

ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΙ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΛΙΜΝΟΠΗΓΗΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΑΒΥΘΟΥ ΚΕΦΑΛΟΝΙΑΣ

I. E. Κουμαντάκης*

Σ Υ Ν Ο Ψ Η

Πρόκειται για την πλέον ενδιαφέρουσα πηγή της Κεφαλονιάς από άποψη συνδυασμού ποσότητας ($25-600\mu^3/\omega\rho$) και καλής ποιότητας νερού. Αναβλύζει από τεκτονική επαφή ιουρασικών ασβεστολίθων και υποκείμενου τριαδικού στεγανού σχηματισμού. Από τα νερά της γεμίζει εσπαπτόμενη στη ζώνη ανάβλυσης μικρή λίμνη που έχει δημιουργηθεί από διάλυση γύψου και καταβύθιση. Η μελέτη της γεωλογικής δομής, των παροχών υπερχείλισης της λίμνης και στοιχείων από αντλήσεις σ' αυτήν, οδήγησαν στη γνώση του καθεστώτος λειτουργίας της. Διαπιστώθηκε ότι ο καρστικός υδροφορέας που την τροφοδοτεί λόγω διαφόρων δυσμενών συνθηκών, επιδέχεται μερική μόνο αναρρύθμιση με αντλήσεις: $15-180\mu^3/\omega\rho$ σε μόνιμη βάση των άλλων $150\mu^3/\omega\rho$ κατά την υγρή περίοδο που θα αποθηκεύονται σε μικρή τεχνητή λιμνοδεξαμενή.

R E S U M E

On a étudié les conditions géologiques et hydrogéologiques du secteur SE de Céphalonie où se trouve la source-lac de Grand Avithos, et on a constaté qu'il s'agit d'une source karstique décente qui jaillie ($25-600\text{m}^3/\text{h}$) à la base des calcaires mésozoïques, qui chevauches une formation triasique imperméable.

A partir des données hydrométriques, pluviométriques et essais de pompages, on a étudié son régime, on a déterminé son débit exploitable et aussi la façon de mise en exploitation rationnelle. On a constaté qu'il est possible d'aquérir une quantité de $150-180\text{m}^3/\text{h}$ avec un rabatement de $0,5-0,6\text{m}$, et à la période de maximum on peut pomper additionnellement $150\text{m}^3/\text{h}$ qui seront emmagasinés à un petit réservoir artificiel.

J. KOUmantAKIS: Conditions hydrogéologiques et régime de la source de Grand Avithos de Céphalonie.

* Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Τομέας Γεωλογικών Επιστημών, Πατησίων 42, Αθήνα 106 32.

Η λιμνοπηγή Μεγάλη Άβυθος βρίσκεται στη νοτιοανατολική Κεφαλονιά έξω από το χωριό Αγ.Νικόλαος και είναι γνωστή επίσης με την ονομασία Άκολη (σχ.1).

Από την ανάβλυση της πηγής σχηματίζεται μικρή λίμνη (70x 50μ. περίπου και αγνώστου βάθους), η οποία υπερχειλίζει σε υψόμετρο περίπου 288μ. και τα νερά απορρέουν προς παρακείμενο ρέμα. Οι υπερχειλίσεις είναι συνεχείς, με μεγάλες όμως δικακυμάνσεις της παροχής (30-600μ³/ωρ.). Η ανάβλυση δεν είναι ορατή δεδομένου ότι πραγματοποιείται από τα πλευρά και ίσως τον πυθμένα της λίμνης.

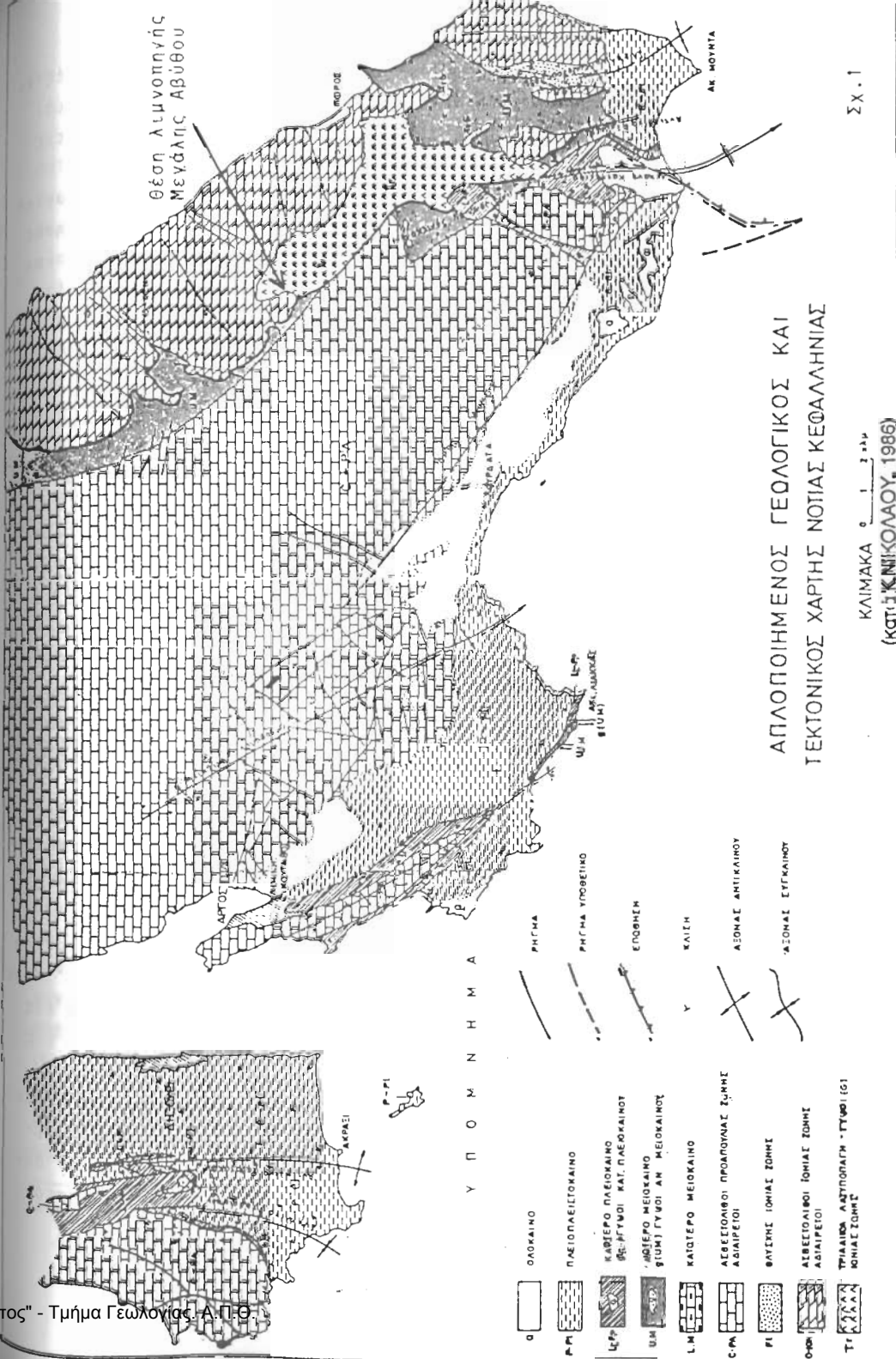
Από την λίμνη αντλούνται σήμερα σημαντικές ποσότητες νερού για την κάλυψη των υδρευτικών αναγκών τριών Κοινοτήτων. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες οι αντλούμενες ποσότητες αντιστοιχούν συνολικά σε μέση ωριαία συνεχή παροχή της τάξης των 30μ³.

Οι υπόλοιπες ποσότητες που υπερχειλίζουν και απορρέουν στο ρέμα του Αγ.Νικολάου, μαζί και με άλλες μικρότερες αναβλύσεις που τα νερά τους συγκεντρώνονται σ' αυτό, χρησιμοποιούνται, κατά ένα ποσοστό τους καλοκαιρινούς μήνες, για αρδεύσεις μικρών κήπων κατά μήκος του ρέματος και μεγαλύτερων εκτάσεων στην πεδινή περιοχή των Τζανάτων. Ολόκληρο τον υπόλοιπο χρόνο τα νερά χύνονται αχρησιμοποίητα στον Όρμο του Πόρου, παρ' όλες τις υψηλές υδατικές ανάγκες της ευρύτερης περιοχής.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ - ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Η πηγή αναβλύζει από την τοπογραφικά χαμηλότερα ζώνη της επαφής μεταξύ ασβεστολιθών της Ιονίου ζώνης και τριαδικών αργίλων-λατυποπαγών-γύψων της ίδιας ζώνης (ΣΚΑΓΙΑΣ, Σ. 1978, ΛΕΚΚΑΣ, Σ. et al. 1983, ΔΕΝΕΛΙΑΝ et al. 1984). Η επαφή αυτή είναι τεκτονική και εντάσσεται στο σύνθετο τεκτονικό σχήμα της ευρύτερης περιοχής, το οποίο είναι αποτέλεσμα του έντονου τεκτονισμού που προκλήθηκε από την επώθηση της Ιονίου ζώνης πάνω στις μειοκαινικές μάργες της Προσπούλιας και την επίπλευση-επώθηση των ανωτριάδικών-κατωουρασιικών ασβεστολιθών πάνω στον τριαδικό σχηματισμό αργίλων-λατυποπαγών-γύψων (KRENZ, B.P., I.G.M.E., D.JEKINS, W.JONES, K.ΝΙΚΟΛΑΟΥ).

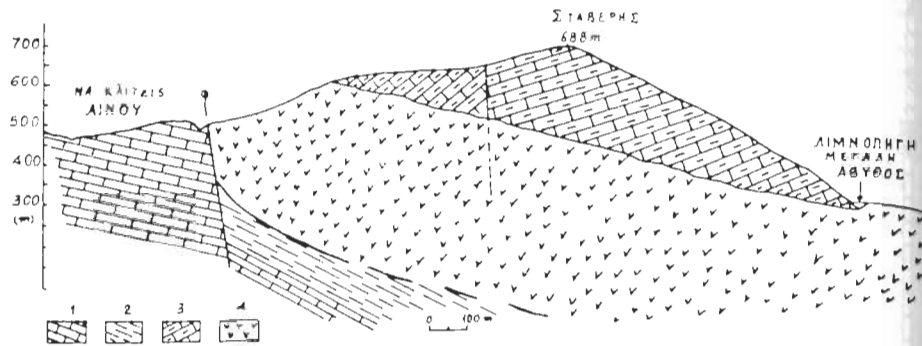
Κατά το χρόνο των επωθητικών και επιπλευτικών κινήσεων κάτω από την επίδραση ενός πεδίου συμπιεστικών τάσεων, στις ζώνες των μετώπων της μεγάλης επώθησης και της επίπλευσης δημιουργήθηκαν πολλές οριζόντιες μεταπτώσεις, οι οποίες αργότερα, μετά την εκτόνωση των τάσεων αυτών, ίσως επανέδρασαν κάτω από καθεστώς ρηγματογόνου τεκτονικής, κατά τη διάρκεια της οποίας δημιουργήθηκαν και καινο-



νικά ρήγματα.

Στη συνέχεια και μέχρι των ημερών μας οι νεοτεκτονικές κινήσεις υπό καθεστώς συμπίεσης που έχουν προσβάλλει την Κεφαλονιά (J.MERCIER et al. 1972, D.SOREL 1976, J.UNDERHILL 1985) έχουν τις επιπτώσεις τους και στην περιοχή αυτή.

Μέσα σ' αυτό, το έντονα τεκτονικά καταπονημένο γεωλογικό περιβάλλον, βρίσκεται η πηγή, πάνω στην γραμμή επίπλευσης-επώθησης των ασβεστολίθων στον πρακτικά υδροστεγανό τριαδικό σχηματισμό και σε απόσταση 1 χλμ. από το μέτωπο της μεγάλης επώθησης (σχ.2).



Σχ.2. Γεωλογική τομή στην περιοχή της Λιμνοπηγής Μεγάλης Αβύθου. 1:Ανωκρητιδικοί και ηωκαινικοί ασβεστόλιθοι Προαπούλιας ζώνης, 2:Μειοκαινικές μάργες Προαπούλιας ζώνης, 3:Ανωτριαδικοί-κατωλουργασικοί ασβεστόλιθοι Ιονίου ζώνης (μεγάλη υδροπερατότητα), 4:Τριαδικά λατυποπαγή-αργίλοι και γύψοι Ιονίου ζώνης (πρακτικά στεγανό μίγμα).

Fig.2. Coupe géologique à la région de la source-lac de Grand Avithos de Cephalonie. 1:Calcaires du Crétacé sup. et de l'Eocène de la zone Préapoulienne, 2:Marnes du Miocène de la z. Préapoulienne, 3:Calcaires du Trias sup.-Jurassique infer. de la z. Ionienne (très perméables), 4:Mélange triasique imperméable d'argiles-breches-gypses.

Η επιφάνεια επώθησης-επίπλευσης των ασβεστολίθων πάνω στα τριαδικά λατυποπαγή και αργίλους παρουσιάζει μία γενική κλίση προς τα Ακα-ΝΑκά και φαίνεται να είναι αρκετά ανώμαλη. Η μορφολογία της δεν είναι γνωστή, αλλά δεν αποκλείεται κάποιες κοίλες περιοχές της να ευνοούν τη συγκέντρωση-αποθήκευση υπόγειων νερών.

Οι επωθημένοι ασβεστόλιθοι είναι ανοικτόχρωμοι, εν μέρει ωλιθικοί και κοκκώδεις στα ανώτερα στρώματα (Λιάσιο) καλά στρωμένοι. Το πάχος τους είναι 400-500μ. και κάτω από αυτούς υπάρχουν δολομίτες που μεταπίπτουν σε παχυστρωματώδεις δολομιτικούς ασβεστόλιθους, πάχους έως 200μ.

Ολόκληρη αυτή η ανθρακική σειρά είναι έντονα αποκαρστωμένη και διαρρηγμένη και οι πλούσιες βροχοπτώσεις που πέφτουν σ' αυτήν (1500 χλσ.ετησίως*) κατεισδύουν σε μεγάλο ποσοστό (50%).

Εξ αιτίας της έντονης τεκτονικής καταπόνησης και της εξ αυτής σύνθετης τεκτονικής δομής, αλλά και του πολυδαίδαλου καρστικού δικτύου, δεν είναι δυνατόν να οριοθετηθεί από Β και Α με ακρίβεια η λεκάνη τροφοδοσίας της πηγής. Λαμβανομένου πάντως υπόψη ότι η ανοιγμένη μέση παροχή της είναι της τάξης των 41 l/s (βλ. επόμενη σελίδα) και η βροχόπτωση 1.600-1.800χλσ.*, η λεκάνη τροφοδοσίας αναμένεται να έχει εμβαδόν της τάξης του 1 Km² (ΤΟΛΕ, 1980, από ΚΑΛΛΕΡΓΗ, σελ. 2-65).

Στην περιοχή ανάβλυσης υπάρχει μία μικρή λιμνούλα, από τη δυτική ασβεστολιθική πλευρά της οποίας πραγματοποιείται η ανάβλυση. Η λιμνούλα αυτή έχει δημιουργηθεί σ' ένα στεγανό χωανοειδές βύθισμα, το οποίο πιθανότατα έχει προκύψει από διάλυση γύψου που υπήρχε στη θέση αυτή μέσα στον τριαδικό σχηματισμό και βρισκόταν σε επαφή με την πλούσια υδροφορία των ασβεστολίθων (ΣΚΑΓΙΑΣ, Σ. 1978, ΛΕΚΚΑΣ, Σ. et al. 1986).

Η άποψη αυτή, όσον αφορά τον τρόπο γένεσης της λίμνης, ενισχύεται, κατά τη γνώμη μας, από το γεγονός ότι όμοια ακριβώς βυθίσματα βρίσκονται και άλλα κατά μήκος της ζώνης του μετώπου επώθησης των ασβεστολίθων στον τριαδικό σχηματισμό. Τέτοια μεγάλα βυθίσματα βρίσκονται κοντά στα ερείπια των οικισμών Αφραγιάς και Μπενεστάτων, ανατολικά του Χαράκτιου και στη θέση Μικρή Άβυθος Κουλουράτων.

Στη Μεγάλη Άβυθο οι τοπογραφικές και γεωλογικές συνθήκες, όπως συνοπτικά περιγράφηκαν, δεν ευνοούν την παρέμβαση με κατασκευή π.χ. φράγματος και τεχνητή ανύψωση της στάθμης ώστε να έχουμε μία αναρρύθμιση της πηγής και διάθεση των νερών κατά βούληση, όπως έχει γίνει στη Μικρή Άβυθο. Επίσης για τους ίδιους λόγους δεν μπορεί να γίνει εκμετάλλευση του καρστικού υδροφόρου με γεωτρήσεις. Πέραν τούτων ήταν άγνωστη τόσο η υδρολογική διαίτα, όσο και οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής και ως εκ τούτου δεν επιτρεπόταν οποιοσδήποτε σχεδιασμός.

Ακριβώς για να γίνει δυνατός ένας σωστός σχεδιασμός για την ορθή αξιοποίηση και διαχείριση των νερών της πηγής, προγραμματίστηκαν και εκτελέστηκαν, στα πλαίσια εκτεταμένου προγράμματος υδρογεωλογικής έρευνας σε όλο το νησί, γεωλογική χαρτογράφηση σε

* Τα στοιχεία προέρχονται από βροχόμετρο που εγκαταστάθηκε στο Διγαλέτο (υψόμετρο 524μ.) και λειτουργεί από το 1985.

κλ. 1:5.000, σειρά υδρομετρήσεων (58 μετρήσεις στην περίοδο 1985-1987) και δοκιμών αντλήσεων (425 ώρες Νοέμβριος-Δεκέμβριος 1988) που αποσκοπούσαν στη μελέτη του υδρολογικού της καθεστώτος (Ι.Κουμαντάκης, 1989). Η αξιοποίηση και αξιολόγηση των στοιχείων που έχουν προκύψει δίδονται συνοπτικά στη συνέχεια.

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ

α) Υδρομετρήσεις

Με βάση τις παροχές που υπολογίστηκαν (ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ-ΜΙΜΙΔΗΣ, 1988) από τις 58 υδρομετρήσεις της περιόδου 1985-87, εκτιμήθηκαν οι εκροές που πραγματοποιήθηκαν μεταξύ 6-10-85 και 5-10-1987. Στα δύο αυτά υδρολογικά έτη οι συνολικές απορροές ανήλθαν σε $2,637 \times 10^6 \mu^3$, που αντιστοιχούν σε $1,318 \times 10^6 \mu^3$ ετησίως και μέση παροχή $150 \mu^3/\omega\rho\alpha$ (41 l/s).

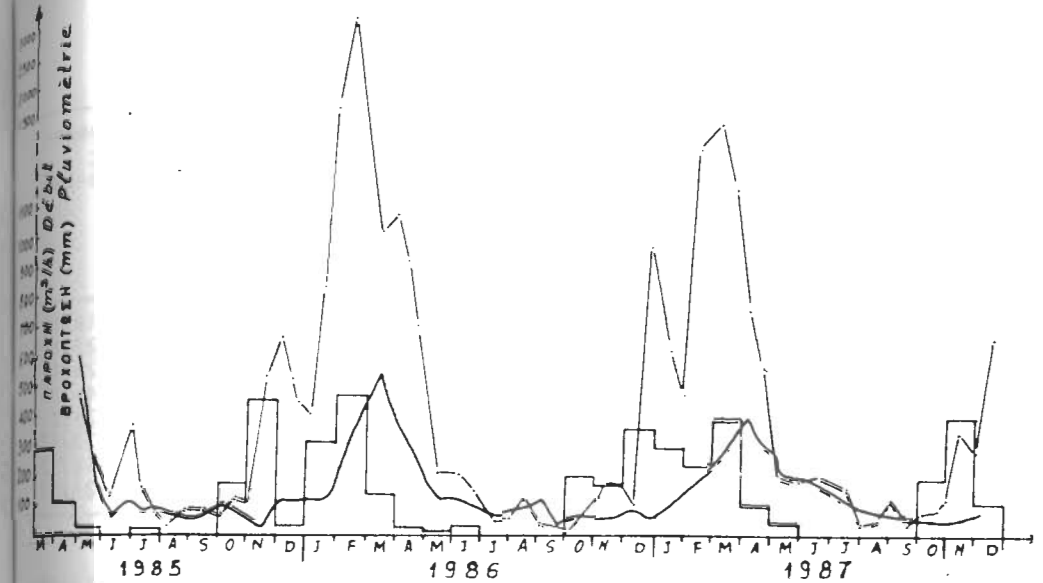
Οι ακραίες τιμές παροχής υπερχείλισης που μετρήθηκαν είναι $604,8 \mu^3/\omega\rho$. η μέγιστη (4-5-1985) και $31,1 \mu^3/\omega\rho$. η ελάχιστη (21-11-1985). Οι τιμές αυτές δίδουν λόγο 19,44 που υποδηλώνει πηγή με κακή αποθηκευτική ικανότητα και ρύθμιση της απορροής. Η αυτοαναρρόθμιση δηλαδή δεν είναι καλή. Η διαπίστωση αυτή συμφωνεί με τη γεωλογική ερμηνεία (σχ.2).

Η συσχέτιση των υδρογραμμάτων της πηγής και του ποταμιού του Αγ.Νικολάου στη θέση Τσιμούκα γεφύρι μεταξύ τους, καθώς και με το ιστόγραμμα των μηνιαίων βροχοπτώσεων στο σταθμό του Διγαλέτου (σχ.3), δείχνει ότι η πηγή αντιδρά σχεδόν όμοια με την επιφανειακή απορροή, υπακούοντας στις διακυμάνσεις των βροχοπτώσεων, αλλά με μία υστέρηση της τάξης του ένα μήνα.

Από το ίδιο διάγραμμα φαίνεται ότι η πηγή αρχίζει να αντιδρά με ουσιαστική αύξηση της παροχής της, όταν οι βροχοπτώσεις που ακολουθούν την ξηρή περίοδο ξεπεράσουν αθροιστικά τα 600-700 mm. Οι διαπιστώσεις αυτές δεν συμφωνούν με τη διαπιστωμένη κακή αποθηκευτική ικανότητα του καρστικού υδροφορέα και η ερμηνεία τους, ίσως πρέπει να αναζητηθεί στην κακή μεταβιβαστικότητα ενός τμήματος της ζώνης αερισμού.

Από το συσχετισμό των διαγραμμάτων μεταβολής των θερμοκρασιών του νερού της πηγής και του αέρα στο περιβάλλον της, διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία του νερού επηρεάζεται ελάχιστα από τις μεταβολές των θερμοκρασιών του αέρα. Η θερμοκρασία του νερού παρέμεινε καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων με τιμές $15 \pm 1,5^\circ\text{C}$, ενώ η θερμοκρασία του αέρα κυμάνθηκε μεταξύ $7,2$ και $34,4^\circ\text{C}$. Η διαπίστωση αυτή δηλώνει σημαντικό πάχος υπερκείμενων ασβεστολιθών

πάνω από τον καρστικό υδροφορέα που εκτονώνει η πηγή.



Σχ.3. Διακύμανση παροχών Μεγάλης Αβύθου — και ποταμού Αγ.Νικολάου στη θέση Τσιμούκα Γεφύρι - - -. Ιστόγραμμα βροχοπτώσεων σταθμού Διγαλέτου.
Fig.3. Variations du débit de la source de Grand Avithos — et du cours d'eau d'Ag.Nikolaos - - - en fonction du temps et de la pluviométrie (histogramme) de la Station de Digaléto.

β. Αντλητικές δοκιμές

Στον πίνακα I δίδονται τα κύρια στοιχεία των αντλητικών δοκιμασιών που έγιναν στη λίμνη και ορισμένα χαρακτηριστικά τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία των δεδομένων, όπως π.χ. οι ταχύτητες πτώσης και επανόδου στάθμης και η ειδική ικανότητα (q) συναρτήσει των παροχών άντλησης (Q).

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα αυτού συντάχθηκαν τα διαγράμματα μεταβολής της πτώσης της στάθμης (Δh), της μέσης ταχύτητας πτώσης της στάθμης (U_M) και της ειδικής ικανότητας ($q=Q/\Delta h$) σε σχέση με την παροχή άντλησης (Q) (βλ.σχ.4).

Από τη μελέτη των δεδομένων του πίνακα και των διαγραμμάτων των αντλητικών δοκιμασιών προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:
1. Για μικρές τιμές Q η πτώση στάθμης είναι πολύ μικρή και η υπερχείλιση δεν διακόπτεται. Στην περίοδο που έγιναν οι αντλήσεις, οι παροχές αυτές έφθασαν έως τα $110 \mu^3/\omega\rho$. περίπου, η μέγιστη

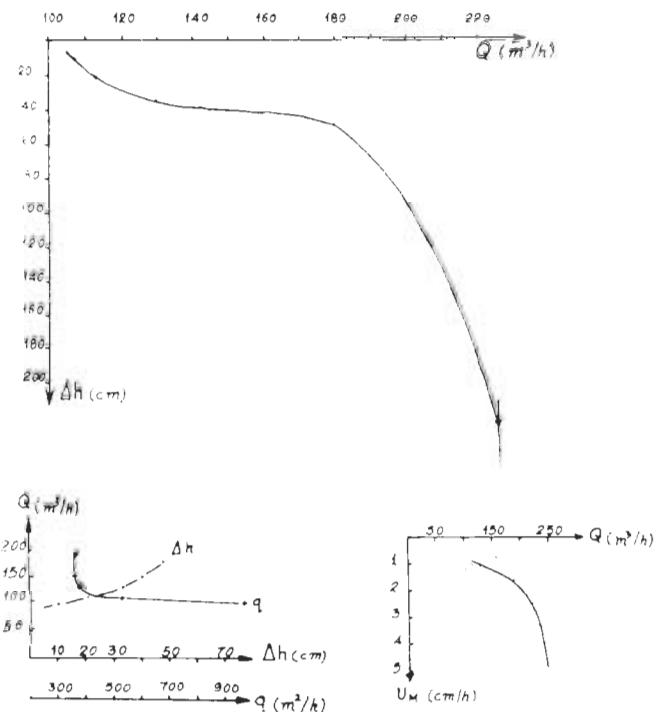
πτώση στάθμης έως 20εκ. και η μέση ταχύτητα πτώσης της στάθμης 1 έως 1,2 εκ./ωρ.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ι. Στοιχεία αντλητικών δοκιμασιών λίμνης περιόδου 16/11 έως 21/12/1988

Παροχή άντλησης Q $\mu^3/\omega\rho.$	Διάρκεια άντλησης (ώρες)	Πτώση στάθμης (εκ.) Δh	σταθεροποίηση δυναμικής στάθμης	Ταχύτητα πτώσης στάθμης		Ταχύτητα επανόδου στάθμης		$q = \frac{Q}{\Delta h}$ ($\mu^2/\omega\rho$)	Ημερομηνίες (από-έως)
				U	U_M	V	V_m		
113*	34	21	ναι	1	1	2		538	16-18/11
500	3	41	οχι	17	-	4			26-27/11
107*(99)	13	11	ναι	1,22	1,22	1	1	972	27-28/11
226	70	200	οχι	3,6	2,5	4,8			28-4/12
130	46	34	ναι	1,3	1,1	4	2,3	382	5-7/12
160(149)	77,5	40	ναι	1,4	0,74	5,25	2,76	372	8-12/12
180	72	48	ναι	5,5	1,6	6	4	375	12-16/12
250	41	190	οχι	6,75	4,63	5,7			17-21/12

U = ταχύτητα πτώσης στάθμης κατά τις πρώτες ώρες άντλησης
 U_M = μέση ταχύτητα πτώσης στάθμης
 V = ταχύτητα επανόδου στάθμης μέχρι τη στιγμή της έναρξης υπερχειλίσεως
 V_M = μέση ταχύτητα επανόδου στάθμης
 $*$ = δεν διακόπηκε η υπερχείλιση από τη τάφρο.

2. Στην περιοχή των μικρών τιμών Q , η ειδική ικανότητα (q) είναι πολύ μεγάλη ($q > 500 \mu^3/\omega\rho.\mu$ όταν $Q < 110 \mu^3/\omega\rho.$). Αυτό δηλώνει πολύ υψηλή υδατανγωγιμότητα (μεταβιβαστικότητα) του υδροφόρου και ασυνήθιστα υψηλό δυναμικό (Γ.ΚΑΛΛΕΡΓΗ, σελ.4-119). Για $Q > 130 \mu^3/\omega\rho.$ η ειδική ικανότητα διατηρεί μεν πάντα υψηλές τιμές ($350-400 \mu^3/\omega\rho.\mu$) αλλά η ελάττωσή της είναι σημαντική και πραγματοποιείται πολύ απότομα.
3. Για $Q < 150 \mu^3/\omega\rho$ η μέση ταχύτητα πτώσης της στάθμης είναι της τάξης μεγέθους του 1 εκ/ωρ. Για $Q > 150 \mu^3/\omega\rho$ η μέση ταχύτητα πτώσης της στάθμης αυξάνεται με την αύξηση των τιμών των Q και η τάξη μεγέθους της δίδεται από την εξίσωση: $U_M = (Q-153)/21$.
4. Η χαρακτηριστική καμπύλη $Q-\Delta h$, δείχνει ότι αν η λιμνοπηγή θεωρηθεί σαν ένα μεγάλο αντλούμενο πηγάδι, η κρίσιμη παροχή άντλησης βρίσκεται στην περιοχή των $180 \mu^3/\omega\rho$ και η αντίστοιχη πτώση στάθμης ισούται με 50-60 εκ.



Σχ.4. Διαγράμματα μεταβολής της πτώσης της στάθμης (Δh), της ειδικής ικανότητας ($q=Q/\Delta h$) και της μέσης ταχύτητας πτώσης της στάθμης (U_M) σε σχέση με την παροχή άντλησης της λιμνοπηγής Μεγάλης Αβύθου.
 Fig.4. Diagrammes de relations entre débit de pompages (Q) du lac de Grand Avithos et du rabatement (Δh), débit spécifique (q), et vitesse moyenne du rabatement (U_M).

Υ. Σχέση βροχοπτώσεων - παροχών Αβύθου

Για τη μελέτη της σχέσης των βροχοπτώσεων με την παροχή της πηγής, έγινε με τη μέθοδο των γραμμικών συσχετίσεων, η συσχέτιση αθροιστικών βροχοπτώσεων (ΣΙ σε χιλιοστά) και αθροιστικών παροχών ($\Sigma O \mu^3 \cdot 10^3$) των υπερχειλίσεων της πηγής και διαπιστώθηκε ότι η εξίσωση που προκύπτει καθώς και η αντίστοιχη ευθεία δεν εκφράζουν με αποδεκτό τρόπο τη μελετούμενη σχέση ΣQ-ΣΙ.

Για το λόγο αυτό έγινε επεξεργασία των δεδομένων του υδρολογικού έτους 1985-86 με ηλεκτρονικό υπολογιστή, με σκοπό να προσδιοριστεί η εξίσωση που εκφράζει με την μέγιστη δυνατή προέγνιση τη σχέση των βροχοπτώσεων με τις απορροές της πηγής για το

συγκεκριμένο υδρολογικό έτος.

Από τη διερεύνηση του υπολογιστή προσδιορίστηκε ότι η βέλτιστη σχέση είναι εκθετική, της μορφής: $Y = A \times e^{(BX)}$, όπου $Y =$ αθροιστική παροχή ($\Sigma Q \times 10^6 \text{ m}^3$) και $X =$ αθροιστική βροχοπτώση ($\Sigma I \times 10^3 \text{ mm}$), $A = 57,39$ και $B = 1,84 \times 10^{-3}$.

Η εξίσωση δηλαδή που ισχύει για το υδρολογικό έτος 1985-86 είναι:

$$\Sigma Q = 57,39 e^{1,84 \cdot 10^{-3} \cdot \Sigma I} \quad (\text{συντελ.συσχέτισης } 0,987).$$

δ. Σχέση παροχών και βροχοπτώσεων με το χρόνο

Από τη μελέτη των διαγραμμάτων των μεταβολών των βροχοπτώσεων και των παροχών της πηγής σε συνάρτηση με το χρόνο για τα υδρολογικά έτη που υπάρχουν μετρήσεις, προκύπτει ότι:

1. Ουσιαστική αύξηση της παροχής της πηγής εμφανίζεται όταν η ετήσια βροχοπτώση ξεπεράσει τα 600-700 χλσ.
2. Η περίοδος των μεγάλων παροχών ($130-600 \mu^3/\omega\rho$) τοποθετείται μεταξύ Φεβρουαρίου και Απριλίου (ή Μαΐου στις χρονιές όψιμων βροχοπτώσεων) και κατά τη διάρκειά της εκρέει περίπου το 55% των συνολικών ετήσιων απορροών της πηγής, το οποίο καταλήγει αχρησιμοποίητο στη θάλασσα.
3. Η περίοδος των μικρών παροχών ($25-100 \mu^3/\omega\rho$) τοποθετείται μεταξύ Ιουνίου και Δεκεμβρίου (ή Ιανουαρίου στις χρονιές με όψιμες βροχοπτώσεις). Κατά τη διάρκεια των 7 έως 8 αυτών μηνών οι ποσότητες που εκρέουν από την πηγή είναι της τάξης του 20% των συνολικών ετήσιων εκροών της και χρησιμοποιούνται, κατά το ήμισυ περίπου, για ύδρευση καθ'όλη την περίοδο και άρδευση τους καλοκαιρινούς μήνες.
4. Το 80% των ετησίων εκροών πραγματοποιείται έως το τέλος Απριλίου ή έως το τέλος Μαΐου ανάλογα με τη χρονιά και ισοδυναμεί με $0,9-1 \times 10^6 \mu^3$. Σε χρονιές πολύ φτωχών βροχοπτώσεων, όπως το 1938-89, η εικόνα αυτή προφανώς μεταβάλλεται.

ε. Καμπύλες εξάντλησεως αποθεμάτων

Για την εκτίμηση των όγκων των υπόγειων νερών που αποθηκεύονται ετησίως στον υδροφορέα που εκτωνώνεται από την πηγή, χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος MAILLET. Σύμφωνα μ' αυτή μετά το πέρας των εποχιακών βροχοπτώσεων, η καμπύλη πτώσης των παροχών συνάρτησε του χρόνου, εκφράζεται από τη σχέση:

$$Q_t = Q_0 e^{-at}$$

όπου Q_t είναι η παροχή σε $\mu^3/\delta\tau\lambda.$ σε μία χρονική στιγμή
 Q_0 είναι η παροχή στην αρχή της εξάντλησεως ($t=0$) σε $\mu^3/\delta\tau\lambda.$
 e είναι η βάση των νεπερίων λογαρίθμων ($=2,718$) και
 a ο συντελεστής εξάντλησης, ο οποίος ισούται με $1/T$, όπου T είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ελάττωση της αρχικής παροχής από 1 σε $1/e$ της αρχικής τιμής της.

Με τη βοήθεια των υδρομετρήσεων των υδρολογικών ετών για τα οποία διατίθενται μετρήσεις κατασκευάστηκαν τα διαγράμματα $Q-t$, με τη βοήθεια των οποίων υπολογίστηκαν οι συντελεστές εξάντλησης ως εξής:

· για το 1960-61* : $Q = 0,096 e^{-0,00651 t}$	$a = 0,00651$
· για το 1984-85 : $Q = 0,027 e^{-0,007 t}$	$a = 0,007$
· για το 1985-86 : $Q = 0,024 e^{-0,0049 t}$	$a = 0,0049$
· για το 1986-87 : $Q = 0,072 e^{-0,0104 t}$	$a = 0,0104$

Με ολοκλήρωση των παραπάνω εξισώσεων για χρόνο $t=0$ υπολογίστηκαν τα ρυθμιστικά αποθέματα V από τη σχέση: $V=86400 Q/a$ ως εξής:

· 1960-61: $1.273 \times 10^3 \mu^3$	· 1985-86: $420 \times 10^3 \mu^3$
· 1984-85: $338 \times 10^3 \mu^3$	· 1986-87: $596 \times 10^3 \mu^3$

Για τα υδρολογικά έτη 1985-86 και 1986-87 που διατίθενται ικανοποιητικές σειρές υδρομετρήσεων, υπολογίστηκε ότι οι πραγματικές ετήσιες εκροές της πηγής (που για πηγές συνεχούς ροής όπως η μελετούμενη είναι μικρότερες των ρυθμιστικών αποθεμάτων) είναι της τάξης των $1.420 \times 10^3 \mu^3$ το 1985-86 και $1.232 \times 10^3 \mu^3$ το 1986-87.

Με βάση τα προαναφερθέντα προκύπτει ότι:

1. Ο υπολογισμός των ρυθμιστικών αποθεμάτων από τις καμπύλες εξάντλησης με τη μέθοδο MAILLET, δεν δίδει αξιόπιστα αποτελέσματα για συστήματα όπως αυτό που μελετήθηκε.
2. Τα ρυθμιστικά αποθέματα της πηγής μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από χρόνο σε χρόνο, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στην ανομοιογενή κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του υδρολογικού έτους, από έτους σε έτος.

* Με βάση υδρομετρήσεις της Υ.Ε.Β.

έτους, από χρόνο σε χρόνο.

9. Υπό συνθήκες άντλησης της λίμνης, σε περίοδο χαμηλών νερών, διαπιστώθηκε ότι με μικρές παροχές, κάτω των $110 \mu^3/\omega\rho$, η πτώση της στάθμης είναι μικρή (μέχρι 20 εκ), η μέση ταχύτητα πτώσης 1 έως 1,2 εκ/ωρ και η εκροή από το αυλάκι υπερχειλίσης ελαττώνεται μεν αλλά δεν διακόπτεται. Για τις μικρές αυτές παροχές άντλησης η ειδική ικανότητα είναι πολύ μεγάλη, ενώ για παροχές μεγαλύτερες των $130 \mu^3/\omega\rho$ διατηρείται μεν πάντα υψηλή ($350-400 \mu^2/\omega\rho$), αλλά η ελάττωσή της είναι σημαντική και πραγματοποιείται πολύ απότομα.
10. Αν η λίμνη θεωρηθεί σαν ένα μεγάλης διαμέτρου αντλούμενο πηγάδι, η κρίσιμη παροχή άντλησης βρίσκεται στην περιοχή των $180 \mu^3/\omega\rho$. Για την παροχή αυτή αντιστοιχεί πτώση της στάθμης 50-60 εκ, πτώση για την οποία δεν δημιουργείται θέμα ευστάθειας των πρανών της λίμνης.
11. Τα νερά της λιμνοπηγής είναι από χημική άποψη πολύ καλής ποιότητας. Στην περιφερειακή της όμως ζώνη, καθώς και γύρω από αυτήν, υπάρχει πυκνή βλάστηση από υδροχαρή φυτά, από τη σήψη των οποίων δημιουργείται στον πυθμένα οργανική ύλη και παραγωγή υδρόθειου.
12. Με βάση όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι χωρίς παρέμβαση στο καθεστώς λειτουργίας της πηγής, οι ποσότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν, πέραν απ'αυτές που ήδη αντλούνται για ύδρευση των γειτονικών Κοινοτήτων (περίπου $30 \mu^3/\omega\rho$), είναι πολύ περιορισμένες. Υπάρχουν χρονικές περίοδοι κατά τις οποίες η παροχή υπερχειλίσης μπορεί να πέσει και κάτω των $30 \mu^3/\omega\rho$. Οι ποσότητες αυτές χρησιμοποιούνται για αρδεύσεις στην κατάντη περιοχή. Υπό το υφιστάμενο επομένως καθεστώς λειτουργίας και αξιοποίησης των απορροών της λιμνοπηγής, πάνω από το 90% του ετήσιου υδατικού δυναμικού της παραμένει ανεκμετάλλευτο και τα νερά χύνονται στη θάλασσα.
13. Η υδατική οικονομία της περιοχής επιβάλλει την κατά το δυνατόν πληρέστερη αξιοποίηση και εκμετάλλευση των νερών της πηγής και τη διάθεσή τους κατά προτεραιότητα για κάλυψη υδρευτικών αναγκών.
14. Για τους λόγους αυτούς επιβάλλεται να δεσμευθεί ποσότητα $150-180 \mu^3/\omega\rho$, η οποία με αντλήσεις από τη λίμνη σε μόνιμη βάση να διατεθεί για κάλυψη υδρευτικών αναγκών των γειτονικών κοινοτήτων και μεταφορά του περισσεύματος με αγωγό στην περιοχή Σάμης-Χαλιωτάτων-Πουλάτων-Καραβόμυλου, η οποία αδυνατεί να κά-

λύσει εξ ιδίων υδατικών πόρων τις ανάγκες της, λόγω διεύδυσης της θάλασσας στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

15. Κατά την περίοδο των πλούσιων εκροών της πηγής (Φεβρουάριος-Μάιος) μπορεί να αντλούνται συμπληρωματικά άλλα $150 \mu^3/\omega\rho$ και μέσω του ίδιου αγωγού να οδηγούνται προς τα βόρεια και να αποθηκεύονται σε μικρή τεχνητή λίμνη που είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στην περιοχή της Μικρής Αβύθου Κουλουράτων με κατασκευή μικρού φράγματος παρά την πηγή Μιχαλίτσα.
16. Οι επί πλέον ποσότητες που θα απορέουν με φυσική ροή από την λιμνοπηγή μπορούν να αποθηκευθούν σε τεχνητή λίμνη που είναι δυνατόν να δημιουργηθεί με κατασκευή φράγματος στην περιοχή Τσιμπούκα Γεφύρι. Στην τεχνητή αυτή λίμνη θα αποθηκεύονται και οι επιφανειακές απορροές της υδρολογικής λεκάνης του χειμάρρου, έκτασης 30 χλμ^2 , που εκτιμούνται σε $2,8 \times 10^6 \mu^3$ ετησίως.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- B.P. Co LTD (1966). Γεωλογικός χάρτης Κεφαλονιάς και Ιθάκης κλίμακας 1:100.000.
- B.P. Co LTD (1971). Γεωλογικά αποτελέσματα εκ της ερεύνης δι'αναζήτησιν πετρελαίων εις Ώπτικήν Ελλάδα. ΕΡΜΕ, "Ευδικαύ μελέται επί της γεωλογίας της Ελλάδος" Νο 10.
- ΔΑΝΕΛΙΑΝ, Γ., ΔΑΡΟΥΤΣΟΣ, Σ., ΚΑΚΑΛΕΤΣΗ, Χ., ΠΑΠΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Φ., ΣΑΚΕΛΑΡΙΟΥ, Δ., ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Χ. (1934). Υδρογεωλογικές παρατηρήσεις στη νότιο Κεφαλληνία. Διπλωματική εργασία. Γεωλογικό Τμήμα Πανεπιστημίου Αθηνών, σελ.63.
- ΦΡΑΓΚΟΠΟΥΛΟΣ, Ι. και ΜΑΛΕΦΑΚΗΣ, Σ. (1963). Υδρογεωλογική και γεωχημική μελέτη νήσου Κεφαλληνίας. Δελτ.Επιστ.Ερευνών Ι, Υπ.Γεωργίας, σελ.303.
- Ι.Γ.Μ.Ε. (1985). Γεωλογικός χάρτης Κεφαλονιάς, κλ. 1:50.000.
- JENKINS, D.A. (1972). Structural development of Western Greece. *A.A.P.G. 56/1, p.128-149.*
- JONES, W.D.V. (1965). The stratigraphy and Structure of central-western Greece.
- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1936). Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία. Έκδοση Τ.Ε.Ε.
- ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι., ΜΙΜΙΔΗΣ, Θ. (1983). Έρευνα υπόγειας υδροφορίας Κεφαλονιάς: Ερευνητικές γεωτρήσεις 1ης φάσης. Πηγές-Επιφανειακές απορροές. Υδροχημεία. (2 τεύχη). Ε.Μ.Πολυτεχνείο.
- ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι. (1989). Έρευνα υπόγειας υδροφορίας Κεφαλονιάς: Καθεστώς λειτουργίας λιμνοπηγής Μεγάλης Αβύθου-Προτάσεις αξιοποίησης νερών νοτιοανατολικής Κεφαλονιάς. Ε.Μ.Πολυτεχνείο.
- ΛΕΚΚΑΣ, Σ., ΚΑΡΟΤΣΙΕΡΗΣ, Ζ., ΑΛΕΞΟΠΟΥΛΟΣ, Α. (1983). Προκαταρκτική έκθεση για την αναγνωριστική υδρογεωλογική μελέτη της νήσου Κεφαλληνίας (δακτυλ.έκθεση 8 σελ., γεωλ.χάρτης 1:25.000). Νομαρχία Κεφαλληνίας.
- MAURIN, V. and ZOETL, J. (1965). Salt Water Encroachment in the Low altitude Karst Water Horizons of the island of Kephallinia (Ionian Islands). *Hydrology of Fractured rocks, Vol.II. Proceedings of the Dubrovnik Symposium, pp.423-438.*
- MERCIER, J., BOUSQUET, B., DELIBASSIS, N., ΔΡΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, Ι., ΚΕΡΑΥ-

- REN, B., LEMEILLE, F. et SOREL, D. (1972). Déformation en compression dans le quaternaire des rivages ioniens (Cephalonie, Grèce). *Données néotectoniques et séismiques. Bull.Soc.Geol. Gr.V, XI 1972* και *C.R.A.S.Sc.Paris*.
- MIMIΔΗΣ, Θ., ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ, Ι. (1990). Κύριες χωροχρονικές διεργασίες των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων της Κεφαλονιάς. 4ο Πανελλήνιο Συνέδριο της Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης, Ηράκλειο.
- ΝΙΚΟΛΑΟΥ, Κ. (1986). Συμβολή στη γνώση του νεογενούς και της νεωλογίας και οριοθέτηση των ζωνών Ιόνιας και Προαπούλιας σε σχέση με πετρελαιογεωλογικές παρατηρήσεις κυρίως στα νησιά Στροφάδες, Ζάκυνθο, Κεφαλληνία. *Διπλωματική Εργασία*. Παν/μιο Αθηνών.
- RENZ, C. (1913). Die Entwicklung des Juras auf Kephallinia. In: *Mitteilungen aus d. Jahrbuch d. K. K. Österreich. geologischen Reichsanstalt, XXI*.
- ΣΚΑΓΙΑΣ, Σ. (1978). Απογραφή καρστικών πηγών Πελοποννήσου και Ιονίων Νήσων. ΙΓΜΕ, "Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Μελέτες".
- SOREL, D. (1976). Etude Néotectonique dans l'arc Egeen externe occidental. *Univ.Paris XI (These 3ème cycle)*.
- UNDERHILL, J. (1985). Neogene and Quaternary tectonics and sedimentation in Western Greece. *Thesis Ph.D.Univ. of Wales*.
- ΖΕΡΒΟΓΙΑΝΝΗΣ, Γ., ΜΑΛΕΦΑΚΗΣ, Ι. (1984). Μελέτη δυνατοτήτων ίδρυσης μονάδας εμφιάλωσης νερού στην Κεφαλονιά. Νομαρχία Κεφαλληνίας.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Τον Π.Κοκκινάκη που έκανε τις μετρήσεις των παροχών, και τον Κ.Σαχπάζη που επεξεργάστηκε με ηλεκτρονικό υπολογιστή τα βροχομετρικά δεδομένων σε συνάρτηση με την παροχή της πηγής, ευχαριστώ θερμώς.