

## ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΥΔΑΤΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΒΟΛΒΗΣ Ν. ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Π. Βαφειάδης\*

### Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Μελετώνται οι υδρογεωλογικές συνθήκες και προσδιορίζεται το υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης Βόλβης. Από πλευράς υδροφορίας το ενδιαφέρον εστιάζεται στα υδροφόρα στρώματα που αναπτύσσονται στις τεταρτογενείς αποθέσεις της πεδινής περιοχής.

Με βάση τα στοιχεία απογραφής γεωτρήσεων, τα διατρητικά στοιχεία, τις μετρήσεις στάθμης νερού και άλλων στοιχείων που συγκεντρώθηκαν στη διετία 1985-1987, βρέθηκε ότι τα ρυθμιστικά αποθέματα της πεδινής περιοχής ανέρχονται σε  $29,5 \cdot 10^6 \text{ M}^3$ , τα μόνιμα σε  $489 \cdot 10^6 \text{ M}^3$ , και τα εκμεταλλεύσιμα σε  $54 \cdot 10^6 \text{ M}^3$  /έτος.

### A B S T R A C T

In the present work the hydrogeological conditions of the Volvi basin are studied and the groundwater potential of the basin is determined. From the water bearing formation point of view the interest is concentrated in the quaternary deposits of the basin as the most significant aquifers.

Based on the data of shallow and deep wells census, on boreholes lithological logs, pumping tests, measurements of the water table and other data, which were collected during the years 1985-1986 and 1986-1987, were found that the regulating reserves of quaternary deposit aquifers are  $29,5 \cdot 10^6 \text{ M}^3$ , the geological reserves  $489 \cdot 10^6 \text{ M}^3$  and the exploitable ones  $54 \cdot 10^6 \text{ M}^3$  /annum.

### I. Ε Ι Σ Α Γ Ω Γ Η

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι ο προσδιορισμός των υπόγειων αποθεμάτων νερού της πεδινής καλλιεργήσιμης έκτασης της λεκάνης Βόλβης για την ορθολογική αξιοποίησή τους προς κάλυψη υδροαρδευτικών αναγκών.

\*Dr. P. Vafiadis: Groundwater potential investigation of the Volvi basin (Central Macedonia-Greece).  
Land Reclamation Service (Ministry of Agriculture)  
Diikitirion, 541 23 Thessaloniki.

Η εκπόνηση της σχετικής υδρογεωλογικής έρευνας άρχισε το φθινόπωρο του 1985 και ολοκληρώθηκε το θέρος του 1988 από τον ντόπιον με φορέα την Περιφερειακή Διεύθυνση Εγγείων Βελτιώσεων Κ.Α Μακεδονίας.

Στη λεκάνη δεσπόζουσα θέση κατέχει η λίμνη Βόλβη έκτασης 6,6 km<sup>2</sup>, Γόρσι από τη λίμνη, με εξαίρεση μόνο την περιοχή βόρεια αυτής, αναπτύσσεται η πεδινή έκταση ανερχόμενη σε 130 km<sup>2</sup> περίπου, ενώ ολόκληρη η λεκάνη απορροής έχει έκταση 1278 km<sup>2</sup>.

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της έρευνας πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω εργασίες:

- Έγινε απογραφή των σημείων νερού ( φρέατα νεωτέρησεις, πνές )
- Εκλέχθηκε δίκτυο από 24 νεωτέρησεις στις οποίες παρακολουθήθηκαν οι εποχιακές διακυμάνσεις της στάθμης του νερού.
- Συγκεντρώθηκαν και αξιολογήθηκαν τα διατρητικά και υδρολογικά στοιχεία όλων των βαθειών γεωτρήσεων που έγιναν κατά καιρούς στην περιοχή από διάφορους δημόσιους φορείς ( ΙΓΜΕ, ΥΕΒ, ΟΥΘ ) και ιδιώτες.
- Πραγματοποιήθηκε απογραφή των αρδευόμενων με υπόγεια νερά εκτάσεων και προσδιορίστηκε ο όγκος του υπογείου νερού που αντλείται ετήσια.

Η αδυναμία εκτέλεσης ερευνητικών γεωτρήσεων, σε περιοχές που δεν υπήρχαν διατρητικά στοιχεία ( νεωτέρησεις ), από έλλειψη πιστώσεων, μας υποχρέωσε να προσδιορίσουμε το υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης με όση προσέγγιση επέστρεψαν τα συγκεντρωθέντα στοιχεία.

## 2. Γ Ε Ο Λ Ο Γ Ι Α

### 2.1. Γενικά

Η λεκάνη της Βόλβης νεοτεκτονικά ανήκει στη Σερβομακεδονική ζώνη. Η περιοχή έχει μελετηθεί γεωλογικά από διάφορους ερευνητές ( Κοκκεϊ - Όλλιατ - Αντωνιάδη - Φιλοβίκο κλπ ) και είναι χαρτογραφημένη σε χάρτες κλίμακας 1:50.000 του ΙΓΜΕ.

Σύμφωνα με βιβλιογραφικά στοιχεία, η λεκάνη Μυγδονίας σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια του κατώτερου πλειστόκαινου όπου διέσπασε τεκτονικά γεγονότα προκάλεσαν διάσπαση και βύθιση ενός τμήματος της υπάρχουσας προμυγδονιακής λεκάνης η οποία είχε σχηματιστεί κατά το παλιόγενές λόγω τεκτονικών κινήσεων στο χώρο μεταξύ Στρουμονικού κόλπου και Γαλλικού ποταμού ( Φιλοβίκο, 1977 ).

Η τεκτονική δομή της Σερβομακεδονικής μάζας, συμπεριλαμβανομένης της λεκάνης Μυγδονίας, παρουσιάζει πολυπλοκότητα. Με γεωσυσκοτικές διασκοπήσεις στη λεκάνη Μυγδονίας ( Θανάσουλας, 1983 ) διαπιστώθηκε ότι υπάρχουν δύο κύρια συστήματα ρημάτων, με διευθύνσεις ΡΔ-ΝΑ και ΝΑ-ΒΑ, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τις διάφορες κατηγορίες των γεωλογικών σχηματισμών.

### 2.2 Κρυσταλλοσχιτιστώδη πετρώματα

Με έρευνες των Κοκκεϊ και των συνεργατών του ( 1965 -71 ) και του

( 1966 ) τα κρυσταλλοσχιτιστώδη της ζώνης αυτής διαχωρίστηκε στη σειρά Κερδουλλίων ( κατώτερη ) και στη σειρά Βερτίσκου ( ανώτερη ).

Η πρώτη καταλαμβάνει το ανατολικό τμήμα της λεκάνης και χαρακτηρίζεται από την επικράτηση κυρίως των βιοτιτικών γνευσίων.

Η σειρά Βερτίσκου αναπτύσσεται βΔ της λίμνης με επικράτηση των διμαρμαρυγιικών γνευσίων και των αμοιβολιτών.

Τα κρυσταλλοσχιτιστώδη πετρώματα καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της λεκάνης. Η ηλικία των πετρωμάτων αυτών είναι παλαιοζωϊκή ή και παλαιότερη. ( Μουντράκης, 1977 ).

### 2.3. Ανθρακικά πετρώματα

Τα ανθρακικά πετρώματα απαντούν με μορφή μαρμάρων στο ανατολικό τμήμα της λεκάνης. Χαρακτηρίζονται από την ταλινιτή τους εμφάνιση εντός των κρυσταλλοσχιτιστών πετρωμάτων. Είναι παλαιοζωϊκής και μεσοζωϊκής ηλικίας ( Κοκκεϊ, κ.α. 1978 ).

### 2.4. Εκρηξιγενή πετρώματα

Αναφέρεται μία σημαντική σε έκταση εμφάνιση γρανίτη, η οποία με εύρος της τάξης των 8-9 χιλμ. και γενική διεύθυνση ΝΑ-ΒΔ, αρχίζει από τη νότια ορεινή ζώνη της λεκάνης ( περιοχή Αρναίας ) συνεχίζεται μεταξύ Ν. Απολλωνίας και Περιστέρων και φανερωμένης βόρεια του δυτικού τμήματος της λίμνης, μεταξύ Βαϊχωρού και Μυμώπετρας και συνεχίζεται μέχρι το Σοχό.

Πρόκειται για διμαρμαρυγιικό και βιοτιτικό γρανίτη γνωστό ως " τύπου Αρναίας " ο οποίος έχει διεισδύσει μέσα στο σύστημα των γνευσίων της σειράς Βερτίσκου και είναι μεσοζωϊκής ηλικίας ( Κοκκεϊ κ.α., 1978 ) .-

### 2.5. Τριτογενή πετρώματα

Από τα τριτογενή πετρώματα, στη λεκάνη Βόλβης, απαντούν μόνο πετρώματα ηστρονομικής ηλικίας. Συγκεκριμένα έχουμε μία σειρά ερυθρών αργίλων μεγάλης έκτασης και πάχους με ιλυώδη σύσταση και με κατά τόπους ψαμμιτικές ή αμμοχαλικώδεις ενστρώσεις.

Η σειρά αυτή είναι χερσαίας ή αβαθούς λιμναίας προέλευσης και αποτέθηκε κατά το β. Μειόκαινο - Κ. Πλειόκαινο ( Κοκκεϊ, κ.α., 1978 )

Η κύρια εξάπλωση της σειράς αυτής παρατηρείται νότια της Ν. Απολλωνίας και καταλαμβάνει την περιοχή Μαρθεύσας συνεχιζόμενη προς νότο στη Χαλκιδική.

### 2.6. Τεταρτογενείς αποθέσεις

Αυτές αναπτύσσονται περιμετρικά της λίμνης Βόλβης και σ' όλη την μεταξύ των δύο λιμνών πεδινή έκταση.

Οι παλαιότερες αποθέσεις, πλειστοκαινικής ηλικίας, απαντούν στο κρυσταλλοσχιτιστώδη της πεδινής περιοχής με μορφή αναβαθμίσεων. Ειδικότερα πρόκειται για συστήματα αναβαθμίσεων που συνίστανται από εναλλασσόμενα στρώματα αμμοχαλικών, αργίλων,

ιλίων, κλπ. Οι νεότερες αποθέσεις, ολοκαινικής ηλικίας, συνίστανται από αλλο-  
βιακές αποθέσεις, ριπιδειδή προσχώσεις χειμάρρων και τέλος από λιμναία ιζήματα.

### 3. ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

#### 3.1. Υδρολιθολογία

Για την περιγραφή της υδρογεωλογικής συμπεριφοράς των πετρωμάτων της λε-  
κάνης Βόλβης, τους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής τους χωρίσαμε σε τρεις  
βασικές κατηγορίες, σε κάθε μία από τις οποίες η ικανότητα αποθήκευσης και διακί-  
νησης του υπόγειου νερού παρουσιάζει αξιοσημείωτες διαφορές ( σχ. 1 )

- Στην πρώτη κατηγορία περιλαμβάνονται τα μεταμορφωμένα, ημιμεταμορφωμένα και  
νοανιτογενευσιακά πετρώματα.
- Στη δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνονται τα ανθρακικά πετρώματα ( μάρμαρα ) με την  
καρστική συμπεριφορά τους.
- Στην τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι κοκκώδεις σχηματισμοί, δηλαδή τα νεογε-  
νή ιζήματα και οι χαλαρές τετατογενείς αποθέσεις.

Ως γνωστό το πρωτογενές πορώδες των μεταμορφωμένων πετρωμάτων είναι πο-  
λύ μικρό, όμως κατά μήκος ζωνών διαρρήξεως των πετρωμάτων ή σε επιμόρφωτες ασυμ-  
μετρίας, όπως στρώσεων, σχιστότητας, διακλάσεων και κυρίως ρηγμάτων, εκλεκτικά, μπορεί  
να αναπτύσσονται διαπερατότητες και δευτερογενή ενεργά πορώδη που επιτρέπουν τη  
διακίνηση και αποθήκευση κάποιων ποσοτήτων υπόγειου νερού.

Τα μάρμαρα λάνω της περιορισμένης σε έκταση και της ταινιωτής εμφάνισής  
τους και επειδή συχνά συνοδεύονται από σκοτεινότερους φυλλίτες, δεν παρουσιάζουν  
ιδιαίτερο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον.

Οι κοκκώδεις γεωλογικοί σχηματισμοί παρουσιάζουν ποικίλλουσα διαπερατό-  
τητα κυμαινόμενη μεταξύ ευρέων ορίων ανάλογα με την κοκκομετρική τους σύσταση και  
το βαθμό διανέμεσής τους.

Τα νεογενή ιζήματα της λεκάνης στην πλειονότητά τους είναι λεπτόκοκκα  
(ερπιδές άργιλοι ) γιαυτό και δεν παρουσιάζουν υδρογεωλογικό ενδιαφέρον. Από τα  
λιθολογικά και υδρογεωλογικά στοιχεία γεωτρήσεων που έγιναν στα ιζήματα αυτά δια-  
πιστώνεται ότι το πάχος των αδρομερών διαπερατών στρωμάτων είναι μικρό και οι πα-  
ροχές των εγκλιβισμένων υδροφόρων οριζώντων που αναπτύσσονται σ' αυτά περιορισμένες.

Οι τετατογενείς αποθέσεις παρουσιάζουν ποικίλλουσα υδρογεωλογική συμπε-  
ριφορά ανάλογα με τη θέση το πάχος και την κακκομετρική τους σύσταση.

Το πάχος των αποθέσεων αυτών γενικά αυξάνεται από τις παρυφές της πεδι-  
νής έκτασης προς τον κεντρικό άξονα.

Κατά μήκος του άξονα της λεκάνης και ειδικότερα στη μεταξύ των δύο λιμνών  
πεδινή έκταση το πάχος των τετατογενών και τριτογενών είναι της τάξης των 400 μ  
( ΝΥΟ- ΒΡGM , 1973 )

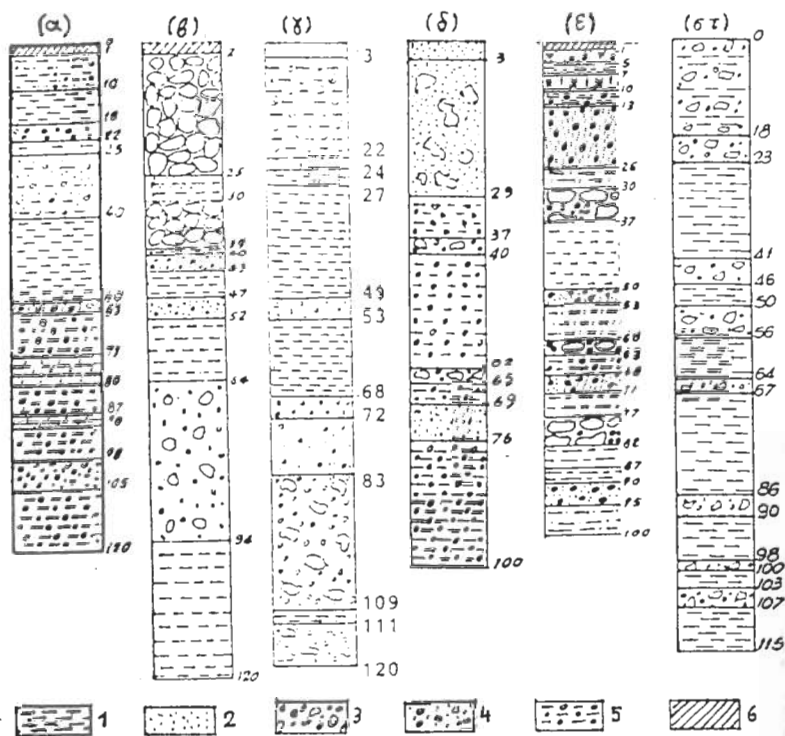
Οι αποθέσεις στην περιοχή αυτή παρουσιάζονται διαφοροποιημένες σε εναλ-  
λαγές στρώσεων, αργίλων, αμμοχαλίκων, αμμοβιλλών κλπ. Ετσι αναπτύσσονται αλλη-



- Q Αλλουβιακές αποθέσεις. Τετατογενές. Υδροφόρο.
- Q Alluvial deposits. Quaternary. Aquifer.
- P3 Σύστημα ανασθμύδων. Πλειστόκαινο. Ημιδροφόρο.
- Terraces system. Pleistocene. Semi-aquifer.
- Μεταμορφωμένα και εκρηγμένη πετρώματα γενικά.
- Παλαιζωϊκό- Μεσοζωϊκό, Υδροστεινή, Τοπικά ημιδροφόρα.
- Metamorphic and igneous rocks. Paleozoic- Mesozoic. Aquiclude, locally semi-aquifer.
- Μάρμαρα. Παλαιζωϊκό- Μεσοζωϊκό. Υδροφόρα.
- Marbles. Paleozoic- Mesozoic. Aquifer.
- Ρήγμα (ορατό, πιθανό). Fault (observed, probable)
- Επίθεση, επίκρουση (ορατή, πιθανή).
- Overthrust, thrust-fault (observed- probable).
- Υδροστοιγές, τοπικά ημιδροφόρο.
- Sandstone mapl and red clay series. Mesogene.
- Αντικλίση, τοπικά ημι-ακτιφία.
- Μάρμαρα. Παλαιζωϊκό- Μεσοζωϊκό. Υδροφόρα.
- Marbles. Paleozoic- Mesozoic. Aquifer.

Σχ. 1. Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής Βόλβης  
fig.1. Hydrogeological map of Volvi area

λουπερκείμενοι υδροφόροι ορίζοντες διαπερατών στρώσεων ( κροκάλες, χάλικες ) με-  
ταξύ λεπτόκοκκων ( αργιλολύσων ). Στο σχήμα 2 δίδεται η λιθολογία επί γεω-  
τρήσεων της περιοχής.



Σχήμα 2: Λιθολογικές τομές γεωτρήσεων στις περιοχές Λαγκαδικίων (α), Σχολαρίου (β), Νυμφόπετρας (γ), Ν.Απολλωνίας (δ), Απολλωνίας (ε) και Ρεντίνας (στ).

Fig. 2: Lithological logs of wells in areas Langadikia (a), Scholari (β), Nymfopetra (γ), N.Apollonia (δ), Apollonia (ε) and Redina (στ).  
(1)άργιλος-clay, (2)άμμος-sand, (3)χάλικες, κροκάλες-gravels, pebbles  
(4)αμμοχάλικες-sand-gravels, (5)άργιλος με χάλικες-clay and gravels  
(6)φυτική γή-plant soil.

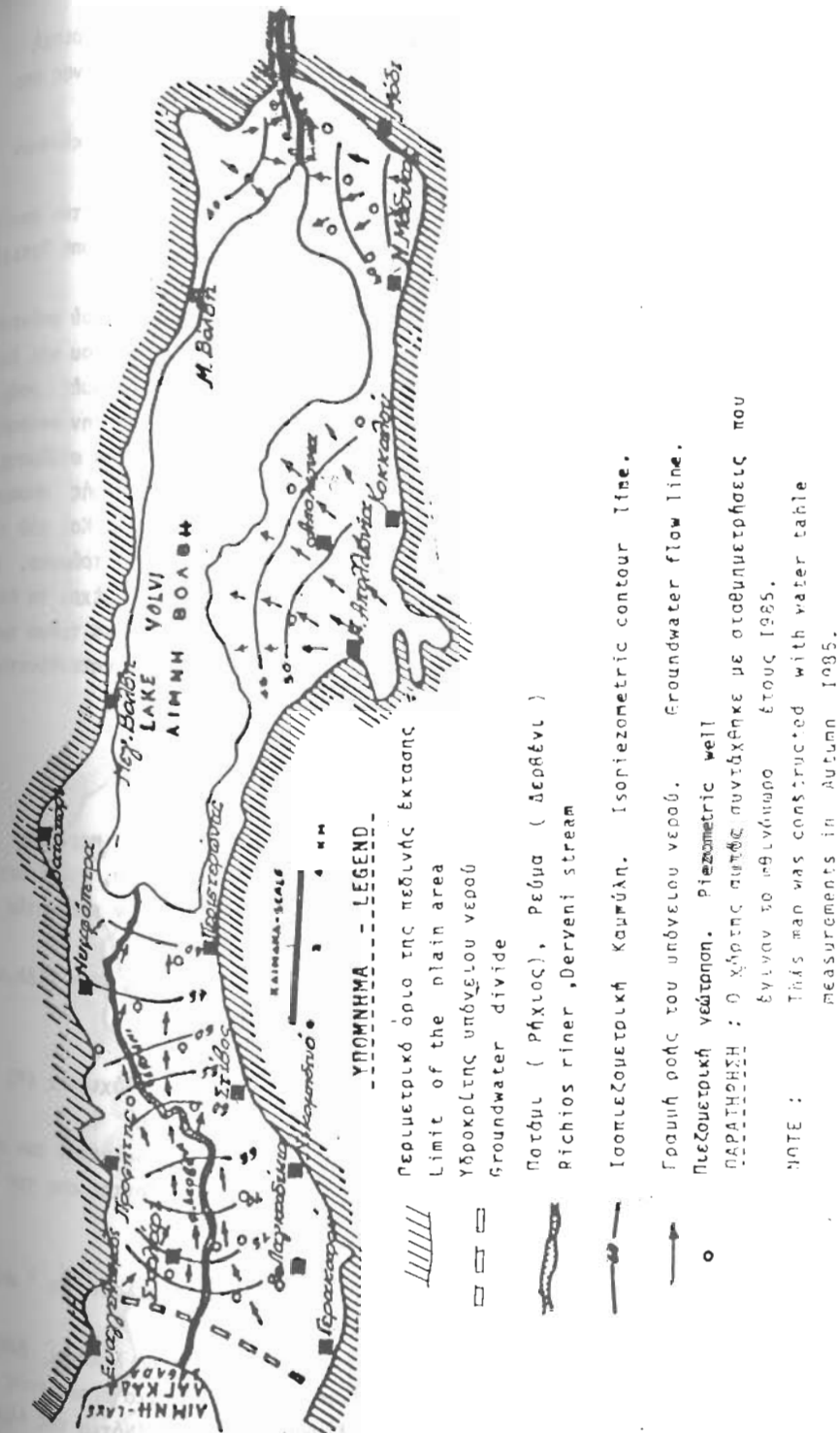
### 3.2 Χάρτης ισοπιεζομετρικών καμπυλών- Κίνηση του υπόγειου νερού.

Με βάση τις περιοδικές μετρήσεις του υπόγειου νερού που πραγματοποιήσαμε σε δίκτυο γεωτρήσεων συντάξαμε ένα χάρτη για την κατώτερη οθινοπερινή στάθμη του έτους 1985 (σχ. 3). Οι πιεζομετρικές γεωτρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είχαν βάθος από 10-40 μ., πλην δύο που ήταν μεγαλύτερα (πίνακας Ι).

Συνεπώς η στάθμη τους ανταποκρινόταν στη συνισταμένη πιεζομετρική επίδραση των υδροφόρων (ελεύθερου και βαθύτερων υπό πίεση) μέχρι τα βάθη αυτά.

Οι θέσεις των γεωτρήσεων φαίνονται στο χάρτη.

Οι αριθμητικές τιμές των υδραυλικών κλίσεων βρέθηκε ότι κυμαίνονται στην



Σχ. 3. Χάρτης ισοπιεζομετρικών καμπυλών των προσχωσένων επιφανειακών στρωμάτων  
Fig.3. Isopiestic contour lines map of the alluvial aquifers

μεταξύ των δύο λιμνών πεδινή περιοχή από 0,33 - 0,65 % , στην πεδινή περιοχή νότια της λίμνης από 0,33 - 0,55 % και τέλος στην περιοχή δυτικά της λίμνης από 0,33 - 0,50 % .

Από την εξέταση των πιεζομετρικών καμπυλών του χάρτη αυτού προκύπτουν τα εξής:

Στην μεταξύ των δύο λιμνών πεδινή προαχσινενή έκταση, η οποία διαρρέεται από το ρέμα Δερβένι, η πιεζομετρική επιφάνεια του υπόγειου νερού έχει κλίση από δυτικά προς τα ανατολικά και ένα υδραυλικό φορτίο της τάξης των 45 μ περίπου.

Στο ανάντη τμήμα της περιοχής αυτής, οι γραμμές ροής του νερού φαίνεται καθαρά ότι έχουν συγκλίνουσα μορφή προς τον άξονα του ρέματος Δερβενίου και όπως διαπιστώθηκε στο ύψιστο εμπλουτίζουν τη ροή του .Στη συνέχεια οι γραμμές ροής αποκλίνουν ελαφρά μέχρι το ύψος της Νυμφόπετρας που σημαίνει ότι από την επιφάνεια κή ροή του ρέματος Δερβενίου, με διήθηση, εμπλουτίζονται τα υδροφόρα στρώματα. Στην προαχσινενή πεδινή έκταση Ν. Απολλωνίας- Απολλωνίας οι γραμμές ροής παρουσιάζονται αποκλίνουσες από τα κρήσπεδα της ορεινής ζώνης προς τη λίμνη. Καί εδώ τα φανειακά νερά των χειμάρων διηθούνται και τροφοδοτούν τα υδροφόρα στρώματα. Η ίδια περίπου εικόνα παρουσιάζεται και στην περιοχή Μαδύτου- Μοδίου μέχρι τη Ρεντίνα.

Εδώ λόγω της κυστής μορφής των ισοπιεζομετρικών καμπυλών, ένα τμήμα των υπόγειων νερών φαίνεται να εκφορτίζεται στη λίμνη ενώ το υπόλοιπο κατευθύνεται προς τα στενά της Ρεντίνας.

#### 4. ΥΠΟΓΕΙΑ ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΝΕΡΟΥ

##### 4.1. Γενικά

Για τον προσδιορισμό των υπόγειων αποθεμάτων νερού της περιοχής μας θα κάνουμε χρήση των όρων " ρυθμιστικά" και " μόνιμα " αποθέματα, γιατί αυτοί, έχουν πλέον επικρατήσει και χρησιμοποιούνται από την πλειονότητα των ερευνητών στο τομέα των υπόγειων νερών.

Τα ρυθμιστικά αποθέματα (  $W_p$  ) υπολογίζονται από τον τύπο :  $W_p = E \cdot \Delta h \cdot S$  ( Καλλέργης, 1970 )

όπου  $E$  : επιφάνεια υδροφόρου στρώματος (  $m^2$  )

$\Delta h$  : μέση μεταβολή της στάθμης μεταξύ της μέγιστης και της ελάχιστης (  $m$  )

$S$  : συντελεστής ενεργού πορώδους (υδροφορίας ή εναποθήκευσης )

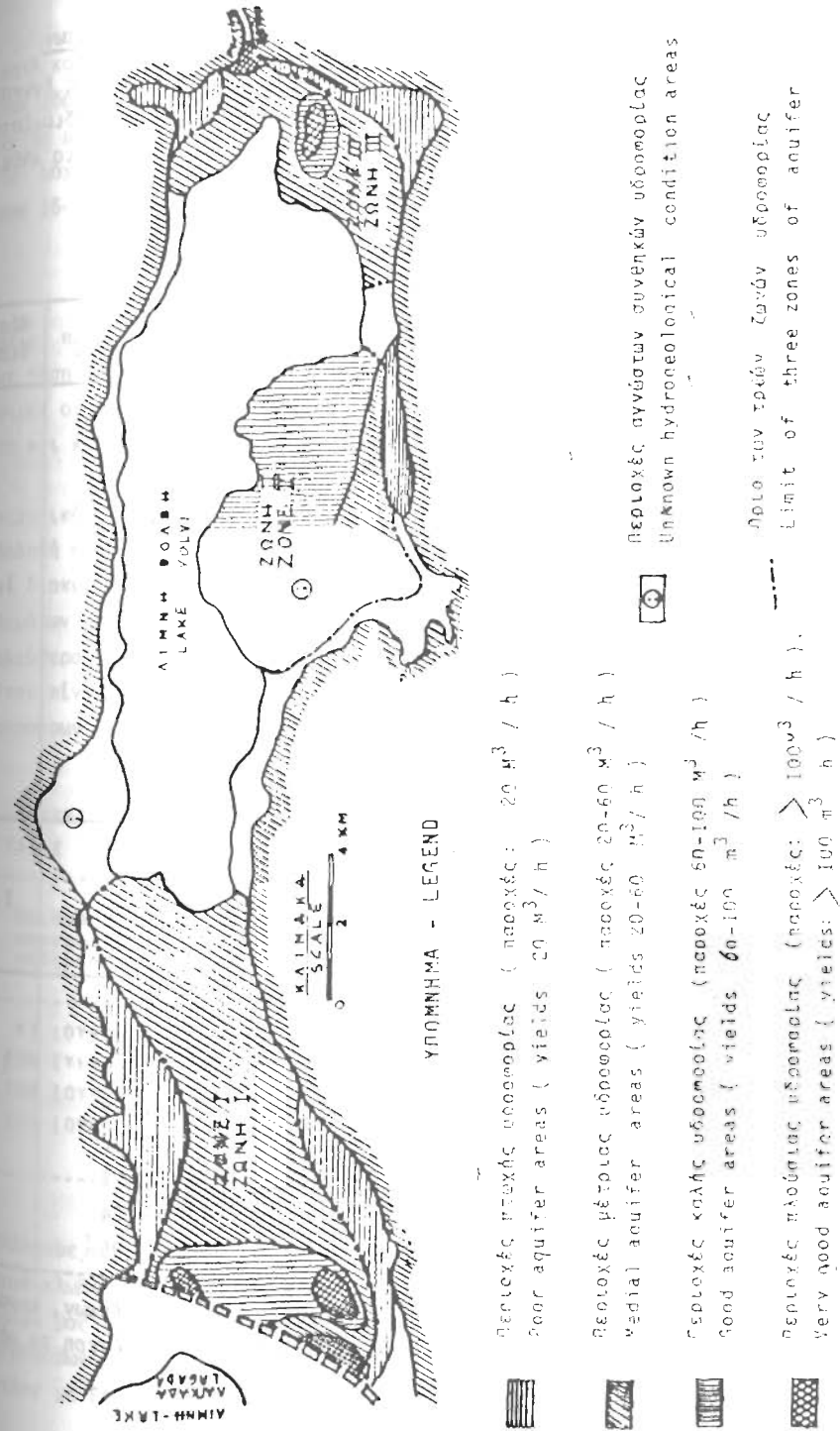
Τα μόνιμα αποθέματα (  $W_m$  ) που περιλαμβάνουν τον όγκο του νερού των υδροφόρων κάτω από την ζώνη διακυμάνσεων της υπόγειας στάθμης, υπολογίζονται από τον τύπο :

$W_m = E \cdot b \cdot S$  (2) ( Καλλέργης , 1970 )

όπου  $b$  : συνολικό πάχος των υδροφόρων στρωμάτων.

Το σύνολο των ρυθμιστικών και μόνιμων αποθεμάτων των αποτελούν τα " φυσικά " αποθέματα του υδροφορέα.

Προκειμένου να υπολογίσουμε τα υπόγεια αποθέματα νερού της λεκάνης Βόλβης χωρίσαμε την πεδινή έκταση με τα προαχσινενή υδροφόρα στρώματα, για πρακτικούς λόγους, σε τρεις ζώνες, ήτοι: Ζώνη I (Δυτικά της λίμνης ), Ζώνη II (Νότια της λίμνης )



Σχ. 4. Χάρτης ζωνών υδροφορίας  
fig.4. Map of different potential alluvial aquifers

4.2 Διακυμάνσεις της στάθμης των προσχωσιγενών υδροφόρων στρωμάτων.

Χρησιμοποιήθηκαν 24 γεωτρήσεις ως πιεζομετρικές στις οποίες έγιναν περιοδικές μετρήσεις της στάθμης τους. Με βάση τις μετρήσεις αυτές προσδιορίστηκε η μέση ετήσια διακύμανση της στάθμης των υπόγειων νερών μιας διετίας για κάθε ζώνη υδροφορίας χωριστά ( πίνακας I).

ΠΙΝΑΚΑΣ I. Ετήσιες διακυμάνσεις της υπόγειας στάθμης νερού.

TABLE I. Annual fluctuation of the ground-water level.

Ζώνη υδροφ.	Εκτ. κμ <sup>2</sup>	Πιεζομ. γεώτρηση	Βάθος Μ	Διακύμαν.στάθμης		Μέση ετήσια εικόμ. διετίας	Μέση διακύμανση ζώνης
				1985-86	1986-87		
Ζώνη I	49,3	1.Γερακαρού	90	2,10	2,00	2,05	1,94
		2.Λαγκαδικκία	16	2,48	2,90	3,19	
		3. "	12	7,68	6,32	7,00	
		4. "	14	3,48	3,10	3,29	
		5.Σχολάρι	85	1,40	1,40	1,40	
		6. "	30	1,18	1,55	1,36	
		7.Στίβος	20	1,05	0,75	0,90	
		8. "	20	1,21	1,11	1,16	
		9. "	25	0,62	0,40	0,51	
		10.Πρωήτης	30	1,60	1,40	1,50	
Ζώνη II	36,3	11.Νυμφόπετρα	12	0,45	0,25	0,35	1,94
		12. "	12	0,72	0,60	0,66	
		13.Ν.Απολλωνία	36	1,80	1,62	1,71	
		14.Απολλωνία	22	2,92	2,86	2,89	
Ζώνη III	19	15. "	10	2,05	1,58	1,81	1,55
		16.Κοκκαλού	15	1,42	1,28	1,35	
		17.Μόδουτος	14	1,14	0,82	0,98	
		18. "	30	2,46	2,42	2,44	
		19. "	45	0,54	0,48	0,51	
		20.Μόδι	10	2,38	2,40	2,39	
		21. "	10	1,60	1,64	1,62	
		22.Μ.Βόλβη	12	1,26	1,30	1,28	
		23. "	26	1,36	1,12	1,24	
		24. "	12	1,90	2,00	1,95	

Η ετήσια διακύμανση της στάθμης του νερού βρέθηκε ότι, πλην εξαιρέσεων, κυμαίνεται από 0,5 -3,3 μ. Η κατώτερη στάθμη συμβαίνει το Νοέμβριο ενώ η ανώτερη το μήνα Ιούλιο.

4.3 Πάχος των υδροφόρων στρωμάτων.

Απ' την εξέταση των λιθολογικών τομών 40 γεωτρήσεων, που εκτελέστηκαν κατά καιρούς από δημόσιους φορείς στην εξετασθείσα περιοχή υπολογίστηκε το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων κάθε γεώτρησης και με βάση τα στοιχεία αυτά προσδιορίστηκε το μέσο πάχος των υδροφόρων στρωμάτων για κάθε μία ζώνη υδροφορίας (πίνακας III). Το πάχος των υδροφόρων στρωμάτων μέχρι το βάθος των 200 μ βρέθηκε ότι κυμαίνεται από 15-58 μ και το μέσο πάχος είναι γύρω στα 30 μ.

4.4 Συντελεστής υδροφορίας (εναποθήκευση) των υδροφόρων στρωμάτων.

Ως γνωστό ο συντελεστής αυτός προσδιορίζεται με τις δοκιμαστικές αντλίες, πρέπει όμως να τονισθεί ότι για τον υπολογισμό του όγκου των υπόγειων νερών με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων στρωμάτων, θεωρούνται χρησιμοποιήσιμες οι τιμές του συντελεστή  $S$  που ανταποκρίνονται σε ελεύθερα υδροφόρα στρώματα και κυμαίνονται από  $5 \cdot 10^{-2}$  έως  $3,5 \cdot 10^{-1}$  (Kessler, 1974).

Οι τιμές των εγκλιβισμένων υδροφόρων στρωμάτων εκφορζούν το βαθμό συμπιεστικότητας και δεν συμπίπτουν με το συντελεστή ενεργού πορώδους των υδροφόρων. Δηλαδή στα υδροφόρα στρώματα υπο πίεση, λόγω του μικρού συντελεστή εναποθήκευσης, οι διακυμάνσεις της πιεζομετρικής στάθμης προκαλούν μία πολύ μικρή μεταβολή των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα από ότι οι διακυμάνσεις της στάθμης του νερού σε ελεύθερο υδροφόρο ορίζοντα (Λημόπουλος, 1983).

Στον πίνακα δίδονται οι τιμές των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων τεσσάρων γεωτρήσεων της περιοχής (ΟΥΘ - ΒΡΟΜ, 1973)

ΠΙΝΑΚΑΣ II. Υδραυλικές παράμετροι προσχωσιγενών υδροφόρων στρωμάτων.

TABLE II. Hydraulic parameters of the alluvial aquifers.

Αριθμός απογραφή γεώτρησης	περιοχή	Βάθος (Μ)	παροχή Μ <sup>3</sup> /η	Συντελεστής μεταβιβασιμότητας (T) (Μ <sup>2</sup> /sec)	Συντελεστής εναποθήκευσης (S)	Βάθος πιεζομέτρου (μ)
43 (ΟΥΘ)	Σχολάρι	26	80	$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$	26
126 (ΥΕΒ)	Λαγκαδικκία	108	140	$3,3 \cdot 10^{-2}$	$4,7 \cdot 10^{-4}$	90
103 (ΟΥΘ)	Απολλωνία	180	100	$1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	161
119 (ΟΥΘ)	Ρεντίνα	43	100	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	38

Βλέπουμε ότι οι τιμές του συντελεστή εναποθήκευσης υποδηλώνουν εγκλιβισμένα η ημιεγκλιβισμένα υδροφόρα στρώματα. Επειδή για τον προσδιορισμό των μονίμων αποθεμάτων μας ενδιαφέρει ο συντελεστής  $S$  που ανταποκρίνεται στο ενεργό πορώδες των υδροφόρων στρωμάτων για αυτό στις τρεις ζώνες της περιοχής μας ο συντ.  $S$  προσδιορίστηκε με βάση την κοκκομετρική σύσταση των υδροφόρων στρωμάτων ( τομές γεωτρήσεων)



και με την βοήθεια βιβλιογραφικού πίνακα που δίνει τις τιμές του ενεργού πορώδους των υδροφόρων στρωμάτων με βάση τη λιθολογική τους σύσταση ( Kessler-De Ridder 1974 210p και Σούλιος Γ., 1986, σελ. 125 ).

Για τη ζώνη I (δυτικά της λίμνης), της οποίας τα υδροφόρα στην πλειονότητά τους συνίστανται από χάλικες και κροκάλες με άμμους, εκτιμούμε συντελεστή ενεργού πορώδους 17 % περίπου.

Για τη ζώνη II (νότια της λίμνης) όπου τα υδροφόρα στρώματα συνίστανται ως επί το πλείστον από άμμους με μικρό ποσοστό χαλικιών, θεωρούμε αντιπροσωπευτική τιμή ενεργού πορώδους 13 %.

Η ζώνη III ( ανατολικά της λίμνης ) παρουσιάζει αξιόλογη διαφοροποίηση ως προς την κοκκομετρική σύσταση των υδροφόρων στρωμάτων της. Δηλαδή ενώ στην περιοχή εισόδου των στενών Ρεντίνας στη σύσταση των υδροφόρων της συμμετέχουν οι κροκάλες και χάλικες, απεναντίας, στην υπόλοιπη έκταση τόσο προς Μόδι, Νέα Μάδυτο όσο και προς Μικρή Βόλβη στη σύσταση των υδροφόρων συμμετέχουν οι άμμοι και σε μικρότερο ποσοστό οι χάλικες, συνεπώς η τιμή του ενεργού πορώδους είναι της τάξης του 14 %.

#### 4.5. Ρυθμιστικά, Μόνιμα, Εκμεταλλεύσιμα αποθέματα νερού.

Στον πίνακα III δίνονται τα υδατικά αποθέματα των προσχλωσινένων υδροφόρων στρωμάτων της λεκάνης που υπολογίστηκαν με τους τύπους (1) και (2).

ΠΙΝΑΚΑΣ . Ρυθμιστικά, μόνιμα και φυσικά αποθέματα νερού.

TABLE . Regulating, geological and natural groundwater reserves.

Ζώνη υδροφορίας	Εμβαδόν (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Συν/στικής υδροφορίας %	Εύρος διακτύμ. στάθμης (m)	Ρυθμιστικά αποθέματα (.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Πάχος υδροφ. (m)	Μόνιμα αποθέματα (.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	Φυσικά αποθέματα (.10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
I	49,3	17	1,94	16,26	32,4	271,5	287,7
II	36,3	13	1,94	9,15	29,5	139,2	148,3
III	19,0	14	1,55	4,12	29,6	78,7	82,8
	104,6	M.O. 14,6		29,53		489,4	518,8

Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα ( We ) αποτελούν τον όγκο του νερού που μπορεί να παρθεί από τα υδροφόρα χωρίς να μεταβληθεί δυσμενώς η δόξα και η ποιότητα του νερού του υδροφορέα. Τα αποθέματα αυτά προσδιορίζονται με τον τύπο:

$W_e = W_p + \eta \cdot W_p$  (3), όπου "η" συντελεστής μικρότερος της μονάδας. ( Σούλιος, 1975 )

Δηλαδή τα We αντιπροσωπεύουν το σύνολο των ρυθμιστικών και κλάσμα των μόνιμων αποθεμάτων κατά τρόπο που να μη προξενείται μεταβολή σε βάρος της δόξας ή της ποιότητας του υπόγειου νερού.

Στην περίπτωση των υδροφόρων στρωμάτων της λεκάνης Βόλβης δεν υφίσταται κανένας κίνδυνος μόλυνσης από τη θάλασσα. Όμως, ένας υπέρμετρος υποβιβασμός

πλεζομετρικής επιμόρφωσης των υδροφόρων στρωμάτων θα μπορούσε να έχει δυσμενή επίδραση στο υδρολογικό καθεστώς της λίμνης ( Βαφειάδης, 1983 )

Με βάση λοιπόν τα πιά πάνω, αξιολογώντας όλα τα υδρογεωλογικά στοιχεία της λεκάνης Βόλβης, θεωρούμε ότι μιλά πρόσθετη πτώση της στάθμης των προσχλωσινένων υδροφόρων στρωμάτων, που αναπτύσσονται μέχρι το βάθος των 200 μ, κατά 1,5 μ δηλαδή κάτω της κατώτερης που παρατηρείται ετήσια, δε θα προσεγγίσει καμιά ανεπιθύμητη επίδραση και θα απέδιδε για εκμετάλλευση πρόσθετο όγκο νερού:  $104,6 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 0,146 = 22,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$ . Ο όγκος αυτός συγκρινόμενος με τα μόνιμα αποθέματα δίνει τιμή του συντελεστή του τύπου (3),  $\eta = 0,05$  περίπου.

Για τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, με εφαρμογή του τύπου, βρίσκεται ότι ανέρχονται:  $W_e = 29,53 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 0,05 \cdot 489,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 54 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$ .

Βρέθηκε ότι από τα υδροφόρα στρώματα αντλούνται με γεωτρήσεις II  $10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$ , συνεπώς υπάρχει ετήσιο πλεόνασμα υπόγειων νερών της τάξης των  $43 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$  που μπορεί να αξιοποιηθεί με νέες βαθειές γεωτρήσεις για την κάλυψη υδατικών αναγκών της περιοχής.

#### 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην ενασία αυτή μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες και προσδιορίστηκε, με όση προσέγγιση επέτρεψαν τα συγκεντρωθέντα στοιχεία, το υπόγειο υδατικό δυναμικό της λεκάνης Βόλβης.

Από πλευράς υδρονομίας διαπιστώθηκε ότι μοναδικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τεταρτογενείς προσχλωσινένες αποθέσεις της λεκάνης σαν σημαντικοί υδροφορείς. Τα ρυθμιστικά αποθέματα των προσχλωσινένων υδροφόρων στρωμάτων της λεκάνης Βόλβης υπολογίστηκαν σε  $29,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , τα μόνιμα αποθέματα σε  $489 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  και τα φυσικά αποθέματα σε  $519 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα, για πρόσθετη πτώση στάθμης των προσχλωσινένων υδροφόρων στρωμάτων κατά 1,5 μ, υπολογίστηκαν σε  $54 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}$ . Βρέθηκε ότι υπάρχει ετήσιο πλεόνασμα υπόγειων νερών της τάξης των  $43 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  που μπορεί να αξιοποιηθεί με νέες βαθειές γεωτρήσεις στην περιοχή.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Βαφειάδης, Π. (1983): Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Καστοριάς, Διδακτορική Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- Δημοπούλου, Γ. (1983): Εφαρμοσμένη γεωλογία. Τόμος I, Υδρογεωλογία, Θεσσαλονίκη.
- Johnson, I. (1966): Specific yield. Compilation of specific yields for various materials. U.S. Geol. Survey water Supply Paper. 1662.B Washington.
- Θανάσουλα, Κ. (1983) Γεωφυσική μελέτη Μυγδονίας λεκάνης. Διδακτορική Διατριβή Θεσσαλονίκη.
- Καλλέργη, Γ. (1970): Υδρογεωλογική έρευνα υπολεκάνης Καλαμπάκας (Δυτ. Θεσσαλία) Διδακτορική Διατριβή. Αθήνα.
- Καλλέργη, Γ. (1986): Εφαρμοσμένη υδρογεωλογία. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.
- Keessler, J.-De Ridder, N. (1974). Assessing groundwater balances. I.L.R.I. Wageningen. Publ. 16, Vol. III p.p 195-220.
- Kockel, F.-Mollat, H.-Αντωνιάδης, Π.-Ιωαννίδη, Κ. (1978-79): Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος. Φύλλα ΘΕΡΜΗ, ΖΑΓΚΛΙΒΕΡΙ, ΣΟΧΟΣ, ΛΑΧΑΝΑΣ, ΣΤΑΥΡΟΣ κλπ. 1:50.000 ΙΓΜΕ ΑΘΗΝΑ:

- Kruseman, C.-De Ridder, M. (1970) ; Analysis and evaluation of pumping test data. I.L.R.I. Bul. II, p.p. 187. The Netherlands.
- Μουντράκη, Α. (1977): Μετρήματα γεωλογίας της Ελλάδος. Εργ. Γεωλογίας-Παλαιοντολογίας Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης
- Ο.Υ.Α.- ΒΡΓΜ (1973) : Μελέτη εξωτερικού υδραγωγείου Θεσσαλονίκης εκ της λεκάνης Μυγδονίας, Θεσσαλονίκη.
- Σούλιου, Γ., (1975) : Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Ξυλιάδος ( Φθιώτιδος ). Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη.
- Σούλιου, Γ. (1986): Γενική υδρογεωλογία. Θεσσαλονίκη.
- Τραγανού, Γ. (1987) : Πρώτη φάση της γεωτρητικής έρευνας για την επιβεβαίωση του γευθερμικού ενδιαφέροντος των περιοχών Λαγκαδά - Βόλβης στη λεκάνη Μυγδονίας. Ι.Γ.Μ.Ε. Αθήνα.
- Ψιλοβίκου, Α. (1977) : Παλαιονεωγραφική εξέλιξη της λεκάνης και της λίμνης Μυγδονίας. Διδακτορική διατριβή. Θεσσαλονίκη .-