

ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΝΕΡΩΝ ΣΤΗ ΝΑΞΟ

Ι. Κουμαντάκης*, Θ. Μιμίδης** και Α. Καπλανίδης***

ΣΥΝΟΨΗ

Μελετήθηκαν οι υδρογεωλογικές συνθήκες και το υδρολογικό ισοζύγιο της παραθαλάσσιας προσαγματικής πεδιάδας Λειβαδιού Νάξου και διαπιστώθηκε ότι η κύρια πηγή τροφοδοσίας του υπογείου υδροφόρου οριζοντιά της αποτελεί η απ' ευθείας κατείδυση της βροχής, ενώ η συμμετοχή των διηθήσεων του χειμάρρου Παρατρέχου που την διασχίζει είναι μικρή. Υπολογίστηκε ότι από το σύνολο των $5,46 \times 10^6 \text{ m}^3$ των ετήσιων απορροών του, μόνο το 15% διηθείται, ενώ το υπόλοιπο χύνεται στη θάλασσα. Διαπιστώθηκε ότι η δημιουργία ελλειμματικού ισοζυγίου υπόγειων νερών λόγω υπεραντήσεων, έχει οδηγήσει σε έντονη υφασμύρωση τους, από διείσδυση της θάλασσας.

Υπ' αυτές τις συνθήκες η αποθήκευση μέρους των χειμερικών απορροών σε τεχνητή λιμνοδεξαμενή, με κατασκευή φράγματος παρά το Τσικαλαρείδι, και διάθεση του νερού για αρδύσεις, θα οδηγήσει σε δημιουργία πλεονασματικού ισοζυγίου υπόγειων νερών. Από την έρευνα διαπιστώθηκε ότι η θέση του φράγματος και της λιμνοδεξαμενής παρουσιάζουν ευνοϊκές γεωλογικές, τεχνικογεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες.

ABSTRACT

The hydrogeology and the water balance of the coastal alluvial plain of Livadi Naxos, were studied and it was found out that the main source of recharge to its subsurface aquifer comes from direct rainfall infiltration. The participation of the main plain torrent, Paratrechos, to the whole infiltration procedure, in the form of influent recharge, is small and is estimated to be the 15% of its annual runoff ($5,4 \times 10^6 \text{ m}^3$). The rest of it (85%) flows directly into the sea. Due to groundwater mining a deficit in groundwater budget has been created, leading to seawater intrusion. Pollution phenomena have been observed due to fertilizers and waste discharges.

The retainment of winter runoff in the Tsikalario's reservoir will contribute to a better management of water budget, releasing water, according to deficiency and providing part of it for artificial groundwater recharge of the aquifer of Livadi considering it as a unique geological porous formation. The reservoir site at Tsikalario displays favourable geological, geotechnical and hydrogeological conditions.

* Ε.Μ.Π., Τομέας Γεωλογικών Επιστημών

** Γ.Π.Α., Τομέας Διαχείρισης Υδατικών Πόρων

*** Υπουργείο Γεωργίας - ΥΕΒ, Τμήμα Τεχνικής Γεωλογίας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, το θέμα της παράλληλης αξιοποίησης επιφανειακών και υπόγειων νερών αποτελεί ένα από τους βασικούς κανόνες της διαχείρισης των υδατικών πόρων.

Η αξία αυτού του κανόνα γίνεται, μέρα με τη μέρα, όλο και πιο κατανοητή και η ανάγκη εφαρμογής του απαραίτητη. Σε ειδικές μάλιστα περιπτώσεις, η άμεση αντιμετώπιση συγκεκριμένων καταστάσεων και προβλημάτων που έχουν δημιουργηθεί ή προβλέπεται η εμφάνισή τους, η συνδυασμένη διαχείριση υπόγειων και επιφανειακών νερών, με τη λήψη των απαραίτητων για κάθε περίπτωση μέτρων, είναι αναγκαία και συχνά επιτακτική.

Ακριβώς μια τέτοια περίπτωση αφορά η μελέτη αυτή και αναφέρεται στις ειδικές υδρογεωλογικές συνθήκες του προσχωματικού παραθαλάσσιου υδροφόρου της πεδιάδας Λειβαδιού Νάξου, σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που παρέχονται για την αξιοποίηση των επιφανειακών απορροών των γειτονικών υδρολογικών υπολεκάνων, που, μαζί μ' αυτή του Λειβαδιού, αποτελούν την υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Παρατρέχου (σχ. 1 και 2).

Τα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί αφορούν τη δημιουργία ελλειμματικού ισοζυγίου υπόγειων νερών στον κάμπο, λόγω υπεραντλήσεων, που οδήγησαν στη διεύδυση της θάλασσας στο υδροφόρο και στην έντονη ποιοτική υποβάθμιση των νερών.

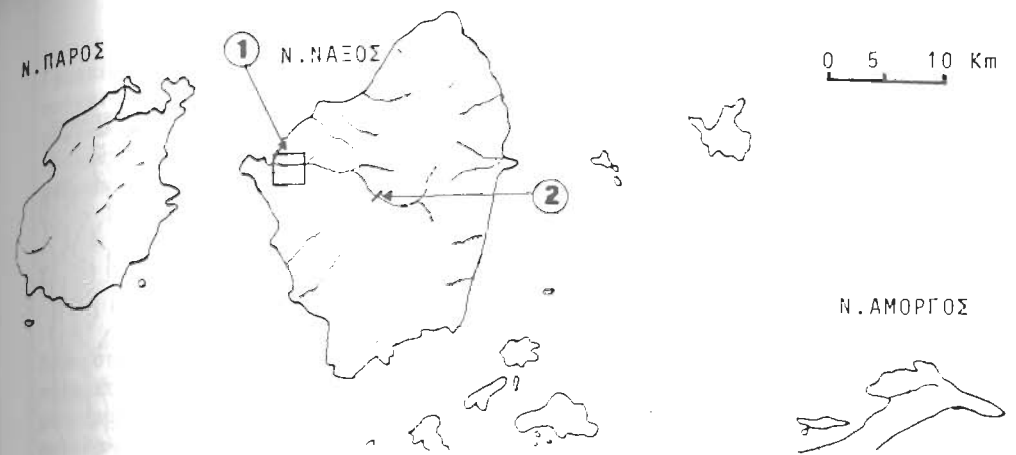
ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η Νάξος γεωτεκτονικά ανήκει στην Αττικοκυκλαδική μάζα. Αποτελείται κυρίως από κρυσταλλοσχιζοτάπητα μεταμορφωμένα πετρώματα διαφόρων φάσεων, μιγματίτες υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης, γρανοδιორίτες και λίγα υπερβασικά και νεογενή πετρώματα, (Ι. ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Ι. JANSEN, S. DÜRR et al.).

Το κεντρικό τμήμα του νησιού, όπου βρίσκεται και η θέση του φράγματος Τσικαλαρειού (σχ. 1), καταλαμβάνεται από ένα μεταμορφωμένο σύστημα, ο πυρήνας του οποίου αποτελείται από ένα μιγματικό δόμο, ελειψοειδούς σχήματος.

Ο μιγματίτης έχει προκάμβριο ηλικία, μετακινήθηκε με τις πρώτες αλπικές κινήσεις και ένα τμήμα του ανακρυσταλλώθηκε (Dürr, 1979). Πάνω από τον πυρήνα του μιγματίτη παρουσιάζεται μια σειρά από γνεύσιους, μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους και μάρμαρα. Οι πάγκοι των μαρμάρων εναλλάσσονται με τους σχιστολίθους. Γενικά, στα κατώτερα τμήματα επικρατούν οι σχιστολίθοι, ενώ στα ανώτερα τα μάρμαρα, τα οποία περικλείουν τα γνωστά κοιτάσματα της σμύριδας.

Το δυτικό τμήμα της κεντρικής Νάξου, όπου βρίσκεται η υπολεκάνη του Λειβαδιού (σχ. 1 και 2), δομείται από γρανοδιორίτες (Jansen, 1977).



Σχήμα 1. Θέση περιοχής κάμπου Λειβαδιού (1) και φράγματος Τσικαλαρειού (2).
Figure 1. Location of Livadi's area (1) and site of Tsikalario's reservoir (2).

Στην παραλιακή περιοχή του Λειβαδιού και στις κοίτες των χειμάρρων απαντούν αλλούβια, πλευρικά κορήματα, κώνοι κορημάτων, θίνες και λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις.

Από πλευράς σεισμικότητας, η Νάξος κατατάσσεται στις περιοχές του ελληνικού χώρου με ασθενή σεισμική δράση, σε σχέση με άλλες ζώνες.

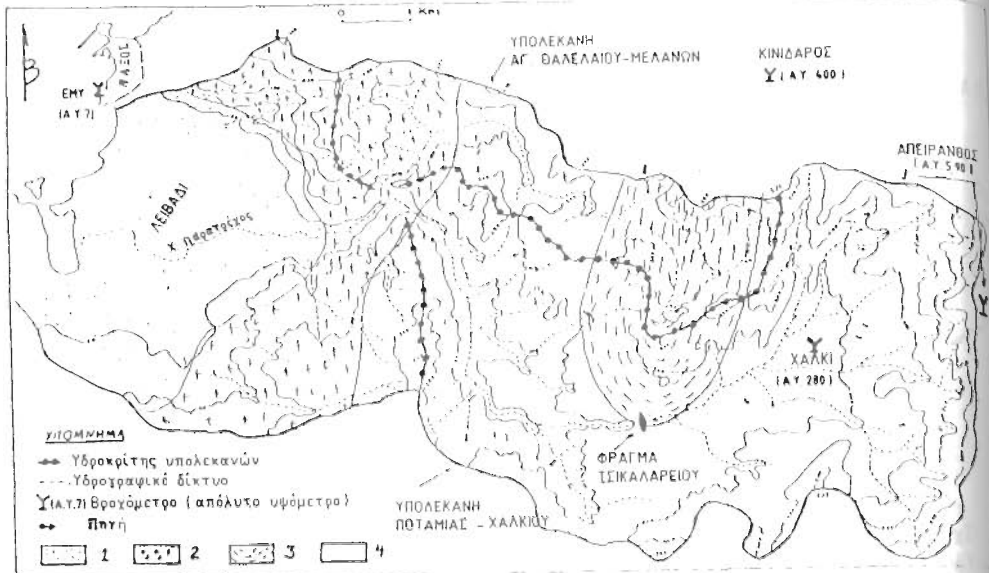
ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ ΛΕΙΒΑΔΙΟΥ

Η υπολεκάνη του Λειβαδιού αποτελεί το χαμηλότερο τμήμα της υδρολογικής λεκάνης του χειμάρρου Παρατρέχου. Το ολικό εμβαδόν της υπολεκάνης είναι 18,5 χλμ.², από τα οποία 12 χλμ.² είναι πεδινά και μόνο 6,5 χλμ.² λοφώδη, περιοριζόμενα στις παρυφές της. Τα μέγιστα υψόμετρα είναι στη βόρεια πλευρά 334 μ. και στα ΝΑ 268 μ. Το απόλυτο υψόμετρο στο πεδινό τμήμα σπάνια ξεπερνά τα +5 μ., ενώ οι κοίτες των χειμάρρων (1ης τάξης) συνήθως έχουν βάθος 1-1,5 μ.

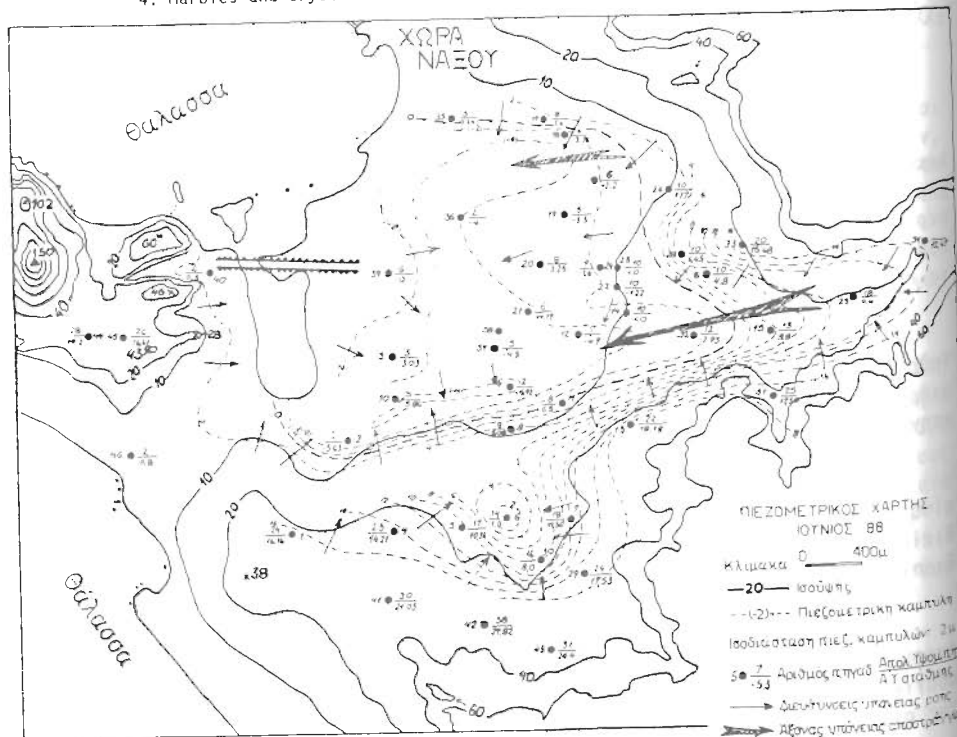
Η πληθυσμιακή πυκνότητα της υπολεκάνης του Λειβαδιού είναι μεγάλη. Υπάρχουν, εκτός από την πόλη της Νάξου άλλα 4 χωριά. Ο συνολικός πληθυσμός ανέρχεται σε 6.000 κατοίκους, περίπου, που ασχολούνται με τη γεωργία, την κτηνοτροφία και τις τουριστικές επιχειρήσεις.

Η επέμβαση του ανθρώπου στις υδρολογικές συνθήκες και στο περιβάλλον είναι πολύ σημαντικές, όπως θα δούμε στη συνέχεια (μόλυνση - ρύπανση και διεύδυση της θάλασσας). Οι επιπτώσεις από τη διεύδυση της θάλασσας έχουν διαπιστωθεί από παλαιότερα (Ν. ΚΟΥΡΜΟΥΛΗΣ, 1973).

Στην πεδιάδα υπάρχουν περίπου 1.200 πηγάδια, αρκετές δε γεωτρήσεις αναρύσσονται τον τελευταίο καιρό στα μάρμαρα των παρυφών, για ενίσχυση της υδατικής ζήτησης, λόγω στέρησης των πηγαδιών, που οφείλεται στη συνεχή πτώση της στάθμης των υπόγειων νερών, εξαιτίας των υπεραντλήσεων.



Σχ. 2. Υδρολογική λεκάνη χειμάρρου Παρατρέχου και επιμέρους υπολεκάνες του
 1: Αλλούβια, αποθέσεις κλιτύων και χειμάρρων, 2: Γρανодиρίτες, 3: Μιγματίτες,
 4: Εναλλαγές κρυσταλλικών σχιστολίθων και μαρμάρων
 Fig. 2. Paratrechos Catchment area.
 1: Alluvium, slope and torrent deposits, 2: Granodiorite, 3: Migmatite,
 4: Marbles and crystalline schists.



Σχ. 3. Πιεζομετρικός χάρτης πεδιάδας Λειβαδίου. Φάσμα Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.
 Fig. 3. Piezometric map at the Livadi's plain

Οι ολικές ανάγκες σε νερό άρδευσης, σύμφωνα με εκτίμηση του Τοπικού Γραφείου Γεωργικής Ανάπτυξης (1988), που καλύπτονται αποκλειστικά από τα υπόγεια νερά της πεδιάδας, ανέρχονται περίπου σε 3.000.000 μ³/έτος. Το μεγαλύτερο μέρος από αυτό είναι υποβαθμισμένης ποιότητας, είτε λόγω υπαλμύρωσής του, είτε λόγω έντονης μόλυνσης και ρύπανσης του από άλλους ανθρωπογενείς παράγοντες.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ ΛΕΙΒΑΔΙΟΥ

Από τη γεωλογική χαρτογράφηση κλ. 1:20.000, την οποία κάναμε, διαπιστώθηκε ότι η χαμηλή ζώνη καλύπτεται από προσχώσεις (8,15 χλμ.²), ενώ οι παραφές δομούνται από γρανοδιρίτες (9,15 χλμ.²) και εναλλαγές στρώσεων μαρμάρων και σχιστολίθων (1,2 χλμ.²). Οι σχιστολίθοι είναι μαρμαρυγικοί και σφιβολιτικοί και ανήκουν στο μεταμορφωμένο σύστημα του νησιού. Η επαφή γρανοδιρίτη - μεταμορφωμένου συστήματος έχει διεύθυνση Β.-Ν. Στην περιοχή του Γαλανάδου υπάρχει, τέλος, μια μικρή έκτασης εμφάνιση από νεογενείς μάρμες, κροκαλαπαγή και ψαμμίτες. Τα νεογενή και μέρος του μεταμορφωμένου συστήματος (βόρεια της Βίβλου) θεωρούνται επωθημένα στο γρανοδιρίτη (Jansen, 1977). Μεγάλα ρήγματα δεν διαπιστώθηκαν στην περιοχή. Στο γρανοδιρίτη κυριαρχούν συστήματα διακλάσεων με διευθύνσεις περίπου Β80°Α κατά κύριο λόγο και Β10°Δ (Sabot, 1978).

Οι αλλουβιακές αποθέσεις της πεδιάδας αποτελούνται από άμμο, ιλύ, αμμόδη πηλό και κατά τόπους από φακούς χαλικιών και κροκαλών. Στα περιθώρια της πεδινής έκτασης εμφανίζονται γωνιώδη τεμάχια από γρανοδιρίτη. Οι ποτάμιες αποθέσεις αποτελούνται από κροκάλες και άμμους.

Κατά μήκος της ακτής, υπάρχουν θίνες από λεπτόκοκκες άμμους, οι οποίες περιέχουν διάφορα βάρια ορυκτά, καθώς και αποτρογγυλωμένα υπολείμματα βιογενούς προέλευσης και τεμάχια κίσηρης. Το πάχος τους φθάνει από λίγα μέτρα μέχρι και λίγες δεκάδες μέτρων (Jansen, 1977).

Η περιοχή της Αλυκής στο δυτικό όριο της πεδιάδας αποτελεί μία μικρή λιμνοθάλασσα, τα ιζήματα της οποίας έχουν παρόμοια σύσταση με αυτά των θινών, είναι όμως εμπλουτισμένα με οργανικά υλικά και περιλαμβάνουν στρώσεις με κίσηρη και γύψο.

Το γεγονός ότι η μελετούμενη λεκάνη έχει υπόβαθρο το γρανοδιρίτη, ο οποίος έχει αποκόψει κάθε πιθανή επικοινωνία με άλλα υδροφόρα συστήματα, οδηγεί σε ένα απλό υδρογεωλογικό σύστημα, με ένα υδροφόρο στρώμα, που αποτελείται από τις προσχώσεις (οι οποίες τον καλύπτουν στο πεδινό τμήμα) και το ανώτερο τμήμα του, στο οποίο η κυκλοφορία του νερού γίνεται στις γρανιτικές άμμους και τις ανοικτές διακλάσεις.

Για τους υπολογισμούς του ισοζυγίου το υδροφόρο στρώμα θεωρήθηκε ομοιόμορφα κατανενημένο με εμβαδόν 9 χλμ.² και πάχος 7 μ. Ο εμπλουτισμός του πραγματοποιείται από τις απευθείας κατεισδύσεις και από τις διηθήσεις του παρατρέχου, ο οποίος δέχεται τις απορροές δύο μικρότερων χειμάρρων, που

αποστραγγίζουν τις υπολεκάνες Ποταμίας - Χαλκί και Αγ. Θαλαλαίου - Μελάνων. Ο Πατρατρέχος εισέρχεται στην πεδιάδα από τα ανατολικά, διατρέχοντάς την δε προς τα δυτικά εκβάλλει στον όρμο της Νάξου.

Για τη μελέτη της πιεζομετρίας επιλέχθηκαν 46 πηγάδια, που το βάθος τους φθάνει έως και 16 μ. Ο πιεζομετρικός χάρτης, που αντιπροσωπεύει την κατάσταση της υπόγειας υδροφορίας στην αρχή της ξερής περιόδου φαίνεται στο σχήμα 3.

Από τη μελέτη της πιεζομετρίας προκύπτουν οι εξής βασικές διαπιστώσεις:

- Στο μεγαλύτερο τμήμα της πεδιάδας, με την έναρξη της ξερής περιόδου, έχουμε στάθμες υπόγειων νερών χαμηλότερες της επιφάνειας της θάλασσας. Τα αρνητικά υψόμετρα της φθάνουν κατά θέσεις τα 5 ή και 7 μ. Οι θέσεις αυτές εντοπίζονται όχι στην παραλιακή ζώνη, αλλά σε εσωτερικούς τομείς, απομακρυσμένους από τη θάλασσα, στους οποίους γίνεται περισσότερο αισθητή η πτώση της στάθμης του υδροφόρου λόγω υπεραντλήσεων.
- Εξαιτίας των υπεραντλήσεων της άνοιξης πραγματοποιείται αναστροφή της ροής των υπόγειων νερών στον παραθαλάσσιο δυτικό τομέα της πεδιάδας. Στον τομέα αυτό, κατά την περίοδο της πλούσιας τροφοδοσίας, η υπόγεια ροή ακολουθεί τη γενική κατεύθυνση από Α προς τα Δ, από την ενδοχώρα δηλαδή προς τη θάλασσα. Η μεγάλη, όμως, πτώση της στάθμης των υπόγειων νερών στην εσωτερική κεντρική έκταση, οδηγεί στην αναστροφή της υπόγειας ροής της παραλιακής ζώνης προς το εσωτερικό, με συνέπεια τη διεύθυνση της θάλασσας.
- Οι υδραυλικές κλίσεις είναι αρκετά μεγάλες στις παρυφές, σε σχέση με την πεδινή ζώνη.

ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

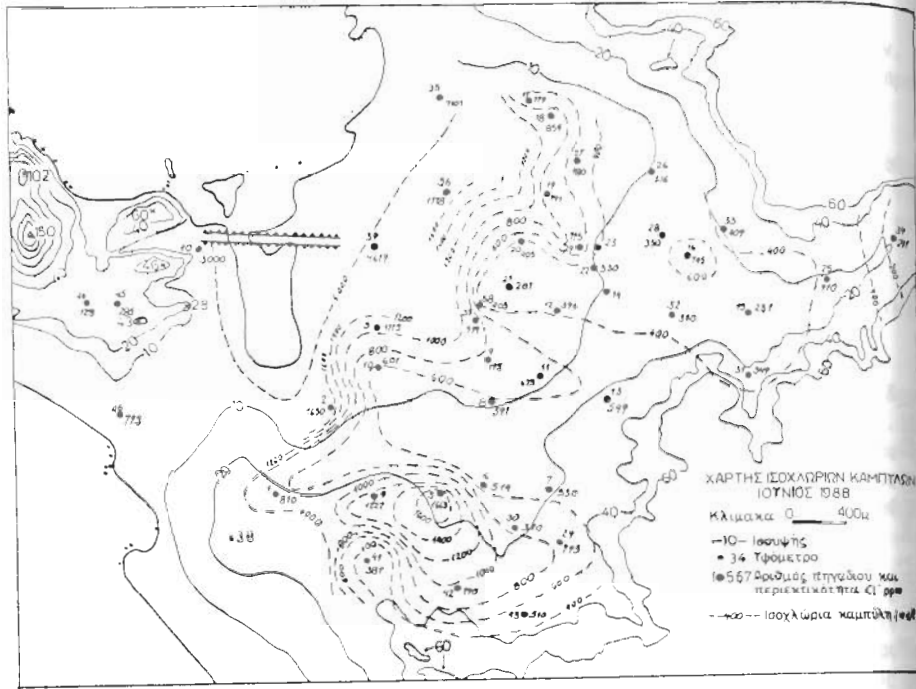
Για τη μελέτη της ποιότητας των υπόγειων νερών και της μεταβολής της περιεκτικότητάς τους σε χλωρίοντα και διαλυμένα αλατα στο χώρο, έγιναν μετρήσεις των δύο αυτών παραμέτρων επιτόπου στα 46 πηγάδια που επιλέχθηκαν και διενεργήθηκαν στο εργαστήριο προσδιορισμοί των κύριων ανιόντων και κατιόντων, καθώς και των NO_3^- , NO_2^- και NH_4^+ σε νερά από 10 πηγάδια και μία γεώτρηση (σε 6 δείγματα δεν προσδιορίστηκε το Ca^{2+} και το T.D.S. και σε 4 τα NO_2^- και NH_4^+).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών, καθώς και δύο αναλύσεις δειγμάτων εδάφους (με έκλυση 1:5 των υδατοδιαλυτών συστατικών τους) φαίνονται στον Πίνακα 1. Οι καμπύλες ισοχλωρίωντων και ισοαγωγιμότητων για την αρχή της ξερής περιόδου δίνονται στα σχήματα 4 και 5.

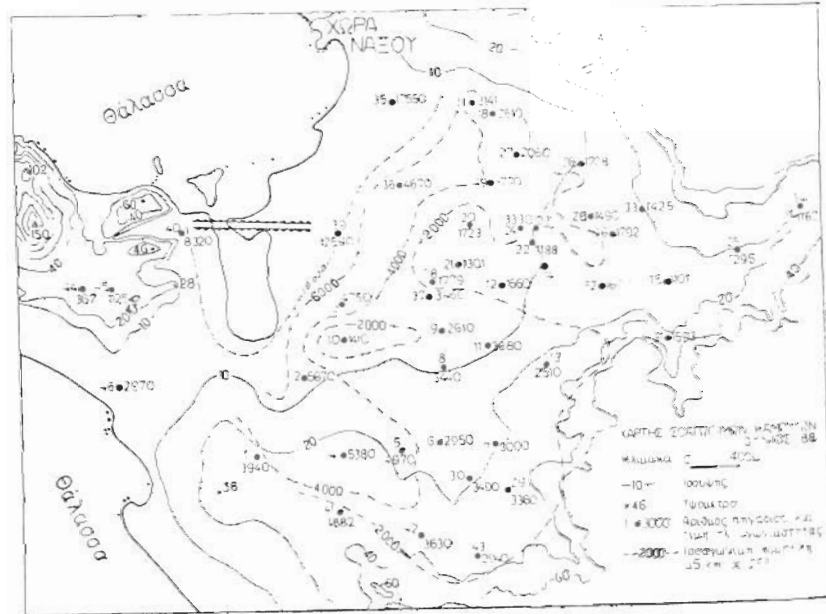
ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Αποτελέσματα χημικών αναλύσεων (αρχή ξερής περιόδου 1988)
TABLE 1. Chemical analyses results (beginning of dry period 1988)

Δείγμα	PH	EC $\mu\text{S}/\text{εκ.}$ σε 25°C	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	HCO ₃ ⁻ ppm	Cl ⁻ ppm	SO ₄ ⁻² ppm	NO ₃ ⁻² ppm	NH ₄ ⁺ ppm	NO ₂ ⁻ ppm	TDS* ppm	Ολική Σκληρ. (γαλ.βαθ.)
Γεωτ.Αγ.Αρσενίου	7,70	838	114	30	71	19	252	221	40	13	0,71	0,030	760	41
8	7,94	3.900	-	63	312	15	157	574	60	167	4,03	0,223	-	-
10	7,92	5.500	-	45	581	10	220	1.049	80	105	6,60	0,027	-	-
15	7,80	1.365	-	76	108	16	336	199	14	20	3,90	0,012	-	-
18	7,78	2.990	-	134	230	13	165	475	38	128	2,00	0,005	-	-
20	7,92	1.670	-	53	117	15	238	277	22	3	0,80	0,057	-	-
29	7,62	3.992	-	123	368	15	329	674	55	59	2,20	0,022	-	-
37	7,34	3.450	253	110	303	17	297	919	156	55	-	-	2.060	109
41	7,98	1.892	112	50	195	13	239	381	140	48	-	-	1.178	49
42	7,70	3.691	277	160	203	15	192	990	139	88	-	-	1.976	136
44	7,35	864	67	10	163	20	193	123	132	55	-	-	763	21
41 (έδαφος)	7,98	217	-	-	-	-	-	21,6**	-	-	-	-	-	-
42 (έδαφος)	7,80	238	-	-	-	-	-	25,2**	-	-	-	-	-	-

** για τα εδάφη οι μονάδες σε χιλ.γρ./100 γρ. έδαφος



Σχ. 4. Χάρτης ισοχλωριοντικών καμπυλών πεδιάδας Λειβαδιού.
Fig. 4. Map of contours of Cl concentration (mg/l) at the Livadi's plain.



Σχ. 5. Χάρτης καμπυλών ίσης αγωγιμότητας υπόγειων νερών πεδιάδας Λειβαδιού.
Fig. 5. Map of contours of electrical conductivity (mS/cm) at the Livadi's plain.

Η υδροχημική έρευνα έδειξε ότι όλα τα υπόγεια νερά της πεδιάδας είναι ακατάλληλα για πόση και πολύ κακής ποιότητας έως ακατάλληλα για άρδευση. Αυτό οφείλεται στην υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, που έχει προέλθει κυρίως από τη διείσδυση της θάλασσας. Τα χλωριόντα σε όλη την πεδιάδα ξεπερνούν τα 400 mg/l και στην παραλιακή ζώνη τα 5.000 mg/l. Υψηλές, επίσης, είναι και οι τιμές των Mg^{++} (45-160 mg/l) και πολύ υψηλές των NO_3^- (50-70 mg/l), γεγονός που καθιστά τα νερά επικίνδυνα για πόση.

Η φτωχή υδροφορία του μανδύα αποσάθρωσης των γρανιτών είναι ανεκτή έως καλής ποιότητας, αν δεν έχει υποστεί μολύνσεις. Το ίδιο ισχύει και για τα νερά των μαρμάρων της ημιορεινής ζώνης (γνώτρωση Αγ. Αρσενίου).

Τα νερά κάποιων πηγαδιών, που έχουν ανορυχθεί σε γρανίτες και είναι κοντά στον υδροκρίτη, έχουν περιέργως μεγάλες τιμές αγωγιμότητας και χλωριόντων. Διαπιστώθηκε ότι αυτό οφείλεται στη μεταφορά και αποθήκευση στα πηγάδια αυτά επιβαρυσμένου νερού από πηγάδια του χαμηλού τομέα του Λειβαδιού.

Η ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών δεν οφείλεται μόνο στη διείσδυση της θάλασσας, αλλά και στη χρήση λιπασμάτων και παρασιτοκτόνων σε υπερβολικές δόσεις από τους γεωργούς, καθώς και στην ανεξέλεγκτη διάθεση των σκουπιδιών και των υγρών αποβλήτων.

Η αλατότητα των εδαφών διαπιστώθηκε ότι δεν είναι αρκετά μεγάλη, λόγω επικράτησης χαλαζιακής άμμου με έντονη έκπλυση το χειμώνα. Για τα 8.000 στρ. που αρδεύονται, δεχόμενοι ριζικό πάχος 1,2 μ., ειδικό βάρος 2,0 γρ./εκ.² και μέσο όρο συγκέντρωσης χλωρίων 23,4 χλω.γρ./100 γρ. εδάφους, υπολογίστηκε συσσώρευση 360 τόνων αλατιού στα καλλιεργούμενα εδάφη.

ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΥΠΟΛΕΚΑΝΗΣ ΛΕΙΒΑΔΙΟΥ

Το υδρογεωλογικά σύστημα του Λειβαδιού, που ταυτίζεται με την υδρολογική του υπολεκάνη, είναι ανοικτό προς τη θάλασσα στη δυτική πλευρά, σε μήκος ακτής περί τα 2.500 μ. Είναι, επίσης, ανοικτό στο μέσον περίπου της ανατολικής πλευράς, στη θέση που ενώνονται οι δύο χείμαρροι των παραπλεύρων υδρολογικών υπολεκάνων.

Υπ' αυτές τις συνθήκες, η τροφοδοσία του υδροφορέα του Λειβαδιού γίνεται από τις κατεισχύσεις των βροχοπτώσεων που πέφτουν στην υδρολογική του υπολεκάνη και από την παροχή, επιφανειακή και υπόγεια, των δύο χείμαρρων που συμβάλλουν στον Παρatreχο. Η έξοδος του συστήματος προς τη θάλασσα πραγματοποιείται από μία επιφάνεια εμβαδού 2.500 μ. x 7 μ. = 17.500 μ.² περίπου.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση της περιόδου 1960-1987 του Μ/Σ Χάρας Νάξου είναι 397 χλσ. Δεχόμενοι την επιφανειακή απορροή για τις συνθήκες της υπολεκάνης του Λειβαδιού αμελητέα, η τιμή της κατεισχύσης σ' αυτήν από τα κατακρημνίσματα που πέφτουν στην έκτασή της (18,5 τ.χλμ.) υπολογίστηκε για

τους μήνες Δεκέμβριο - Ιανουάριο - Φεβρουάριο ίση με 135,1 χλσ. (Σ. ΣΤΡΑΤΗΓΟΠΟΥΛΟΣ - Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ - Θ. ΜΙΜΙΔΗΣ 1988), που αντιστοιχεί με όγκο νερού $2,5 \times 10^6 \mu^3$ ($18,5 \times 10^6 \mu^2 \times 0,1351 \mu = 2,5 \times 10^6 \mu^3$).

Η ετήσια δυναμική εξατμισοδιαπνοή (Εα) υπολογίστηκε με τη μέθοδο Blaney - Griddle 1.305 χλσ. και με τη μέθοδο Thornthwaite 919,2 χλσ. Η ετήσια πραγματική εξατμισοδιαπνοή προσδιορίστηκε με τη δεύτερη μέθοδο ίση με 353,5 χλσ., που αντιστοιχεί στο 89% της βροχόπτωσης. Λόγω των εκτεταμένων και εντατικών καλλιεργιών, είναι πολύ πιθανόν η τιμή της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής να υπερκαλύπτει την τιμή της βροχόπτωσης σε ετήσια βάση, του ελλείμματος καλυπτόμενου από τις αρδεύσεις. Κατά τη βροχερή, όμως, περίοδο, η τιμή της Εα είναι αρκετά μικρότερη της τιμής της βροχόπτωσης και σ' αυτή την περίοδο υπάρχει πλεόνασμα νερού, που κατεισδύει στο έδαφος.

Για την εκτίμηση της απορροής των δύο χειμάρρων, που τροφοδοτούν το Λειβάδι, χρησιμοποιήθηκαν τα στοιχεία των τριών βροχομετρικών σταθμών που εγκαταστάθηκαν από το Υπουργείο Γεωργίας στο εσωτερικό του νησιού το φθινόπωρο του 1987, καθώς και οι μακροχρόνιες παρατηρήσεις του σταθμού της πόλης της Νάξου. Από την επεξεργασία τους προσδιορίστηκε βροχοβαθμίδα 57 χλσ./100 μ.

Εφαρμόστηκε η μέθοδος του "Μηνιαίου Ισοζυγίου Υδάτος" και προέκυψε για την υπολεκάνη Αγ. Θαλέλαιου - Μελάνων συντελεστής απορροής 0,20 που αντιστοιχεί σε 102 χλσ. Οι απορροές, επομένως, είναι της τάξης: $102 \chi\lambda\sigma. \times 9,73 \chi\lambda\mu.^2 = 992.460 \mu^3$. Στην υπολεκάνη Ποταμιάς - Χολκί ο συντελεστής επιφ. απορροής είναι 0,24 και η ετήσια απορροή: $138 \chi\lambda\sigma. \times 32,375 \chi\lambda\mu.^2 = 4.467.000 \mu^3$.

Το άθροισμα των δύο ποσοτήτων, δηλαδή $5.460.000 \mu^3$ ετησίως, αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα νερού, επιφανειακή και υπόγεια, που εισέρχεται στην υπολεκάνη του Λειβαδιού από το χειμάρρο Παρατρέχο. Ωστόσο, η ποσότητα νερού που διηθείται στα υδροφόρα στρώματα εξαρτάται από την διηθητική ικανότητα των επιφανειακών στρωμάτων, το ενεργό πορώδες του υδροφόρου, το ποσοστό εξ αυτού που είναι κενό νερού κατά την περίοδο των απορροών και επομένως ελεύθερο προς πλήρωση, καθώς και από το χρόνο παραμονής της υδάτινης ποσότητας σ' αυτό.

Αν η τιμή του ενεργού πορώδους του υδροφόρου είναι της τάξης του 10% (τιμή αναμενόμενη για γέλοιου είδους υλικά) και το υδροφόρο αδειάζει κατά το ήμισυ περίπου (πτώση στάθμης κατά 3,5 μ.), τότε ο διατιθέμενος (στο τέλος της αρδευτικής περιόδου του φθινοπώρου) όγκος κενών προς πλήρωση από τις διαθέσιμες ποσότητες εκ των απευθείας κατεισδύσεων και των διηθήσεων του Παρατρέχου, ισούται με: $9.10^6 \mu^2 \times 3,5 \mu \times 0,10 = 3,15 \times 10^6 \mu^3$.

Οι ποσότητες νερού που αντισταθίζουν στον όγκο αυτό ισούνται αβροστικώς με τα νερά που αντλούνται και τις ποσότητες που απορρέουν υπαγείως προς τη θάλασσα, μείον τις ποσότητες που διηθούνται από τα νερά των αρδεύσεων στο υπέδαφος της πεδιάδας.

Προσεγγιστικά, οι αντλούμενες ποσότητες για να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες των 8.000 στρ. έχουν εκτιμηθεί σε $3.000.000 \mu^3$. Θεωρούμε ότι ένα πολύ μικρό ποσοστό απ' αυτά επιστρέφει στον υπόγειο υδροφόρο. Το ποσοστό αυτό πρέπει να αντιστοιχεί σε αμελητέα ποσότητα, που δεν τη λαμβάνουμε υπόψη στο ισοζύγιο των υπόγειων νερών.

Οι ποσότητες που απορρέουν υπαγείως προς τη θάλασσα εκτιμούνται ως εξής: Από την αξιολόγηση των πιεζομετρικών μετρήσεων και με δεδομένο ότι στην ανάντη ζώνη τροφοδοσίας η χειμερινή στάθμη στα πηγάδια βρίσκεται περίπου στο υψόμετρο της κοίτης του Παρατρέχου, προκύπτει μέση υδραυλική κλίση 4%. Αν λάβουμε μέση τιμή συντ. υδροπερατότητας $K=10^{-4} \mu./\delta\lambda.$, που αποτελεί συντηρητική τιμή, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, και περίοδο υπόγειας εκφόρτισης 6 μήνες, τότε, σύμφωνα με το νόμο του Darcy, η υπόγεια εκφόρτιση προς τη θάλασσα είναι της τάξης των $110.000 \mu^3$ ετησίως ($Q = K \cdot i \cdot S = 10^{-4} \times 0,004 \times 17.500 = 0,007 \mu^3/\delta\mu\lambda \Rightarrow 0,007 \mu^3/\delta\mu\lambda. \times 6 \mu\eta\epsilon\sigma\epsilon\varsigma = 110.000 \mu^3$).

Υστερα από τα παραπάνω, το ετήσιο ισοζύγιο των υπόγειων νερών διαμορφώνεται ως εξής:

Είσοδος: -Από κατεϊσδύση $2,5 \cdot 10^6 \mu^3$
-Από διηθήσεις του Παρατρέχου: $5,46 \cdot 10^6 \cdot I \mu^3$ (όπου I άγνωστος συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις ποσότητες που διηθούνται)
Εξοδος: -Από αντλήσεις $3 \cdot 10^6 \mu^3$
-Από την υπόγεια απορροή προς τη θάλασσα $0,11 \times 10^6 \mu^3$

Το ισοζύγιο, όμως, των υπόγειων νερών, όπως φαίνεται από τον πιεζομετρικό χάρτη, είναι ελλειμματικό και αυτό εκφράζεται με τις αρνητικού υψομέτρου υδροστατικές στάθμες. Έχουμε, επομένως:

ποσότητες εξόδου > από τις ποσότητες εισόδου, δηλ.

$$(3+0,11) \cdot 10^6 > 2,5 \cdot 10^6 + 5,46 \cdot 10^6 \cdot I$$

όπου I το άγνωστο ποσοστό εκ των εισροών του Παρατρέχου, που διηθείται και εμπλουτίζει τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Από την παραπάνω ανισότητα προκύπτει ότι η συνολική ποσότητα που διηθείται ετησίως είναι μικρότερη του 15% των εισροών του Παρατρέχου. Υπάρχει, επομένως, μεγάλη περίσσεια που απορρέει επιφανειακά στη θάλασσα. Η περίσσεια αυτή είναι μεγαλύτερη των:

$$5,46 \cdot 10^6 \times 85\% = 4,64 \cdot 10^6 \mu^3 \text{ ετησίως}$$

Επομένως, ποσότητες νερών τάξης μεγέθους $5 \cdot 10^6 \mu^3$ απορρέουν ετησίως ανεκμετάλλευτες στη θάλασσα. Ακόμη κι αν θεωρήσουμε υπερεκτιμημένη την ποσότητα των απευθείας κατεισδύσεων από τις βροχοπτώσεις, οι ποσότητες που απορρέουν από τον Παρατρέχο στη θάλασσα δεν πρέπει να είναι μικρότερες των $4 \cdot 10^6 \mu^3$ ετησίως.

ΑΝΑΓΚΗ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

Από όσα έχουν περιγραφεί στα προηγούμενα κεφάλαια προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι το σημερινό καθροτικό εκμετάλλευσης και φυσικής επαναπλήρωσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα του προσχωματικού κάμπου του Λειβαδιού έχει οδηγήσει σε ελλειμματικό ισοζύγιο των υπόγειων νερών και έντονη ποιοτική υποβάθμισή τους, λόγω διεϊσδύσης της θάλασσας. Επιβάλλεται, επομένως, η λήψη

άμεσων μέτρων, που να εξασφαλίζουν την αποκατάσταση θετικού ισοζυγίου υπόγειων νερών και ταυτοχρόνως διάθεση των απαραίτητων ποσοτήτων νερών για κάλυψη των υψηλών αρδευτικών αναγκών του κάμπου και της αυξημένης ζήτησης, κατά την τουριστική περίοδο, νερού για υδροδότηση της πόλης και των τουριστικών εγκαταστάσεων.

Για να εξασφαλιστούν τα παραπάνω απαιτούνται παρεμβάσεις για τη ρύθμιση των επιφανειακών απορροών, τη συγκράτησή τους, δηλαδή, σε τεχνητές λίμνες και τη διάθεσή τους στη συνέχεια, σύμφωνα με τις απαιτήσεις, προκειμένου να καλυφθούν χωροχρονικά οι ανάγκες, όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως. Συγκεκριμένα, οι αποθηκευμένες ποσότητες θα διατεθούν με βαρύτητα προς τα κατάντη για να καλυφθούν οι αρδευτικές ανάγκες του κάμπου του Λειβαδιού και η υδροδότηση της πόλης.

Με τον τρόπο αυτό, θα ανακουφιστεί ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας και θα αποκατασταθεί θετικό ισοζύγιο υπόγειων νερών, λόγω διακοπής των αντλήσεων. Στην κατεύθυνση της δημιουργίας θετικού ισοζυγίου, θα συμβάλουν οι διηθηθείσες του χειμάρρου Παρατρέχου, ο οποίος θα συνεχίζει να τροφοδοτείται από τις επιφανειακές απορροές του τμήματος της λεκάνης που μένει κατάντη των φραγμάτων, καθώς και από τις πιθανόν περισσειες από τις αποθηκευμένες στις τεχνητές λίμνες ποσότητες.

Υστερα από τα παραπάνω, αναζητήθηκαν στη λεκάνη του Παρατρέχου θέσεις καταρχήν αποδεκτές για κατασκευή φραγμάτων και δημιουργία τεχνητών λιμνοδεξαμενών, προκειμένου να γίνει η απαραίτητη συστηματική μελέτη τους. Από τη διερεύνηση αυτή εντοπίστηκαν 2-3 θέσεις καταρχήν αποδεκτές. Για τη σημαντικότερη από αυτές, στην περιοχή Τσικαλαρείου προχωρήσαμε στην προκαταρκτική μελέτη, συνοψίζοντας τα στοιχεία της όπως είναι ορατά στη συνέχεια.

ΦΡΑΓΜΑ ΤΣΙΚΑΛΑΡΕΙΟΥ

Η μελετούμενη θέση στο χειμάρρο του Τσικαλαρείου βρίσκεται σε απόσταση περί τα 200 μ. σε απόσταση 2 χλμ. ΝΔ του ομώνυμου χωριού (σχ. 2). Η λεκάνη απορροής εκτείνεται έως το υψόμετρο 859 μ. και έχει εμβαδόν 19,4 km², από το οποίο το 1/3 είναι χαμηλή, σχεδόν επίπεδη, έκταση και το υπόλοιπο ορεινή ζώνη με απότομες μορφολογικές κλίσεις, που συχνά φθάνουν ή ξεπερνούν τις 60°. Η λεκάνη είναι ανοικτή προς Δ. και αποστραγγίζεται από τον 4ης τάξης ομώνυμο χειμάρρο. Το τμήμα του χειμάρρου που προτείνεται η κατασκευή του φράγματος είναι βαθύ και στενό σε μήκος περίπου 2 χλμ. Στην περιοχή αυτή αναπτύσσονται μίγματες (σχ. 2) και η επιφάνεια του εδάφους είναι συχνά γυμνή, χωρίς έδαφος και βλάστηση. Στην αρχή του στενού φαραγγιού εκβάλλει ο αγωγός των λυμάτων των γύρω χωριών, περίπου 400 μ. Ν. του Τσικαλαρείου. Τα λύματα αυτά δεν υφίστανται καμία επεξεργασία και ρέουν ελεύθερα στις κατάντη περιοχές (ΣΤΡΑΤΗΓΟΠΟΥΛΟΣ Σ. - Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ - Θ. ΜΙΜΙΔΗΣ, 1988).

Στην υπόλοιπη λεκάνη απορροής, απαντώνται εναλλαγές μαρμαρυγιικών σχιστολίθων, μαρμάρων, γνευσίων και αμφιβολιτών κατά ζώνες. Όλη σχεδόν η έκταση της λεκάνης απορροής είναι διαμορφωμένη πάνω στο Α πλευρό ενός μεγάλου αντικλίνου, την καρδιά του οποίου καταλαμβάνει ο δόμος των μίγματιτών. Οι άξονες των πτυχών έχουν διεύθυνση Β20°Α και κλίνουν προς ΝΔ. Τα κύρια ρήγματα

έχουν διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ και τέμνονται από άλλα δευτερεύοντα με διευθύνσεις ΒΒΑ-ΝΝΔ, ΝΝΑ-ΒΒΔ. Η βασική διεύθυνση των διακλάσεων του μίγματιτη είναι ΑΝΑ-ΔΒΔ, που είναι περίπου κάθετη στο βασικό άξονά των πτυχώσεων (Sabot, 1978):

Η θέση του φράγματος και ελακλήρη η λεκάνη κατακλύσης βρίσκονται μέσα στους μίγματες. Η περιοχή βρίσκεται στο Ν άκρο του μίγματιτικού δόμου και στην περιοχή της θέσης θεμελίωσης οι επιφανείες σχιστότητας του μίγματιτη έχουν πολύ ήπιες κλίσεις λόγω γειτονίας με τον άξονα του αντικλίνου του δόμου. Στο ανάντη τμήμα (Ανατόλικα) τα επίπεδα στρωμάτωσης και σχιστότητας βυθίζονται προς Α με κλίσεις που είναι - σίγα - σίγα μεγαλώνουν και φθάνουν μέχρι 50°. Στο κατάντη τμήμα, η βύθιση γίνεται προς τα δυτικά. Το κύριο σύστημα διακλάσεων στην περιοχή έχει διεύθυνση Β10°Α και κλίση 80°Α.

Τα πετρώματα αυτά είναι στεγανά και μόνο, όπου η επιφάνειες συνεχείας της βραχομάζας είναι πυκνές και υλικό πλήρωσης απουσιάζει, η υδροπερατότητά μπορεί να είναι αυξημένη. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά εκτιμώνται σε μέτρια έως πολύ καλά και τα όποια πιθανά προβλήματα στη θέση του φράγματος θα αντιμετωπισθούν με σιμεντενέσεις. Δεν αναμένονται κατολισθήσεις ή άλλης μορφής μετακινήσεις μέσα στη λεκάνη κατακλύσης.

Λόγω του βραχώδους του φαραγγιού και των γύρω εκτάσεων και ελλείψη εδαφικού μανδύα, δεν υπάρχουν υλικά για κατασκευή χωμάτινου φράγματος. Στη γειτονική περιοχή, περί τα 2 χλμ. από τη θέση του φράγματος, υπάρχουν εμφανίσεις μαρμάρου κατάλληλου για υλικά λιθορριπής ή αδρανή για παρασκευή σκυροδέματος.

Ως καλύτερη λύση, λόγω της στενότητας του φαραγγιού και των καλών χαρακτηριστικών της ζώνης θεμελίωσης, φαίνεται να είναι η κατασκευή φράγματος από σκυρόδεμα με υπερχειλιστή θήκη θάψης του. Η χωρητικότητα της λιμνοδεξαμενής, που θα προκύψει, είναι περίπου 2.000.000 μ³ για ύψος φράγματος της τάξης των 35 μ.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την υδρογεωλογική και υδροχημική μελέτη του κάμπου Λειβαδιού και τις γεωλογικές έρευνες στην ευρεία υδρολογική λεκάνη του Παρατρέχου, συνοψίζονται ως εξής:

- Ένας προσχώσεις της πεδιάδας αναπτύσσεται ένας υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας πάνω στους υδροδορίτες που αποτελούν και τις παρυφές της, δημιουργώντας έτσι μια υδρογεωλογική μονάδα. Η μονάδα αυτή εμπλουτίζεται από τις απευθείας κατεισδύσεις, που εκτιμήθηκαν σε $2,5 \times 10^6 \mu^3$ ετήσιως και από διηθήσεις του χειμάρρου Παρατρέχου. Οι διηθήσεις αυτές αβδτελούν ποσοστό μικρότερο του 15% των συνολικών απορροών του χειμάρρου, που υπολογίστηκαν ίσες με $5,46 \times 10^6 \mu^3$.

- Το υπόλοιπο απορρέει αχρησιμοποίητο στη θάλασσα κατά το χειμώνα, δεδομένου ότι το υδροφόρο κατά την περίοδο αυτή βρίσκεται σχεδόν κορεσμένο από τις κατεισδύσεις και δεν μπορεί να απορροφήσει περισσότερο.

- Λόγω υπερεντατικών αντλήσεων από 1.200 και πλέον πηγάδια, αφαιρούνται μεταξύ Απριλίου και Νοεμβρίου ποσότητες υπόγειων νερών της τάξης των 3.000.000 μ³ ετησίως. Υπογείως απορρέουν από τον υδροφόρο προς τη θάλασσα, που είναι ανοικτός προς αυτήν επί μετώπου 2,5 χλμ., περί τα 0,1-0,2 X 10⁶ μ³ κατά τη χειμερινή περίοδο.
- Υπ' αυτές τις συνθήκες δημιουργείται ελλειμματικό ισοζύγιο υπόγειων νερών, που οδηγεί σε πτώση της στάθμης κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας αρκετά μέτρα. Αυτό συνεπάγεται διείσδυση προς την ενδοχώρα της ζώνης υφαλοκρημνισμού σε όλη σχεδόν την πεδιάδα και σε έντονη ποιοτική υποβάθμιση των υπόγειων νερών.
- Η υποβάθμιση αυτή με τη συμμετοχή και άλλων δραστηριοτήτων (γεωργία, αστική χρήση κλπ.) έχει καταστήσει τα νερά ακατάλληλα για πόση και πολύ κακά έως ακατάλληλα για αρδεύσεις. Στην παραλιακή ζώνη τα χλωριόντα ξεπερνούν τα 5.000 mg/l και τα NO₃⁻ σε όλη την πεδιάδα κυμαίνονται από 50 έως 170 mg/l.
- Η κατάσταση που έχει διαμορφωθεί καθιστά επιτακτική την ανάγκη για αναρρύθμιση των επιφανειακών νερών, που απορρέουν αχρησιμοποίητα στη θάλασσα. Προς τούτο, απαιτείται η κατασκευή, σε διάφορες θέσεις της λεκάνης απορροής του Παρατρέχου φραγμάτων για δημιουργία λιμνοδεξαμενών αποθήκευσης τους. Τέτοιες θέσεις εκτοπίστηκαν και μια από αυτές παρά το Τσικαλαρειό μελετήθηκε. Διαπιστώθηκε η καταλληλότητά της, από γεωλογική σκοπιά, και η δυνατότητα αποθήκευσης ποσοτήτων της τάξης των 2.000.000 μ³. Επιβάλλεται, όμως, η μελέτη και των υπολοίπων θέσεων, καθώς και η διερεύνηση των συνθηκών για πραγματοποίηση τεχνητού εμπλουτισμού.
- Με τη διακοπή των αντλήσεων από τα υπόγεια νερά του Λειβαδιού και την κάλυψη των αρδευτικών αναγκών από την ή τις λιμνοδεξαμενές, θα αποκατασταθεί πλεονασματικό ισοζύγιο στον προσχωματικό υδροφόρο, με τη συνεχή δε εκτόνωσή του προς τη θάλασσα, θα πραγματοποιηθεί βαθμιαία ελάττωση των επιπτώσεων της ρύπανσης που έχει προκληθεί από τη διείσδυση της θάλασσας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - REFERENCES

- ΓΡΑΦΕΙΟ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΝΑΞΟΥ (1988): Κατόπιν προφορικής επικοινωνίας
- DÜRR, St et al. (1979): Contribution à la stratigraphie du cristallin des Cyclades: Mise en évidence du Trias supérieur dans les marbres de Naxos. *Comm. Int. Mer. Médit.* 25/26/20, 31-32.
- JANSEN, J.B.H. (1973): Naxos Island. *Geological map 1:50.000*, IGMR, Athens.
- JANSEN, J.B.H (1977): The geology of Naxos. - *Geol. Geoph. Res.*, XVII, 1, 1-100.
- ΚΑΠΛΑΝΙΔΗΣ, Α. (1986): Αναγνωριστική μελέτη λιμνοδεξαμενών στη νήσο Νάξο. Υπουργ. Γεωργίας, ΥΕΒ, Δ/νση Γεωλογίας - Υδρολογίας (σελ. 77, χαρτ. 2), Αθήνα.
- ΚΟΥΡΜΟΥΛΗΣ, Ν. (1973): Υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής Αλυκών Νάξου. ΙΓΜΕ, Ε4843.
- ΚΟΥΡΜΟΥΛΗΣ Ν. (1978): Εκθεση προτεινόμενου προγράμματος έργων αναζήτησης

υπόγειων υδάτων για βελτίωση των συνθηκών ύδρευσης οικισμών νήσου Αμοργού - Ιου - Νάξου, ΙΓΜΕ.

ΠΑΠΑΣΤΑΜΑΤΙΟΥ, Ι. (1951): Η σμύριδα της Νάξου. *Γεωλ. - Γεωφ. Μελ.*, ΙΓΜΕ, 1, 37-69.

SABOT, V. (1978): La géomorphologie et la géologie du Quaternaire de l' ile de Naxos. - *Thèse de Doctorat, Université de Bruxelles.*

ΣΤΡΑΤΗΓΟΠΟΥΛΟΣ, Σ. - Ι. ΚΟΥΜΑΝΤΑΚΗΣ - Θ. ΜΙΜΙΔΗΣ (1988): Μελέτη λιμνοδεξαμενών φανερωμένης και Τσικαλαρειού νήσου Νάξου. *Υπ. Γεωργίας, Δ/νση Τεχνικών Μελετών.*

ΘΕΟΧΑΡΑΤΟΣ, Γ. (1978): Το κλίμα των Κυκλάδων, σ. 213. Αθήνα.