

Η ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΚΑΙ ΥΔΡΟΧΗΜΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΨΕΥΤΟ-ΚΑΡΣΤΙΚΟΥ ΥΔΡΟΦΟΡΕΑ ΤΩΝ ΓΥΨΩΝ ΜΕΣΣΗΝΙΟΥ ΗΛΙΚΙΑΣ, ΤΟΥ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΛΑΒΑΣΟΥ, ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΑΡΩΝΙ - ΚΥΠΡΟΣ, ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΟΛΥΕΤΗ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ

Κ. Κωνσταντίνου*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται την όλη υδροχημική και υδρογεωλογική συμπεριφορά του γυψούχου υδροφορέα Μαρώνι, στο ομώνυμο χωριό, στην επαρχία Λάρνακας-Κύπρος, μετά από πολυετή παρακολούθηση. Ο υδροφορέας Μαρώνι αναπτύσσεται σε γύψους Μεσσηνίου ηλικίας του Σχηματισμού Καλαβασού και παρά την υψηλή περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε θειικά ιόντα, αυτό χρησιμοποιείται για βιομηχανικούς και γεωργικούς σκοπούς. Η χρήση γυψούχου νερού για άρδευση είναι θετική, όταν γίνεται σε ασβεστούχα εδάφη γιατί μειώνεται το ΡΗ του εδάφους και η αλατότητα του προσροφόμενου νερού. Ο υδροφορέας είναι παράκτιος, αλλά καλύπτεται από μαργαϊκές αποθέσεις πάχους μέχρι 250 m. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής και μετά την εντατική άντληση και τον υποβιβασμό της πιεζομετρικής επιφάνειας μέχρι και 100 μέτρα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, έχει φανεί ότι υπάρχει μικρή υδραυλική επικοινωνία του υδροφορέα με τη θάλασσα. Υπολογίστηκε επίσης η μέση ετήσια ποσότητα γύψου που διαλύεται μέσα στο υδροφορέα.

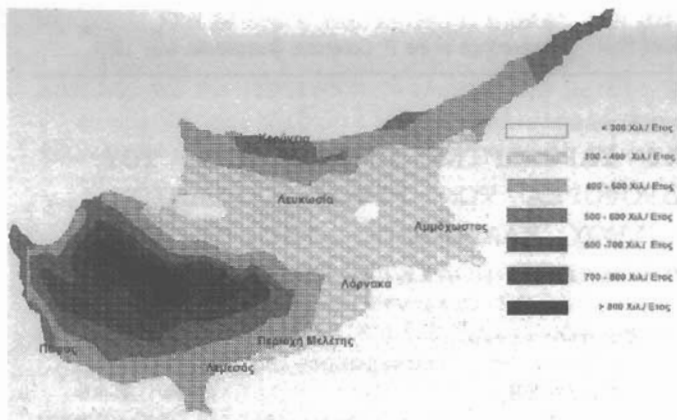
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο ψευτο-καρστικός υδροφορέας Μαρώνι βρίσκεται στο νότιο μέρος της Κύπρου, στην επαρχία Λάρνακα και κοντά στα όρια της επαρχίας Λεμεσού (Σχ. 1), καλύπτει δε τα διοικητικά όρια των κοινοτήτων Μαρώνι και Ζύγι και μέρος των κοινοτήτων Ψεματισμένου, Μαρί, Καλαβασού και Αγίου Θεοδώρου (Σχ. 2). Το αρτεσιανό του μέρος βρίσκεται κάτω από μια σχεδόν επίπεδη επιφάνεια, ενώ οι επιφανειακές εμφανίσεις των γύψων παρουσιάζουν εντονότερο ανάγλυφο αλλά με πτωχό υδρογραφικό δίκτυο. Την περιοχή διασχίζουν και αποστραγγίζουν οι ποταμοί Μαρώνι και Βασιλικός, οι οποίοι διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον εμπλουτισμό του υδροφορέα. Η ροή των ποταμών αυτών έχει μειωθεί σημαντικά μετά την κατασκευή του φράγματος Καλαβασού και την εκτροπή του ποταμού Μαρώνι προς το φράγμα Διποτάμου.

Στην ευρύτερη περιοχή έχει κατασκευαστεί μεγάλο αρδευτικό έργο, γνωστό ως Σχέδιο Βασιλικού - Πεντάσχοινου, που διαχειρίζεται το νερό του υδροφορέα και μέρος του νερού των φραγμάτων της περιοχής. Η περιοχή παρουσιάζει έντονη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα. Η δραστηριότητα αυτή εξαρτάται και από την προμήθεια νερού από τον υδροφορέα Μαρώνι. Στην ίδια περιοχή υπάρχει μεγάλη τσιμεντοβιομηχανία, βιομηχανία λιπασμάτων και γίνονται σκέψεις για κατασκευή μεγάλου ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού.

Ο ψευτο-καρστικός υδροφορέας Μαρώνι καλύπτει μια έκταση 35 περίπου τετρ. χιλιομέτρων (Σχ. 2). Στην έκταση αυτή συμπεριλαμβάνονται το αρτεσιανό και

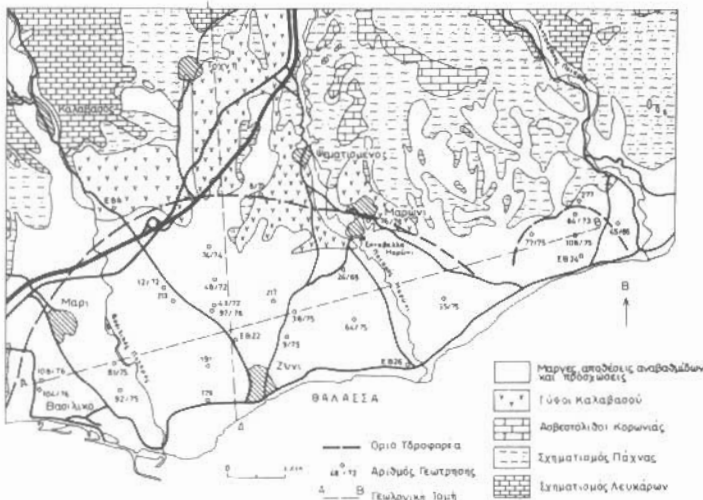
* Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης, Λευκωσία, Κύπρος.



Σχ. 1: Χάρτης μέσης ετήσιας κατανομής βροχοπτώσεων στην Κύπρο, βασισμένος σε στοιχεία των ετών 1960 - 1990.

Fig. 1: Average annual precipitation map, for Cyprus, based on data from the years 1960 - 1990.

ποταμού), υπάρχει μικρός γυψούχος υδροφορέας που λειτουργεί ανεξάρτητα από τον υπόλοιπο υδροφορέα. Για σκοπούς διάκρισης ο υδροφορέας αυτός θα ονομάζεται γυψούχος υδροφορέας Πεντάσχοινου. Η έκταση που καλύπτει είναι 3 έως 4 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στα δυτικά ο υδροφορέας αποσφηνώνεται δυτικότερα του χωριού Μαρί. Οι γεωτρήσεις γεωτρήσεις προς τα δυτικά που συναντούν το γύψο είναι οι γεωτρήσεις με αριθμό 104/76 και 108/76 (Σχ. 2).



Σχ. 2: Απλουστευμένος Γεωλογικός χάρτης της περιοχής Μαρώνη (Barnall 1960) με την τοποθέτηση χαρακτηριστικών γεωτρήσεων.

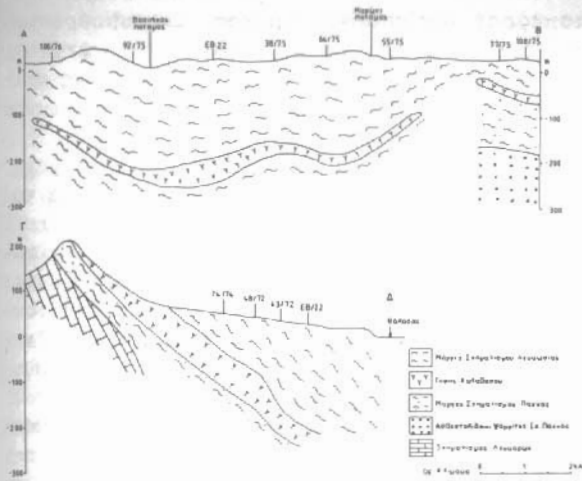
Fig. 2: Simplified Geological Map of Maroni Area after (Barnall 1960) with the location of characteristic Boreholes.

φρεάτιο μέρος του, καθώς και οι επιφανειακές εμφανίσεις γύψου. Στο μεγαλύτερο μέρος των επιφανειακών εμφανίσεων δεν σχηματίζεται πιεζομετρική στάθμη αφού το δάπεδο του υδροφορέα βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο από το υψόμετρο εκφόρτισης του υδροφορέα. Το βορειότερο όριο της πιεζομετρικής επιφάνειας συμπίπτει με την ισουψή των 45 μέτρων, του δαπέδου του υδροφορέα (Στο υψόμετρο αυτό βρίσκεται η εσταβέλλα Μαρωνίου). Η επιφανειακή εξάπλωση των γύψων καλύπτει μια έκταση 10 περίπου τετραγωνικών χιλιομέτρων. Στα ανατολικά και κοντά στον ποταμό Πεντάσχοινο (Δυτικά του

ποταμού), υπάρχει μικρός γυψούχος υδροφορέας που λειτουργεί ανεξάρτητα από τον υπόλοιπο υδροφορέα. Για σκοπούς διάκρισης ο υδροφορέας αυτός θα ονομάζεται γυψούχος υδροφορέας Πεντάσχοινου. Η έκταση που καλύπτει είναι 3 έως 4 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Στα δυτικά ο υδροφορέας αποσφηνώνεται δυτικότερα του χωριού Μαρί. Οι γεωτρήσεις γεωτρήσεις προς τα δυτικά που συναντούν το γύψο είναι οι γεωτρήσεις με αριθμό 104/76 και 108/76 (Σχ. 2). Χαρακτηριστικό της αποσφίνωσης είναι ότι οι γεωτρήσεις αυτές διαπερνούν μόνον 6 μέτρα γύψου (Σχ. 3). Νοτιότερα του χωριού Ζύγι και κοντά στη σημερινή ακτογραμμή θα πρέπει να υπάρχει οριζόντια μετάβαση προς γυψούχες μάργες. Η περιοχή αυτή θα πρέπει να συμπίπτει με το κέντρο της παλαιολεκάνης.

ΓΕΩΛΟΓΙΑ

Οι γύψοι του Σχηματισμού Καλαβασού εντάσσονται γεωλογικώς στην Ιζηματογενή Περιφερειακή Σειρά του Τροόδους. Η πρώτη ιζηματογένεση μετά τον σχηματισμό των πετρωμάτων του Τροόδους (Οφιολιθικό Σύμπλεγμα του Τροόδους), αρχίζει με την εναπόθεση των ούμπρων και ραδιολαριτών του



Σχ. 3: Γεωλογική τομή Α-Β και Γ-Δ.
Fig. 3: Geological Sections A-B and Γ-Δ.

λαμβάνει χώρα αριστερόστροφη περιστροφή κατά 90ο του Τροόδους με τους υπερκείμενους ιζηματογενείς σχηματισμούς (Moore and Vine 1971, Laver 1984, Clube et al 1985). Κατά την ίδια περίοδο (Μαιστρίχτιο) αρχίζει η ανθρακική ιζηματογένεση με την εναπόθεση των μαργών, κρητίδων, μαργαϊκών κρητίδων και πυριτιολίθων του Σχηματισμού Λευκάρων (Pantazis 1967) που συνεχίζει μέχρι το Κ. Μειόκαινο. Κατά το Κ. Μειόκαινο μέχρι το Α. Μειόκαινο (Follows 1989) γίνεται η εναπόθεση του Σχηματισμού Πάχνας (Hanson et al 1949) που αποτελείται από μάρμες, κρητίδες, ασβεστολίθους και ανθρακικούς ψαμμίτες (Pantazis 1967). Στο ανάτομο μέρος του σχηματισμού εμφανίζεται ο χαρακτηριστικός ορίζοντας *Discospirina* (Bagnall 1960, Adams 1959).

Κατά το Μεσσήνιο, λόγω της κρίσης αλμυρότητας της Μεσογείου (Hsu et al 1978), γίνεται η απόθεση των γύψων του Σχηματισμού Καλαβασού, μέσα σε ένα λιμνοθαλάσσιο περιβάλλον (Bagnall 1960, Pantazis 1967). Οι γύψοι αυτοί έχουν προταθεί σαν ανεξάρτητος σχηματισμός από τον Pantazis 1967, ενώ προηγουμένως ήταν ενσωματωμένοι στο Σχηματισμό της Πάχνας (Hanson et al, 1949). Ο σχηματισμός βρίσκεται συνήθως σε συνέχεια με τις μάρμες του Σχηματισμού Πάχνας και η μετάβαση γίνεται κυρίως με γυψούχες μάρμες. Οι μάρμες αυτές παρεμβάλλονται και μεταξύ διαδοχικών οριζόντων γύψου. Οι γύψοι του σχηματισμού Καλαβασού απαντώνται σε μικρές εμφανίσεις σε αρκετές περιοχές της περιφέρειας του Οφιολιθικού Συμπλέγματος του Τροόδους, με τη σημαντικότερη εμφάνιση να βρίσκεται στη περιοχή Καλαβασού - Μαρώνι. Στη περιοχή αυτή αναπτύσσεται και ο πιο μεγάλος γυψούχος υδροφορέας στην Κύπρο.

Το μέγιστο πάχος του Σχηματισμού Καλαβασού στην περιοχή Μαρώνι ξεπερνά τα 80 μέτρα, και έχει παρατηρηθεί σε γεωτρήσεις στην περιοχή βόρεια του χωριού Ζύγι. Το συνολικό όμως πάχος των οριζόντων γύψου δεν υπερβαίνει τα 40 μέτρα, ενώ το υπόλοιπο πάχος αποτελείται από παρεμολές μαργών και γυψούχων μαργών. Από τις γεωλογικές περιγραφές των γεωτρήσεων προκύπτει ότι όσο πλησιάζουμε προς τα ΝΔ του χωριού Ζύγι, τόσο το συνολικό πάχος του σχηματισμού μεγαλώνει ενώ ταυτόχρονα το ποσοστιαίο πάχος των οριζόντων γύψου μειώνεται. Η περιοχή αυτή θα πρέπει να ταυτίζεται με το κέντρο της παλαιολεκάνης απόθεσης. Αντίθετα προς τα κράσπεδα της παλαιολεκάνης το συνολικό πάχος του σχηματισμού είναι μικρότερο ενώ ταυτόχρονα η αναλογία γύψων - γυψούχων μαργών είναι μεγαλύτερη.

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

Σχηματισμού Περαπεδίου (Wilson 1959) πάνω σε μια ανώμαλη παλαιο-επιφάνεια των λαβών του Τροόδους. Ακολουθεί η ιζηματογένεση των μετετοιτικών αργίλων και ηφαιστιοκλαστικών ιλιολίθων και ψαμμιτών (Robertson 1977c), Καμπανίου ηλικίας (Mantis 1970) του Σχηματισμού Κανναβίου. Κατά την περίοδο αυτή γίνεται και η επώθηση του μεγάλου αλλόχθονου τεκτονικού καλύμματος των Μαμωνιών, από Νότιο-Δυτικά (Robertson 1979), Α. Τριαδικής έως Κρητιδικής ηλικίας, που περικλύουν κυρίως ιλιόλιθους, πυριτιόλιθους, σχιστόλιθους, ασβεστολίθους, λάβες, και Σερπεντινίτες (Robertson 1979). Κατά το Μαιστρίχτιο μέχρι το Κ. Ηόκαινο (Clube et al, 1985)

Κατά το Α. Μειόκαινο προς το Κ. Πλειόκαινο η περιοχή χέρσευσε για χρονικό διάστημα ικανό να αναπτυχθεί το ψευτο-κάρστ που υπάρχει σήμερα. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι στους γύψους αυτούς έχει αναπτυχθεί ψευτο-κάρστ που φθάνει σε βάθος μέχρι 280 μέτρα κάτω από το επίπεδο της θάλασσας και αυτό παρά το ότι οι γύψοι αυτοί καλύπτονται από μαργαϊκές πλειοκαινικές αποθέσεις πάχους μέχρι 250 μέτρων.

Η μεγάλη κατακόρυφη ανάπτυξη του ψευτο-κάρστ πρέπει να οφείλεται στη συνεχή κάθοδο του βασικού επιπέδου λόγω της κρίσης αλμυρότητας της Μεσογείου κατά το Μεσσήνιο (Hsu 1973, Hsu et al 1978). Κατά την άποψη του συγγραφέα η καρστικοποίηση των γύψων ξεκίνησε αμέσως μετά την απόθεση και ανάδυση τους, ενώ στο εσωτερικό της παλαιολεκάνης συνεχιζόταν η απόθεση γύψων και γυψούχων μαργών. Η κατακόρυφη ανάπτυξη του παλαιο-ψευτο-κάρστ σταματά πιθανό με το άνοιγμα των στενών του Γιβραλτάρ και την επικοινωνία Μεσογείου - Ατλαντικού, ενώ ταυτόχρονα αρχίζει η ιζηματογένεση των πλειοκαινικών μαργών του σχηματισμού Λευκωσίας που καλύπτουν σταδιακά το παλαιο-ψευτο-κάρστ. Η υπόγεια ύπαρξη καρστικοποιημένου γύψου περιορίζεται προς νότο, κοντά στη σημερινή ακτογραμμή. Έτσι υδρογεωτρήσεις που ανορίχθηκαν κοντά στην ακτογραμμή δεν είναι παραγωγικές, γιατί το παλαιο-ψευτο-κάρστ δεν έχει φτάσει μέχρι αυτό το επίπεδο. Ταυτόχρονα στις περιοχές αυτές, το πάχος των γυψούχων οριζόντων είναι μικρότερο. Παράδειγμα είναι η γεώτρηση με αριθμό EB26, που βρίσκεται λίγα μέτρα από την ακτογραμμή και με συνολικό βάθος 400 μέτρα έχει συναντήσει μόνο μικρού πάχους οριζόντα γύψου με απουσία υδροφορίας. Στο κέντρο της παλαιολεκάνης θα πρέπει να υπήρξε ομαλή μεταβάση μεταξύ γύψων του Σχηματισμού Καλαβασού και πλειοκαινικών μαργών.

Έχουν αναφερθεί διάφοροι τύποι γύψου. Οι πιο συνηθισμένοι είναι ο ζαχαροειδής, ο σελενιτικός και ο τύπος "Μάρμαρα" (Pantazis 1967). Ο τύπος "Μάρμαρα" (τοπική ονομασία) είναι στρωσιγενής (Bagnall 1960), μικροκρυσταλλικός, λευκού έως τεφρού χρώματος. Ο ζαχαροειδής τύπος είναι κρυσταλλικός με ενδιάμεσου μεγέθους κρυστάλλους με σκούρο γκριζο χρώμα. Είναι ευάλωτος στην εξαλλοίωση και συχνά καλύπτεται από εδαφικό κάλυμμα. Σε βαθύτερα στρώματα είναι αρκετά συνεκτικός και πλαστικός. Στον τύπο αυτό δεν παρατηρείται σύστημα ασυνεχειών που να βοηθά την κατακόρυφη διάλυση. Αντίθετα ο τύπος "Μάρμαρα" είναι ανθεκτικός τόσο στην διάβρωση όσο και στην εξαλλοίωση. Παρουσιάζει όμως σύστημα κατακόρυφων και οριζόντιων ασυνεχειών, που βοηθούν στην διάλυση του γύψου και στο σχηματισμό ψευτοκαρστικών εγκοίλων και αγωγών. Ο σελενιτικός τύπος έχει μικρότερη εξάπλωση και αποτελείται από μεγακρυστάλλους παραλλήλους προς το επίπεδο "001".

Πριν την απόθεση των γύψων του σχηματισμού Καλαβασού (Eaton 1987) ή και ταυτόχρονα (Bagnall 1960, Pantazis 1967) γίνεται η απόθεση των νηριτικών ασβεστολίθων του Σχηματισμού Κορωνιάς. Η ιζηματογένεση συνεχίζεται με την εναπόθεση των μάργων του Σχηματισμού Λευκωσίας (Henson et al 1949). Κατά την πλειοκαινο περίοδο παρατηρείται έξαρση των ανοδικών κινήσεων του Τρόδου που οφείλονται κυρίως στην ενυδάτωση του χασβουργίτη του οφιολιθικού συμπλέγματος και μετατροπή του σε σερπεντινίτη (Gass 1963, Robertson 1976). Αποτέλεσμα των ανοδικών κινήσεων είναι οι μεγάλες αποθέσεις συνάγματος "Fanglomerate" (Wilson 1949), οφιολιθικής κυρίως σύστασης. Στην περιοχή παρατηρείται αριθμός θαλάσσιων αναβαθμίδων τεταρτογενούς ηλικίας (Pantazis 1967) που παρατηρούνται και στη υπόλοιπη ανατολική Μεσόγειο (E. de Vaumas, 1967, P. 201-202).

Στην ευρύτερη υπό μελέτη περιοχή, εκτός από τους γύψους του σχηματισμού Καλαβασού εμφανίζονται οι μάργες του σχηματισμού Πάχνας που αποτελούν το δάπεδο του υδροφορέα, οι μάργες του σχηματισμού Λευκωσίας που αποτελούν το στέγαστρο του αρτεσιανού μέρους του υδροφορέα καθώς και εμφανίσεις των σχηματισμών Λευκάρων και Κορωνιάς. Παρατηρούνται επίσης ιζήματα θαλάσσιων αναβαθμίδων καθώς και αλουβιακές προσχώσεις (Σχ. 3).

ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Με δεδομένο ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση, στην περιοχή των επιφανειακών εμφανίσεων του γύψου, είναι 400 περίπου χιλ. (Σχ. 1), ο κυριότερος εμπλουτισμός του υδροφορέα γίνεται μέσα από τις κοίτες των ποταμών Βασιλικού και Μαρώني. Μέσα στις κοίτες των ποταμών αυτών έχουν αναπτυχθεί καταβόθρες, μερικές από τις οποίες λειτουργούν σαν εσταβέλλες, μέσω των οποίων εμπλουτίζεται ο υδροφορέας. Η σημαντικότερη εσταβέλλα είναι η εσταβέλλα Μαρωνίου που βρίσκεται σε υψόμετρο 45 μέτρα, μέσα στην κοίτη του ποταμού Μαρώني. Στην εσταβέλλα αυτή έχουν μετρηθεί παροχές της τάξεως των 2000 m³/h (Ιακωβίδης 1986). Με το γρήγορο ρυθμό διάλυσης και τις αυξομειώσεις της στάθμης η εσταβέλλα εξελίχθηκε σε μεγάλο έγκοιλο, προκαλώντας ταυτόχρονα καθιζήσεις και προβλήματα ασφάλειας στο χωριό Μαρώνι. Τελικά η εσταβέλλα Μαρωνίου σφραγίστηκε κατά το 1985, με ταυτόχρονη εκτροπή του ποταμού Μαρώني.

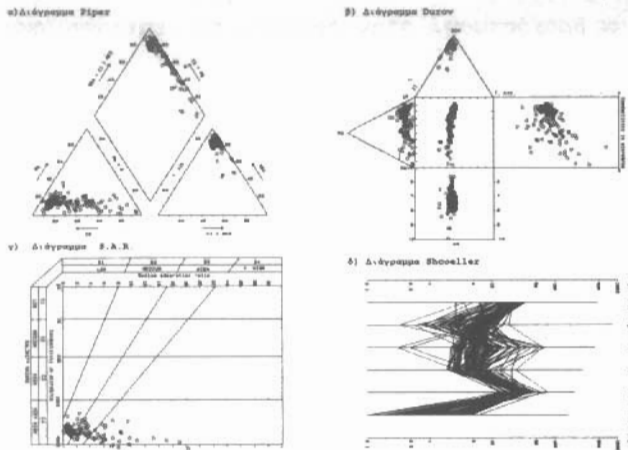
Με την κατασκευή του φράγματος Καλαβασού στον ποταμό Βασιλικό χωριτικότητας 17 εκατομ. κυβικών μέτρων και την εκτροπή του ποταμού Μαρώني προς το φράγμα Διποτάμου, χωριτικότητας 13,7 εκατομ. κυβικών μέτρων, η ροή προς τα κατάντι έχει περιορισθεί με αποτέλεσμα να μειωθεί ο εμπλουτισμός του υδροφορέα. Για το πιο αποτελεσματικό εμπλουτισμό του υδροφορέα από τις εναπομείναντες ποσότητες νερού έχουν γίνει εμπλουτιστικά έργα, κυρίως στην κοίτη του ποταμού Μαρώني. Ο ποταμός Μαρώني δεν καλύπτεται από ικανοποιητικό πάχος προσχώσεων και σε μερικές περιπτώσεις αποκαλύπτονται οι γύψοι μέσα στην κοίτη. Αντίθετα ο ποταμός Βασιλικός έχει δημιουργήσει ικανοποιητικό πάχος προσχώσεων (αμμοχάλικα) που βοηθούν στον εμπλουτισμό του ψευτο-καρστικού υδροφορέα μέσω ενός συστήματος ενταφιασμένων καταβόθρων. Τα έργα εμπλουτισμού εκτελέστηκαν από το Τμήμα Αναπτύξεων Υδάτων και συνίστανται στην ανόρυξη εμπλουτιστικών γεωτρήσεων και μικρών εμπλουτιστικών φραγμάτων κατά μήκος της κοίτης του ποταμού. Η αποτελεσματικότητα των έργων δεν ήταν η αναμενόμενη, γιατί συνήθως γέμιζαν γρήγορα από υλικά του ποταμού και γιατί απαιτείται κάποιος χρόνος για να μπορέσει το νερό να βρεί ή να δημιουργήσει καινούργιους δρόμους ροής. Η αποτελεσματικότητα των έργων εμπλουτισμού μπορεί να αυξηθεί με την ανόρυξη γεωτρήσεων μεγάλης διαμέτρου οι οποίες θα τύχουν της κατάλληλης χημικής ανάπτυξης και που στη συνέχεια να γεμίσουν με χαλικόφιλτρο. Η χημική ανάπτυξη των γεωτρήσεων κρίνεται σκόπιμη για τη γρήγορη επικοινωνία του έργου με τα καρστικά συστήματα. Ο συνδυασμός μικρών εμπλουτιστικών φραγμάτων και κατάλληλα σχεδιασμένων γεωτρήσεων θα βοηθήσει στο να μειωθεί στο ελάχιστο το νερό των ποταμών που καταλήγει στην θάλασσα μετά από καταγίδες.

Ένας άλλος τρόπος εμπλουτισμού που θα μπορούσε να εφαρμοστεί, είναι ο εμπλουτισμός μέσω των υφισταμένων παραγωγικών γεωτρήσεων. Οι γεωτρήσεις αυτές είναι συνδεδεμένες με το αρδευτικό σύστημα της περιοχής και μπορούν να δεχθούν νερό από τα φράγματα με αντίθετο ροή. Με τον τρόπο αυτό θα εξοικονομούνται ποσότητες νερού από την εξάτμιση που γίνεται μέσα στα φράγματα. Ταυτόχρονα με την ανάμειξη θα υπάρχει και εποχιακή βελτίωση στην ποιότητα του υπόγειου νερού του υδροφορέα.

ΔΙΑΛΥΣΗ ΓΥΨΟΥ

Λόγω των μεγάλων εναλλαγών της στάθμης του υδροφορέα και της συνεχούς άντλησης και εμπλουτισμού του υδροφορέα παρατηρείται μια συνεχής διάλυση του γύψου. Δηλαδή αντλείται νερό με υψηλή συγκέντρωση θειικών αλάτων ενώ ο υδροφορέας εμπλουτίζεται με νερό χαμηλής περιεκτικότητας θειικών αλάτων. Πιστεύεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της διάλυσης λαμβάνει χώρα μέσα στη ζώνη κορεσμού, αφού οι πολύ μεγάλες ταχύτητες ροής επιτρέπουν στο νερό μόνον μικρής διάρκειας επαφή με το πέτρωμα (γύψο), στην ζώνη αερισμού.

Σύμφωνα με στοιχεία του Τμήματος Αναπτύξεων Υδάτων, η μέση ετήσια άντληση



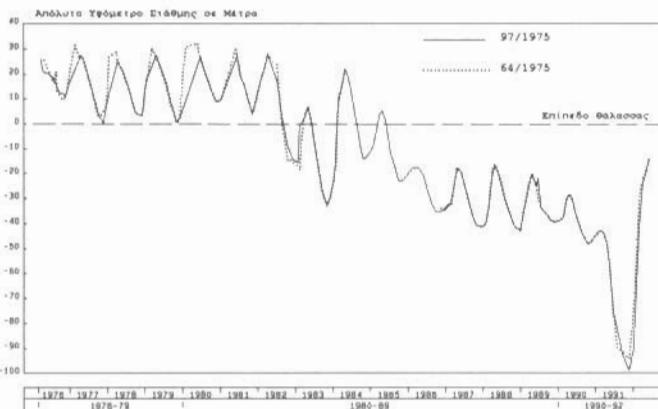
Σχ. 4: Διαγράμματα χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού του υδροφορέα Μαρώνι (Piper, Durov, S.A.R. και Schoeller).

Fig. 4: Chemical analyses diagrams of samples from Maroni aquifer (Piper, Durov, S.A.R. and Schoeller).

ποι εβαποριτών, εκτός από μερικά μικρά κοιτάσματα θειικού στροντίου και με την παραδοχή, ότι η αύξηση των $SO_4^{=}$ και Ca^{2++} στο υπόγειο νερό οφείλεται στη διάλυση γύψου, προκύπτει ότι υπάρχουν 2 kg ιόντων Ca^{++} και $SO_4^{=}$ σε κάθε κυβικό μέτρο νερού που αντλείται. Λαμβάνοντας υπόψη και το κρυσταλλικό νερό που υπάρχει στο γύψο (περίπου 20%), προκύπτει ότι σε κάθε κυβικό μέτρο νερού που αντλείται, υπάρχουν 2,5 kg διαλυμένου γύψου. Με τη μέση πυκνότητα του γύψου της περιοχής να ανέρχεται στα 2,3 gr/cm^3 και τη μέση ετήσια άντληση στα 1,7 εκατ. κυβικά μέτρα, υπολογίζεται ότι 1850 κυβικά μέτρα γύψου διαλύονται κάθε

από το ψευτο-καρστικό υδροφορέα Μαρώνι είναι της τάξεως των 1,7 εκατ. κυβικών μέτρων. Λαμβάνοντας υπόψη ένα μεγάλο αριθμό χημικών αναλύσεων υπολογίστηκε η μέση περιεκτικότητα του υπόγειου νερού σε $SO_4^{=}$ τα 1650 ppm και η μέση περιεκτικότητα ιόντων ασβεστίου σε 500 ppm. Η αντίστοιχη μέση περιεκτικότητα του επιφανειακού νερού, του ποταμού Μαρώνι σε $SO_4^{=}$ είναι 90 ppm και Ca^{++} είναι 60 ppm. Από χημικές αναλύσεις γύψου ($CaSO_3 + 2H_2O$) στην περιοχή Καλαβασού προκύπτει ότι αυτός αποτελείται από 32,9% CaO , 45,3% SO_3 και 20,6% H_2O . (Bear 1963, P. 150). Με δεδομένο ότι στην περιοχή δεν έχουν παρατηρηθεί άλλοι τύποι

χρόνο (4250 τόνοι). Αποτέλεσμα είναι να αυξάνει η αποθηκευτικότητα του υδροφορέα κατά 1850 κυβικά μέτρα το χρόνο. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί με το 1% της μέσης ετήσιας άντλησης και με το 3,7 στο εκατομμύριο του συνολικού όγκου του γύψου.



Σχ. 5: Υδρογράμματα των Γεωτρήσεων 64/1975 και 97/1975, για την περίοδο 1976-1992 (Απόσταση γεωτρήσεων 3 Km).

Fig. 5: Hydrograph of boreholes 64/1975 and 97/1975, for the period 1976-1992 (Distant between boreholes 3 Km).

ΠΙΕΖΟΜΕΤΡΙΑ

Είναι πολύ δύσκολο να επιχειρηθεί η κατασκευή πιεζομετρικών χαρτών, γιατί οι υδραυλικές κλίσεις είναι πολύ μικρές κυρίως λόγω της μεγάλης υδροπερατότητας του υδροφορέα. Χαρακτηριστικό πα-

ράδειγμα είναι τα υδρογραφήματα των γεωτρήσεων με αριθμούς 97/1975 και 64/1975 (Σχ. 5), που χρησιμοποιώντας απόλυτες στάθμες, αυτά συμπίπτουν παρά το γεγονός ότι οι γεωτρήσεις αυτές απέχουν σχεδόν 3 χιλιόμετρα η μια, από την άλλη. Εξαιρέση αποτελεί ο γυψούχος υδροφορέας Πεντάσχοινου, προς τα ανατολικά, ο οποίος είναι απομονωμένος και λειτουργεί με δικό του σύστημα. Τεκμήριο είναι η γεώτρηση EB24 η οποία δίνει αρτεσιανή ροή, ενώ το υπόλοιπο μέρος του υδροφορέα βρίσκεται σε αρνητικά υψόμετρα. Τα όρια του συστήματος αυτού είναι δύσκολο να καθορισθούν. Το σύστημα αυτό παρουσιάζει διαφορετικό χημισμό του υπόγειου νερού, αλλά θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι γεωτρήσεις στην περιοχή αυτή εκμεταλλεύεται και τον υποκείμενο υδροφορέα που αναπτύσσεται μέσα στους ασβεστολιθικούς ψαμμίτες του σχηματισμού Πάχνας.

Οι ειδικές παροχές των γεωτρήσεων ξεπερνούν τα $450 \text{ m}^2/\text{h}$. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η γεώτρηση με αριθμό 55/75 που μετά από 48-ωρη άντληση είχε παροχή $163 \text{ m}^3/\text{h}$ και πτώση στάθμης 0,35 μέτρα. Σε μερικές περιπτώσεις η μεταβιβασιμότητα T ξεπερνά τις $3000 \text{ m}^2/\text{day}$ (Greitzer and Constantinou 1968).

ΧΗΜΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Τα νερά του ψευτο-καρστικού υδροφορέα Μαρωνιού είναι θειικά ως προς το επικρατούν ανιόν και ασβεστούχα ως προς το επικρατούν κατιόν (Σχ. 4α). Ως προς τα κατιόντα διακρίνονται δυο κατηγορίες υπόγειου νερού. Στην πρώτη που είναι και η επικρατέστερη η σειρά των κατιόντων είναι Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ και στη δεύτερη κατηγορία η σειρά είναι Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} . Η δεύτερη κατηγορία παρατηρείται κυρίως στις περιοχές του αρτεσιανού υδροφορέα που βρίσκονται κοντά στη θάλασσα και κατά τις περιόδους που υπάρχουν μεγάλες αρνητικές απόλυτες στάθμες (Σχ. 4β). Παρατηρείται μια αντίστροφος σχέση μεταξύ Cl^- , Na^+ , B με HCO_3^- . Ακόμη υπάρχει μια αναλογία μεταξύ Na^+ , Cl^- και B καθώς και μεταξύ SO_4^{--} και Ca^{++} . Λαμβάνοντας υπόψη τις πιο πάνω σχέσεις και αναλύοντας τα διαγράμματα Schoeller (Σχ. 4δ), που προκύπτουν από την προβολή των χημικών αναλύσεων και έχοντας υπόψη την γεωλογία της περιοχής, προκύπτει ότι η αναλογία SO_4^{--} και Ca^{++} οφείλεται στη διάλυση του γύψου ($\text{SO}_3\text{Ca}+2\text{H}_2\text{O}$). Επίσης η αντίστροφος σχέση B , Na^+ και Cl^- με τη HCO_3^- καθώς και η αναλογία Na^+ και Cl^- μαρτυρεί ότι υπάρχει κάποια επικοινωνία με τη θάλασσα. Το ίδιο μαρτυρεί και ο συντελεστής Revelle R ($R=\text{Cl}^-/(\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-)$), που έχει τιμές από 1 μέχρι 20. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ψηλές τιμές R υπάρχουν κυρίως στις περιοχές του υδροφορέα που γειτνιάζει με τη θάλασσα και κατά τις περιόδους υπεράντλησης και πτωχού εμπλουτισμού. Η εποχιακή αύξηση Na^+ , Cl^- , και B καθώς και η μείωση της HCO_3^- οφείλεται σε κάποιου βαθμού ανάμειξη με το θαλασσινό νερό.

Η είσοδος θαλασσινού νερού θα πρέπει να γίνεται μέσα από κάποιους αμμώχους ορίζοντες των υπερκείμενων μάργων. Υπάρχει όμως και η πιθανότητα η επικοινωνία να γίνεται μέσα από τις ζώνες κάποιων ρηγμάτων.

Η συχνή ανανέωση του υπόγειου νερού περιορίζει τα προβλήματα από την περιορισμένη ανάμειξη θαλασσινού νερού. Τα προβλήματα όμως μπορούν να αυξηθούν εάν ο υδροφορέας παραμείνει για αρκετές περιόδους με αρνητικές απόλυτες στάθμες χωρίς να λαμβάνει χώρα εμπλουτισμός με καλής ποιότητας νερό. Έτσι μετά από 19 χρόνια εντατικής εκμετάλλευσης του υδροφορέα δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές μόνιμες αλλαγές στην ποιότητα του υπόγειου νερού. Οι αλλαγές είναι συνήθως εποχιακές και η ποιότητα του υπόγειου νερού επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από περίοδο εμπλουτισμού.

Δεν έχουν παρατηρηθεί σημαντικές διαχρονικές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε SO_4^{--} . Παρατηρείται όμως μια εποχιακή μείωση της περιεκτικότητας σε SO_4^{--} κατά τις περιόδους εμπλουτισμού και κυρίως κοντά στις περιοχές εμπλουτισμού.

ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΤΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΓΥΨΟΥΧΟΥ ΝΕΡΟΥ

Παρά την πολυετή χρήση νερού πλούσιου σε SO_4^{2-} , για την άρδευση των καλλιεργειών της περιοχής δεν έχει παρατηρηθεί αξιοσημείωτη μεταβολή στην απόδοση των καλλιεργειών της περιοχής, που είναι συνήθως λαχανικά και σε μικρότερη έκταση εσπεριδοειδή. Το υπόγειο νερό έχει υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα αλλά ο Συντελεστής Προσρόφησης Νατρίου S.A.R. (Σχ. 4γ) είναι μικρός και κριμένεται από 1-12. Ταυτόχρονα ένα μεγάλο ποσοστό ασβεστίου που υπάρχει στα καλλιεργούμενα εδάφη (μάργες και αλλουβιακές προσχώσεις) δεσμεύει αρκετές ποσότητες SO_4^{2-} δημιουργώντας γυψούχα άλατα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η αλατότητα του νερού που προσροφάται από τις καλλιέργειες να είναι μικρότερη από την αλατότητα του υπόγειου νερού. Δηλαδή η πραγματική κατάσταση του προσροφόμενου νερού από τις καλλιέργειες είναι πιο ευνοϊκή από την κατάσταση του αρδευόμενου νερού. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το γεγονός ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του υπογείου νερού είναι 3000 έως 4000 $\mu\text{mhos/cm}$ (Σχ. 4β) η περιεκτικότητα του σε Cl^- είναι 200 έως 350 ppm. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι το PH του υπόγειου νερού σε συνδιασμό με το PH του εδάφους. Στην Κύπρο τα περισσότερα ασβεστούχα εδάφη θεωρούνται μικρής απόδοσης λόγω του υψηλού τους PH. Η άρδευση όμως με νερό, με σχετικά χαμηλό PH, προκαλεί την μείωση της αλκαλικότητας του εδάφους με ταυτόχρονη αύξηση της παραγωγικότητας του. Το PH του υπόγειου νερού είναι μεταξύ 6 και 8 (Σχ. 4β).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Ο Ψευτο-καρστικός υδροφορέας των γύψων του Μαρωνιού διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη γεωργική και βιομηχανική δραστηριότητα της περιοχής.
2. Το αρτεσιανό μέρος του υδροφορέα καλύπτεται μέχρι 250 μέτρα μαργαϊκών πετρωμάτων προς το νότιο μέρος.
3. Ο υδροφορέας παρουσιάζεται ενιαίος εκτός από το ανατολικό του μέρος (Δυτικά του Πεντάσχοινου), που υπάρχει μικρό ανεξάρτητο σύστημα.
4. Ο εμπλουτισμός γίνεται κυρίως από τους ποταμούς Βασιλικό και Μαρώνι (μέσω εσταβέλλων) και σε μικρότερο βαθμό από τις επιφανειακές εμφανίσεις γύψων.
5. Η ανέγερση του φράγματος Καλαβασού στο Βασιλικό ποταμό και η εκτροπή ποταμού Μαρώνι, έχει επηρεάσει αρνητικά τον εμπλουτισμό του υδροφορέα.
6. Θα πρέπει να γίνουν περαιτέρω εμπλουτιστικά έργα και κυρίως γεωτρήσεις με χημική ανάπτυξη για να περιοριστεί στο ελάχιστο η απώλεια νερού προς τη θάλασσα.
7. Ο υδροφορέας παρουσιάζει μεγάλες υδροπερατότητες και σχεδόν μηδενικές υδραυλικές κλίσεις. Έχει παρατηρηθεί υποβιβασμό της πιεζομετρικής επιφάνειας μέχρι - 100 μέτρα.
8. Έχει υπολογιστεί ότι 1850 κυβικά μέτρα γύψου διαλύονται ετησίως με αντίστοιχη αύξηση της αποθηκευτικότητας του υδροφορέα.
9. Από τις ιοντικές σχέσεις προκύπτει μικρού μεγέθους ανάμειξη με θαλασσινό νερό. Η ανάμειξη δεν είναι μόνιμη και η ποιότητα του υπόγειου νερού επανέρχεται στα αρχικά επίπεδα μετά από περίοδο εμπλουτισμού. Ο Συντελεστής Revelle R, έχει τιμές από 1 έως 20.
10. Η άρδευση καλλιεργειών με γυψούχο νερό δεν έχει προκαλέσει μείωση στην απόδοσή τους. Αυτό οφείλεται στο ότι οι αρδευόμενες εκτάσεις αποτελούνται κυρίως από ασβεστούχα εδάφη με υψηλό PH και το αρδευόμενο νερό είναι χαμηλής αλκαλικότητας και μικρής περιεκτικότητας σε Cl^- , παρά την υψηλή του αλατότητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ADAMS, C.G. (1959). Geological distribution of discospirina (foraminifera) and occurrence of *D. italyca* in the Miocene of Cyprus. Paleontology. London. 1, p. 364-368.
- BAGNALL, P.S. (1960). The geology and mineral resources of the Pano Lefkara-Larnaca area, Cyprus Geological Survey Department Memoir, No. 5, 116 p.
- BEAR, L.M. (1963). The mineral resources and mining industry of Cyprus, Cyprus Geological Survey Department Bulletin, No. 1.
- CLUBE, T.M.M., (1985). The paleo-rotation of the Troodos microplate. Unpubl. Ph.D. Thesis, University of Edinburgh.
- CLUBE, T.M.M., and ROBERTSON, A.H.F. (1986). The paleo-rotation of Troodos microplate in the Late Mesozoic - Early Cenozoic plate tectonic framework of the Eastern Mediterranean. Survey in geophysics, v.8, p. 375-437.
- EATON, S. (1987). The Sedimentology of the Mid to Late Miocene Carbonates and Evaporites in Southern Cyprus. Unpubl. PhD thesis, University of Edinburgh.
- FOLLOW, E.J. (1990). Sedimentology and tectonic setting of Miocene reefs and related sediments in Cyprus. Unpubl. PhD thesis, University of Edinburgh.
- GASS, I.G. and MASSON - SMITH, D. (1963). The geology and gravity anomalies of Troodos massif, Cyprus. Philosophical Transaction of the Royal Society of London, A 255, p. 417 - 467.
- GREITZER, Y. and CONSTANTINOY, CH. (1968). Report of the Hydrogeology of the Maroni - Anglisides Area, Tahal Consulting Engineers LTD Tel Aviv.
- HENSON, F.R.G., BROWNE, R.C. and MCGINTY, J. (1949). A synopsis of stratigraphy and geological history of Cyprus. Quarterly Journal of the Geological Society of London, v. 55, p. 1-41.
- HSU, K.J. (1973). The dessicated deep basin model for the Messinian events, In: Drooger, C.W. (ed.) Messinian events in the Mediterranean. North - Holland, Amsterdam, p. 60-67.
- HSU, K., MONTADERT, L., BERNOULLI, D. et al. (1978). History of the Mediterranean Salinity crisis, in Hsu, K., Montadert, L. et al., in Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 42, part 1, Washington, U.S. Government Printing Office, p. 1053-1078.
- IACOVIDES, I.S. (1986). Analysis of aquifers in a karstic area: Maroni - Gypsum - Aquifer, Cyprus, Seminar on water and salination in small Medit. Islands.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1986). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα.
- MANTIS, M. (1970). Upper Cretaceous - Tertiary foraminifera zones in Cyprus. Epetiris, v. 3, Cyprus Research Center, Nicosia, p. 227 - 241.
- PANTAZIS, Th.M. (1967). The geology and mineral resources of the Pharmakas - Kalavassos area, Cyprus Geological Survey Department Memoir, No 8.
- PIPER, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water - analyses, Trans. Amer. Geophysical Union, v. 25, p. 914, 928.
- ROBERTSON, A.H.F. (1976). Pelagic chalks and calciturbidites from the Lower Tertiary of the Troodos Massif, Cyprus, Journal of Sedimentary Petrology, v. 46, p. 1007 - 1016.
- ROBERTSON, A.H.F. (1977a). Tertiary uplift history of the Troodos massif, Cyprus, Geological Society of America Bulletin, v. 88, p. 1763 - 1772.

- ROBERTSON, A.H.F. (1977b). The origin and diagenesis of cherts of cherts from Cyprus. *Sedimentology*, v. 24, p. 11-30.
- ROBERTSON, A.H.F. and HUDSON, J.D. (1974). Pelagic sediments in Cretaceous and Tertiary history of the Troodos Massif, Cyprus, International Association of Sedimentologists Special Publication, v. 1, p. 403-436.
- ROBERTSON, A.H.F. and WOODCOCK, N.H. (1979). Mamonnia Complex, southwest Cyprus; the evolution and emplacement of a Mesozoic continental margin, Geological Society of America Bulletin, v. 90, p. 651-665.
- SCHOELLER, H. (1962). *Les eaux souterraines*, Masson & Cie, Paris, 642 p.
- WILSON, R.A.M. (1959). The geology of the Xeros - Troodos area, Cyprus Geological Survey Department Memoir, No. 1, 184 p.
- ZAPOROZEC, A. (1972). Graphical interpretation of water - quality data, *Ground Water*, v. 10, p. 32 - 43.