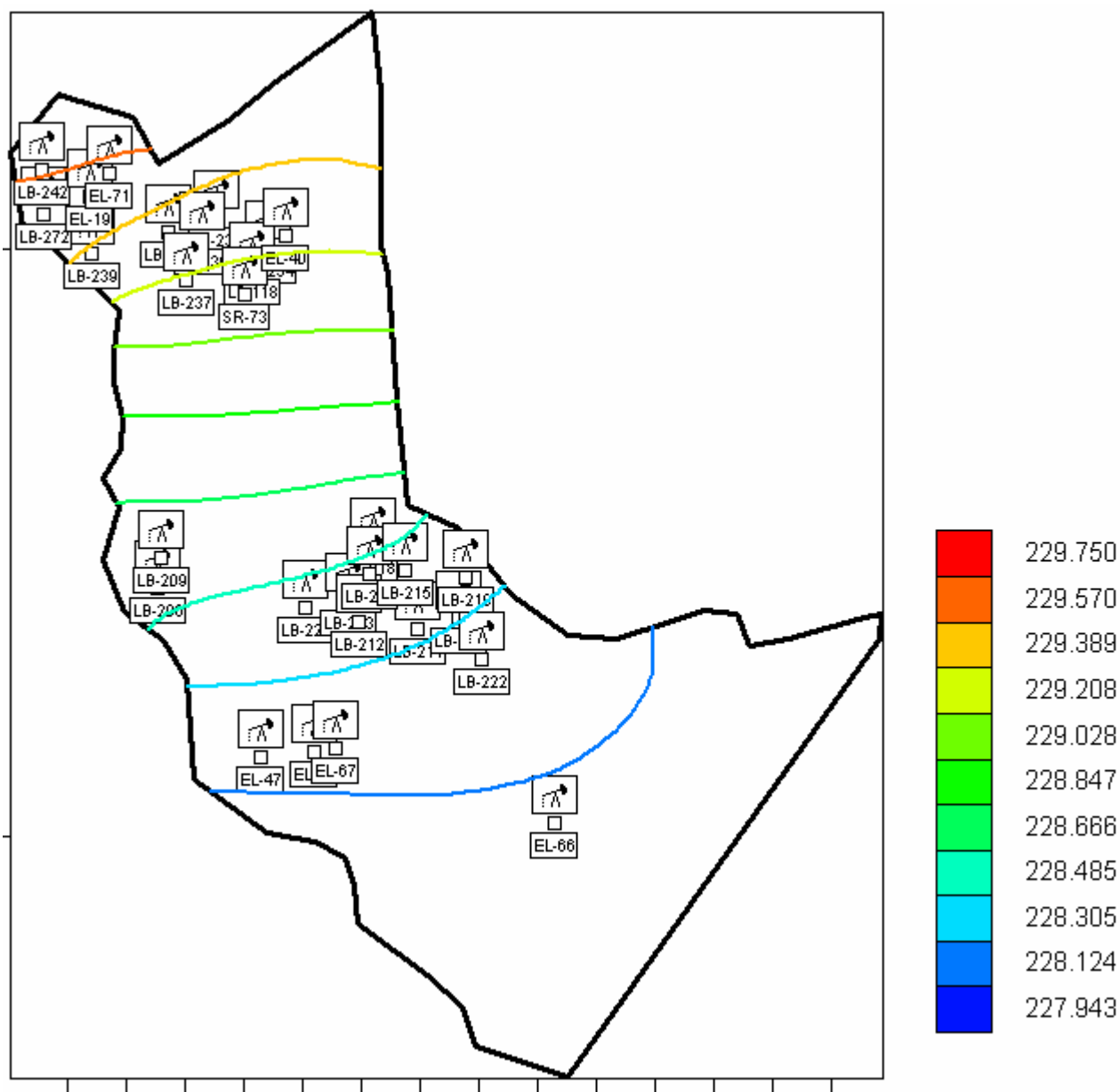
Υδραυλική αγωγιμότητα 0,02 m/s

Η αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας προκαλεί αύξηση της ταχύτητας του νερού και μεταβολή των υδραυλικών υψών. Οι τιμές ξεκινούν έως και 0,8 m χαμηλότερες σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες στα βόρεια, και καταλήγουν ελαφρά υψηλότερες συγκριτικά στις τελευταίες γεωτρήσεις:

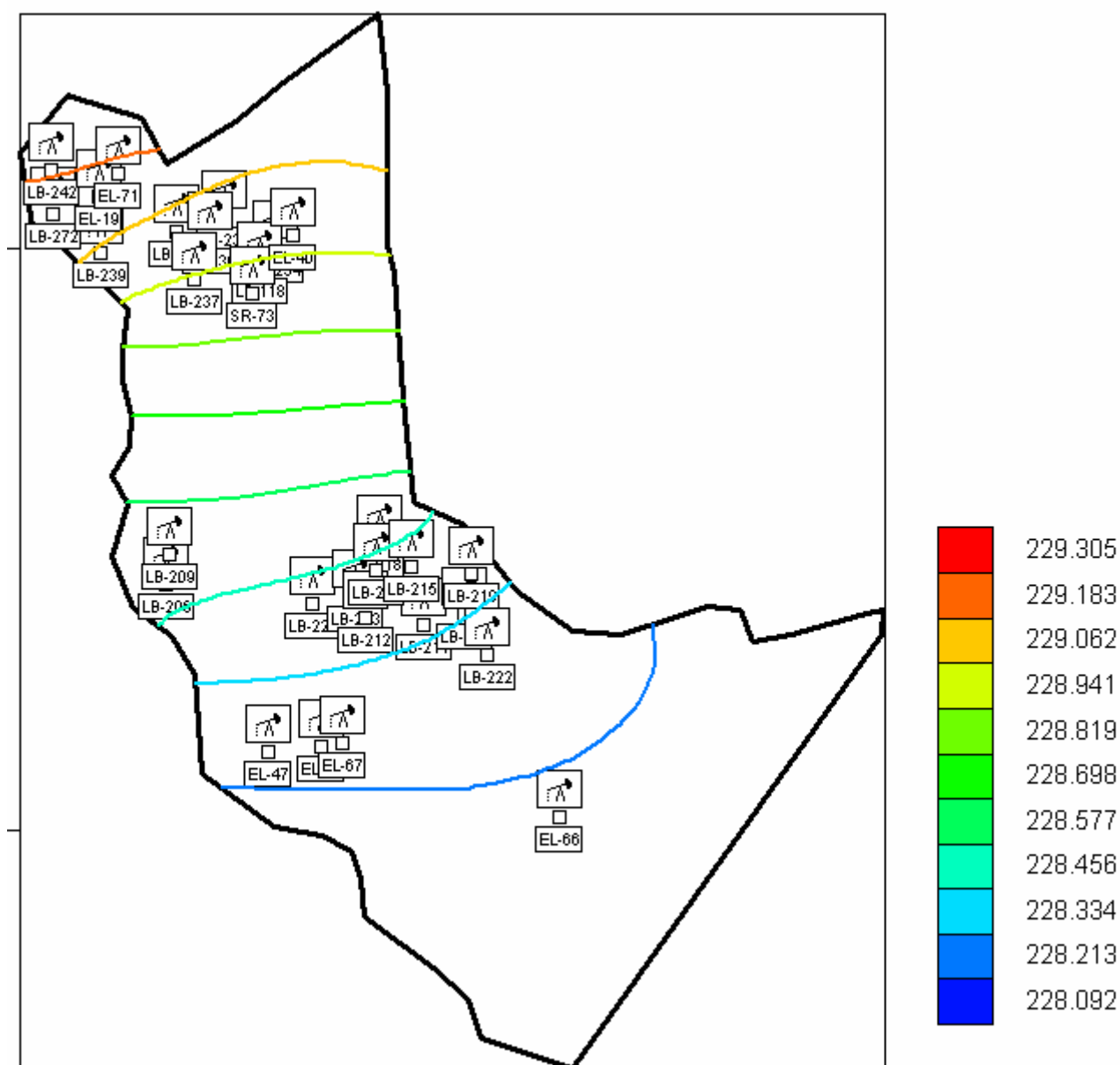


Σχήμα 6.8: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.02 m/s, θερινή περίοδος

Το χειμώνα παρατηρείται το ίδιο περίπου φαινόμενο, με τιμές όμως λίγο μεγαλύτερες σε σχέση με αυτές της καλοκαιρινής περιόδου.



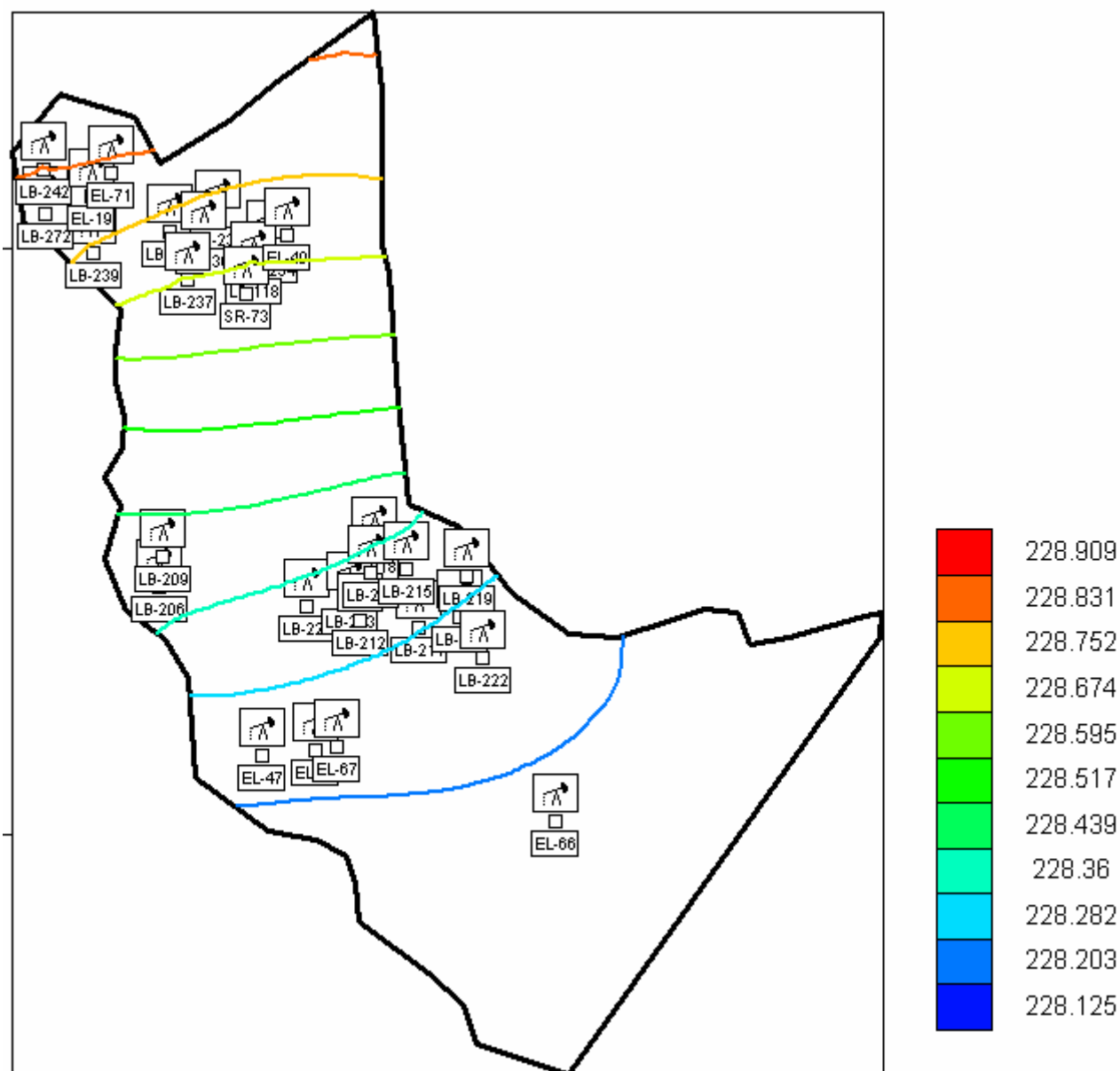
Σχήμα 6.9: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.02 m/s , χειμερινή περίοδος



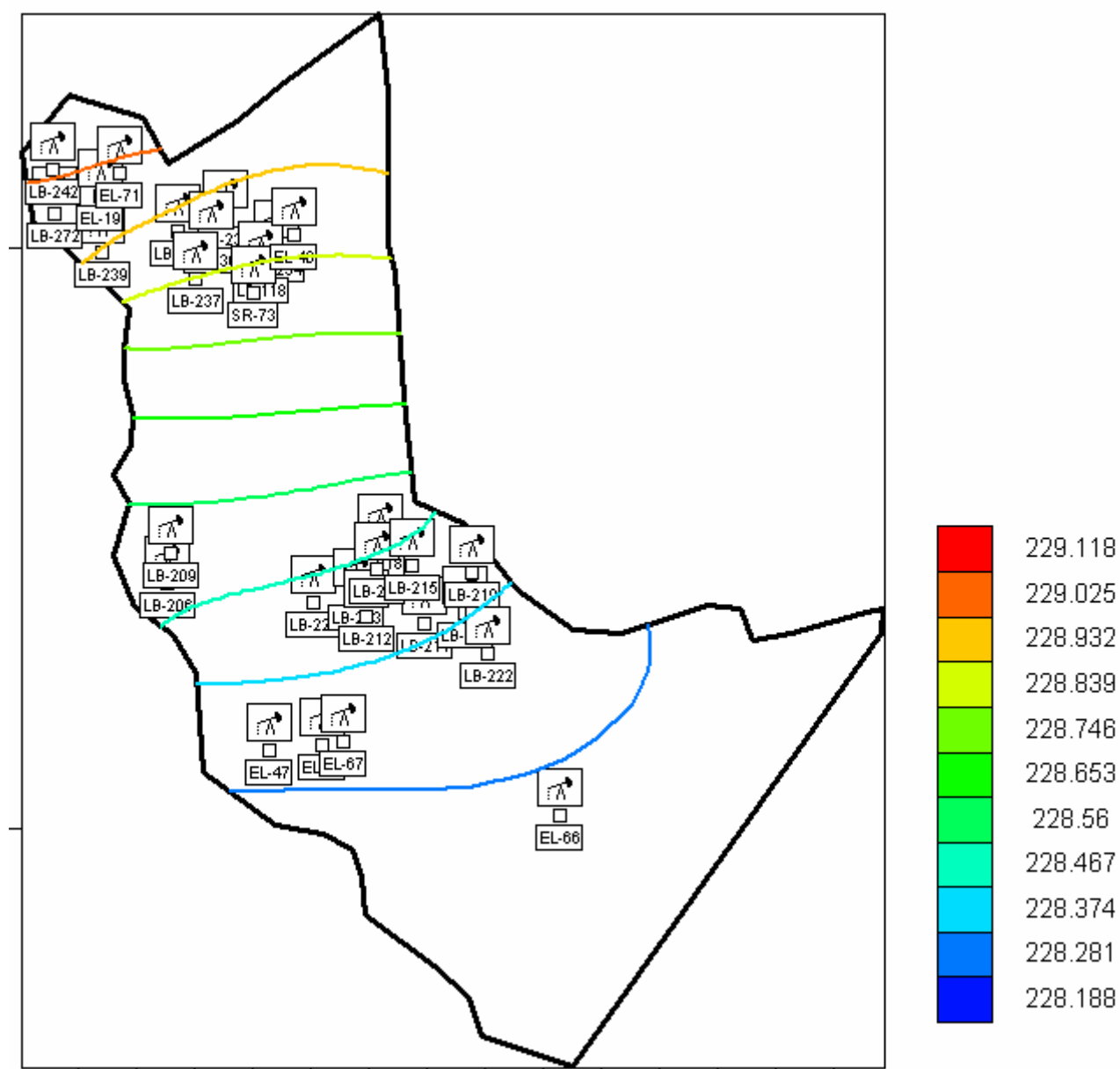
Σχήμα 6.11: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.03 m/s , χειμερινή περίοδος

Υδραυλική αγωγιμότητα 0,04 m/s

Οι διακυμάνσεις του υδραυλικού ύψους είναι λίγο μεγαλύτερες από εκείνες της προηγούμενης προσομοίωσης, χωρίς να παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές τόσο κατά τη θερινή, όσο και κατά τη χειμερινή περίοδο.



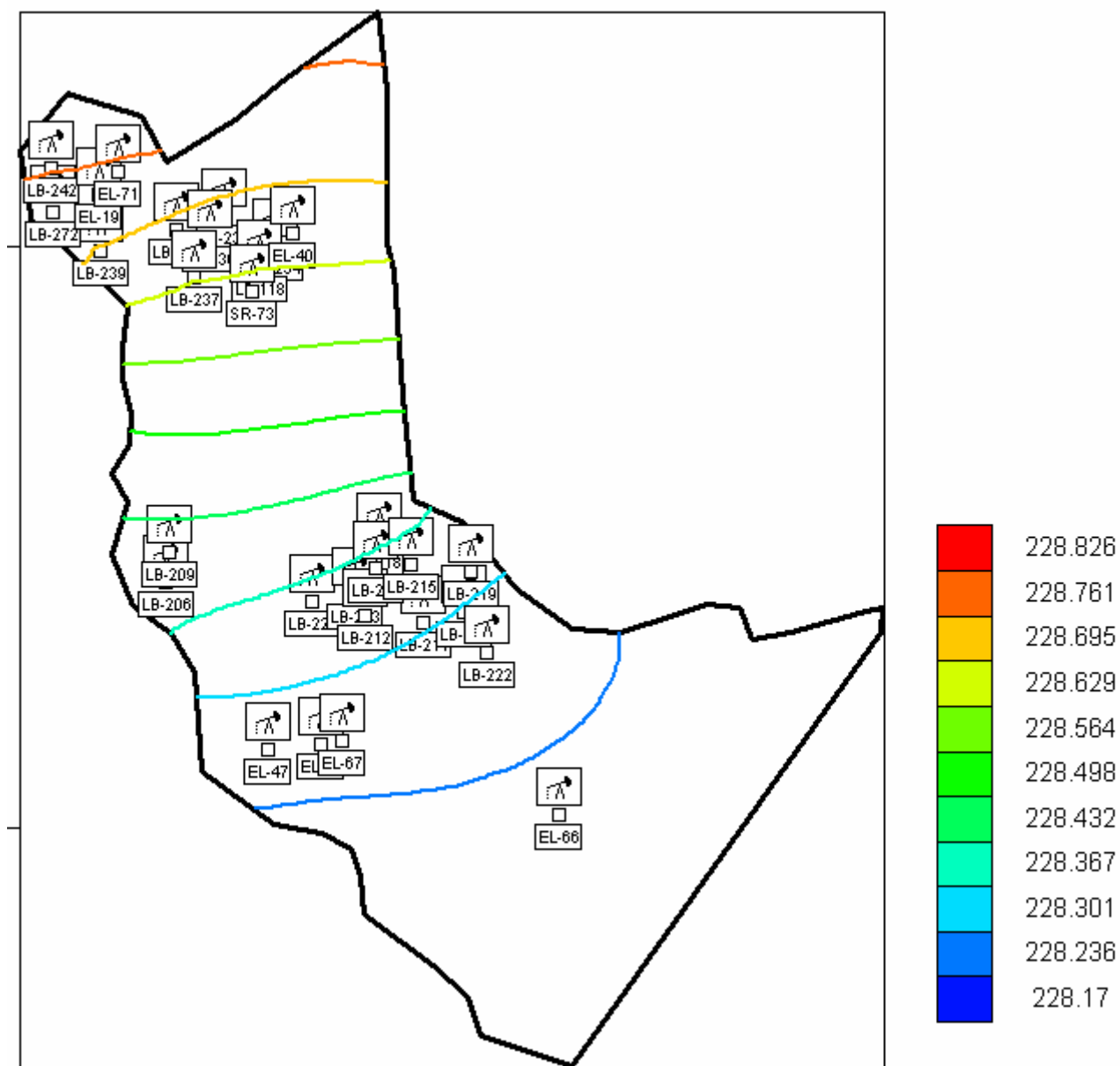
Σχήμα 6.12: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.04 m/s, θερινή περίοδος



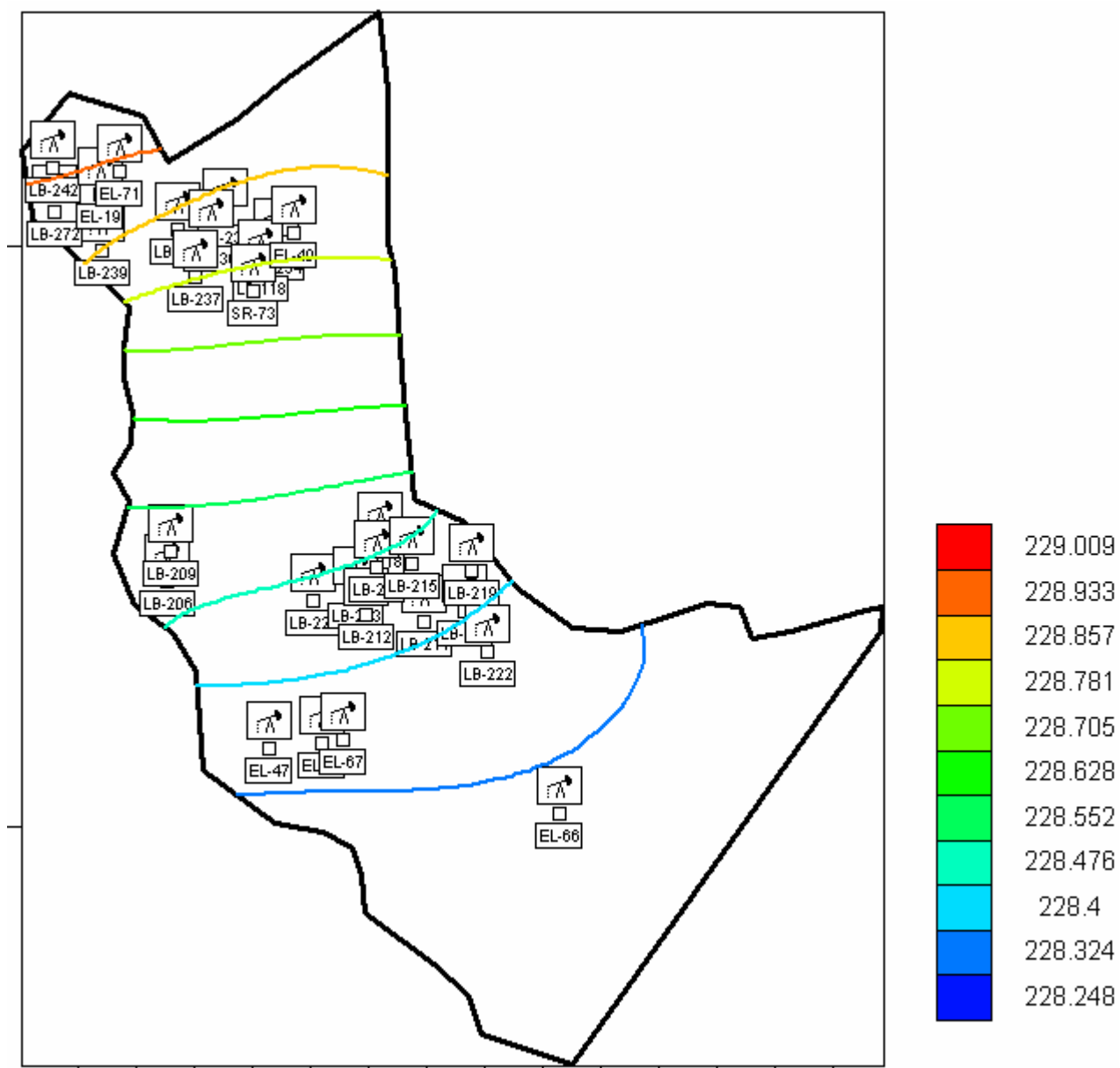
Σχήμα 6.13: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.04 m/s, χειμερινή περίοδος

Υδραυλική αγωγιμότητα 0,05 m/s

Η μεταβολή του υδραυλικού ύψους φτάνει μέχρι 1,5 m χαμηλότερα από τις αρχικές συνθήκες στα βόρεια και περίπου 0,6 m υψηλότερα από αυτές στα νότια :



Σχήμα 6.14: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.05 m/s, θερινή περίοδος



Σχήμα 6.15: Προσομοίωση υπόγειας ροής σε υδροφορέα υδραυλικής αγωγιμότητας 0.05 m/s , χειμερινή περίοδος

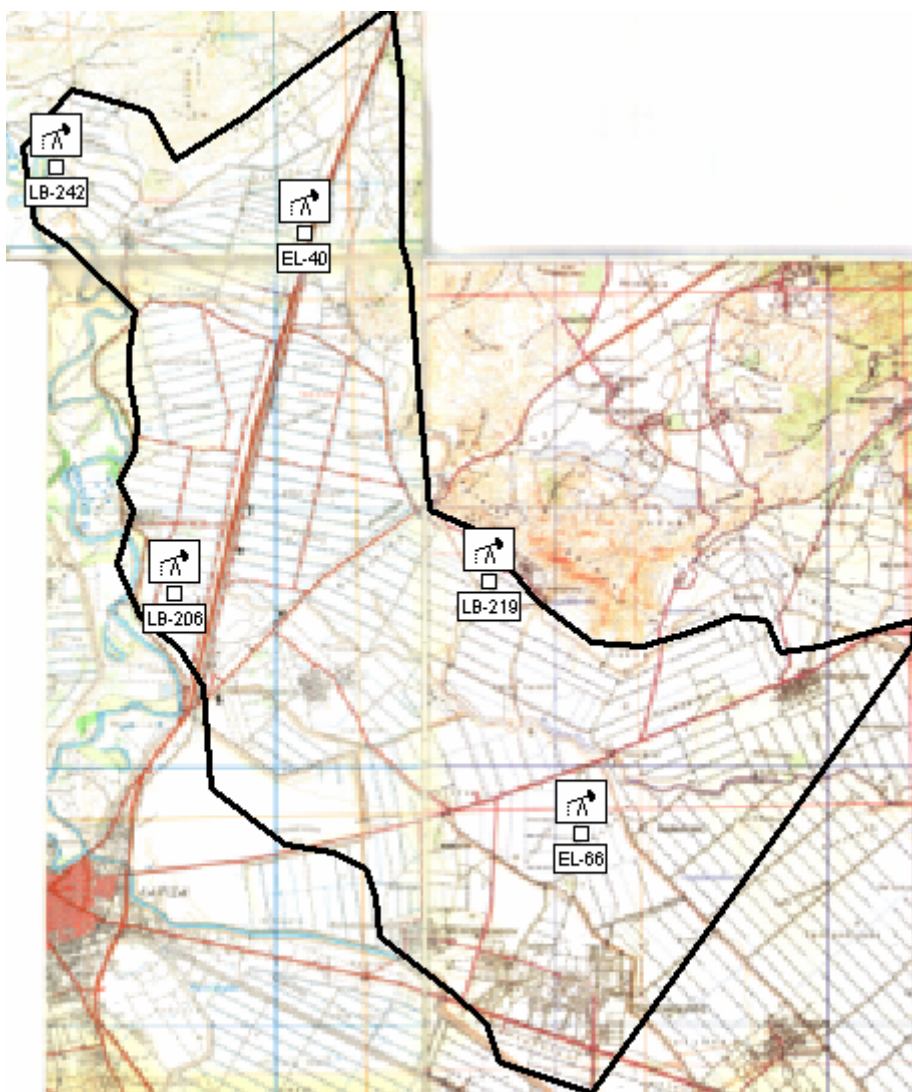
Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται οι τιμές των υδραυλικών υψών που έδωσε το μοντέλο σε καθεμία από τις παραπάνω περιπτώσεις. Οι τιμές αφορούν τη θερινή περίοδο:

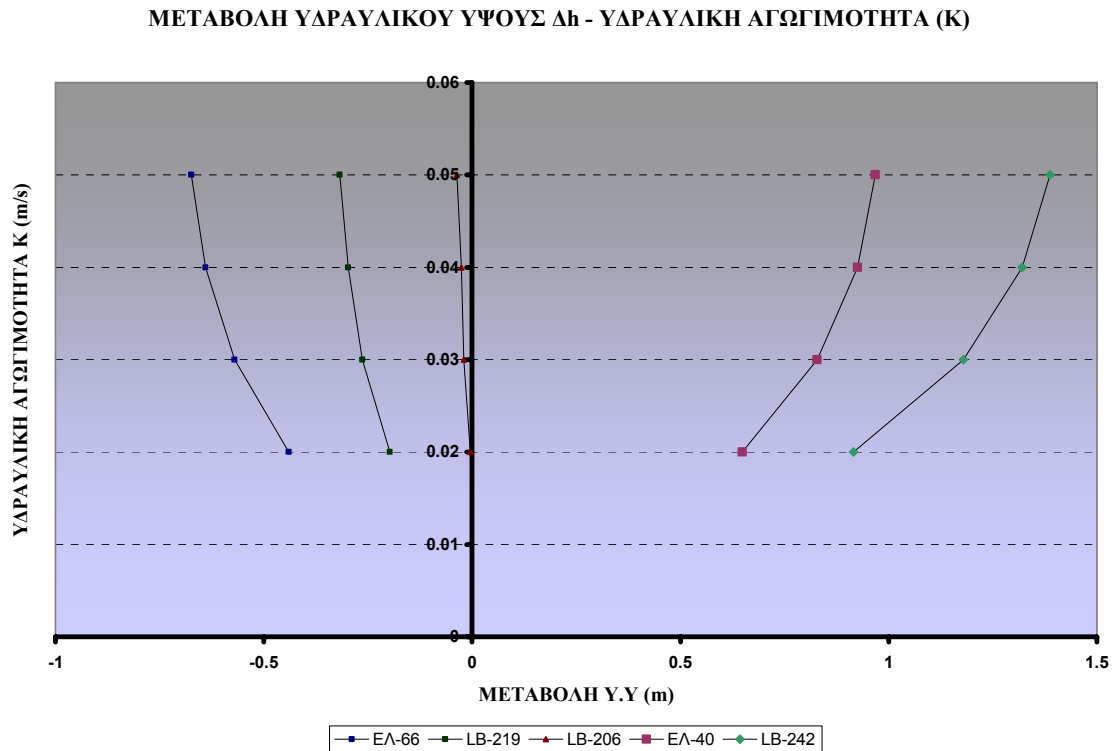
ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ	K=0,01 m/s	K=0,02 m/s	K=0,03 m/s	K=0,04 m/s	K=0,05 m/s
ΕΛ-66	227.545	227.985	228.115	228.185	228.219
LB-222	227.813	228.109	228.2	228.249	228.276
LB-220	227.915	228.157	228.234	228.275	228.298
ΕΛ-67	227.752	228.074	228.178	228.233	228.264
ΕΛ-48	227.751	228.073	228.178	228.232	228.264
LB-211	227.994	228.193	228.259	228.294	228.314
LB-219	227.997	228.194	228.26	228.294	228.315
ΕΛ-47	227.755	228.073	228.178	228.233	228.265
LB-212	228.051	228.218	228.277	228.307	228.327
LB-213	228.121	228.251	228.3	228.325	228.342
LB-215	228.127	228.255	228.302	228.326	228.343
LB-214	228.17	228.274	228.316	228.337	228.352
LB-221	228.157	228.267	228.311	228.333	228.349
LB-218	228.271	228.323	228.35	228.362	228.373
LB-206	228.356	228.36	228.376	228.382	228.392
LB-209	228.44	228.4	228.404	228.403	228.409
SR-73	229.425	228.877	228.73	228.65	228.615
ΕΛ-40	229.625	228.976	228.797	228.7	228.657
LB-118	229.509	228.918	228.758	228.67	228.632
LB-237	229.516	228.923	228.761	228.673	228.634
LB-234	229.572	228.951	228.78	228.688	228.646
LB-236	229.667	228.997	228.811	228.711	228.665
LB-233	229.735	229.03	228.834	228.728	228.679
LB-270	229.752	229.038	228.839	228.731	228.682
LB-239	229.799	229.061	228.854	228.743	228.692
ΕΛ-19	230.013	229.165	228.924	228.796	228.735
ΕΛ-71	230.087	229.201	228.948	228.814	228.749
LB-272	230.01	229.163	228.923	228.795	228.734
LB-242	230.15	229.234	228.97	228.83	228.763

Πίνακας 6.2: Ανάλυση ευαισθησίας υδραυλικής αγωγιμότητας, θερινή περίοδος

* Η κατάταξη των γεωτρήσεων στον Πίνακα 1 ακολουθεί την αρίθμηση των κόμβων από το μοντέλο, η οποία γίνεται από κάτω προς τα πάνω, κατά συνέπεια οι γεωτρήσεις είναι κατανεμημένες από τη χαμηλότερη προς την υψηλότερη.

Από τον παραπάνω πίνακα υπολογίζεται για κάθε γεώτρηση η μεταβολή Δh του υδραυλικού ύψους για κάθε μία από τις τέσσερις εναλλακτικές τιμές υδραυλικής αγωγιμότητας σε σχέση με τις αρχικές συνθήκες ($\Delta h = H_{\text{αρχικό}} - H_{\text{τελικό}}$). Οι μεταβολές αυτές φαίνονται συγκεντρωμένες στο παρακάτω διάγραμμα για τις 5 ακραίες γεωτρήσεις που φαίνονται παρακάτω LB-242, EL-40, LB-206, LB-219 και EL-66.





Διάγραμμα 6.1: Γραφική παράσταση μεταβολής υδραυλικού ύψους Δh (m) σε συνάρτηση με την υδραυλική αγωγιμότητα K (m/s).

Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε πως οι γεωτρήσεις EL-66, LB-219 και LB-206 που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται από αρνητικά Δh , επομένως με την αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας αυξάνεται και το υδραυλικό τους ύψος. Το αντίθετο παρατηρείται για τις γεωτρήσεις LB-242 και EL-40, που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της περιοχής, απ' όπου εισάγεται το νερό. Σε αυτές τις γεωτρήσεις η αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας συνεπάγεται μείωση του υδραυλικού ύψους. Αυτό συμβαίνει διότι με την αύξηση της υδραυλικής αγωγιμότητας, αυξάνεται και η ταχύτητα του νερού στον υδροφορέα, με αποτέλεσμα αυτό να φεύγει ταχύτερα προς τις χαμηλότερες περιοχές, αυξάνοντας έτσι το υδραυλικό τους ύψος, 'εις βάρος' των υψηλότερων.

6.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η περιοχή που εξετάστηκε αποτελεί τμήμα της πεδιάδας του Πηνειού ποταμού. Όπως και ολόκληρη η θεσσαλική πεδιάδα, η εν λόγω περιοχή υπόκειται σε ανορθολογική διαχείριση, με αποτέλεσμα την ταπείνωση της υδατικής στάθμης λόγω της υπεράντλησης των υδάτινων αποθεμάτων. Θεωρείται μάλιστα, πως στην περιοχή μελέτης το πρόβλημα λαμβάνει ακόμα μεγαλύτερες διαστάσεις, επειδή δεν υπάρχει δυνατότητα αποϋδροφορίας της, όπως συμβαίνει για παράδειγμα στις περιοχές κοντά στον Τύρναβο. Οι επιπτώσεις της υπερεκμετάλλευσης των υδατικών πόρων, με σκοπό την κάλυψη των αναγκών καλλιεργειών, αφορούν τόσο τα υπόγεια, όσο και τα επιφανειακά νερά και περιλαμβάνουν την ποσοτική, αλλά και την ποιοτική υποβάθμισή τους.

Η προσομοίωση της υπόγειας ροής της περιοχής, έδειξε πως η ροή γίνεται από το βόρειο τμήμα προς το νότιο, η εισροή επομένως του νερού γίνεται και από τον Πηνειό. Παρατηρήθηκε πως το υδραυλικό ύψος στην περιοχή δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διακυμάνσεις (4m μεταξύ υψηλών και χαμηλών γεωτρήσεων). Κατά τη μοντελοποίηση της ροής στην περίπτωση ημιδιπλασιασμού και διπλασιασμού των παροχών άντλησης (σενάρια 1 και 2), διαπιστώθηκε πως η ταπείνωση της υδατικής στάθμης εντείνεται και μπορεί να φτάσει μέχρι και 1 ή 1,5 m αντίστοιχα. Κατά τη χειμερινή περίοδο η κατάσταση είναι λίγο καλύτερη, λόγω της παύσης της άντλησης αλλά και της αύξησης των εισροών.

Πρέπει να σημειωθεί πως στην περιοχή λειτουργούν και άλλες γεωτρήσεις, οι οποίες δε λήφθηκαν υπόψη λόγω έλλειψης στοιχείων, συμβάλλουν ωστόσο στην πτώση στάθμης.

Λόγω της κατεύθυνσης της ροής είναι προφανές πως αύξηση της παροχής άντλησης στα βόρεια, όπου γίνεται η εισαγωγή του νερού, θα επέφερε σημαντική μείωση του υδραυλικού ύψους στις χαμηλότερες γεωτρήσεις. Ανάλογες συνέπειες θα είχε και η διάνοιξη νέων γεωτρήσεων εντός της περιοχής μελέτης.

Για την ακριβέστερη μοντελοποίηση της περιοχής, θα ήταν χρήσιμο να γνωρίζαμε την ύπαρξη τυχόν γεωτρήσεων ακόμη βορειότερα της περιοχής μελέτης. Σε τέτοια περίπτωση θα επηρεαζόταν σημαντικά η υδροφορία της και πολύ περισσότερο

στο νοτιότερο τμήμα της, που όπως είπαμε υφίσταται τις σημαντικότερες επιπτώσεις. Στην εξαγωγή αντιπροσωπευτικότερων αποτελεσμάτων θα συντελούσε ακόμα και η βαθμονόμηση του μοντέλου βάσει των σημερινών στοιχείων, εφόσον σημαντικός αριθμός των στοιχείων που εισήχθησαν στο μοντέλο, προέκυψαν από γεωλογικές τομές που πραγματοποιήθηκαν προ 25ετίας.

Στη συνέχεια εξετάστηκε η ευαισθησία της υδραυλικής αγωγιμότητας με προσομοίωση της υπόγειας ροής για αύξησή της έως και 400% και υπολογίστηκε η διαφορά που παρατηρήθηκε στα υδραυλικά ύψη. Για πενταπλασιασμό της τιμής της, παρατηρήθηκε μεταβολή του υδραυλικού ύψους έως και 1,5 m. Αξιοσημείωτο είναι επίσης, ότι με την αύξηση της τιμής της υδραυλικής αγωγιμότητας, παρατηρείται πτώση στάθμης στις βόρειες γεωτρήσεις και αύξησή της στις νότιες, γεγονός που οφείλεται στην κατεύθυνση της ροής. Για την αντιπροσωπευτικότερη, επομένως, προσομοίωση της υπόγειας ροής, κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή σχετικών μελετών που θα δώσουν ακριβέστερες τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν μόνο το επιφανειακό στρώμα και μπορεί να μην είναι αντιπροσωπευτικές, σε περίπτωση που τα χαμηλότερα στρώματα έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Θα έπρεπε λοιπόν να γίνουν μελέτες που να προσδιορίζουν αναλυτικότερα την ευρύτερη υδρογεωλογία της περιοχής.

Η αντιμετώπιση του υδατικού ελλείμματος που προκαλεί η υπερεκμετάλλευση των υδροφορέων της θεσσαλικής πεδιάδας, θεωρείται πως θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί σε σημαντικό βαθμό με την εκτροπή του άνω ρου του Αχελώου, όπου το υδάτινο δυναμικό αναπληρώνεται σαφώς ευκολότερα, χωρίς να υπάρχουν ιδιαίτερες συνέπειες στη ροή του χαμηλότερου τμήματός του.

Είναι αυτονόητο πως για την επίτευξη μίας βιώσιμης εκμετάλλευσης, είναι απαραίτητη τόσο η εξοικονόμηση νερού με μείωση της χρήσης των υπόγειων υδάτων, και μείωση του αριθμού των γεωτρήσεων, όσο και η ανάπτυξη έργων τεχνητού εμπλουτισμού υπογείων υδροφορέων. Πρωταρχικό βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση είναι ο ακριβής προσδιορισμός του υδατικού ισοζυγίου της περιοχής μελέτης και του υδατικού της δυναμικού.

Στην αντιμετώπιση του προβλήματος θα συντελούσε και η ορθολογικότερη διαχείριση των επιφανειακών της υδάτων, η οποία αναμένεται να επιτευχθεί μερικώς με την επαναδημιουργία της αποξηραμένης λίμνης Κάρλας και την αποθήκευση των επιφανειακών υδάτων του Πηνειού ποταμού κατά τη χειμερινή περίοδο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Mary P. Anderson, William W. Woessner, *Applied Groundwater modeling, Simulation of Flow and Advective Transport*, 2002
2. D.K. Babu, G. F. Pinder, A. Niemi, D.P. Ahlfeld, S.A. Stohto, *Chemical transport by three – dimensional groundwater flows*, 1997
3. Γκούμας Κων., *Οι αρδεύσεις στη θεσσαλική πεδιάδα: Επιπτώσεις στα υπόγεια και επιφανειακά νερά*, 2005
4. Ευαγγελόπουλος Α. , Νομαρχιακή αυτοδιοίκηση Λάρισας, *Διαχειριστική μελέτη του υπόγειου υδάτινου περιοχών δικαιοδοσίας των Τ.Ο.Ε.Β. Ν. Λάρισας*, 2005
5. Βοτσόγλου Ν., *Έκθεση τεχνικογεωλογικής εξέτασης φαινομένων εδαφικών ρωγμών στην περιοχή του Δ.Α. Χάλκης, Δ. Πλατυκάμπου, Ν. Λάρισας, Ι.Γ.Μ.Ε.*, 2003
6. Βεράνης Ν., Αποστόλου Ν., *Ποιοτικός έλεγχος υδρευτικών γεωτρήσεων στα Δημοτικά Διαμερίσματα Πλατύκαμπος, Ομορφοχώρι, και Ελευθέριο του Δ. Πλατυκάμπου, Ν. Λαρίσης Ι.Γ.Μ.Ε.*, 2003
7. *Πρακτικά συνεδρίου υδάτινου δυναμικού Θεσσαλίας, ΤΕΕ*, 1979
8. Βεράνης Ν., Αποστόλου Ν., *Αναγνωριστική υδρογεωλογική – υδροχημική έρευνα στα Δημοτικά Διαμερίσματα Καλαμάκι και Μέλισσα του Δ. Κιλελέρ, Ν. Λαρίσης Ι.Γ.Μ.Ε.*, 2003
9. *Πρακτικά διεθνούς συνεδρίου, ΤΕΕ, Λάρισα 13-16 Νοεμβρίου 1996*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Γεωλογικές τομές γεωτρήσεων

Φορέας ΤΟΕΒ Πηνειού ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΕΛ 71		Σωρός Αρδευση	A.M. 996																														
Εύλη	ΝΟΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΣ	Κοινότητα Γυρτώνη	Τοποθεσία																														
Χάρη	ΣΥΝΤΕΤΑΥΜΕΝΕΣ	Γεωλογος μελετητής	Στέφ. Ζιούρας																														
1-2	κατ' επιτήρηση	Γεωτρυπανιστής	Α. Καραφας																														
30.000	Υ	Τύπος Γεωτρυπανίου																															
20.000	Χ	Ενταξη εργασιών	1-12-96 λήξη εργασιών 10-12-96																														
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ		ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ																															
ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ		Διαμ. κ' βάθος διάτρησης: 8 1/2" : 250 γ.																															
		Διαμ. κ' βάθος διεύρυνσης: 15 3/4" - 150 γ. 13 1/2" - 150 γ.																															
		Ημερομηνία πλεμ. διαμ.:																															
		Βάθος Διαμετρ. βελώνωσης 0-140 10 3/4 - 140 - 6 5/8																															
		Τύπος φίλτρων : Γεφύρας																															
		Άνοιγμα οπής :																															
		Διαμέτρος καλωφ. 3-6 κιλ. όγκος : 15... κ'																															
		Τελεμένηση :																															
		ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ																															
		Ημερομηνία : 17-12-96... ΥΣ (44,45)																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ΒΑΘΜΙΑ</th> <th>ΔΙΑΡ.</th> <th>Q</th> <th colspan="2">ΔS μετά</th> <th>Διάρκεια επάνοδο</th> </tr> <tr> <th></th> <th>h/h</th> <th></th> <th>2h</th> <th>5h</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2h</td> <td>32</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2h</td> <td>60</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8h</td> <td>103</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		ΒΑΘΜΙΑ	ΔΙΑΡ.	Q	ΔS μετά		Διάρκεια επάνοδο		h/h		2h	5h		1	2h	32				2	2h	60				3	8h	103			
ΒΑΘΜΙΑ	ΔΙΑΡ.	Q	ΔS μετά		Διάρκεια επάνοδο																												
	h/h		2h	5h																													
1	2h	32																															
2	2h	60																															
3	8h	103																															
		Υδατοαγωγιμότητα																															
		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>ΥΣ</th> <th>Q</th> <th>ΔS μετά</th> <th>Αλληλεπίδραση</th> <th>ΣΑ</th> </tr> <tr> <th>Max</th> <th></th> <th>5h</th> <th>5000h</th> <th>Τελική</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>80</td> <td></td> <td></td> <td>94 h</td> </tr> </tbody> </table>		ΥΣ	Q	ΔS μετά	Αλληλεπίδραση	ΣΑ	Max		5h	5000h	Τελική		80			94 h															
ΥΣ	Q	ΔS μετά	Αλληλεπίδραση	ΣΑ																													
Max		5h	5000h	Τελική																													
	80			94 h																													
		Ολικό κόστος κατασκευής:																															
		Συαρίφωμα θέσης Συναρίφωμα RERECE																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Ημερ/νία</th> <th colspan="6">Χημική ανάλυση</th> </tr> <tr> <th></th> <th>PH</th> <th>Ηλ. αν.</th> <th>PPM</th> <th>ΗCO₃</th> <th>CL</th> <th>SO₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>Ca</td> <td>Mg</td> <td>Na</td> <td>SAR</td> <td>Τάξη</td> <td>Ολ. Σκληρ.</td> </tr> </tbody> </table>		Ημερ/νία	Χημική ανάλυση							PH	Ηλ. αν.	PPM	ΗCO ₃	CL	SO ₄									Ca	Mg	Na	SAR	Τάξη	Ολ. Σκληρ.	<p>Ο επιβλέπων γεωλόγος</p> <p>Στέφ. Ζιούρας</p>			
Ημερ/νία	Χημική ανάλυση																																
	PH	Ηλ. αν.	PPM	ΗCO ₃	CL	SO ₄																											
	Ca	Mg	Na	SAR	Τάξη	Ολ. Σκληρ.																											

THESSALIE ORIENTALE Zone III L.L. 218
Commune: OMOPOKOTON RION
Feuille: 1:50.000 PLATICAMBOIS Préfecture LARISSA
N° feuille A: 20.000: 43-72 Entreprise HYDROTECHNIKA
N° photo aérienne (3/32): Phase 2
Coordonnées X = 623,14 N° d'ordre
1:50.000 Y = 3.395,87
Coordonnées X =
1:20.000 Y =
Altitude { 1:50.000:
1:20.000: 62,0 1:50.000:
repère:
nivelée: dalle.
sol.

Hauteur du repère au dessus du sol:

Dates { Début: 5/2/75
Fin de l'équipement: 23/2/75
Fin du développement:

Profondeur totale 177m Sondese: Polbrug H.B
φ de forage:
φ d'alésage:
Diagraphies: Pol-sh/Gammma Ray/64m/16m/64m Date: 11/2/75

N° d'eau	Date	Profondeur	émissivité aquifère/m	débit L/s m³/h	Δs (m)	M.O. assise sol (-m)	T (m²/d)
1	14-2-75	forage		120	4,54	19,60	12·10⁻³
2							
3							
4							

Equipement: sondage Telesco/pce
φ ponce: 12"
Tubage { profondeur: 146-39 livres jusqu'à: 39
principal { longueur: 59,40
cimentation: 0-15 et 69-89m
φ ponce: 6"
Crépines et tubes porte-crèpine { nature: pvc/b
ouvertures { dimensions: 146m - 1 totidem
Longueur totale: 24,64m
position: 146-170
Gravillonnage { gravillon: 89,12-175,72m
position (profondeur): 3-6mm
Volume:
Profondeur totale tubée: 175,72m
Essais de pompage: Date 24-25/4/75 N.S. Artesien

I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s
- enclenchés	1 2"	80	9,9	B s²/m⁵
- avec retour ou N.S.	2 2"	120	16,6	
	3 2"	150	22,5	
	4			

II. A débit Constant	Durée	Q m³/h	Δs après 2h	après 5h	Remontée Durée
	18	185	31	32,8	36,6

Transmissivité (m²/s):

Date	Profondeur	pH	Cond.	R.S.	HCO₃	Cl	SO₄	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Cla	autres

Exploitation proposée: N.S. max Q m³/h 150 N.S. après 2h Δs m N.S. après 5h Δs m N.S. après 10h Δs m N.S. après 15h Δs m

Coût: 2 130 250-1 40 40-45

Observations: I 1 2 3 II 3,2·10⁻³ 2,9·10⁻³ Lavage: Durée Dénivelée: Dénivelée

sol

+060

43

12"

45

69

79

89

93

96

104

110

128

130

133

137

138

143

146

146,00

146,64

175,72

176,72

177

sol

Repiçage: altitude: 12500
mesures: hauteur tub. altitude: finale
longueurs: boyaues

Kara my avaymsw aradpa
Q dir discription aradpa
dys tixout 3 Ecaps, Nagga

THESSALIE ORIENTALE

Commune : **OMORFOKHORION**

Feuille : 1:50.000 : **PLATIKAMBOS**

N° feuille : 1:20.000 : **43-82**

N° photo aérienne (1/12) :

Coordonnées { X = 627,20
1:50.000 { Y = 4.394,00

Coordonnées { X =
1:20.000 { Y =

Altitude { 1:50.000 :
1:20.000 : 62,2 1:5000 :
repère :
nivelée dalle :
sol :

Hauteur du repère au dessus du sol :

Zone III

C.B.221

Préfecture **LARISSA**

Entreprise **HYDROTECHNIK**

Phase 2

N° d'ordre :

Dates { Début : 3/11/74
Fin de l'équipement : 14/11/74
Fin du développement : 21/11/74

Profondeur totale : 200. Sondage : **Fauling 2000**

φ de forage : 8" 1/2

φ d'alésage : 15" = 90. 13 1/4 = 185

Diagraphies : Pot. SA + 8 MM + 64 N + 16 N + 6 Lat. Date : 10/11/74

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	Epaisseur aquifère (m)	Débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. assise sol (m)	T (m³/d)
1								
2								
3								
4								

Equipement : **Sondage Californien**

Tubage { φ pousée : 50"
profondeur : 87' 4" Libre jusqu'à : 87' 4"
principal { Longueur : 87' 4"
cimentation : 15-0

Crépines et tube porte { φ pousée : 10" et 6"
crépines { ouvertures : naturelles
dimensions : 1,5 m/m
Longueur totale : 23,30'
position : 70-82 / 131-136' / 166'-169'
173'-176'

Gravillonnage { φ gravillon : 3 à 6 m/m
position (profondeur) : 185-50
Volume :

Profondeur totale tubée : 182' R = 0,35

Essais de pompage Date 18-19/12/74 N.S. 0,82

I. Par paliers		Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s
- enchaînés	1	2H	63	6,2	B s²/m⁵
	2	2H	104	10,8	
	3	2H	144	16,5	
- avec retour au N.S.		4			

II. A débit Constant		Durée	Q m³/h	Δs après 2h	Δs après 5h	Δs après 10h	Remontée durée
		18H	160	17,7	19,8	23,0	18H

Transmissivité (m²/s) : 4,5 · 10⁻³

Observations : Lavage :
Durée Dév. air-lift :
Dév. pompe :

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO₃	Cl	SO₄	Ca	Mg	Na	SAR	Clas.	Dureté totale

Exploitation proposée :
Coût :

N.S. m³/s	Q m³/h	5m³ r. après 4h	Incr. station	N.P. nat.
5	140	22	40	5

35m³ 5x3=18 35m APR

THESSALIE ORIENTALE Zone III C8.213
Commune: OMOPOKHORION
Feuille 1:50.000: LARISSA Prefecture LARISSA
N° feuille 1:20.000: 43-82 Entreprise HYDROTECHNIKE
N° photo aérienne (7/12): Phase 2
Coordonnées X: 627,64 N° d'ordre
1:50.000 Y: 4.394,76
Coordonnées X:
1:20.000 Y:
Altitude { 1:50.000: 63,2 1:50.000:
repère:
nivelée, datée:
sol:
Hauteur du repère au dessus du sol:

Dates { Début: 24/1/75
Fin de l'équipement:
Fin du développement:
Profondeur totale: 206m. Sondeuse: Fallouy M.A.
φ de forage:
φ d'alésage:
Diagraphies pot. sp. 19mm Rays 64" N 16" N 16" Lat Date: 31/1/75

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	Débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. au sol (m)	T (m³/d)
1								
2								
3								
4								

Equipement: Sondage télescopique
Tubage { φ ponceau: 12"
profondeur: 89 pot. 0,46 litres jusqu'à 75,52
principal { Longueur:
cimentation: 90-70 et 15-0m
Crépines et { φ ponceau: 6"
tubes porte-ouvertures { nature: hout
crépine { dimensions: 2,5m
Longueur totale: 24,64
position 120,08-123,16/147,40-150,54/180,76-189,14
Gravillonnage { φ gravillon: 3-6mm
position (profondeur): 206-78m
Volume:
Profondeur totale tubée: 205,52m
Essais de pompage: Date 14/8/75 N.S. Artésien

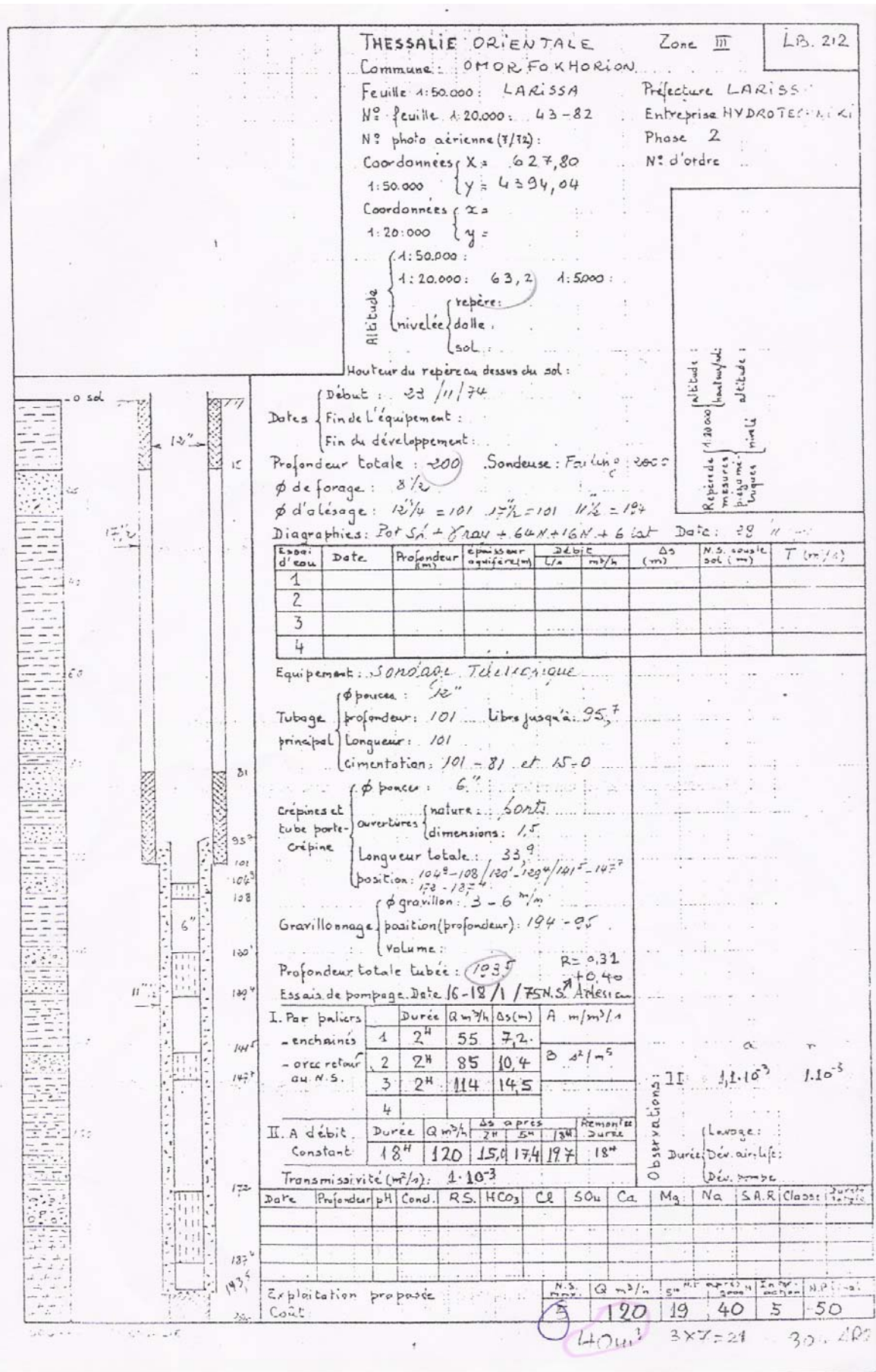
Κατά την ανέγερση αβάντα παροχής δυν. διατηρήσθαι σταθερά η παροχή, μετέπειτα 2 φορές ητοι 3 παροχές διαφορετικά.

I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s	α	γ
- enclenchement	1 2"	70	7,3		I 1	
- avec retour au N.S.	2 2"	95	10,4	B s²/m⁵	2	
	3				3	
	4					

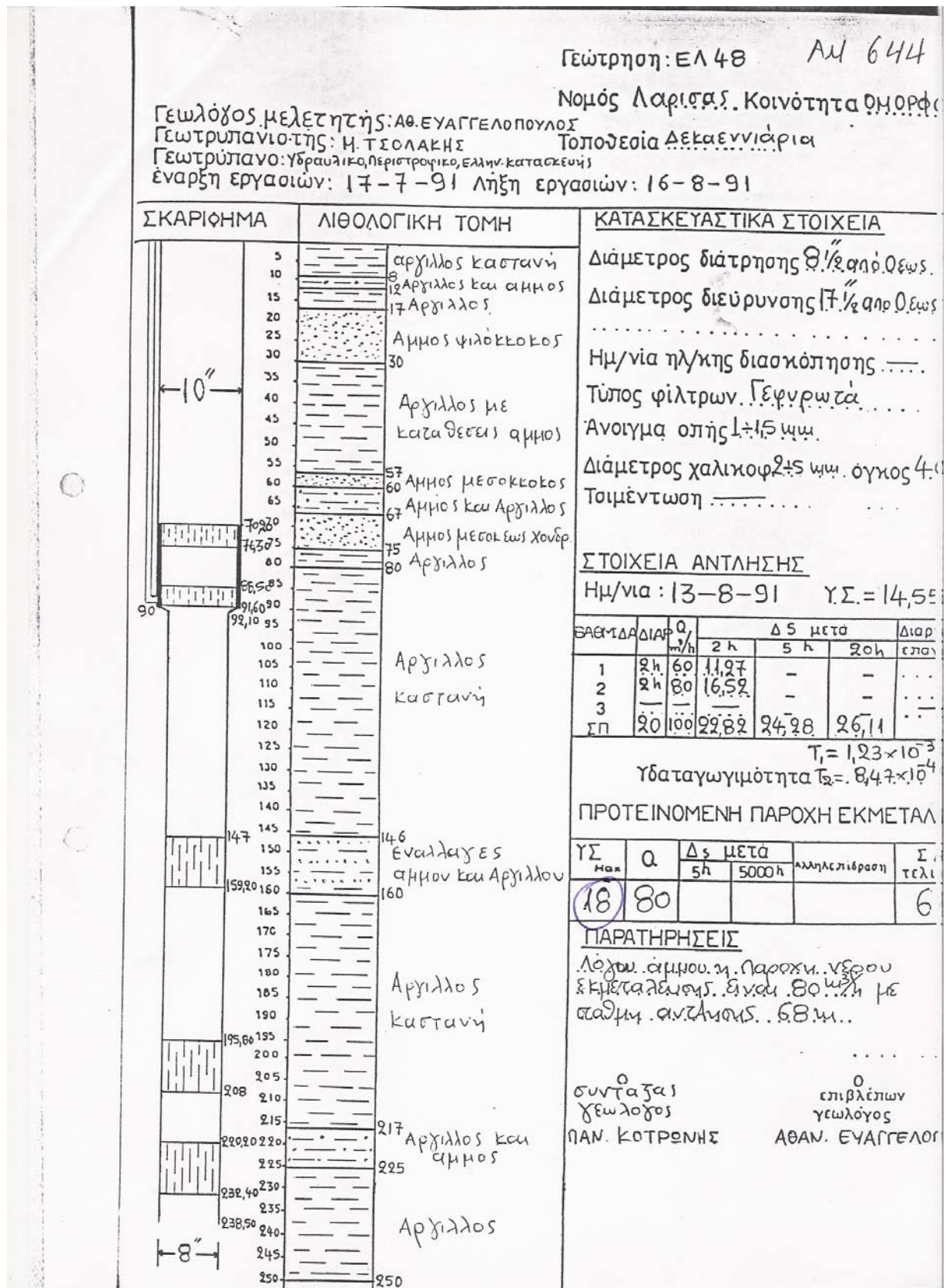
II. A débit Constant { Durée Q m³/h Δs après 2" 5" 15" Remontée Durée
(18" 120 146 151 161 154
Transmissivité (m²/s):
Date Profondeur pH Cond. R.S. HCO₃ Cl SO₄ Ca Mg Na SAR Cl⁻/Ca²⁺ Durée de l'essai

Exploitation proposée { N.S. max Q m³/h 5" après 15" Inertie H.P. (m³)
Coût: ③ 100 13 22 5 30
3x3-9 27 AP

12"
6"
120,08
123,16
147,40
150,54
180,76
189,14
206



[illegible]



Φορέας ΔΕΒ.....		ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΕΛ 67		Στοιχ. Α.Ρ.Φ.Ε.Υ.Δ.		Α.Μ.																															
ΝΟΜΟΣ ΛΑΡΙΣΣΑΣ.....		ΚΟΙΝΩΤΗΤΑ ΟΥΡΩΦΟΡΧΩΡΙ		ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΟΥΡΩΦΟΡΧΩΡΙ																																	
Φύλλο.....	ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΕΣ	ΚΑΤ' ΕΠΙΤΡΟΠΗ		Τοπογρ. αποτύπωση		Γεωλόγος μελετητής ΣΤ. Ζιούρας																															
1:.....	1:.....	1:.....	1:.....	Γεωτρυπανέστης Ν.Μ. Παπαζοργίου		Τύπος γεωτρυπανίου ΓΕΩΤΡΕΑ - LK 14																															
20.000	20.000	20.000	20.000	Εναρξη εργασιών.....		Αν. Σπ. Εργασ.																															
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ ΣΩΛΗΝΩΣΗΣ		ΛΙΘΟΛΟΓΙΚΗ ΤΟΜΗ		ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ																																	
		αργίλος με απολιθώματα		Διαμ. κ. βάθος διατρήσης: 9 1/2" → 250 γ.																																	
		αμμοκαλίου με αργίλο		Διαμ. κ. βάθος διεύρυνσης: 17 1/2" → 250 γ.																																	
		αργίλος με απολιθώματα		Ημερομηνία πλεωτ. διαβί:																																	
		εναλλαγές κονδρουοειδούς αμμου με αργίλο		Βάθος διαμετρ. εωλίνωσης 0-120-10" & 120-240-6																																	
		αργίλος		Τύπος φίλτρων: Γεφύρας																																	
				Άνοιγμα οπής:																																	
				Διάμετρος καλωδ. 2-5 κιλ. όγκος: 25																																	
				Τελειώθηκε																																	
				ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΤΛΗΣΗΣ																																	
				αμμοκαλίους		Ημερομηνία:																															
		αργίλος		ΥΣ																																	
		εναλλαγές αργίλου-αμμου		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ΒΑΘΜΙΑ</th> <th rowspan="2">ΔΙΑΡ.</th> <th rowspan="2">Q κ/h</th> <th colspan="2">ΔS μετά</th> <th rowspan="2">Δεσμός επανός</th> </tr> <tr> <th>2h</th> <th>5h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2h</td> <td>80</td> <td>7,74</td> <td>—</td> <td rowspan="3">—</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2h</td> <td>110</td> <td>14,60</td> <td>—</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>8h</td> <td>120</td> <td>16,30</td> <td>12,31</td> </tr> <tr> <td colspan="6">ΣΠ</td> </tr> </tbody> </table>				ΒΑΘΜΙΑ	ΔΙΑΡ.	Q κ/h	ΔS μετά		Δεσμός επανός	2h	5h	1	2h	80	7,74	—	—	2	2h	110	14,60	—	3	8h	120	16,30	12,31	ΣΠ					
ΒΑΘΜΙΑ	ΔΙΑΡ.	Q κ/h	ΔS μετά		Δεσμός επανός																																
			2h	5h																																	
1	2h	80	7,74	—	—																																
2	2h	110	14,60	—																																	
3	8h	120	16,30	12,31																																	
ΣΠ																																					
		αργίλος		Υδαταγωνιμότητα																																	
		εναλλαγές αμμου-αργίλου		ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΠΑΡΟΧΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣ																																	
		αργίλος		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">ΥΣ</th> <th rowspan="2">Q</th> <th colspan="2">ΔS μετά</th> <th rowspan="2">Αλληλεπίδραση</th> <th rowspan="2">ΣΑ Τελικά</th> </tr> <tr> <th>5h</th> <th>5000h</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>29</td> <td>80</td> <td>12,36</td> <td>28</td> <td>—</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table>				ΥΣ	Q	ΔS μετά		Αλληλεπίδραση	ΣΑ Τελικά	5h	5000h	29	80	12,36	28	—	80																
ΥΣ	Q	ΔS μετά		Αλληλεπίδραση	ΣΑ Τελικά																																
		5h	5000h																																		
29	80	12,36	28	—	80																																
		εναλλαγές αμμου-αργίλου		Ολικό κόστος κατασκευής:																																	
		αργίλος		Συαρίφωμα θέσης: Συαρίφωμα REPERE																																	
Ημερ/νια		Χημική ανάλυση				Ο επιβλέπων γεωλόγος																															
		PH Hl. αν. PPM HCO ₃ Cl SO ₄																																			
		Ca Mg Na SAR TαΞη ολ-Σκληρ				Στεφ. Ζιούρας																															

THESSALIE ORIENTALE Zone III

Commune : OMORFOKHORION

Feuille 1:50.000 : PLATIANBOS
N° : Feuille 1:20.000 : -43-82
N° photo aérienne (7/72) :

Coordonnées X = 623,37
1:50.000 Y = 4.394,20
Coordonnées x =
1:20.000 y =

Altitude { 1:50.000 :
1:20.000 : 62,5 m 1:50.000 :
repère :
nivelée dalle :
sol :

Hauteur du repère au dessus du sol :

Dates { Début : 24/12/75
Fin de l'équipement : 14/13/75
Fin du développement :

Profondeur totale : 145m Sondeuse : Wirth B₂
φ de forage :
φ d'alésage : 0-B3m 15" / 33-158y 4 1/2"
Diagraphies : 14 S.H.G.R./64"N/116"N/16"N/2"

Date : 1/13/75

Essai d'eau	Date	Profondeur (cm)	Emissaire aquifère(m)	Débit L/a	m³/h	Δs (m)	N.S. couplet sol (m)	T (m³/l)
1								
2								
3								
4								

Equipement : sondage télescopique
φ pousca : 12"
Tubage principal { profondeur : 83m libre jusqu'à : 75,76
Longueur : 83
Cimentation : P... 15.7y et ... 65-65.7y

Crépines et tube porte-crêpine { φ ponce : 6"
ouvertures : nature : wyl.
dimensions :
Longueur totale :
position : 94-109,6 / 150.50-158.20
Gravillonnage { φ gravillon : 6mm
position (profondeur) : 75,7-168,1 y
Volume : 176,2-162,20

Profondeur totale tubée 184

Essais de pompage Date 30-4-12-5-N.S. 1,65m

I. Par paliers	Durée Q m³/h Δs(m)	A m/m²/s	B s²/m⁵
1	2H 70 7,2		
2	2H 100 12,9		
3	2H 128 18,1		
4			

II. A débit Constant	Durée Q m³/h Δs après 2h 5h 10h Remonter durée
18H	160 219 262 430 18H

Transmissivité (m²/s) :

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO₃	Cl	SO₄	Ca	Mg	Na	SAR Co

Exploitation proposée

Coût :

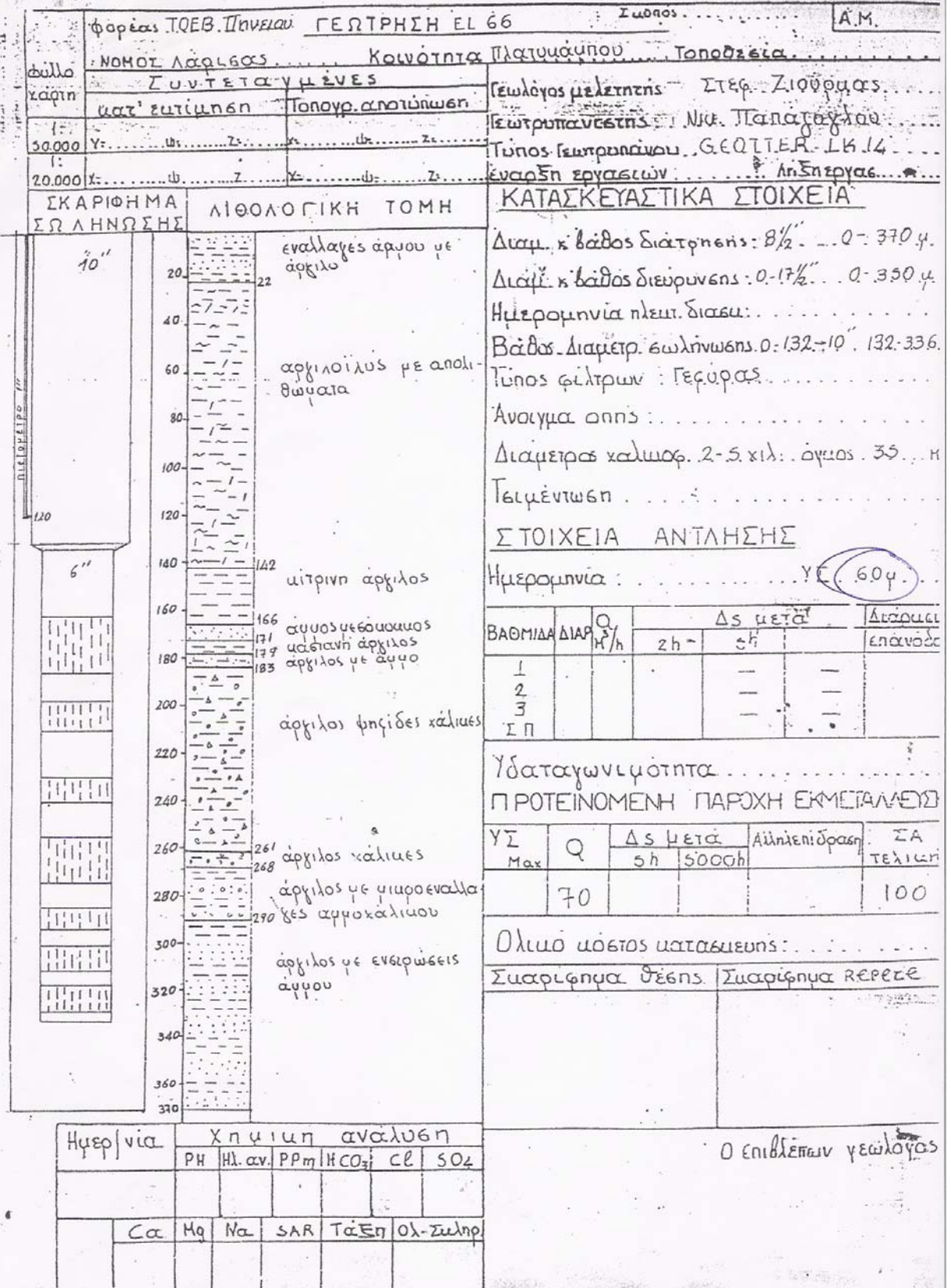
N.S. moy.	Q m³/h	s	Δs après 2h 5h 10h	Incrément	Remonter
(5)	130	22	24	5	34 → 45

100

117x3=51 35M

THESSALIE ORIENTALE		Zone III	LB 222																																																																						
Commune: OMORFOKITO RION																																																																									
Feuille 1:50.000: PLATYKAMBOI		Préfecture LARISA																																																																							
N° feuille 1:20.000: 43-82		Entreprise HYDROTECHNIK																																																																							
N° photo aérienne (1/12):		Phase 2																																																																							
Coordonnées X = 630,12		N° d'ordre																																																																							
1:50.000 { y = 4.393,56																																																																									
Coordonnées x =																																																																									
1:20.000 { y =																																																																									
Altitude { 1:50.000: 63,0		1:5000:																																																																							
nivelee dalle:																																																																									
sol:																																																																									
Hauteur du repère au dessus du sol:																																																																									
Dates { Début: 22/3/75																																																																									
{ Fin de l'équipement: 8/4/75																																																																									
{ Fin du développement:																																																																									
Profondeur totale: 187m Sondage: Wirth B2																																																																									
φ de forage: 0-83 15" et 83-187 11 1/4"																																																																									
Diagraphies: Polysth/Ammon Ray 1/64" N/16" N/6" lat Date: 28/3/75																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N° d'eau</th> <th>Date</th> <th>Profondeur (m)</th> <th>épaisseur équivalente (m)</th> <th>débit L/s</th> <th>m³/h</th> <th>Δs (m)</th> <th>N.S. sous sol (m)</th> <th>T (m²/s)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				N° d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur équivalente (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. sous sol (m)	T (m²/s)	1									2									3									4																																	
N° d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur équivalente (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. sous sol (m)	T (m²/s)																																																																	
1																																																																									
2																																																																									
3																																																																									
4																																																																									
<p>Equipement: sondage télescopique</p> <p>φ pousée: 12"</p> <p>Tubage { profondeur: 82,6m Libre jusqu'à: 92,6m</p> <p>principal { longueur: 83m</p> <p>cimentation: 0-15 et 62,6-82,6</p> <p>φ pousée: 6"</p> <p>Crépines et { nature: points</p> <p>tube porte- { ouvertures: 2,5mm</p> <p>crépine { longueur totale: 27,72m</p> <p>position: 147-156,24/162,32-180,8</p> <p>φ gravillon: 3-6mm</p> <p>Gravillonnage { position (profondeur): 74-187m</p> <p>Volume:</p> <p>Profondeur totale tubée: 186,88m R=1000</p> <p>Essais de pompage: Date: 19-20/5/75 N.S. 0,60</p>																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">I. Par paliers</th> <th colspan="2">Durée Q m³/h Δs (m)</th> <th colspan="2">A m³/m³/s</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- enchainés</td> <td>1</td> <td>24</td> <td>36</td> <td>22,3</td> <td></td> </tr> <tr> <td>- avec retour au N.S.</td> <td>2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				I. Par paliers		Durée Q m³/h Δs (m)		A m³/m³/s		- enchainés	1	24	36	22,3		- avec retour au N.S.	2						3						4																																												
I. Par paliers		Durée Q m³/h Δs (m)		A m³/m³/s																																																																					
- enchainés	1	24	36	22,3																																																																					
- avec retour au N.S.	2																																																																								
	3																																																																								
	4																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">II. A débit Constant</th> <th colspan="2">Durée Q m³/h Δs après 24 54 12"</th> <th colspan="2">Remonter durée</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>12"</td> <td>50</td> <td>33,6</td> <td>34,5</td> <td>36,2</td> </tr> </tbody> </table>				II. A débit Constant		Durée Q m³/h Δs après 24 54 12"		Remonter durée			12"	50	33,6	34,5	36,2																																																										
II. A débit Constant		Durée Q m³/h Δs après 24 54 12"		Remonter durée																																																																					
	12"	50	33,6	34,5	36,2																																																																				
Transmissivité (m²/s):																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Date</th> <th>Profondeur</th> <th>pH</th> <th>Cond.</th> <th>RS</th> <th>HCO₃</th> <th>Cl</th> <th>SO₄</th> <th>Ca</th> <th>Mg</th> <th>Na</th> <th>S.A.R.</th> <th>Class.</th> <th>Dureté totale</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>				Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Class.	Dureté totale																																																								
Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Class.	Dureté totale																																																												
<p>Exploitation proposée:</p> <p>Coût:</p>																																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th>N.S. max</th> <th>Q m³/h</th> <th>g</th> <th>Δs après 24 54 12"</th> <th>Inter-pression</th> <th>N final</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>50</td> <td>35</td> <td>41</td> <td>5</td> <td>51-53</td> </tr> </tbody> </table>				N.S. max	Q m³/h	g	Δs après 24 54 12"	Inter-pression	N final	5	50	35	41	5	51-53																																																										
N.S. max	Q m³/h	g	Δs après 24 54 12"	Inter-pression	N final																																																																				
5	50	35	41	5	51-53																																																																				

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»



THESSALIE ORIENTALE

Commune: **KOULOURI**

Feuille 1:50.000: **LARISSA**

N° feuille 1:20.000: **43-82**

N° photo aérienne (1/72):

Coordonnées X = **626,12**

1:50.000 { Y = **4.395,25**

Coordonnées X =

1:20.000 { Y =

Altitude { 1:50.000: **65,0** 1:50.000:

repère: **sol**

Hauteur du repère au dessus du sol:

Zone **III**

L2 209

Préfecture **LARISSA**

Entreprise **HYDROTECHNIQ**

Phase **2**

N° d'ordre

Dates { Début: **17/1/75**

Fin de l'équipement: **31/2/75**

Fin du développement:

Profondeur totale: **168m** Sondreuse: **Fairing 40**

φ de forage: **12"**

φ d'alésage: **0-90m 15" et 90-168 11 1/2**

Diagraphies **SA-Pt/Gammma Ray** 64" N/16" N/6" Let Date: **23/1/75**

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. sous le sol (m)	T (m²/s)
1								
2								
3								
4								

Equipement: **type télescopique**

Tubage { φ pouces: **12"**

profondeur: **0-89,2** Libre jusqu'à: **81,88**

principal { longueur: **0-15** et **81,4-89,2**

cimentation: **0-15** et **81,4-89,2**

Crépines et tube porte-crèpine { φ pouces: **6"**

ouvertures { nature: **haut**

dimensions: **2,52m**

Longueur totale: **24,48m**

position: **111,8-114,88/133,12-142,34/148,4-160,76**

Gravillonnage { φ gravillon: **3-6mm**

position (profondeur): **81,4-166,32m**

Volume:

Profondeur totale tubée:

Essais de pompage Date: **11/02/6/75** N.S. Artesien

I. Por paliers		Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s
- enchaînés	1	24	80	3,6	B s²/m⁵
	2	24	121	19,6	
	3	24	150	17	
- avec retour ou N.S.		4			

II. A débit Constant		Durée	Q m³/h	Δs après 2h	Δs après 6h	Δs après 12h	Rémontée durée
		18h	180	20,3	22,1	24,8	18h

Transmissivité (m²/s):

Date	Profondeur	pH	Cond.	R.S.	HCO₃	Cl	SO₄	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Class.	Qualité

Exploitation proposée

Coût:

N.S. max	Q m³/h	5"	4"	3"	2"	1"	Inter.	V.P. final
2	180	23	32	5	39	40		

THESSALIE ORIENTALE Zone III L.P. 206

Commune: DASSIOCHORI

Feuille 1: 50.000: LARISSA

N° feuille 1: 20.000: 43-82

N° photo aérienne (7/72):

Coordonnées X = 623,82

1: 50.000 { Y = 4.354,23

Coordonnées X =

1: 20.000 { Y =

Altitude { 1: 50.000: 65,4 1: 50.000: repère: nivelée dalle sol

Hauteur du repère au dessus du sol:

Début: 3/1/75

Fin de l'équipement: 1/1/75

Fin du développement:

Profondeur totale: 152m Sondage: FAILING N° 10

φ de forage: 0-7 15" et 24 152 11/2

φ d'alésage:

Diagraphies: Pat. sh/gamma ray 164" N° 15 11/2 44 Date: 21/12/74

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. couple sol (m)	T (°/A)
1								
2								
3								
4								

Equipement: type télescopique

φ pouces: 12"

Tubage principal: profondeur 26,4 livres jusqu'à: 698

Longueur: 76,8

cimentation: 0-15 et 56-76

φ pouces: 6"

Crepiques et tube porte-ouverture: nature: joint

dimensions: longueur totale: position: 82-94,3/106,7-117,5/118,4-123,8

φ gravillon: 3-6mm 136,2-145,2

Gravillonnage: position (profondeur): 69,8-152m

Volume:

Profondeur totale tubée: 152,3m R=0,50

Essais de pompage: Date 31/5/75 N.S. Artesien

I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m²/s
- enchaînés	1 2h	120	5,9	
- avec retour au N.S.	2 2h	180	9,2	B s²/m⁵
	3 2h	280	14,9	
	4 2h	120	3,3	

II. A débit Constant	Durée	Q m³/h	Δs après 2h	Δs après 5h	Δs après 24h	Remonte durée
	24h	220	10,6	10,9	11,4	30'

Transmissivité (m²/s):

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	SAR	EC	γ ₅₀	γ ₁₀₀	γ ₂₀₀

Exploitation proposée

Coût:

N.S. max	Q m³/h	γ ₅₀	γ ₁₀₀	γ ₂₀₀	γ ₅₀₀	γ ₁₀₀₀	γ ₂₀₀₀	γ ₅₀₀₀	γ ₁₀₀₀₀	γ ₂₀₀₀₀	γ ₅₀₀₀₀	γ ₁₀₀₀₀₀	γ ₂₀₀₀₀₀	γ ₅₀₀₀₀₀	γ ₁₀₀₀₀₀₀
5	220	11	14	5	24	30									

130 1x3=3 30

Représentation schématisée de la nappe phréatique et du forage.

Altitude (m) : 12000

Représentation schématisée de la nappe phréatique et du forage.

Altitude (m) : 12000

Représentation schématisée de la nappe phréatique et du forage.

Altitude (m) : 12000

[illegible]

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»

ΘΕΣΣΑΛΙΑ <i>Λαρισιώ</i>		Ζώνη: <i>III</i>	<i>LB215</i>																																												
Κοινότης: <i>Υπορροχούριον</i>		Νομός: <i>Λαρίση</i>																																													
Φύλλον χάρτου 1:50.000 <i>Λαρίση</i>		Εταιρία: <i>Υδροτεχνική</i>																																													
Αριθμ. φύλλου 1:20.000 <i>43-82</i>		Φάσις: <i>2</i>																																													
Αεροφωτογραφία No <i>(1172)</i>		Αριθμός εντολής:																																													
Συντεταγμένοι: $\begin{cases} X = 628,36 \\ \Psi = 4394,90 \end{cases}$		Repère των πιεζ. μετρήσεων																																													
Συντεταγμένοι: $\begin{cases} X = \\ \Psi = \end{cases}$		Από χάρτη $\begin{cases} \text{Υψόμετρο} \\ 1:20.000 \end{cases}$ από έδ:																																													
Υψόμετρον $\begin{cases} 1:50.000 \\ 1:20.000 \end{cases}$ <i>63,0</i> $\begin{cases} 1:5.000 \\ \text{repère} \end{cases}$		Τοπ. άποτυπωθέν:																																													
Υψος του repère άνωθεν του εδάφους:																																															
Ενάρξεως: <i>23/5/75</i>																																															
Πέρατος σωληνώσεως: <i>1/4/75</i>																																															
Πέρατος αναπτύξεως:																																															
Όλικόν βάθος: <i>118m</i> Γεωτρύπανον: <i>Fai 21m M.B</i>																																															
Διάμετρος διατήσεως:																																															
Διάμετρος διευρύνσεως: <i>15" 0-72m & 12 1/4" 72-118m</i>																																															
Διασκοπίσεις: <i>5m-10m / 10m-16m / 16m-21m</i>		Ημερομηνία: <i>27/3/75</i>																																													
Δοκιμή ύδατος	Ημερομην.	Βάθος εις m.	Πάχος ύδροφόρου	Παροχή L S m ³ /h	Δ s εις m.	Υ. Σ. εις m	T (m ² /s)																																								
1																																															
2																																															
3																																															
Ημερ	Βάθος	pH	Ηλ. άγ.	R S.	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Τάξις	Όλική Σκληρ																																		
Σωληνώσεις: <i>Σύμφωνα με πρότυπο</i>																																															
Κυρία Σωληνώσεις: $\begin{cases} \text{Διαμ. ίντσες: } 10'' \\ \text{Βάθος: } 71,6m \\ \text{Μήκος: } 72m \\ \text{σιμέντωσης: } 0-15 \\ \text{Διάμ. ίντσες: } 10'' 50'' \end{cases}$																																															
Φίλτρα και φίλτροσωληνες: $\begin{cases} \text{Άνοιγμα: } \begin{cases} \text{φύσις: } 2,5m \\ \text{διαστάσεις: } 2,5m \end{cases} \\ \text{Όλικόν μήκος: } 18,54m \\ \text{Θέσις: } 42-46m / 84,26-96,6m / 104,48-118,6m \end{cases}$																																															
Χαλίκωσις: $\begin{cases} \text{Διαμ. χαλίκων: } 3-6mm \\ \text{Θέσις (Βάθος): } 118-15m \\ \text{Όγκος: } \\ \text{Σωληνωθέν όλικόν μήκος: } 118,54m \\ \text{Δοκιμαστική άντλησις: } \text{Ημερομηνία } 5/10/75 \text{ Υ. Σ.: } 1,50m \end{cases}$																																															
<table border="1"> <tr> <td>Διά βαθμίδων - άλυσωται</td> <td>Διάρκεια</td> <td>Q m³/h</td> <td>Δs (m)</td> <td>A m³/m³ Δ</td> <td>Π</td> <td>Ε</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>27</td> <td>80</td> <td>10,5</td> <td></td> <td>1,03 · 10⁻³</td> <td>1,5 · 10⁻³</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>27</td> <td>100</td> <td>15,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>27</td> <td>130</td> <td>22,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>													Διά βαθμίδων - άλυσωται	Διάρκεια	Q m ³ /h	Δs (m)	A m ³ /m ³ Δ	Π	Ε	1	27	80	10,5		1,03 · 10 ⁻³	1,5 · 10 ⁻³	2	27	100	15,7				3	27	130	22,5				4						
Διά βαθμίδων - άλυσωται	Διάρκεια	Q m ³ /h	Δs (m)	A m ³ /m ³ Δ	Π	Ε																																									
1	27	80	10,5		1,03 · 10 ⁻³	1,5 · 10 ⁻³																																									
2	27	100	15,7																																												
3	27	130	22,5																																												
4																																															
<table border="1"> <tr> <td>II. Διά σταθερής παροχής</td> <td>Διάρκ.</td> <td>Q m³/h</td> <td>Δs μετά 2H 5H 18H</td> <td>Διάρκεια Έπανάδου</td> <td>Παρεμβάσεις</td> </tr> <tr> <td>18H</td> <td>150</td> <td>94,28,73,2</td> <td>18H</td> <td>18H</td> <td> <ul style="list-style-type: none"> Ανόπτυξις πλύσις δι' air lift Ανάπτ. δι' air lift </td> </tr> </table>													II. Διά σταθερής παροχής	Διάρκ.	Q m ³ /h	Δs μετά 2H 5H 18H	Διάρκεια Έπανάδου	Παρεμβάσεις	18H	150	94,28,73,2	18H	18H	<ul style="list-style-type: none"> Ανόπτυξις πλύσις δι' air lift Ανάπτ. δι' air lift 																							
II. Διά σταθερής παροχής	Διάρκ.	Q m ³ /h	Δs μετά 2H 5H 18H	Διάρκεια Έπανάδου	Παρεμβάσεις																																										
18H	150	94,28,73,2	18H	18H	<ul style="list-style-type: none"> Ανόπτυξις πλύσις δι' air lift Ανάπτ. δι' air lift 																																										
Υδατοαγωγιμότης T: 1																																															
Προταθείσα έκμετάλευσις:																																															
Αξία:																																															
<table border="1"> <tr> <td>Υ.Σ. Μεγ.</td> <td>Q m³/h</td> <td>Δs μετά 5η</td> <td>5.000η</td> <td>Άλληλεπίδρασις</td> <td>Ε.Α. τελική</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>130</td> <td>30</td> <td>43</td> <td>5</td> <td>55</td> </tr> </table>													Υ.Σ. Μεγ.	Q m ³ /h	Δs μετά 5η	5.000η	Άλληλεπίδρασις	Ε.Α. τελική	5	130	30	43	5	55																							
Υ.Σ. Μεγ.	Q m ³ /h	Δs μετά 5η	5.000η	Άλληλεπίδρασις	Ε.Α. τελική																																										
5	130	30	43	5	55																																										

100m > 5x2,5 = 12,5

THESSALIE ORIENTALE
Commune: GITONI
Feuille 1:50.000: CONNI
N° feuille 1:20.000: 43-72
N° photo aérienne (7/72):
Coordonnées X: 621,8
1:50.000 { Y: 4402,25
Coordonnées { X:
1:20.000 { Y:
Altitude { 1:50.000: 64,5 1:50.000:
{ 1:20.000: 64,5 1:50.000:
{ repère:
{ nivelée: dalle,
{ sol:
Hauteur du repère au dessus du sol:
Dates { Début: 26-1-75
{ Fin de l'équipement: 3-2-75
{ Fin du développement: 5-2-75
Profondeur totale: 100 Sondage: FAIRING 2000
φ de forage: 8 1/2 0-100m
φ d'alésage: 15 1/2 66-100 17 1/2 0-66m
Diagraphies: POLISH/ΘΑΜΜΗ/ΡΑΥΣ/64" N 16" N 16" Lat Date: 30/1/75

Zone III LB.242
Préfecture LARISA
Entreprise HYDROT (HAIK)
Phase 2
N° d'ordre

Eau d'eau	Date	Profondeur (m)	Exposition aquifère (m)	Débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. au sol (m)	T (m³/d)
1								
2								
3								
4								

Equipement: télescopique
Tubage { φ pouces: 12"
{ profondeur: 64,20 Libre jusqu'à: 64,2
principal { Longueur: 64,60
{ cimentation:
{ φ pouces: 10"
Crépines et { ouvertures { nature: pout
tubo porte- { dimensions: 2,5 cm
Crépine { Longueur totale: 33,8 m
{ position: 50,8-58,8, 65,2-77,2, 83,6-86,6
Gravillonnage { φ gravillon: 3-7 mm
{ position (profondeur): 25-99
{ volume: 7 m³
Profondeur totale tubée: 99m
Essais de pompage. Date 24/3/75 N.S. 5,15m

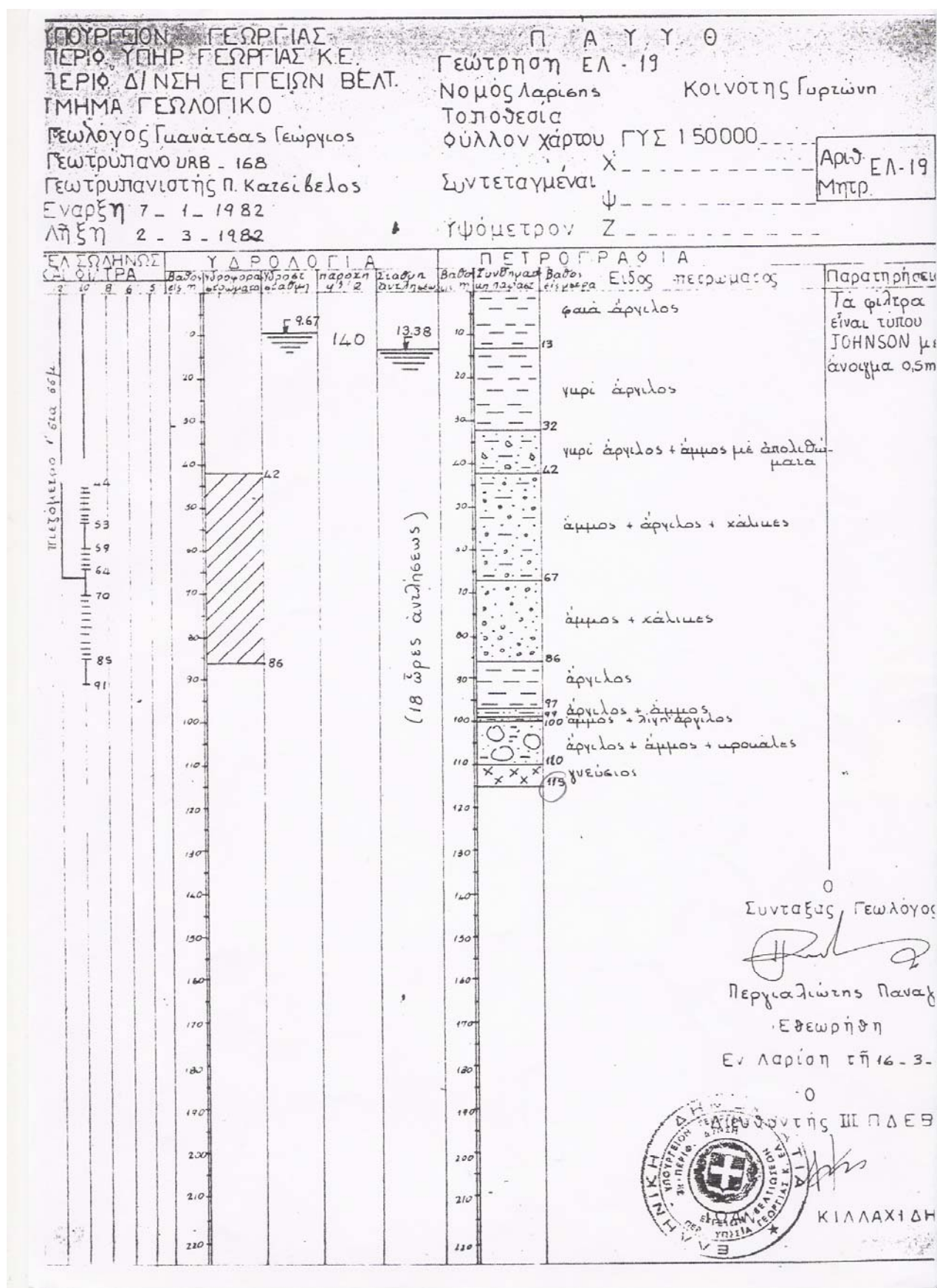
I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s	II. A débit Constant	Durée	Q m³/h	Δs 2"	Δs 5"	Remontée 24h	Remontée 24h
- enchaînés	1	2 ^H	91	2,7	24 ^H	320	12,0	12,3	13,5	24 ^H	
- avec retour au N.S.	2	2 ^H	167	5,2							
	3		242	8,6							
	4										

Transmissivité (m²/s):

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	SA R.T. (m³/s)

Exploitation proposée
Coût:

N.S.	Q m³/h	Δs	Δs 2"	Δs 5"	Remontée 24h	Remontée 24h
10	300	13	18	5	33	35



THESSALIE ORIENTALE Zone III 1239

Commune: GIRONI

Feuille 1:50.000: GONNI

N° feuille 1:20.000: 43-72

N° photo aérienne (7/12):

Coordonnées X = 622,8

1:50.000 Y = 4.401,3

Coordonnées X =

1:20.000 Y =

Altitude

1:50.000: repère:

1:20.000: 66,5 1:50.000: nivelée: dalle:

sol:

Hauteur du repère au dessus du sol:

Dates

Début: 24/11/74

Fin de l'équipement: 3/12/74

Fin du développement:

Profondeur totale: 105

Sondeuse: Farling 2K1

φ de forage: 8 1/2

φ d'alésage: 20"-102

Diagraphies: 20" 5" + 7" 24" + 6" 4" N + 16" N + 6" 2" Date: 28/11

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	Émission aquifère (m)	DEBIS L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. assise sol (m)	T (m³/s)
1								
2								
3								
4								

Équipement: Sondeuse Californien

φ pouces: 12"

Tubage: profondeur: 75' Libre jusqu'à: 25'

principal: longueur: 75'

cimentation: 25'-0

φ pouces: 12 et 10"

Crépines et tube porte: ouvertures: nature: nonli

Crépine: dimensions: 2" à 5 1/4"

longueur totale: 34

position: 46" 47" 53" 62" 69" 25'

φ gravillon: 3 à 6 m/m

Gravillonnage: position (profondeur): 100 - 25

volume:

Profondeur totale tubée: 101 + 0,5 m

Essais de pompage: Date 15/16/2/75 N.S. Artésien

I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m²/s	II. A débit constant	Durée	Q m³/h	Δs après 2h	Δs après 5h	Δs après 6h	Remontée durée
- enchaînés	1	24	100	4,6	7,5 · 10 ⁻² 5,4 · 10 ⁻²	1,4 · 10 ⁻²	330	158	167	18,0	18'
- avec rotule au N.S.	2	24	160	6,6							
	3	24	240	10,9							
	4										

Transmissivité (m²/s): 1,4 · 10⁻²

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	SAF	Cin	Surveillance

Exploitation proposée

Coût

N.S. max

Q m³/h

2

300

16

20

5

22-30

300

13x5-4

50

0		ΘΕΣΣΑΛΙΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ		Ζώνη: Τριανάβη		LB270	
		Κοινόκτης: Γυρτώνη		Νομός: Λαρίδας			
		Φύλλον χάρτου 1:50.000		Εταιρία: Κονοπεράζης			
		Αριθμ. φύλλου 1:20.000		Φάσις: Γ'			
		Αεροφωτογραφία Νο		Αριθμός έντολης:			
		Συντεταγμένοι: X =		Repère των πιεζ. μετρήσεων			
		1:50.000 Ψ =		Από χάρτη Υψόμετρο:			
		Συντεταγμένοι: X =		1:20.000 από εδ:			
		1:20.000 Ψ =		Τοπ. άποτυπωθέν:			
		Υψόμετρον		1:50.000 1:5.000			
		1:20.000		repère			
		άποτυπωθέν		εδάφος			
		*Υψος του repère άνωθεν του εδάφους:					
		Ενάρξεως:					
		Ημερομηνία Πέρατος σωληνώσεως:					
		Πέρατος αναπτύξεως:					
		Ολικόν βάθος: Γεωτρύπανον:					
		Διάμετρος διατρήσεως:					
		Διάμετρος διευρύνσεως:					
		Διασκοπίσεις:					
		Ημερομηνία:					
		Δοκιμή ύδατος		Ημερομην.		Βάθος εις m.	
		1				Πάχος ύδροφόρου	
		2				Παροχή L S m3/h	
		3				Δ s εις m.	
						Υ. Σ. εις m	
						T (m2/s)	
		Ημερ		Βάθος		pH	
		Ηλ. άγ.		R S		HCO3	
		C I		SO4		Ca	
		Mg		Na		S.A.R.	
		Τάξις		Ολική Σκληρ			
		Σωληνώσεις:		Κυρία		Διαμ. ίντσες: 12"	
		Σωλήνωσις		Βάθος: 77,52		Ελεύθερον μέχρι: 77,52	
				μήκος: 77,52		Φ: 52-55/59-62/63,2-71,39	
				σιμέντωσις:			
				Διάμ. ίντσες: 10"			
		Φίλτρα και φιλτροσωληνες		άνοιγμα		φύσις: Γαυρός	
				διαστάσεις: 1,5-2 mm			
				Ολικόν μήκος:			
				Θέσις: 9,9-94,9/997-105,7/118,5-120,5			
		Χαλίκωσις		Διαμ. χαλίκων: 3-6 mm			
				Θέσις (Βάθος): 122-8			
				Όγκος:			
		Σωληνωθέν ολικόν μήκος: 120,52					
		Δοκιμαστική άντλησις: Ημερομηνία: 20-10-78					
				Σ: 13,60			
		Διά βαθμίδων - άλυσωται		Διάρκεια		Q m3/h	
		1		2H		33	
		2		2H		51	
		3		2H		70	
		4					
		μετ' έπιστρ. εις Υ. Σ.		Δs (m)		A m3 Δ	
				1,52		B Δ2 m5	
				2,8			
				4,0			
		II. Διά σταθε- ράς παροχής		Διάρκ.		Q m3/h	
				2H		76,5	
				5H		43,2	
				12H		4,74	
				Διάρκεια Επανόδου		12H	
		Υδατοαγωγιμότης T: 6,5-10 ⁻³					
		Προταθείσα έκμετάλευσις:		Υ.Σ. Μεγ.		Q m3/h	
		Αξία:		18		40	
				Δs μετά 5η		5.000η	
				5		8	
				Αλληλε- πιδράσις		Ε.Α. τελική	
				5		31 → 40	

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»

THESSALIE ORIENTALE Zone III L.B. 237

Commune: GORTONI
Feuille 1: 50.000: GRONNI
N° feuille 1: 20.000: 43-72
N° photo aérienne (1/32):
Coordonnées X = 624,7
1: 50.000 { y = 4.400,88
Coordonnées x =
1: 20.000 { y =
Altitude { 1: 50.000: 75,1 1: 50.000:
1: 20.000: { repère:
nivelée { dalle,
sol:
Hauteur du repère au dessus du sol: 191/2144

Dates { Début: 191/2144
Fin de l'équipement: 28/11/75
Fin du développement:
Profondeur totale: 12m Sondage: Wirth B2
φ de forage:
φ d'alésage:
Diagraphies Pol. sh/gemma Ray/64" N/16" N/6" 6t Date: 28/11/76

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. sous le sol (m)	T (m³/s)
1								
2								
3								
4								

Equipement: type California
φ pouces: 12"
Tubage { profondeur: 80,8m Libre jusqu'à: 80,8m
principal { longueur: 80,8m
cimentation: 0-5
φ pouces: 10" et 10"
Crépines et { nature: tertiaire
tubé porte- { ouvertures { dimensions: 2,5mm
crépine { longueur totale: 33m 10
position: 56-63/8/4-93/4/998-1018"
109-115"
φ gravillon: 3-6mm
Gravillonnage { position (profondeur): 36-118m
volume:
Profondeur totale tubée: 118m
Essais de pompage. Date 22,23/3/75 N.S. 6.82

I. Par paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s	B s²/m⁵
1	2h	113	60		
2	2h	181	7,8		
3	2h	261	11,9		
4					

II. A débit constant	Durée	Q m³/h	Δs après 2h	Δs après 8h	Δs après 24h	Remontée durée
24h	320	16,0	19,0	20,0	24h	

Transmissivité (m²/s): 7,9 · 10⁻³

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	SAR	Classe	qualité

Exploitation proposée
Coût: 10 260 15 18 5 33 > 35

IX? = 3

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»

THESSALIE ORIENTALE Zone III L3.236

Commune: GIRONI

Feuille 1:50.000: GONNI

N° feuille 1:20.000: 43.72

N° photo aérienne (1/32):

Coordonnées X: 624,94

1:50.000 { Y: 4.401,46

Coordonnées X: 1:20:000 { Y: 73,7

Altitude { repère: 1:5000: 73,7

nivelée: dalle.

sol:

Hauteur du repère au dessus du sol:

Dates { Début: 22/11/74

Fin de l'équipement: 3/12/74

Fin du développement: 4/12/74

Profondeur totale: 101. Sondage: Failing: EM3

φ de forage: 20"

φ d'alésage: -

Diagraphies: Pot. Sp + γ ray + 64 N + 16 N + 8 Lat Date: 1/12/74

Essai	Date	Profondeur (m)	Épaisseur aquifère (m)	Δb (m)	Δs (m)	N.S. au sol (m)	T (m³/d)
1							
2							
3							
4							

Equipement: sondage cat. dernier

φ pousée: 12"

Tubage { profondeur: 74.8

principal { longueur: 74.8

cimentation: 5-0

Crépines et { φ pousée: 12" et 10"

tube porte- { ouvertures { nature: monté

crépine { dimensions: 2' et 2.5" m

Longueur totale: 33

position: 37.5 - 43.6 / 50 - 56 / 62.4 - 68.6 / 75.4 - 80.4

φ gravillon: 3 et 6"

Gravillonnage { position (profondeur): 97 - 15

volume:

Profondeur totale tubée: 96.8

Essais de pompage Date: 5.6/4/75 N.S. 49

I. Por paliers	Durée	Q m³/h	Δs (m)	A m³/m³/s	B s²/m⁵
1	24	57	9.46		
2	24	60	8.70		
3	24	100	15.7		
4	24	140	29.1		

II. A débit Constant	Durée	Q m³/h	Δs après 2"	Δs après 5"	Δs après 12"	Rémanente
19"	160	32.4	35.1	35.7	12"	

Transmissivité (m²/s): 3.4 · 10⁻⁵

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO₃	Cl	SO₄	Ca	Mg	Na	SA R.C.	Qualité

Exploitation proposée

Coût:

N.S. max.	Q m³/h	s²	N.S. après 3000 m	Ent. m³/h	N.S. final
8	130	32	39	5	52-56

40 23x3=7 35

THESSALIE ORIENTALE

Commune: **MAKRYTORI**

Feuille 1:50.000: **GONNI**

N° feuille 1:20.000: **43-72**

N° photo aérienne (1/12):

Coordonnées X = **625,9**

1:50.000 { y = **44.02,14**

Coordonnées Y =

1:20.000 { y =

Altitude { 1:50.000: **74,6** 1:5000:

 { 1:20.000: **74,6**

 { repère:

 { nivelée: dalle.

 { sol:

Hauteur du repère au dessus du sol:

Zone **II**

Préfecture **LARISA**

Entreprise **HYDROTECHNIKI**

Phase **2**

N° d'ordre

Dates { Début: **8/11/75**

 { Fin de l'équipement: **22/11/75**

 { Fin du développement:

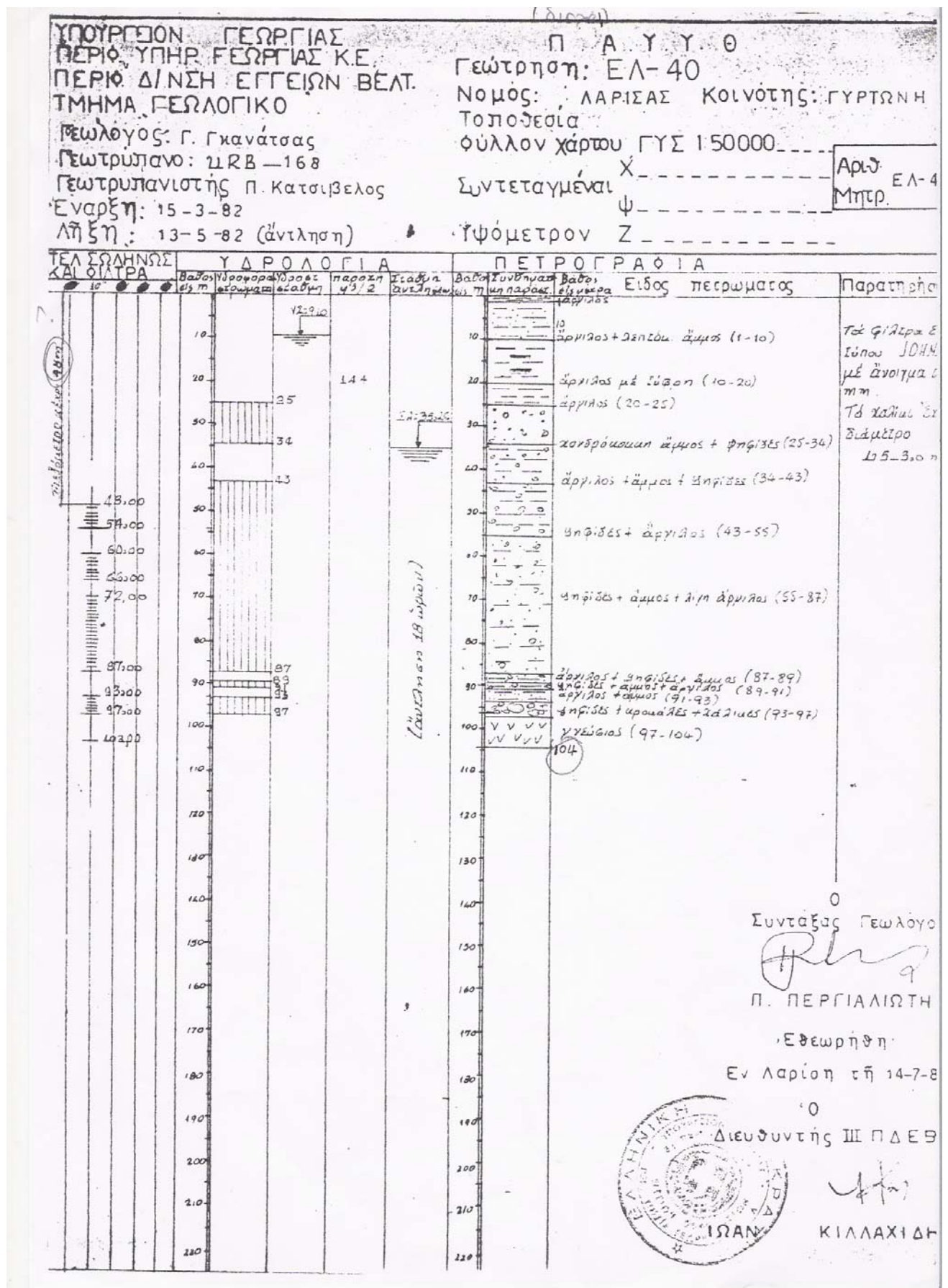
Profondeur totale **942** m. Sondreuse: **Fieding St3**

Ø de forage: **8 1/2"**

Ø d'alésage: **0-94,2** m

Diagraphies: **30-51-64-74-84-94-104-114-124-134-144-154-164-174-184-194-204-214-224-234-244-254-264-274-284-294-304-314-324-334-344-354-364-374-384-394-404-414-424-434-444-454-464-474-484-494-504-514-524-534-544-554-564-574-584-594-604-614-624-634-644-654-664-674-684-694-704-714-724-734-744-754-764-774-784-794-804-814-824-834-844-854-864-874-884-894-904-914-924-934-944-954-964-974-984-994-1004-1014-1024-1034-1044-1054-1064-1074-1084-1094-1104-1114-1124-1134-1144-1154-1164-1174-1184-1194-1204-1214-1224-1234-1244-1254-1264-1274-1284-1294-1304-1314-1324-1334-1344-1354-1364-1374-1384-1394-1404-1414-1424-1434-1444-1454-1464-1474-1484-1494-1504-1514-1524-1534-1544-1554-1564-1574-1584-1594-1604-1614-1624-1634-1644-1654-1664-1674-1684-1694-1704-1714-1724-1734-1744-1754-1764-1774-1784-1794-1804-1814-1824-1834-1844-1854-1864-1874-1884-1894-1904-1914-1924-1934-1944-1954-1964-1974-1984-1994-2004-2014-2024-2034-2044-2054-2064-2074-2084-2094-2104-2114-2124-2134-2144-2154-2164-2174-2184-2194-2204-2214-2224-2234-2244-2254-2264-2274-2284-2294-2304-2314-2324-2334-2344-2354-2364-2374-2384-2394-2404-2414-2424-2434-2444-2454-2464-2474-2484-2494-2504-2514-2524-2534-2544-2554-2564-2574-2584-2594-2604-2614-2624-2634-2644-2654-2664-2674-2684-2694-2704-2714-2724-2734-2744-2754-2764-2774-2784-2794-2804-2814-2824-2834-2844-2854-2864-2874-2884-2894-2904-2914-2924-2934-2944-2954-2964-2974-2984-2994-3004-3014-3024-3034-3044-3054-3064-3074-3084-3094-3104-3114-3124-3134-3144-3154-3164-3174-3184-3194-3204-3214-3224-3234-3244-3254-3264-3274-3284-3294-3304-3314-3324-3334-3344-3354-3364-3374-3384-3394-3404-3414-3424-3434-3444-3454-3464-3474-3484-3494-3504-3514-3524-3534-3544-3554-3564-3574-3584-3594-3604-3614-3624-3634-3644-3654-3664-3674-3684-3694-3704-3714-3724-3734-3744-3754-3764-3774-3784-3794-3804-3814-3824-3834-3844-3854-3864-3874-3884-3894-3904-3914-3924-3934-3944-3954-3964-3974-3984-3994-4004-4014-4024-4034-4044-4054-4064-4074-4084-4094-4104-4114-4124-4134-4144-4154-4164-4174-4184-4194-4204-4214-4224-4234-4244-4254-4264-4274-4284-4294-4304-4314-4324-4334-4344-4354-4364-4374-4384-4394-4404-4414-4424-4434-4444-4454-4464-4474-4484-4494-4504-4514-4524-4534-4544-4554-4564-4574-4584-4594-4604-4614-4624-4634-4644-4654-4664-4674-4684-4694-4704-4714-4724-4734-4744-4754-4764-4774-4784-4794-4804-4814-4824-4834-4844-4854-4864-4874-4884-4894-4904-4914-4924-4934-4944-4954-4964-4974-4984-4994-5004-5014-5024-5034-5044-5054-5064-5074-5084-5094-5104-5114-5124-5134-5144-5154-5164-5174-5184-5194-5204-5214-5224-5234-5244-5254-5264-5274-5284-5294-5304-5314-5324-5334-5344-5354-5364-5374-5384-5394-5404-5414-5424-5434-5444-5454-5464-5474-5484-5494-5504-5514-5524-5534-5544-5554-5564-5574-5584-5594-5604-5614-5624-5634-5644-5654-5664-5674-5684-5694-5704-5714-5724-5734-5744-5754-5764-5774-5784-5794-5804-5814-5824-5834-5844-5854-5864-5874-5884-5894-5904-5914-5924-5934-5944-5954-5964-5974-5984-5994-6004-6014-6024-6034-6044-6054-6064-6074-6084-6094-6104-6114-6124-6134-6144-6154-6164-6174-6184-6194-6204-6214-6224-6234-6244-6254-6264-6274-6284-6294-6304-6314-6324-6334-6344-6354-6364-6374-6384-6394-6404-6414-6424-6434-6444-6454-6464-6474-6484-6494-6504-6514-6524-6534-6544-6554-6564-6574-6584-6594-6604-6614-6624-6634-6644-6654-6664-6674-6684-6694-6704-6714-6724-6734-6744-6754-6764-6774-6784-6794-6804-6814-6824-6834-6844-6854-6864-6874-6884-6894-6904-6914-6924-6934-6944-6954-6964-6974-6984-6994-7004-7014-7024-7034-704**

«Προσδιορισμός της Υπόγειας Ροής και Εναλλακτικά Διαχειριστικά Σενάρια της ευρύτερης περιοχής πεδιάδας Πηνειού Λαρίσης»



THESSALIE ORIENTALE Zone III L.A. 234

Commune: GIRONI

Feuille 1:50.000: GONNI

N° Feuille 1:20.000: 43-72

N° photo aérienne (3/12):

Coordonnées X = 625,78

1:50.000 Y = 4.401,53

Coordonnées X =

1:20.000 Y =

Altitude { 1:50.000: 73,4 1:50.000: } repère: { nivelée: dolle: sol: }

Hauteur du repère au dessus du sol:

Dates { Début: 9/12/74 Fin de l'équipement: 20/12/74 Fin du développement: }

Profondeur totale (91m) Sondeuse: FALUG SK1

φ de forage: 9/12/74

φ d'alésage: 20/12/74

Diagraphies Pot. sp. (γρμμ) Rous/64" N° 16" M° 6" Lot

Date:

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	débit	Δs (m)	N.S. couple sol (m)	T (m³/s)
1				L/s m³/h			
2							
3							
4							

Equipement: type californien

Tubage { φ pouce: 12" profondeur: 54,92m libre jusqu'à: 84,9 principal: Longueur: 65,32m cimentation: 0-15m }
 { φ pouce: 10" et 12" }
 Crépines et { ouvertures: nature: 100% }
 tube porte- { dimensions: 8,5m }
 crépine { Longueur totale: 17m }
 position: 56-58m (15-77, 84-86)
 { φ gravillon: 3-6mm }
 Gravillonnage { position (profondeur): }
 volume: }
 Profondeur totale tubée: }
 Essais de pompage Date 20/3/75 N.S. 459

Handwritten note: λανθασμένη μετρήσεις της στάθμης κατά την ένευση

I. Par paliers	Durée (h:m)	Q (m³/h)	Δs (m)	A (m³/s)	II. A débit Constant	Durée (h:m)	Q (m³/h)	Δs (m)	Remontée durée	Observations
- enchaînés	1 2h	70	138	B m³/s	18h	160	47,6	394	399	Lavage: Durée: 10-2 39-10-3
- avec retour au N.S.	2 2h	110	23,2							
	3 2h	140	31,5							
	4									

Transmissivité (m²/s):

Date	Profondeur (m)	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	SAR	Classe	Parole

Exploitation proposée

N.S.	Q (m³/h)	Δs (m)	Remontée durée	N.S. final
10	130	39	45	60

Coût: 100 2X3=6 50

THESSALIE orientale
Commune: **GIRTONI**
Feuille 1:50.000: **GONNI**
N° feuille 1:20.000: **43-72**
N° photo aérienne (7/12):
Coordonnées X = **625,50**
1:50.000 { Y = **4.401,00**
Coordonnées { X =
1:20.000 { Y =
Altitude { 1:50.000:
 1:20.000: **73,0** 1:50.000:
 niveau: repère:
 sol: dolle,
 sol:
Hauteur du repère au dessus du sol:
Début: **23/4/74**
Dates { Fin de l'équipement: **13/5/74**
 Fin du développement: **15/5/74**
Profondeur totale: **122** Sondeuse: **Failling 1500**
Ø de forage: **8 1/2**
Ø d'alésage: **17 1/2** = **122** **12 1/4** = **122**
Diagraphies: **For S/L + 124N + 64N + 15N + 6' lat** Date: **29/4/74**

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	épaisseur aquifère (m)	débit L/s	m³/h	Δs (m)	N.S. sous sol (m)	T (m³/s)
1								
2								
3								
4								

Equipement: **Sondage Californien**
 Tubage { Ø pouces: **12"**
 profondeur: **69** libre jusqu'à: **69**
 principal Longueur: **69**
 cimentation: **5 à 0**
 Crépines et tube porte-crepine { Ø pouces: **8"**
 ouvertures { nature: **forte**
 dimensions: **2 m/m**
 Longueur totale: **34"**
 position: **70-79 1/2 / 91 1/4-116**
 Ø gravillon: **3 à 6 m/m**
 position (profondeur): **122-60**
 Volume:
 Gravillonnage {
 Profondeur totale tubée: **120**
 Essais de pompage Date **29-30/9/74 N.S. 5,5 m**
 I. Par paliers { Durée Q m³/h Δs (m) A m³/m³/s
 - annulés { 1 2H 61 5,5
 - avec retour au N.S. { 2 2H 120 11,7 B s²/m⁵
 3 2H 180 25,5
 4
 II. A débit { Durée Q m³/h Δs après Remontée
 Constant { 2H 210 34,2 36 40,5 24H
 Transmissivité (m²/s): **13 · 10⁻³**
 Date Profondeur pH Cond. RS. HCO₃ Cl SO₄ Ca Mg Na SAR Classe Durée totale

Exploitation proposée	N.S. m/m	Q m³/h	5"	N.S. après 5000 m	Inter-uction	durée totale
Coût:	10	160	23	31	10	51-55

100 3x2,7 45

THESSALIE orientale

Commune : **GIATONI**
 Feuille 1:50.000 : **LARISSA**
 N° feuille 1:20.000 : **43-72**
 N° photo aérienne (1/12) : **70-57**
 Coordonnées : $X = 625,4$
 $Y = 4.400,65$
 Coordonnées : $X = 457,48$
 $Y = 617,99$
 1:20.000
 Altitude : $\begin{cases} 1:50.000 : \\ 1:20.000 : 73,3 \text{ m} \end{cases}$ 1:5000 :
 repère : 74.09
 nivelée : dalle
 sol : 73,50
 Hauteur du repère au dessus du sol : 0.59

Préfecture Larissa
 Entreprise **HYDROTECHNIK**
 Phase 3
 N° d'ordre **27**

Mesures périmétriques de la nappe phréatique depuis le 9/12/73

Dates : Début : 10/10/73 (← SR 74)
 Fin de l'équipement : 3/11/73 (→ SR 70)
 Fin du développement :
 Profondeur totale : **17.6 m** Sondeuse : **WIRTH B2**
 Ø de forage : 6 1/2"
 Ø d'alésage : 17 1/2" de 0 à 65 m et 11" de 65 à 12,5 m
 Diagraphies : 16" N + 64" N + Inv. + Pot. + p. + ray. Date : 20/10/73

Essai d'eau	Date	Profondeur (m)	Emission d'équipement		Qs (m³/s)	N.S. après sol (m)	T (m³/s)
			L.A	m³/h			
1	11/10/73	70-75	3,3	34,4	17	6,04	3 x 10 ⁻³
2	30/11/73	120-125	—	—	—	—	—
3							
4							

Equipement : SR transformé au SE têtes coprique
 Ø pouces : 12"
 Tubage principal : profondeur : 61 m libre jusqu'à : 54,7
 Longueur : 61,25 m
 Cimentation : 40 - 61 m
 Crépines et tube porte-crépine : Ø pouces : 8"
 ouvertures : nature : pour dimensions : 1 mm
 Longueur totale : 30,5 m
 position : 66,9 - 79,1 / 85,1 - 91,2 / 97,2 - 109,5
 Ø gravillonnage :
 position (profondeur) :
 volume :
 Profondeur totale tubée : **112,5 m**
 Essais de pompage : Date 20-21/4/74 N.S. 4,1 m

I. Par paliers	Durée Q m³/h	Qs (m)	A m³/m³/s	B s²/m⁵	33% de Perte de charge pour 75 m³/h
- avec retour au N.S.	2	2"	45	162	
	3	2"	55	203	
	4				

II. A débit Constant : 12" 75 33,2 35,0 35,9 16"

Transmissivité (m²/s) :

Date	Profondeur	pH	Cond.	RS	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
11/11/73	70-75	7,8	240	4,0	140	4,20	1,60	1,80	2,40	3,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Exploitation proposée : 8 65 27 30 5 43 → 45

Coût :

ΘΕΣΣΑΛΙΑ Ανατολική
Κοινότης: 'Οριθομαχίον
Φύλλον χάρτου 1:50.000 Πρωτεύουσ Νομός: Λάρισα
'Αριθμ. φύλλου 1:20.000 42-82 'Εταιρία: 'Υδρομηχανική
'Αεροφωτογραφία Νο (742) Φάσις: 2
Συντεταγμένοι: X = 629,4
1:50.000 Ψ = 4395,02
Συντεταγμένοι: X =
1:20.000 Ψ =

Υψόμετρον 1:50.000 62,0 1:50.000
1:20.000
αποτυπωθέν γερρέ
έδαφος

Υψος του γερρέ άνωθεν του έδαφους:
'Ενάρξεως: 13/12/74
'Ημερομηνία Πέρατος σωληνώσεως: 12/1/75
Πέρατος άναπτύξεως:
'Ολικόν βάθος: 97,4m Γεωτρύπανον: F4/111/500
Διάμετρος διατρήσεως: 8 1/2 0-98m
Διάμετρος διευρύνσεως: 15" 0-98m
Διασκοπίσεις: Ραδερβ. β. 111°N/16°N/6"Lat 'Ημερομηνία: 5/1/75

Δοκιμή ύδατος	'Ημερομην.	Βάθος εις m.	Πάχος ύδροφόρου	Παροχή L/S m3/h	Δ s εις m.	Υ. Σ. εις m	T (m2/s)
1							
2							
3							

'Ημερ	Βάθος	pH	Ηλ άγ.	R	S.	HCO3	Cl	SO4	Ca	Mg	Na	S.A.R.	Τάξις	Ολική Σκληρ

Σωληνώσεις: Σώμα Κοιμ. Φύσης

Κυρία { Διαμ έντσες: 10"
Σωληνώσεις { Βάθος: 97,4 'Ελεύθερον μέχρι 97,4
 { μήκος: 97,4
 { σιμέντωσης: 0-5
 { Διαμ. έντσες: 10"

Φίλτρα και { άνοιγμα { φύσις: γεφύρας
φιλτροσωληνες { διαστάσεις: 2,5m

 { 'Ολικόν μήκος: 18m
 { θέσις: 7-85 / 91,4-94,4

Χαλίκωσις { Διαμ. χαλίκων: 3-6mm
 { θέσις (Βάθος): 97,4-50m
 { Όγκος:

Σωληνωθέν όλικόν μήκος: 97,4m
Δοκιμαστική άντλησις: 'Ημερομηνία 22/4/75, Σ: 1,06m

Διά βαθμίδων - άλυσωται	Διάρκεια	Q m3/h	Δs (m)	A m3/m3 Δ	Παρατηρήσεις
1	2"	12	8,2	B Δ2 m5	
2	2"	101	11,9		
3	2"	130	14,4		
4					

II. Διά σταθε-
ράς παροχής

Διάρκ.	Q m3/h	Δs μετά			Διάρκεια 'Επανάδου
		2H	5H	18"	
18"	150	21,6	23,6	26	18"

Υδατοαγωγιμότης T:

Προταθείσα έκμετάλλευσις:	Υ.Σ. Mey.	Q m3/h	Δs μετά 5η	5.000η	'Αλληλεπίδρασις	Ε.Α. τελική
'Αξία:	5	120	20	35	5	25-50

Διάρκεια { 'Ανόπτεισις
 { πλύσις δι' air lift
 { 'Ανάπτ. δι' air lift

0 Έδαφος
13
10"
5
50
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Υψος 10"

13
10"
5
50
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

Ζώνη: III
LB 219