

ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΠΡΟΣΟΜΙΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΣΑΡΙΓΚΙΟΛ (ΜΑΚΕΔΟΝΙΑ-ΕΛΛΑΔΑ)

Μ. Τουμπεκτσή* και Α. Rorive**

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Ο τεταρτογενής υδροφόρας Σαριγκιόλ (νότιο τμήμα της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδας) παρουσιάζει σύνθετη γεωλογική δομή που καθιστά δύσκολη την εφαρμογή μαθηματικού μοντέλου για την προσομίωσή του. Το υδροφόρο μέσο παρουσιάζει ιδιαίτερη ετερογένεια λόγω παρεμβολών φακών κροκαλοπαγούς και άμμου μέσα σε μαργαϊκά ιζήματα λιγότερο ή περισσότερο περατά. Τα όρια του υδροφορέα προσδιορίστηκαν ύστερα από μελέτη γεωλογικών, γεωφυσικών και υδροδυναμικών στοιχείων.

Πέρα από τα κλασσικά αριθμητικά δεδομένα, απαραίτητα για τη σωστή λειτουργία κάθε μαθηματικού ομοιώματος, το μοντέλο αυτό πρέπει να περιλαμβάνει την κατά το δυνατό ακριβή γεωμετρική δομή και να παριστά τις υδροδυναμικές συνθήκες στα όρια του υδροφορέα. Στοιχεία γεωλογικά και γεωφυσικά χρησιμοποιήθηκαν σε πρώτη φάση για να οριοθετηθεί η λεκάνη και να καθορισθεί η δομή και το περιεχόμενό της.

Τα αποτελέσματα της μέχρι στιγμής έρευνας οδηγούν στην επιλογή πολύπλοκου διδιάστατου ή ακόμη και τρισδιάστατου μαθηματικού μοντέλου που να ανταποκρίνεται στις ιδιαιτερότητες της λεκάνης.

R E S U M E

L' aquifère quaternaire de Sarighiol (partie méridionale du grand bassin de Ptolemais) présente des caractères géologiques complexes qui rendent la simulation mathématique difficile. Le milieu aquifère est hétérogène (lentilles de conglomérats ou de sables ou de galets, enchassés dans des sédiments marneux-imperméables) Les limites ont été caractérisées après l' étude des données géologiques, géophysiques et hydrodynamiques.

Aussi, outre les données chiffrées classiques, requises pour le bon fonctionnement de toute simulation, le modèle doit définir très précisément les conditions aux limites et la géométrie du milieu. Des données géologiques

*Faculte Polytechnique de Mons, Belgique

**I.D.E.A.-F.P.M.S., 7000 Mons, Belgique

et géophysiques disparates et souvent contradictoires ont été utilisées dans un premier temps pour définir, la forme du bassin et son contenu.

Des résultats obtenus, dépend le choix du modèle le plus performant.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λεκάνη Σαριγκιόλ βρίσκεται στη Δυτική Μακεδονία, βόρεια της Κοζάνης και περικλείεται από τις ορεινές μάζες του Βερμίου, Ασκίου και Σκοπού. Συνιστά την νοτιοανατολική προέκταση της γνωστής λιγνιτοφόρου λεκάνης της Πτολεμαΐδας.

Το οικονομικό ενδιαφέρον της ευρύτερης περιοχής έγκειται στην ύπαρξη λιγνιτικών κοιτασμάτων αρκετών εκατομμυρίων τόννων η εκμετάλλευση των οποίων γίνεται με επιφανειακή εξόρυξη.

Η λεκάνη Σαριγκιόλ περικλείει επιφανειακό υδροφορέα σημαντικού δυναμικού ο οποίος επέρχεται στις υπερκείμενες του λιγνίτη νεογενείς τεταρτογενείς αποθέσεις και προκαλεί προβλήματα στην εκμετάλλευση του κοιτάσματος. Η διεξαγωγή λοιπόν, μιας λεπτομερούς υδρογεωλογικής μελέτης θεωρείται αναγκαία.

Προκαταρκτικές έρευνες και μελέτες που πραγματοποιήθηκαν από τη Δ.Ε.Η. το Ι.Γ.Μ.Ε. και την ΑΝ.ΚΟ., αποτέλεσαν τη βάση των συγκεντρωθέντων δεδομένων. Οι πολυάριθμες γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί είτε για κοιτασματολογικούς είτε για υδρογεωλογικούς σκοπούς-οι γεωφυσικές μελέτες, καθώς και τα δεδομένα δοκιμαστικών αντλήσεων μας επιτρέπουν την εφαρμογή της μεθόδου της μαθηματικής μοντελοποίησης, με σκοπό την καλύτερη διερεύνηση του προβλήματος και τη διατύπωση προτάσεων για την επίλυσή του. Πιστεύουμε ότι για ένα υδρογεωλογικό σύστημα όπως το υπό μελέτη, το οποίο εντοπίζεται μέσα σε ιζηματογενή λεκάνη-όπου οι ετερογενείς νεογενείς-τεταρτογενείς αποθέσεις (άμμοι, κροκαλοπαγή, άργιλλοι, μάργες) συνιστούν αλληπάλληλα στρώματα (συχνά φακοειδούς μορφής) - το πλέον κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο είναι ένα μοντέλο πολλαπλών στρωμάτων σε διδιάστατο ή τρισδιάστατο χώρο.

Αποσκοπούμε λοιπόν, στη σύνταξη ενός τέτοιου μοντέλου, για την εφαρμογή του οποίου, σε πρώτη φάση απαιτείται ο επαναπροσδιορισμός και η σχηματοποίηση της υδρογεωλογικής δομής, όπως επίσης και η κατά το δυνατόν ακριβής τοποθέτηση των ορίων σε όλες τις διευθύνσεις.

2. ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΟΜΟΙΩΜΑ

Ο υπό μελέτη υδροφορέας είναι στρωσιγενής, με πολύπλοκη γεωλογική δομή και ακαθόριστη γεωμετρία, στον οποίο η ετερογένεια και ανισοτροπία αποτελούν κανόνα. Η ροή του υπόγειου νερού οπωσδήποτε τρισδιάστατη και μη νόμιμη, μπορεί να περιγραφεί με πολύπλοκες μη γραμμικές διαφορικές εξισώσεις με μερικές παραγώγους. Οι εξισώσεις αυτές στη γενική τους μορφή (ΤΕΡΖΙΔΗΣ, ΚΑΡΑΜΟΥΖΗΣ 1985), όχι μόνο δεν έχουν αναλυτική λύση αλλά δεν μπορούν να λυθούν ακόμη και με αριθμητικές μεθόδους.

Κάνοντας όμως ένα σημαντικό αριθμό παραδοχών τόσο στη γεωλογική περιγραφή και στις υδροδυναμικές παραμέτρους του υδροφορέα, όσο και στις κύριες κατευθύνσεις της τρισδιάστατης κίνησης του υπογείου νερού, που γενικά να ακολουθεί το νόμο του Darcy σε ένα τρισσορθόγωνιο σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων, μπορεί κανείς να καταλήξει στην παρακάτω τρισδιάστατη στο χώρο εξίσωση (TRESMOTT, PINDER, LARSON, 1976).

$$\frac{\partial}{\partial x} (T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (T_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

όπου

x, y και z : καρτεσιανές συντεταγμένες (L)

T_{xx}, T_{yy}, T_{zz} : συντελεστές διοχετευτικότητας (L^2/T)

$h=h(x, y, z, t)$: πιεζομετρικό ύψος (L)

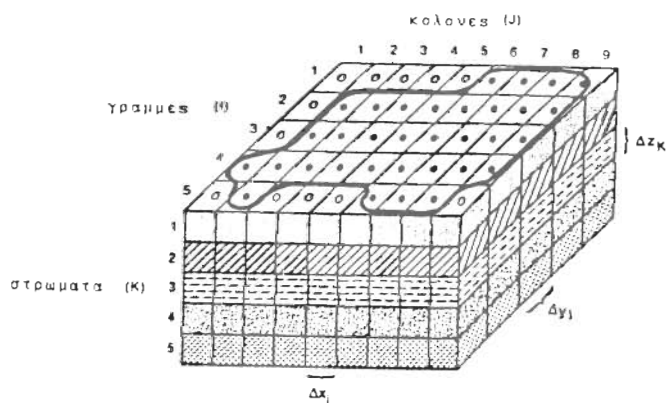
$W=W(x, y, z, t)$: ογκομετρική παροχή ανά μονάδα όγκου ($L^3 T^{-1} / L^3$)

$S = S(x, y, z)$: συντελεστής ειδικής εναποθήκευσης (L^{-1}) και t = χρόνος (T).

Αν και η εξίσωση (1) ισχύει μόνο για κλειστό υδροφορέα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ελεύθερο υδροφορέα χρησιμοποιώντας την αντικατάσταση $T_i = K_i \cdot h$ (όπου K = συντελεστής υδραυλικής αγωγιμότητας). Φυσικά στην περίπτωση αυτή ο όρος S_z αντικαθίσταται από τον S_y την ειδική σε νερό απόδοση (ενεργό πορώδες). Η διαφορική εξίσωση (1) λύνεται αριθμητικά με την έντονα πεπλεγμένη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών (WANG, ANDERSON, 1982), αφού αντικατασταθούν οι όροι των μερικών παραγώγων με πηλίκια πεπερασμένων διαφορών πεπλεγμένης μορφής που τελικά δίνουν ένα σύστημα αλγεβρικών εξισώσεων πεπερασμένων διαφορών, στις οποίες συμπεριλαμβάνονται οι αρχικές και οι οριακές συνθήκες του προβλήματος. Οι προσαιξήσεις των Δx , Δy και Δt είναι μεταβλητές έτσι ώστε να μπορούν να λαμβάνονται υπόψη η ετερογένεια και ανισοτροπία του υδροφορέα και τα χρονικά όρια μεταβολών χωρίς συνέπειες στην ευστάθεια και ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου.

Σε κάθε κυψελίδα του δικτύου, μπορούν να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματα ή οι επιδράσεις επαναπλήρωσης, εξατμισοδιαπνοής και αντλήσεων. Τα παραπάνω ενσωματώνονται στον όρο $W(x,y,z,t)$ της εξίσωσης (1).

Το Σχ. 1 δείχνει μια απλοποιημένη μορφή παράστασης του υδροφορέα από ένα δίκτυο κόμβων, οι οποίοι διατάσσονται κατά γραμμές, κολώνες και στρώματα.



---- Όρια υδροφορέα
 εξωτερικές κυψελίδες
 εσωτερικές κυψελίδες

Δx_j διαστάσεις κυψελίδας
 Δy_j κατά μήκος των
 Δz_k 3 διευθύνσεων

Σχ. 1. Δομικό μοντέλο υποθετικού υδροφορέα (Mc Donald, Harbaugh, 1984).

Φυσικά, στην πρώτη φάση κατασκευής ενός τέτοιου μαθηματικού μοντέλου, για ένα σύνθετο και πολύπλοκο υδροφορέα, υπάρχουν δυσκολίες και ατέλειες τόσο στον ορισμό των πραγματικών οριακών συνθηκών όσο και στις τιμές και εκφράσεις των παραμέτρων που παίρνονται με μετρήσεις σε σχετικά λίγα πραγματικά σημεία και επεκτείνονται σε όλο το δίκτυο υπολογισμού. Επίσης, είναι συχνά αναγκαία η διατύπωση συμπληρωματικών υποθετικών παραδοχών. Όλα αυτά επαληθεύονται ή διορθώνονται στις επόμενες φάσεις και οπωσδήποτε βελτιώνονται με την αναρρύθμιση του μοντέλου αφού συγκεντρωθούν περισσότερα δεδομένα μετρήσεων ή συμπληρωθούν πληροφορίες σε περιοχές με ελλιπή στοιχεία.

3. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

Η λεκάνη Σαρινγκιόλ συνιστά ένα κλειστό τεκτονικό βύθισμα, αποτελούμενο από ενόττες των οποίων η διαίρεση και η διάκριση οφείλεται στη δράση των ρηγμάτων ηλικίας Πλειστόκαινου (ΠΑΥΛΙΔΗΣ 1985) (Σχ. 2).

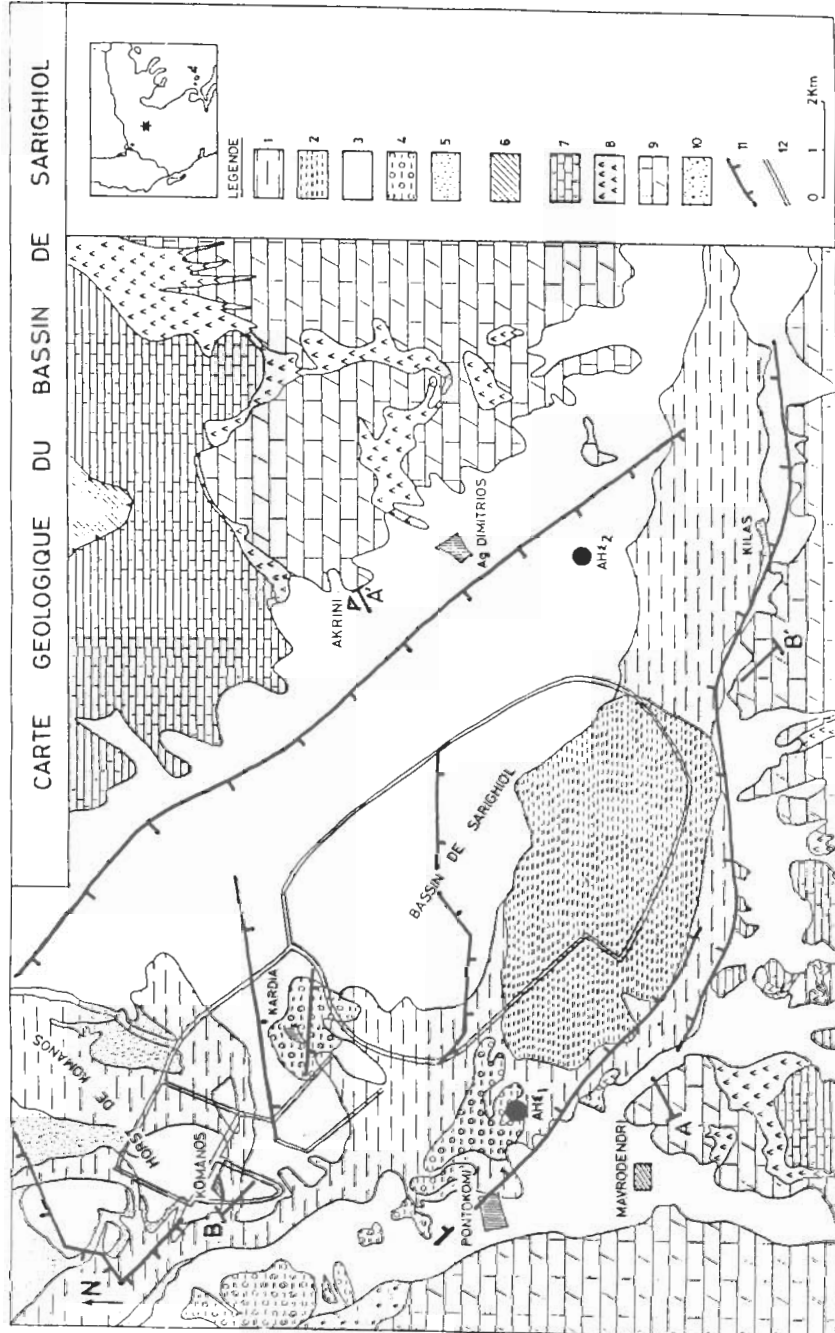
Οριοθετείται στα βόρεια από το έζαρμα του Κομάνου ενώ στα ανατολικά, νότια και δυτικά από κατακόρυφα ρήγματα σημαντικού άλματος. Περιέχει στη βάση ζήματα ήρεμης και κανονικής λιμνιαίας φάσης (λιγνίτες και συγγενές προς αυτούς περιβάλλον) ενώ προς τα άνω υπέρκεινται χονδροκλαστικές αποθέσεις (Τεταρτογενές).

Οι τομές του Σχήματος 3 δίνουν οπτικά την τεκτονική και γεωλογική δομή του συστήματος.

Το υπόβαθρο και τα περιθώρια της λεκάνης συνιστώνται από:

- το κρυσταλλοσχιστώδες παλαιοζωικής ή προκάμβριας ηλικίας (?) (BTUNN, 1956)
- τους ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους τριαδικοιουρασιακής ηλικίας
- τους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους.

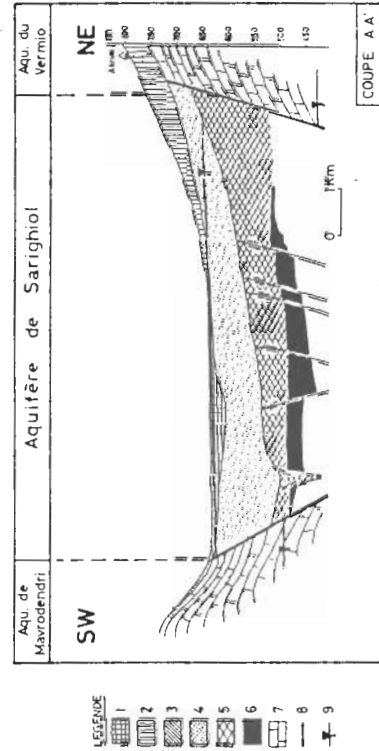
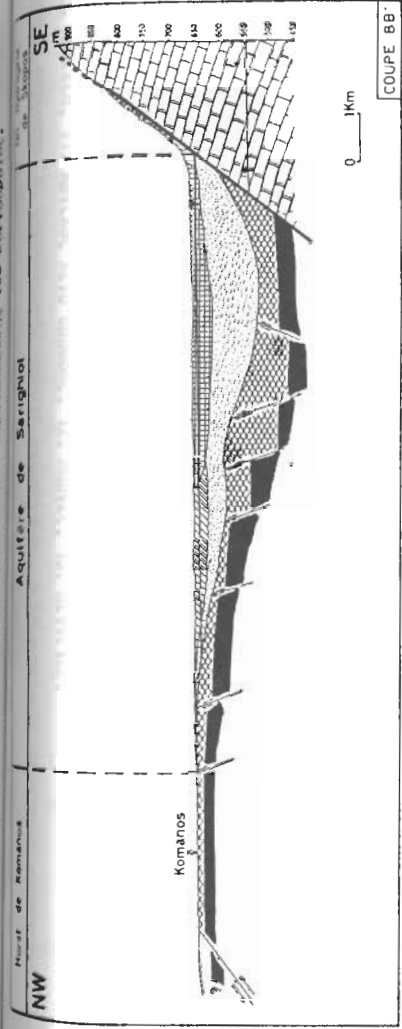
Το περιεχόμενο της λεκάνης αποτελείται από νεογενή και τεταρτογενή ζήματα, των οποίων το πάχος ξεπερνά πολλές φορές τα 800 μέτρα (ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ 1968). Η στρωματογραφική ακολουθία από κάτω προς τα άνω έχει ως εξής (ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΥ



Σχ. 2. Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Σαριγκιόλ.

Σχηματισμοί της λεκάνης Σαριγκιόλ: 1. Σύγχρονες αποθέσεις, 2. Πρόσφατα λιμναία και ελλώδη ιζήματα, 3. Χονδροκλαστικές αποθέσεις, κώνων κορρημάτων, 4. Ποταμοχειμάριες αποθέσεις Πλειστοκ. ηλικίας, 5. Λιμναίες αποθέσεις Πλειστοκ. ηλικίας, 6. Τεκτονικό κάλυμμα Βερμού, 7. Αρβεστόλιθο Μέσου, Άνω Κρητιδικού, 8. Οφειλολιθικό σύμπλεγμα, 9. Ψάρια τριανθικό-Ιουρασικής ηλικίας (?), 10. Κρυσταλλοσχιζιτιδές.

Α.Α. Με κατακόρυφο επίπεδο και παράλληλο στην διεύθυνση των κλιμακωτών.



Σχ. 3. Υδρογεωλογικές τομές της λεκάνης Σαριγκιόλ.

1. Λιμναίες αποθέσεις-Ολόκαινο, 2. Κώνοι κορρημάτων -Ανωτ. Πλειστοκάινο, 3. Αργίλοι και κροκαλοπηγή-Κάτωτ. Πλειστοκάινο, 4. Ποταμολιμναίες αποθέσεις-Ανωτ. Πλειόκαινο (?), 5. Λιμναίες αποθέσεις-Μέσο, Ανωτ. Πλειόκαινο, 6. Λιγνίτες-Μέσο, Ανωτ. Πλειόκαινο, 7. Ανακρυσταλ. αρβεστόλιθοι-Τριανθικό Ιουρασικό, 8. Ρήγματα, 9. Πιεζομετρική επιφάνεια

A. Νεογενή ιζημάτα λιμνιάιας φάσης:

- εναλλαγές μαργών και αμμωδών αργίλλων με φακούς μαργαϊκού ασβεστολίθου,
- λιγνιτοφόρος σειρά,
- εναλλαγές αργίλλων, μαργών, ιλλιτών και λεπτόκοκκων αμμών.

B. Νεογενή ιζημάτα ποταμολιμνιάιας φάσης τοποθετημένα ασύμφωνα στα υποκείμενα στρώματα: λεπτόκοκκοι, μέσοι ή χονδρόκοκκοι άμμοι, κροκαλοπαγή ασύνδετα και αργιλλικές ενστρώσεις.

C. Αποθέσεις πλειστοκαινικής ηλικίας:

- εναλλαγές αμμωδών αργίλλων και κροκαλοπαγών,
- ποτάμιες αποθέσεις σημαντικού πάχους, πολυγενικών κροκαλοπαγών με διασταυρούμενη στρώση.

D. Χονδροκλαστικές τεταρτογενείς αποθέσεις:

- λατυποπαγείς κώνοι.

E. Σύγχρονες λιμνιάιες αποθέσεις

F. Σύγχρονες αλλούβιες και ελλούβιες αποθέσεις

90 στρωματογραφικές στήλες γεωτρήσεων επαναμελετήθηκαν. Στις 3 που επιλέξαμε ως αντιπροσωπευτικές (Σχ. 4) παρουσιάζεται η σύνθεση των παρατηρούμενων σχηματισμών σε υδρογεωλογικά στρώματα, όπως επίσης και οι μεταξύ τους σχέσεις. Το σύστημα λοιπόν διακρίνεται σε 5 υδρογεωλογικά στρώματα Α έως Ε (Σχ. 4).

E: Σειρά υποκείμενη του υδροφόρου στρώματος (θεωρείται αδιαπέρατη)

D: Υδροφόρο στρώμα, περατοί σχηματισμοί

A,B,C: Σειρά υπερκείμενη του υδροφόρου στρώματος

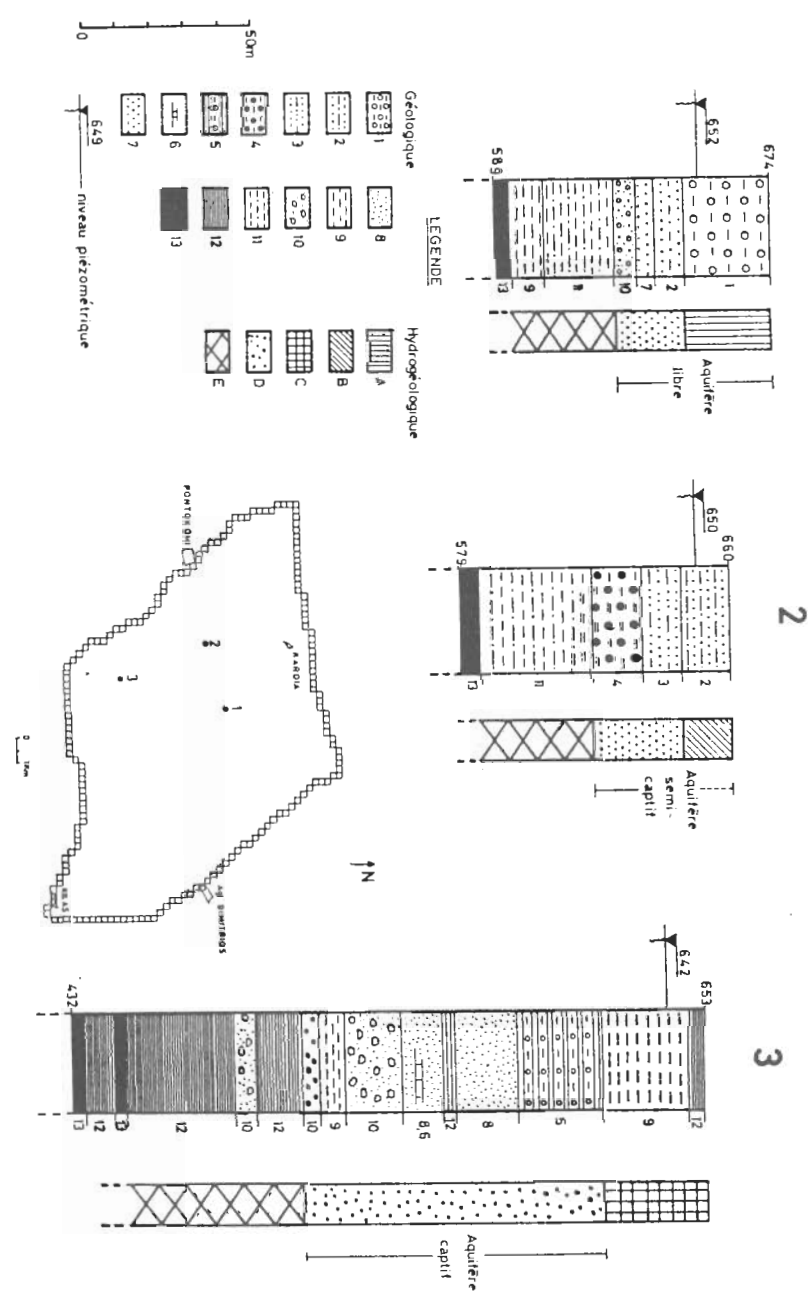
A: Σχηματισμοί ιδιαίτερα περατοί

B: Σχηματισμοί ημιπερατοί

C: Σχηματισμοί αδιαπέρατοι

Σχ. 4. Αντιπροσωπευτικές στρωματογραφικές στήλες των υπερκείμενων του κοιτάσματος, σχηματισμών.

A. Στρωματογραφία: 1. Χονδροκλαστικές αποθέσεις, κώνοι κορρημάτων, 2. Αμμόδες άργιλος, άμμος, 3. Αργιλώδης άμμος, 4. Ασύνδετα κροκαλοπαγή, 5. Χαλικοφόρες μάργες, 6. Φακοί μαργαϊκού ασβεστολίθου, 7. Χονδρόκοκκη άμμος, 8. Λεπτόκοκκη άμμος, 9. Αργίλος, 10. Κροκάδες, χαλίτια, 11. Αργίλος λίγο αμμόδης, 12. Μάργες, 13. Λιγνίτες.
 B. Υδρογεωλογικά στρώματα: a. Επιφανειακοί περατοί σχηματισμοί, b. Επιφανειακοί ημιπερατοί σχηματισμοί, c. Επιφανειακοί αδιαπέρατοι σχηματισμοί, d. Περαιτοί σχηματισμοί, e. Υποκείμενοι αδιαπέρατοι σχηματισμοί.



Η διάκριση των 5 υδρογεωλογικών στρωμάτων και οι μεταξύ τους σχέσεις καθορίστηκαν μετά τη σύνταξη χαρτών οροφής και πυθμένα του υδροφόρου στρώματος και κατανομής των στρωμάτων στο χώρο. Η παραπάνω εργασία βασίστηκε στα διαθέσιμα γεωφυσικά και στρωματογραφικά δεδομένα (Σχ. 5 και Σχ. 6).

Αυτά τα δεδομένα μας επέτρεψαν τη σχηματική διάκριση 3 υδροδυναμικών τύπων στο υδροφόρο σύστημα. Η κατανομή τους στο χώρο δίνεται στο Σχ. 6. Η ελεύθερη ζώνη κατέχει κυρίως το ψηλότερο μορφολογικό τμήμα της λεκάνης. Η υπό πίεση ζώνη εντοπίζεται στο χώρο του άλλοτε έλους Σαριγκιόλ στο χαμηλότερο τμήμα της λεκάνης. Τέλος, η ημι-υπό-πίεση ή ημι-ελεύθερη ζώνη εκτείνεται από τα ΒΔ προς τα ΝΑ κατά μήκος της λεκάνης.

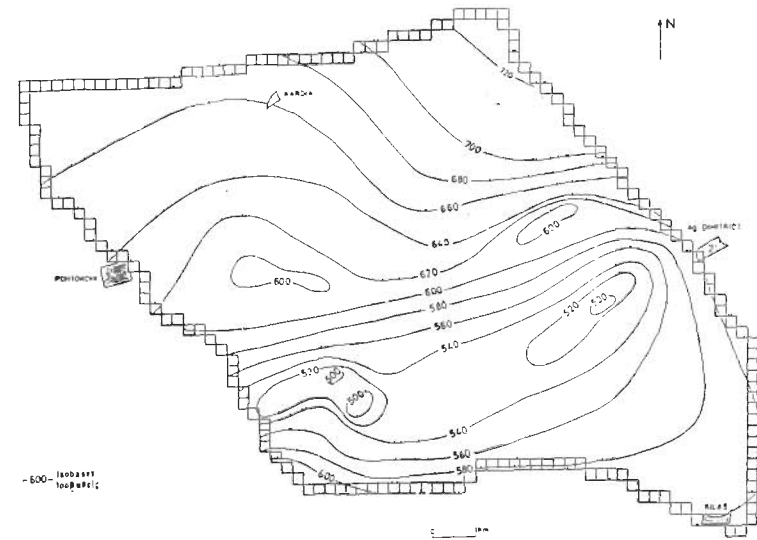
Στους χάρτες των Σχ. 5 και 6 έχουν σχεδιαστεί επίσης, τα όρια του συστήματος τα οποία-ορίζονται ως εξής:

Το Ανατολικό όριο ταυτίζεται με το κρασπεδικό ρήγμα ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης και χωρίζει το σύστημα από την υδρογεωλογική ενότητα του Δυτικού Βερμίου. Η τελευταία παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά (ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ 1983).

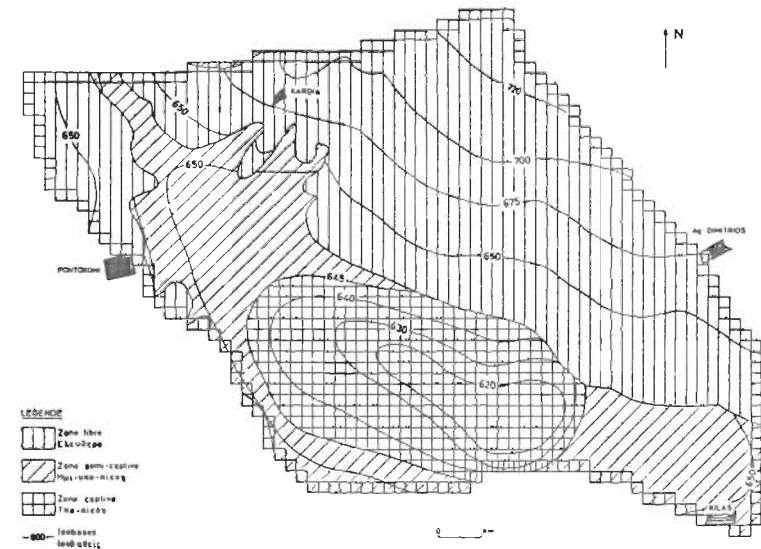
- Βαθύ υδροφόρο ορίζοντα (350 μέτρα απολ. υψομ.)
- Μεγάλο αριθμό καρστικών εμφανίσεων με συντελεστή κατείσδυσης μεγαλύτερο από 60%.
- Συντελεστή επιφανειακής απορροής περίπου 0%.

Τα παραπάνω καθώς και τα πιεζομετρικά δεδομένα της λεκάνης Σαριγκιόλ (Σχ. 7) (μέσο πιεζομετρικό ύψος 640 μ.) οδηγούν στο χαρακτηρισμό του ορίου ως αδιαπέρατου. Στο ΒΑ όμως τμήμα, στη γειτονία των κρητιδικών ασβεστολίθων προτιμάται να χαρακτηριστεί σε πρώτη φάση ως όριο τροφοδοσίας. Ο χαρακτηρισμός βασίζεται σε αποτελέσματα νέων ερευνών του Ι.Γ.Μ.Ε. Κοζάνης. Προς τα ΝΑ η χάραξη του ορίου έγινε σύμφωνα με σημεία γεωτρήσεων που δεν παρουσιάζουν υδροφορία.

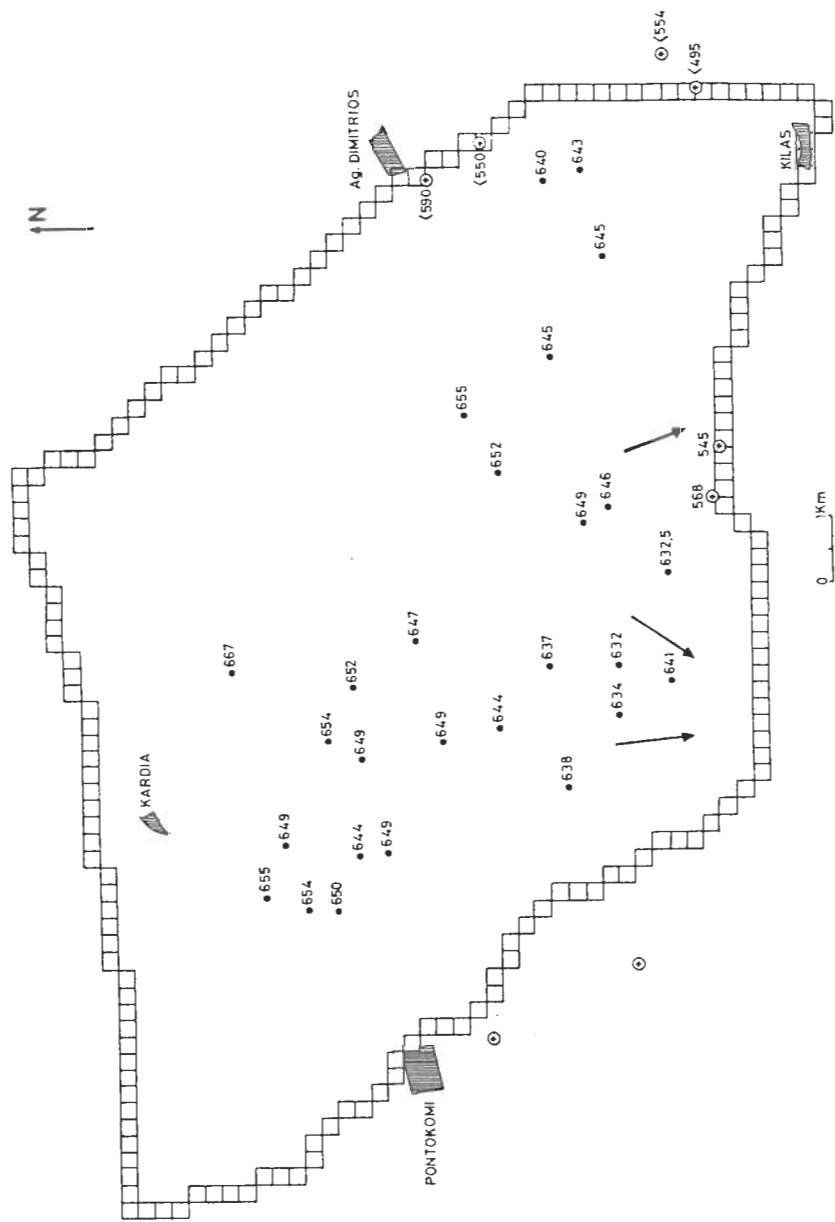
Το Νότιο όριο αντιπροσωπεύεται από το ρήγμα Ξηρολίμνης-Κοίλων-Γαλανίς. Οι καρστικοποιημένοι ασβεστολίθοι της υδρογεωλογικής ενότητας Σκοπού παρουσιάζουν αμελητέα επιφανειακή απορροή προς τη λεκάνη Σαριγκιόλ. Σύμφωνα με τα υδροδυναμικά



Σχ. 5. Ισοβαθείς του υδροφορέα μέσα στα όρια της υδρογεωλογικής ενότητας της λεκάνης Σαριγκιόλ.



Σχ. 6. Κατανομή στο χώρο, των ζωνών ελεύθερη, ημι υπο-πίεση, υπο-πίεση μέσα στα όρια της υδρογεωλογικής ενότητας της λεκάνης Σαριγκιόλ. Ισοβαθείς της επιφανειακής σειράς (α, β, γ του σχ. 4).



Σχ. 7. Πιεζομετρικά δεδομένα λεκάνης Σαριγκιόλ και της ευρύτερης περιοχής.

νομικά και πιεζομετρικά δεδομένα το όριο αποτελεί όριο εκφόρτισης του υδροφορέα. Σύμφωνα με μελέτες της ΥΔΡΟ-ΓΑΙΑ (1980), η φύση του ορίου προς τα ΝΔ παραμένει σταθερή.

Το Ανατολικό όριο τοποθετείται στη θέση του ρήγματος Ποντοκόμης χαρακτηρίζεται αδιαπέρατο και χωρίζει τον υδροφορέα του Σαριγκιόλ από τον καρστικό υδροφορέα ο οποίος παρουσιάζει ανεξάρτητη υδραυλική συμπεριφορά.

Το Βόρειο όριο χαρακτηρίζεται αδιαπέρατο και εντοπίζεται μέσα στο χώρο ανάπτυξης των ορυχείων, γι' αυτό και η ακριβής τοποθέτησή του είναι επισφαλής. Σε προκαταρκτική φάση βόρειο όριο, θεωρείται το νότιο άκρο του εξάρματος του Κομάνου. Μετά το πέρας του 1ου κύκλου προσομοίωσης μια μετακίνησή του προς τα νότια θεωρείται πολύ πιθανή.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η λεκάνη Σαριγκιόλ λοιπόν, συνιστά ένα ανεξάρτητο υδρογεωλογικό σύστημα χωρίς να υφίσταται την υδραυλική επίδραση των γειτονικών υδροφορέων.

Στα αδιαπέρατα όρια της λεκάνης οι οριακές συνθήκες χαρακτηρίζονται μηδενικής ροής ενώ στα υπόλοιπα τμήματα είναι συγκεκριμένης ("γνωστής") ροής. Η φυσική εκφόρτιση του συστήματος πραγματοποιείται προς τα νοτιο (έλλειψη στοιχείων δεν μας επιτρέπει σ' αυτό το στάδιο, τον ακριβή καθορισμό του μηχανισμού εκφόρτισης).

Ο υδροφορέας χαρακτηρίζεται στρωσιγενής και διακρίνεται σε 5 υδρογεωλογικά στρώματα. Οι μεταξύ τους σχέσεις οδηγούν στον καθορισμό 3 υδροδυναμικών τύπων στο σύστημα: υπό-πίεση ημίκλειστος ή ημιελεύθερος ελεύθερος.

Όλα τα προαναφερθέντα επεξεργασμένα στοιχεία οδήγησαν στον καθορισμό και χαρακτηρισμό της λεκάνης ως σύστημα συγκεκριμένης μορφής και συμπεριφοράς, ώστε να είναι δυνατή η επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου. Συντάχθηκε έτσι το δομικό μοντέλο της λεκάνης το οποίο αποτελεί την απαραίτητη βάση στη διαδικασία της μοντελοποίησης ώστε να είναι εφικτή η πραγματοποίηση της 2ης φάσης της 1ης φάσης ρύθμισης. Η εξέλιξη της τελευταίας εξαρτάται από την επιδιωκόμενη ακρίβεια

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΝΑΣΤΟΠΟΥΛΟΣ Ι., ΚΟΥΚΟΥΖΑΣ Κ. (1972). Κοιτασματολογική μελέτη Νοτίου Πεδίου της λιγνιτοφόρου λεκάνης Πτολεμαΐδος (Μακεδονία-Ελλάς). (Ι.Γ.Ε.Υ.). Γεωλογικά και Γεωφυσικά Μελέτες, τομ. XVI, Νο1, p.1-189
- ΒΕΤΟΥΛΗΣ Δ. (1957). Γεωλογική μελέτη λεκάνης Πτολεμαΐδος. Ann. geol. des Pays Hellen, vol. III, p. 48-79.
- BRUNN J.H. (1956). Contribution a l' etude geologique du Pinde septentrional et d' une partie de la Macedoine occidentale. Ann. geol. des Pays Hellen., vol VII, p. 115-126.
- FAUGERES L. (1978). Recherches geomorphologiques en Grece septentrionale, tome I, tome II. Atelier reproduction des theses, Universite de Lille III.
- HEITFELD (1969). Engineering geological report., Auszug-Literatur.
- McDONALD M.G., HARBAUGH A.W. (1948). A Modular three-dimensional finite difference ground-water flow model. U.S. Dept. of the interior, U.S. Geol. Survey, Virginia.
- ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ Π. (1968). Γεωηλεκτρική μελέτη της λεκάνης Πτολεμαΐδος (νότιο τμήμα) Ι.Γ.Ε.Υ. Αθήναι.
- ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ (1983). Υδρογεωλογικές έρευνες στο κάρστ της ορεινής μάζας του Βερμίου. Υδροτεχνικά, τομ. I, 1, Μάιος 1983. 1ο Συνέδριο της ΕΥΕ.
- ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ (1983). Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Σαριγκιόλ Ι.Γ.Μ.Ε Κοζάνη Οκτώβριος 1983.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ. (1985). Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινα-Βεγορίτιδα-Πτολεμαΐς. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκη.
- ΤΕΡΖΙΔΗΣ Γ., ΚΑΡΑΜΟΥΖΗΣ Δ. (1985). Υδραυλική υπογείων νερών. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
- TRESCOTT P.C., PINDER G.G., LARSON S.P. (1976). Finite-difference model for aquifer simulation in two dimension with results of numerical experiments Techniques of water resources. Investigations of the United States Geological Survey, chapter 1.
- ΥΔΡΟ-ΓΑΙΑ (1980). Υδρογεωλογική μελέτη της λεκάνης Σαριγκιόλ-Μαυροδενδρίου, Δ.Ε.Η.
- WANG H.F., ANDERSON M.P. (1982). Introduction to groundwater modeling (finite difference and finite element methods). W.H. Freeman and Co., San Francisco.