

## ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΚΑΙ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΘΗΝΩΝ

Γ. Σταμάτης\*, Β. Αντωνίου\* και Γ. Μιγκίρος\*

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η περιοχή μελέτης καλύπτει το παραδοσιακό κέντρο της Αθήνας και αποτελεί μια υδρολογικά ανεξάρτητη υπολεκάνη στο όλο σύστημα του Λεκανοπεδίου. Το υπόβαθρο αποτελούν οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι", των οποίων υπέρκεινται κανονικά οι ασβεστόλιθοι των Αθηνών και ασύμφωνα οι Νεογενείς και Τεταρτογενείς σχηματισμοί. Οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" παρουσιάζουν μεγάλη λιθολογική ποικιλομορφία, με επικράτηση της ασβεστοψαμμιτικής φάσης στην περιοχή Ακαδημίας - Συντάγματος. Ο βαθμός εξαλλοίωσής τους έχει διακυμάνσεις με εντονότερη εξαλλοίωση στο ανώτερο τμήμα, όπου αναπτύσσεται ένας ελεύθερος και υδραυλικά συνεχής υδροφόρος ορίζοντας, μικρού βάθους, με φορά αποστράγγισης από Α-Δ. Ο υδροφόρος παρουσιάζει υψηλές τιμές περιεκτικότητας των δεικτών ρύπανσης, των οποίων η προέλευση είναι περισσότερο ανθρωπογενής παρά γαιογενής.

### ABSTRACT

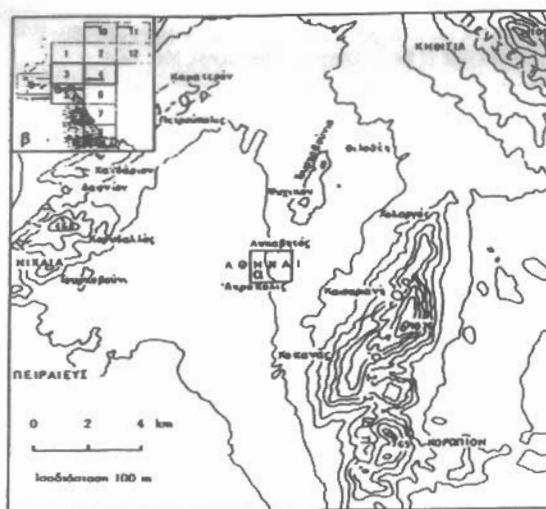
The studied area covers the traditional center of the city of Athens. Hydrologically is an independent sub-basin which belongs to the greater basin of Athens. The substratum is composed by the "Schists of Athens" over which lie in conformity the limestones of Athens and in discordance the Neogene and Quaternary formations. The "Schists of Athens" present a wide petrological variety with a clear dominance of the limy sandstones in the region of Academy - Syntagma. The degree of weathering is variable and it is more intense in the upper levels. In this altered zone a phreatic, continuous and swallow aquifer is developed, the drainage of which is from E towards W. This aquifer presents high values of the pollution indexes, which have more anthropogenic than geogenic origin.

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η περιοχή που μελετήθηκε (Σχ. 1) καλύπτει το παραδοσιακό κέντρο της Αθήνας, από το Λυκαβητό μέχρι τον Κεραμεικό (Α προς Δ) και από το Στρέφη μέχρι την Ακρόπολη (Β προς Ν) και αποτελεί τμήμα των τοπογραφικών χαρτών 3 και 4, κλίμακας 1:10.000 της Γ.Υ.Σ..

Η επιλογή αυτής της περιοχής έγινε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια: (α) Τη μορφολογία που την καθιστά μια υδρολογικά ανεξάρτητη υπολεκάνη στο όλο σύστημα του Λεκανοπεδίου, (β) Τη δομή της, στην οποία συμμετέχουν σχεδόν όλοι οι γεωλογικοί σχηματισμοί και αποθέσεις που αναγνωρίζονται στο Λεκανοπέδιο, (γ) Τη δόμηση καθώς και τα έργα υποδομής της που παρουσιάζουν μεγάλη διαχρονική ποικιλομορφία και έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις.

\* Γεωργικό Παν/μιο Αθηνών, Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας, Ιερά Οδός 75, 118 55 ΑΘΗΝΑ



Σχ. 1: Τοπογραφικό διάγραμμα του Λεκανοπεδίου Αθηνών με την περιοχή που μελετήθηκε (α); (β) διάγραμμα συνδέσεως τοπογραφικών φύλλων της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:10.000 (η περιοχή μελέτης αποτελεί τμήμα των φύλλων 3 και 4).

Fig. 1: Topographic scetch of the Athens basin in the studied area (a); (b) diagram of compilation of the topographic sheets of Army Geographic Service, scale 1:10.000 (the studied area is comprised in sheets 3 & 4).

Η περιοχή αποτελεί ένα βύθισμα με διεύθυνση Α-Δ και περιβάλλεται από τους λόφους Στρέφη (163μ.), Λυκαβητός (287μ.), Ακρόπολη (156μ.), Φιλοπάπου (147μ.) και το ύψωμα του Ζαπείου (88-92μ.). Το βύθισμα αυτό αποτελεί μια υπολεκάνη με δενδροειδή υδρογραφικό δίκτυο και κύρια μισογάγγια μέσης διεύθυνσης Α-Δ (Πλατεία Συντάγματος - οδός Αδριανού - Κεραμεικός). Το δίκτυο αυτό έχει κατεύθυνση ροής προς τον Κηφισό και παρουσιάζει σχεδόν εγκάρσια διεύθυνση σε σχέση με το βασικό υδρογραφικό δίκτυο του Λεκανοπεδίου, το οποίο ελέγχεται από τον Ιλισσό και Κηφισό ποταμό (ΒΑ/κής διεύθυνσης).

Η γεωλογική εικόνα της ευρύτερης περιοχής του Λεκανοπεδίου Αθηνών είναι αρκετά σύνθετη και παρά την ευρύτητα των βιβλιογραφικών δεδομένων, υπάρχουν ακόμα πολλά κενά κυρίως σε ότι αφορά τη λιθοστρωματογραφική και τεκτονική σχέση των σχηματισμών που παίρνουν μέρος σε αυτή.

Σε γενικές γραμμές, η περιοχή δομείται από Αλπικούς, Νεογενείς, και Τεταρτογενείς σχηματισμούς και αποθέσεις.

Το μεγαλύτερο τμήμα των Αλπικών σχηματισμών του Λεκανοπεδίου αντιπροσωπεύεται από τους "Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους" (ενδιάμεση Κρητιδική βαθμίδα κατά τον LEPSIUS, 1893), ο οποίος αποτελεί και το υπόβαθρο του Λεκανοπεδίου. Οι NIEDERMAYER (1971, 1973) και SINDOWSKI (1949) θεωρούν ότι το σύστημα των Αθηναϊκών Σχιστολίθων διακρίνεται σε τρεις βαθμίδες (Ανώτεροι Σχιστόλιθοι, Ασβεστόλιθοι Αρδητιού και Κατώτεροι Σχιστόλιθοι), ενώ οι ΔΟΥΝΑΣ, κ.ά. (1976) διαχωρίζουν τους "Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους" σε δύο βασικούς ορίζοντες (Κατώτερο αργιλοψαμμιτικό και Ανώτερο ασβεστοψαμμιτικό). Κατά τον ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟ (1981) η διάκριση των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" σε σαφείς ορίζοντες δεν είναι δυνατή.

Υπερκείμενοι κανονικά (LEPSIUS, 1893; ΜΑΡΙΝΟΣ, κ.ά., 1971; ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, κ.ά., 1976, κ.ά.) των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" απαντούν ασβεστόλιθοι (ανώτερη Κρητιδική βαθμίδα κατά τον LEPSIUS, 1893), οι οποίοι ουσιαστικά εμφανίζονται στις κορυφές των γύρω λόφων. Τεκτονική σχέση "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" και ασβεστόλιθων αναφέρεται από πολλούς ερευνητές όπως οι KÖBER, 1929; KIESLINGER, 1933; RENZ, 1940; ΤΡΙΚΑΛΛΙΝΟΣ, 1948; SINDOWSKI, 1951 και NIEDERMAYER, 1971 και 1973). Οι ΜΑΡΙΝΟΣ, κ.ά. (1971) αναφέρουν ότι οι "Σχιστόλιθοι Αθηνών" και οι υπερκείμενοί τους ασβεστόλιθοι αποτελούν ένα ενιαίο μεικτό πετρολογικό σύστημα φλυσχοειδούς τύπου (στο γενικό σύνολο

του), το οποίο παρουσιάζει την ίδια τεκτονική δομή. Η ηλικία των προαναφερθέντων Αλπικών σχηματισμών, που κατά τον KATSIKATSOS et al. (1986) ανήκουν στο αυτόχθονο σύστημα της Αττικής, είναι Ανωκρητιδική (KTENAS, 1907; MARINOS, κ.ά., 1971 και 1973, κ.ά.).

Οι Νεογενείς σχηματισμοί, κατά τον LEPSIUS (1893), διακρίνονται σε δύο βαθμίδες:

(α) μια αρχαιότερη (Μειόκαινο - Κατ. Πλειόκαινο) από μαργαίτους ασβεστόλιθους, μάργες και ψαμμίτες (λιμναίας φάσης), (β) Μια νεότερη (Πλειόκαινο) από εναλλαγές ερυθροπηλών, μαργών και κροκαλοπαγών (ποταμοχερσαίας φάσης).

Ο FREYBERG (1951) αναφέρει ότι οι σχηματισμοί αυτοί αποτέθηκαν σε ταφροειδή βυθίσματα που σχηματίστηκαν στο αλπικό υπόβαθρο από τη δράση ομάδας κανονικών ρηγμάτων.

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις που καταλαμβάνουν ένα σημαντικό τμήμα του Λεκανοπεδίου είναι ποταμοχερσαίας φάσης, παρουσιάζουν ποικίλη σύσταση και πάχος και διακρίνονται γενικά σε Πλειστοκαινικούς σχηματισμούς και Αλλουβιακές αποθέσεις.

Οι σημαντικότερες υδρογεωλογικές και γεωτεχνικές μελέτες στο Λεκανοπέδιο των Αθηνών, οι περισσότερες από τις οποίες αφορούσαν τους "Αθηναϊκούς Σχιστόλιθους", έχουν γίνει στα πλαίσια των ερευνών για την κατασκευή του Μητροπολιτικού Σιδηρόδρομου (METRO) κυρίως από το Ι.Γ.Μ.Ε. (ΔΟΥΝΑΣ, κ.ά., 1976; ΔΟΥΝΑΣ & ΓΑΚΗΣ, 1977; ΚΟΥΝΗΣ, 1980 και 1981; ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, 1981; ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΗΣ, 1976; ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ & ΜΟΥΤΙΑΡΗΣ, 1981; ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, 1991, κ.ά.).

Στη συνέχεια αναλύεται σε συντομία η γεωλογική - τεκτονική δομή και οι γεωτεχνικές και κυρίως οι υδρογεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή του παραδοσιακού κέντρου της Αθήνας.

## ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ - ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

### 1. Γεωλογική δομή

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και αποθέσεις που απαντώνται στην περιοχή μελέτης, από τους παλαιότερους προς τους νεότερους, είναι (Σχ. 2): (α) Σχηματισμός "Αθηναϊκών Σχιστολίθων", (β) Ασβεστόλιθοι των Αθηνών, (γ) Νεογενείς σχηματισμοί και (δ) Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις.

Οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" αναπτύσσονται στο κεντρικό και ανατολικό τμήμα αποτελώντας το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής.

Η μελέτη του κάθε τύπου εκσκαφών και των γεωτρήσεων που έγιναν στα πλαίσια κυρίως των ερευνητικών έργων του METRO, έδειξε ότι οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" αποτελούνται στο μεγαλύτερο τμήμα τους από ένα ιδιόρρυθμο, κυρίως κλαστικό σχηματισμό, φλυσοχειδούς χαρακτήρα, μέσα στον οποίο οι διάφοροι επικρατούντες πετρολογικοί τύποι εναλλάσσονται τόσο στρωματογραφικά όσο και πλευρικά με μεγάλη συχνότητα. Γενικά, μπορεί κανείς να αναφέρει ότι σε αρκετές θέσεις είναι διακριτή η διαίρεσή τους σε δύο ορίζοντες όπως διακρίνουν οι ΔΟΥΝΑΣ, κ.ά. (1976).

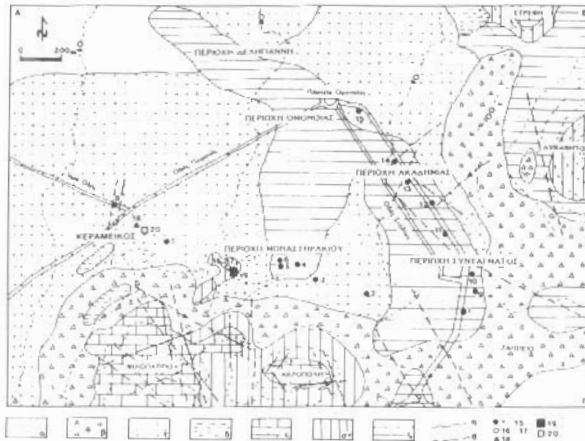
Αναλυτικότερα, στην περιοχή ΔΕΛΗΓΙΑΝΝΗ (Σχ. 2), οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι", συνίστανται κυρίως από εναλλαγές ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών και λιγότερο ασβεστολίθων. Μέσα σε αυτούς απαντώνται σώματα υπερβασικών και βασικών οφιολιθικών πετρωμάτων (σερπεντινίτες, σερπεντινιωμένοι περιδοτίτες, διαβάσεις και σπηλίτες) ποικίλου πάχους. Πρόκειται για φακοειδή σώματα ενδιάμεσα και πλευρικά των οποίων κατά το πλείστον αναγνωρίζονται ασβεστολιθικά και οφιολιθικά λατυποπαγή με αργιλικό έως ιλυολιθικό συγκολλητικό υλικό. Η τοποθέτηση των σωμάτων αυτών, όπως φαίνεται σε τομές εκσκαφών αλλά και σε πυρήνες γεωτρήσεων, έχει ένα καθαρά συνιζηματογενή

χαρακτήρα.

Στην περιοχή ΟΜΟΝΟΙΑΣ, έχουμε κυρίως εναλλαγές ιλυολίθων και αργιλικών σχιστολίθων με πολύ μικρή συμμετοχή ασβεστολίθων και ψαμμιτών και με απουσία οφιολιθικών ολισθολίθων.

Στην περιοχή ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ και ΣΥΝΤΑΓΜΑΤΟΣ έχουμε την παρουσία ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων, ψαμμιτών, ασβεστολίθων, κροκαλοπαγών και μαργών με γενική επικράτηση της ασβεστοψαμμιτικής φάσης. Στο Σύνταγμα μειώνεται η παρουσία των ασβεστολίθων με παράλληλη αύξηση των ψαμμιτών.

Στην περιοχή ΜΟΝΑΣΤΗΡΑΚΙΟΥ η παρουσία των ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων και μαργών αυξάνεται έναντι των ψαμμιτών, συγκρινόμενη με αυτή του Συντάγματος, ενώ τα κροκαλοπαγή είναι ελάχιστα.



Σχ. 2: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης (α. Αλλουβιακές αποθέσεις, β. Πλευρικά κορήματα και Κώνοι κορημάτων, γ. Διλουβιακές αποθέσεις, δ. Νεογενείς σχηματισμοί, ε. Ασβεστόλιθοι των Αθηνών, στ. Ανώτερος ορίζοντας "Αθηναϊκών Σχιστολίθων", ζ. Κατώτερος ορίζοντας "Αθηναϊκών Σχιστολίθων", η. Γεωλογικό όριο, θ. Ρήγμα. Τα σημεία 1-15 είναι θέσεις γεωτρήσεων, τα 16-17 είναι πηγάδια, το 18 είναι πηγή, το 19 είναι το Αδριάνειο Υδραγωγείο και το 20 είναι νερό από εκοκαφή).

Fig. 2: Geological map of the studied area (a. Alluvial deposits, b. Scree and fans, c. Deluvial deposits, d. Neogene formations, e. Limestones of Athens, f. Upper part of the "Athenian Schists", g. Lower part of the "Athenian Schists", h. Geological boundary, i. Fault. 1-15. boreholes, 16-17. Wells, 18. Spring, 19. The Hadrian aquaduc and 20. surface water).

Γενικά, τα προαναφερθέντα πετρώματα που συμμετέχουν στη δομή των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" είναι ελαφρά μεταμορφωμένα (δυναμομεταμόρφωση), ισχυρά παραμορφωμένα, με παρουσία έντονης σχιστότητας και τεκτονισμένα.

Οι Ασβεστόλιθοι των Αθηνών καταλαμβάνουν τις κορυφές των λόφων, με μεγαλύτερη έκταση και πάχος στο λόφο του Φιλοπάπου (Σχ. 2). Αποτελούν κανονική εξέλιξη των ανωτέρων μελών των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων", παρά το ότι η επαφή τους σε αρκετές θέσεις είναι τεκτονισμένη. Πρόκειται για κλαστικούς ή λατυποπαγείς υποκρυσταλλικούς ασβεστόλιθους κατά το πλείστον άστρωτους έως παχυστρωματώδεις, κερματισμένους και καρστικοποιημένους.

Οι Νεογενείς σχηματισμοί απαντούν σε περιορισμένη έκταση και πρόκειται για μάργες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, ψαμμίτες και κροκαλοπαγή, που εναλ-

λάσσονται τόσο στρωματογραφικά όσο και πλευρικά.

Οι Τεταρτογενείς σχηματισμοί και αποθέσεις καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος της περιοχής που μελετήθηκε, είναι γενικά ποταμοχερσαίας φάσης με μεγάλη κύμανση του πάχους τους από περιοχή σε περιοχή. Διακρίνονται σε (Σχ. 2): (α) Διλουβιακούς σχηματισμούς, ημισυνεκτικούς έως συνεκτικούς, από ερυθρούς αργιλούχους ιλυόλιθους, άμμους, χαλίκια και κροκάλες, (β) Παλαιά και νέα κορήματα και κώνους κορημάτων από ημισυνεκτικά (τοπικά ασύνδετα) κομμάτια ποικίλου μεγέθους κυρίως ασβεστολιθικά και λιγότερο μαργαίικα ή ψαμμιτικά, (γ) Αλλουβιακές αποθέσεις από ασύνδετα υλικά αργίλων, άμμων και χαλίκων.

## 2. Τεκτονική

Οι Αλπικοί σχηματισμοί είναι έντονα παραμορφωμένοι με παρουσία συνεχών και ασυνεχών φάσεων, εξαιτίας της έντονης αλπικής συμπιεστικής τεκτονικής, η οποία εκδηλώνεται με κλειστές πτυχές (κεκλιμένες έως αντεστραμμένες) επικρατούσας αξονικής διεύθυνσης Α-Δ, εσωτερικές ολισθήσεις και επιπτεύσεις καθώς και ζώνες διάτμησης παράλληλες με τη μέγιστη συμπίεση βόρειας διεύθυνσης.

Η μεταλπική ρηγματογόνος τεκτονική, η οποία δημιούργησε και το βύθισμα της περιοχής, έχει έντονο εφελκυστικό χαρακτήρα με παρουσία των εξής ρηγμάτων ή ρηγματογόνων ζωνών: (α) ΒΔ - ΝΑ διεύθυνσης ρήγματα (ή ρηγματογόνες ζώνες) κανονικά, κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα (γωνία κλίσης  $>70^\circ$ ) κυρίως δεξιόστροφα με οριζόντια συνιστώσα ολίσθησης, (β) ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσης ρήγματα (ή ρηγματογόνες ζώνες) κανονικά, κατακόρυφα ή σχεδόν κατακόρυφα, δεξιόστροφα με ικανό άλμα γενικά προς τα ΒΔ/κά, (γ) Β - Ν διεύθυνσης ρήγματα (ή σπανιότερα ρηγματογόνες ζώνες) κανονικά, κατακόρυφα (γωνία κλίσης  $>80^\circ$ ).

## 3. Γεωτεχνικές συνθήκες

Με βάση τη γεωλογική δομή της περιοχής μελέτης και τη λιθολογική σύνθεση των διαφόρων σχηματισμών και αποθέσεων που παίρνουν μέρος σε αυτή, μπορούμε να κάνουμε τον ακόλουθο διαχωρισμό των κυριοτέρων τύπων σε εδάφη και πετρώματα:

"Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι". Περιλαμβάνουν: (α) μαλακά πετρώματα στα οποία εντάσσονται κυρίως οι μάργες, οι ιλυόλιθοι καθώς και οι έντονα τεκτονισμένοι σερπεντινίτες και σερπεντινωμένοι περιδοτίτες και (β) περισσότερο συμπαγή πετρώματα, στα οποία υπάγονται οι ασβεστόλιθοι, οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή, τα βασικά και υπερβασικά οφιολιθικά πετρώματα και οι αργιλικοί σχιστόλιθοι. Τα πετρώματα αυτά εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία βαθμού εξαλλοίωσης. Τα εντελώς εξαλλοιωμένα συμπεριφέρονται σαν εδάφη και εμφανίζονται κυρίως σαν ελλουβιακοί μανδύες ικανού κατά θέσεις πάχους και σαν παράγωγα έντονα τεκτονισμένων ζωνών. Τα μέσης εξαλλοίωσης συμπεριφέρονται σαν μαλακά πετρώματα, ενώ αυτά που έχουν υποστεί ελαφρά εξαλλοίωση συμπεριφέρονται σαν συμπαγή πετρώματα. Η εξαλλοίωση των πετρωμάτων έχει άμεση σχέση με τη λιθολογία, την τοπογραφία, την τεκτονική καταπόνηση και τις υδρογεωλογικές και παλαιοκλιματικές συνθήκες της περιοχής. Ο ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ (1981) αναφέρει ότι οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" παρουσιάζουν εξαιρετική ανισοτροπία που εκφράζεται με έντονη διαφοροποίηση των μηχανικών χαρακτηριστικών τους από θέση σε θέση. Στον Πίνακα 1 αναφέρονται ενδεικτικά οι τιμές  $c$  (ΚΡα) και  $\phi$  ( $^\circ$ ) των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" που συγκεντρώθηκαν από διάφορες μελέτες (Δ.Ε.Η., ΜΕΤΡΟ, Symposium for the Athens Schist, 1981, κ.ά.) σε συνάρτηση με τον πετρολογικό τύπο.

Πίν. 1: Τιμές c και φ των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων".

Table 1: c and φ values of the Athenian schists".

	c (KPa)	φ (°)
<i>Από μετρήσεις της Δ.Ε.Η.</i>		
Αργιλικός Σχιστόλιθος (επαφή ιλυόλιθου και ψαμμίτη) με χαλαζία	120	30
Αργιλικός Σχιστόλιθος με χαλαζία	160	30
Αργιλικός Σχιστόλιθος χωρίς χαλαζία αλλά πιο κατακεραματισμένος	80	15
<i>Από προηγούμενες μελέτες για το ΜΕΤΡΟ</i>		
"Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" εντελώς αποσαθρωμένοι	10	30
"Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" ελαφρώς αποσαθρωμένοι	50	30
<i>Από το Συμπόσιο για τον "Αθηναϊκό Σχιστόλιθο" (1981)</i>		
Εντελώς αποσαθρωμένος "Αθηναϊκός Σχιστόλιθος"	50	30
Μέσης αποσάθρωσης "Αθηναϊκός Σχιστόλιθος"	100-500	35
Υγειής "Αθηναϊκός Σχιστόλιθος"	200	38

Ασβεστόλιθοι Αθηνών. Κατατάσσονται στα συμπαγή πετρώματα.

Νεογενείς και Πλειστοκαινικοί σχηματισμοί. Στο σύνολό τους εντάσσονται στα εδάφη, ενώ σε μερικές θέσεις εμφανίζονται συνεκτικοί με ισχυρή συγκόλληση και μπορούν έτσι να ενταχθούν στα πετρώματα.

Αλλουβιακές αποθέσεις, Πλευρικά κορήματα, Κώνοι κορημάτων και Υλικά πλήρωσης. Πρόκειται για εδάφη, μέσα στα οποία απαντούν ισχυρά συγκολλημένα κροκαλοπαγή, που συμπεριφέρονται τοπικά σαν πετρώματα.

#### ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

##### 1. Υδρολιθολογία

Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται, όπως προαναφέρθηκε, από ποικίλους πετρολογικούς τύπους με μεγάλη διακύμανση στα φυσικομηχανικά τους χαρακτηριστικά και από ιδιαίτερη τεκτονική δομή. Οι εμφανιζόμενες ιδιαιτερότητες σε συνδυασμό και με την ήπια μορφή του αναγλύφου της περιοχής δημιουργούν προϋποθέσεις για τη διαμόρφωση υδρογεωλογικών συνθηκών ιδιαίτερου ενδιαφέροντος.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί και οι αποθέσεις που συνθέτουν την περιοχή μελέτης, με βάση την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά είναι δυνατόν να διακριθούν σε υδροπερατούς, ημιπερατούς και πρακτικά υδατοστεγείς σχηματισμούς.

##### Σχηματισμός "Αθηναϊκών Σχιστολίθων"

(α) *Κατώτερος ορίζοντας.* Οι σχηματισμοί από εναλλαγές ιλυολίθων, αργιλικών σχιστολίθων, μαργών και ψαμμιτών θεωρούνται υδατοστεγείς. Οι ψαμμίτες ανάλογα με το βαθμό της διάρρηξης και της διαγένεσής τους είναι δυνατόν να θεωρηθούν σαν ημιπερατοί σχηματισμοί. Οι ασβεστολιθικές ενστρώσεις παρουσιάζουν μεγάλη σχετικά υδατοπερατότητα και υδαταγωγιμότητα, παρόλα αυτά όμως έχουν μικρή αποθηκευτική ικανότητα. Σε αντίθεση, οι ψαμμούχοι μαύροι ασβεστόλιθοι συμπεριφέρονται σαν υδατοστεγείς ή ημιπερατοί σχηματισμοί. Τα βασικά και κυρίως τα υπερβασικά πετρώματα ανάλογα με το βαθμό διάρρηξής τους και τον όγκο τους καθώς επίσης και των λιθοτύπων που τα περιβάλλουν είναι δυνατόν να χαρακτηριστούν σαν ημιπερατοί έως και περατοί σχηματισμοί με πολύ μικρή όμως αποταμιευτική δυνατότητα. Γενικά ο κατώτερος ορίζοντας του συστήματος των σχιστολίθων έχει περιορισμένη υδροφορία, κυρίως κοντά στην επιφάνεια (φρεατική) όπου και παρουσιάζεται αρκετά αποσαθρωμένος. Στο βάθος αυτή περιορίζεται και πρακτικά απουσιάζει (ΔΟΥΝΑΣ, κ.ά., 1976; ΚΟΥΝΗΣ, 1980-81).

(β) *Ανώτερος ορίζοντας.* Χαρακτηρίζεται από τη μεγαλύτερη συμμετοχή α-

δροκλαστικών υλικών και ανθρακικών πετρωμάτων με αυξημένη υδραυλική αγωγιμότητα. Θεωρείται σαν ένα ημιπερατό σύνολο μικρής αποθηκευτικής ικανότητας με παρουσία συχνών στεγανών διαφραγμάτων.

#### Ασβεστόλιθοι των Αθηνών

Είναι έντονα διερρηγμένοι και καρστικοποιημένοι και χαρακτηρίζονται ως οι πλέον υδροπερατοί σχηματισμοί. Αυτοί σε σχέση με το στεγανό υπόβαθρό τους δημιουργούν πτωχούς επικρεμάμενους υδροφόρους ορίζοντες, οι οποίοι εκφορτίζονται με πηγές μικρής παροχής (ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ & ΚΟΥΚΗΣ, 1976).

#### Τεταρογενείς αποθέσεις

(α) Ελλοβιακός μανδύας. Η περατότητά του είναι μεγαλύτερη εκείνης του μητρικού για αυτό και συχνά δημιουργεί πηγές επαφής, μικρής σχετικά παροχής σε περιοχές μορφολογικά ευνοϊκές.

(β) Κοιλαδογενείς προσχώσεις. Γενικά η υδατοπερατότητά τους είναι αυξημένη, αλλά πάντοτε παραμένει μέτρια. Στην επαφή με το υπόβαθρο συχνά δημιουργεί πτωχούς υδροφόρους ορίζοντες.

(γ) Άλλες Τεταρογενείς αποθέσεις. Παρουσιάζουν περιορισμένο υδρογεωλογικό ενδιαφέρον, γιατί έχουν μικρό πάχος και περιορισμένη έκταση. Η υδατοπερατότητά τους είναι γενικά αυξημένη.

#### 2. Υδροφορία

Με βάση τα στοιχεία που έδωσε ο μεγάλος αριθμός των γεωτρήσεων στην περιοχή μελέτης διαπιστώνεται η ύπαρξη ενός πρακτικά ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στο ανώτερο τμήμα των "Αθηναϊκών Σχιστολίθων" και στα χαλαρά ιζήματα του καλύμματος παρουσιάζοντας συνθήκες υδραυλικής συνέχειας.

Η υδροστατική στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται γενικά σε σχετικά μικρό βάθος που κυμαίνεται μεταξύ 4,5μ. και 19,5μ. (Πίνακας 2).

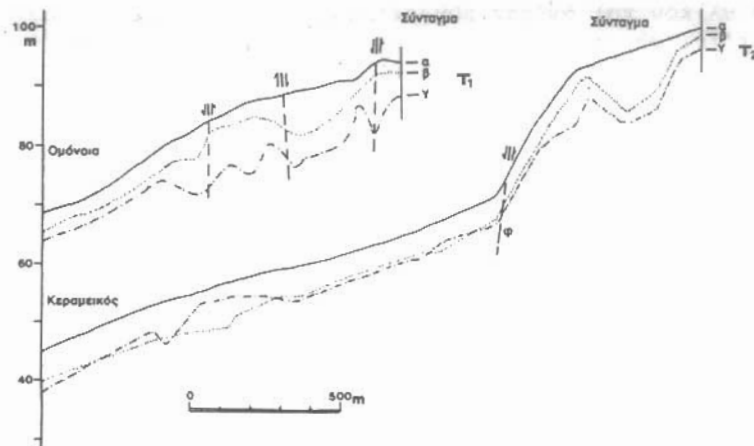
Στον άξονα Σύνταγμα - Κεραμεικός η στάθμη του νερού εμφανίζεται γενικά σε μικρό βάθος από την επιφάνεια και κυμαίνεται μεταξύ 3,0 και 11,5 μέτρων (Σχ. 3). Η υδροστατική επιφάνεια του φρεάτιου ορίζοντα ακολουθεί γενικά τη μορφολογία της περιοχής, όπως αυτό διαπιστώνεται και στις δύο τομές T<sub>1</sub> και T<sub>2</sub> (Σχ. 3). Επίσης, διαπιστώνεται μια σχεδόν παραλληλία μεταξύ της μορφολογικής επιφάνειας και του υποβάθρου. Η υδροστατική επιφάνεια παρουσιάζει μία απότομη πτώση από τα 90.0 στα 80.0 μέτρα στο Σύνταγμα. Η πτώση αυτή, η οποία κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στην ύπαρξη ρήγματος, τοπικά επηρεάζει αισθητά την υδραυλική κλίση του φρεάτιου ορίζοντα, γεγονός που φανερώνει τη σχετικά μικρή περατότητα του υδροφορέα. Ο άξονας αποστράγγισης των υπόγειων νερών έχει φορά από Ανατολή προς Δύση. Από παρατηρήσεις που έγιναν (αντλήσεις) σε παλαιά φρέατα και γεωτρήσεις διαπιστώνεται ότι στην περιοχή Συντάγματος αναπτύσσεται ένας υδροφόρος ορίζοντας σε βάθος 4 έως 5 μέτρα μέχρι 10 έως 12 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, χαμηλής δυναμικότητας, που φθάνει τα 5m<sup>3</sup>/h.

Στον άξονα Σύνταγμα - Ακαδημία - Ομόνοια, η στάθμη του υπόγειου νερού παρουσιάζει αρκετές διακυμάνσεις όπου το βάθος της κυμαίνεται μεταξύ 4,7 και 19,2 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους (Σχ. 3).

Γενικά, ο κύριος παράγοντας που τοπικά διαμορφώνει την υδροστατική επιφάνεια είναι το παλαιοαναγλυφο της περιοχής. Η εμφάνιση μικρών μιγαγγίων είναι δυνατόν να συνδέεται με την ύπαρξη νεοτεκτονικών γεγονότων.

#### 3. Υδροχημεία

Στα πλαίσια των Γεωτεχνικών και Υδρογεωλογικών ερευνών, που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του έτους 1992 στην περιοχή μελέτης για την κατασκευή του ΜΕΤΡΟ, έγιναν τους μήνες Απρίλιο και Σεπτέμβριο δειγματοληψίες νερού σε δεκαπέντε γεωτρήσεις (1-15), σε δύο πηγάδια (16-17), στο αρχαίο Αδριάνειο Υδραγωγείο (19), σε μια πηγή (18) και σε ένα επιφανειακό δείγμα



Σχ. 3: Τομές αναγλύφου, υποβάθρου και στάθμης υπόγειου νερού στη διεύθυνση Σύνταγμα - Ομόνοια και (T<sub>1</sub>) Σύνταγμα - Κεραμεικός (T<sub>2</sub>). (α. απόλυτο υψόμετρο, β. υποβάθρο, γ. επιφάνεια νερού, φ. ρήγμα).

Fig. 3: Sections showing the form of the substratum and the piezometric surface along the areas of Syntagma - Omonia (T<sub>1</sub>) and Syntagma - Keramikos (T<sub>2</sub>) (a. elevation, b. basement, c. water level, φ. fault).

(20) στην περιοχή Κεραμεικού (Πίνακας 2, Σχ. 2).

Τα αποτελέσματα των επιτόπιων παρατηρήσεων και οι χημικές αναλύσεις νερών που εκτελέστηκαν από το Ι.Γ.Μ.Ε. και το Εργαστήριο Ορυκτολογίας - Γεωλογίας του Γεωργικού Πανεπιστημίου Αθηνών φαίνονται στον Πίνακα 2. Από αυτά προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

(α) Η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται μεταξύ 18,6° C και 24,3° C και φανερώνεται έντονα η επίδραση των επιφανειακών παραγόντων τόσο στα επιφανειακά νερά όσο και στον υπόγειο υδροφορέα.

(β) Η ηλεκτρική αγωγιμότητα των νερών κυμαίνεται μεταξύ 600 μS/cm και 4640 μS/cm. Οι υψηλές τιμές που εμφανίζονται στα νερά ορισμένων γεωτρήσεων φανερώνουν το μέγεθος της επιφανειακής επιβάρυνσης του υδροφορέα. Σε σύγκριση με τις χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας που εμφανίζονται σε νερά γειτονικών γεωτρήσεων φανερώνεται η επίδραση διαφορετικών επιφανειακών παραγόντων που οδηγούν τοπικά στην επιβάρυνση με άλατα (διαρροές από το αποχετευτικό δίκτυο) ή στην αρραίωση του νερού του υδροφορέα (διαρροές από το δίκτυο ύδρευσης).

(γ) Οι τιμές του pH που κυμαίνονται μεταξύ 6.9 και 12.1 (κυρίως μεταξύ 7.2 και 7.6) φανερώνουν τον αλκαλικό χαρακτήρα των νερών της περιοχής μελέτης.

(δ) Η ολική σκληρότητα των νερών, κυμαίνεται μεταξύ 1.4°dH και 66.2°dH. Ο μεγαλύτερος αριθμός των δειγμάτων νερού παρουσιάζει τιμές ολικής σκληρότητας, οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 15.5°dH και 25.8°dH, δηλαδή υπάγονται στην τάξη των σχεδόν σκληρών και σκληρών νερών σύμφωνα με τα γερμανικά πρότυπα σκληρότητας του νερού. Η επίδραση των επιφανειακών παραγόντων γίνεται εμφανής σε ορισμένα δείγματα νερών ομοιογενούς λιθολογικού περιβάλλοντος, τα οποία παρουσιάζουν αρκετά υψηλές (66.2°dH) καθώς και αρκετά χαμηλές τιμές (1.4°dH). Στο διάγραμμα σκληρότητας (Σχ. 4) παρουσιάζεται εμφανώς η επίδραση που έχουν υποστεί τα νερά σύμφωνα με το εύρος διακύμανσης των τιμών της ολικής, παροδικής και μόνιμης σκληρότητας αυτών.

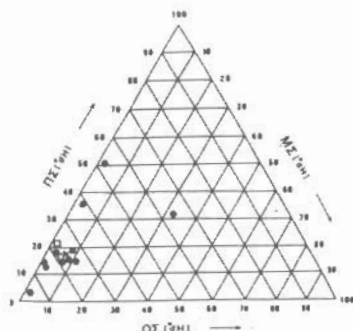
(ε) Τα κατιόντα των εξετασθέντων νερών παρουσιάζουν μια τελείως διαφο-



Πίν. 2: Αποτελέσματα Υδροχημικών Αναλύσεων.

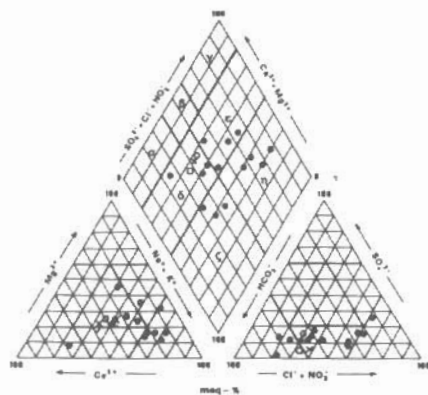
Tab. 2: Chemical water analyses.

Απόλυτο υψόμετρο	Επίπεδη νερό	Παροχή l/s	Θερμοκρασία °C		Ηλεκτρ. αγωγιμότητα μS/cm - 25°C	pH	Σκληρότητα (°dH)			Κατιόντα mg/l					Ανιόντα mg/l					Ιχθυοστοχία ppm			Οργανικά ΚHΜO <sub>4</sub> mg/l	S.A.R.	TDS mg/l	
			αέρος				Ολική	Παροδική	Μόνιμη	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Fe <sub>T</sub>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>					
			αέρος	νερό																						
1	92,8	83,30	-	-	1350	8,3	15,5	13,0	2,5	24,0	52,8	189,0	4,2	283,0	260,0	43,7	39,0	0,2	0,2	-	3,1	5,0	774			
2	71,5	65,70	-	-	20,0	2360	7,2	39,9	37,0	2,9	86,0	121,0	285,0	58,6	805,0	999	321,0	1,8	-	0,9	0,0	-	3,6	4,3	1390	
3	65,4	60,50	-	-	1990	7,2	19,4	28,0	-	63,8	45,9	102,0	117,0	610,0	95,7	84,9	1,0	-	0,9	0,0	-	1,3	2,5	750		
4	63,5	56,31	-	-	1920	8,7	25,3	16,3	9,0	102,4	47,2	321,0	7,5	356,0	464,0	168,0	26,0	0,5	-	2,1	-	9,2	6,6	1334		
5	60,7	56,20	-	-	860	10,7	1,4	4,0	-	1,6	4,8	124,0	49,0	86,9	6,9	50,9	1,0	-	0,7	0,6	-	3,2	11,1	675		
6	58,8	54,20	-	-	4180	7,2	66,2	31,8	34,4	167,0	186,0	471,0	58,6	692,0	850,0	496,0	1,8	-	0,1	0,2	-	2,0	6,0	2550		
7	52,9	48,80	-	-	1240	7,5	18,0	18,7	-	54,1	27,0	150,0	93,9	408,0	97,3	71,1	96,3	-	-	-	-	0,05	2,1	4,1	700	
8	45,9	39,30	-	-	2240	8,1	22,4	15,0	7,4	64,0	58,4	428,0	7,2	327,0	400,0	180,0	20,0	0,7	-	-	-	14,2	-	19,5	9,3	1320
9	93,8	88,65	-	-	4640	12,1	51,1	50,0	1,1	325,0	24,3	121,0	10,1	1091,4	160,0	3,4	724,4	-	-	-	-	0,5	-	4,2	1,7	2800
10	94,4	81,35	-	-	19,8	1250	7,4	22,1	18,8	3,3	91,0	41,0	119,0	3,5	410,0	135,0	96,1	43,4	0,5	-	-	2,2	-	1,5	2,6	724
11	89,5	77,90	-	-	900	7,6	15,6	15,5	0,1	68,9	26,2	82,7	7,4	338,0	81,9	51,4	34,1	0,3	-	-	-	1,2	-	5,1	2,2	640
12	87,0	78,60	-	-	1650	7,4	28,8	15,1	10,7	91,2	56,4	166,0	9,0	329,0	319,0	87,8	37,8	0,4	-	-	-	0,8	-	3,5	3,4	1040
13	84,0	68,50	-	-	560	9,6	5,0	2,0	3,0	22,4	7,0	34,4	4,0	42,7	80,0	78,0	18,8	0,4	-	-	-	5,4	-	4,0	4,3	396
14	81,4	73,30	-	-	18,6	1070	7,4	13,5	21,5	-	52,2	22,4	171,0	4,1	468,0	70,0	73,0	98,0	0,4	-	-	4,6	-	7,9	4,8	712
15	70,4	66,20	-	-	23,0	1390	7,4	27,8	19,1	8,7	65,8	80,8	98,8	8,5	416,0	206,0	77,2	3,1	0,4	-	-	1,8	-	2,4	1,9	800
16	78,5	78,00	-	-	25,5	24,3	1002	7,4	22,4	21,0	1,4	102,4	35,2	75,2	49,2	457,5	117,0	93,2	56,8	-	-	-	6,5	-	1,6	-
17	79,0	78,50	-	-	25,5	25,0	1246	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	68,0	-	1,5	27,2	18,3	945	6,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	80,0	-	-	25,5	20,8	907	6,9	20,2	17,1	3,1	104,0	24,4	74,0	7,8	372,1	95,8	80,0	38,4	-	-	-	4,3	-	-	-	-
20	68,0	-	-	27,2	23,4	1250	6,9	22,8	17,1	4,7	104,3	30,9	78,3	8,5	372,1	102,8	30,0	60,0	-	-	-	4,0	-	-	-	-



Σχ. 4: Διάγραμμα σκληρότητας των υπόγειων και επιφανειακών νερών της περιοχής μελέτης (● γεώτρηση, ○ Αδριάνειο Υδραγωγείο, x νερό εκσκαφής, □ : πηγάδι). ΟΣ (°dH): Ολική Σκληρότητα (γερμ. βαθμοί), ΠΣ (°dH): Παροδική σκληρότητα (γερμ. βαθμοί), ΜΣ (°dH): Μόνιμη σκληρότητα (γερμ. βαθμοί).

Fig. 4: Hardness diagram of the ground and surface waters of the studied area (● borehole, ○ Hadrian aquaduc, x surface water, □ well). ΟΣ (°dH): Total hardness (german degrees), ΠΣ (°dH): Carbonate hardness (german degrees), ΜΣ (°dH): Permanent hardness (german degrees).



Σχ. 5: Διάγραμμα "PIPER" για την ταξινόμηση των νερών της περιοχής μελέτης. Σύμβολα όπως στο σχήμα 4. Τύπος I: Κανονικά γαιωαλκαλικά νερά (α: οξυανθρακικά, β: οξυανθρακικά - θειικά, γ: θειικά), Τύπος II: Γαιωαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων (δ: οξυανθρακικά, ε: θειικά), Τύπος III: Αλκαλικά νερά (ζ: οξυανθρακικά, η: χλωριοθειικά).

Fig. 5: Piper diagram for the classification of the waters of the studied area. Symbols as in fig. 4. Type I: Normal geoalkaline waters (a: hydrocarbonate, b: hydrocarbonate - Sulfate, c: sulfate), Type II: Geoalkaline waters with high contents of alkali (d: hydrocarbonate, e: Sulfate), Type III: Alkaline waters (f: hydrocarbonate, g: chlorine - sulfate).

ρετική εικόνα τιμών περιεκτικότητας σε σύγκριση με τις τιμές των μη επηρεασμένων κανονικών υπόγειων νερών. Τα επικρατέστερα στοιχεία από τα κατιόντα στα υπόγεια κανονικά νερά θεωρούνται το Ασβέστιο (Ca<sup>++</sup>) και το Μαγνήσιο (Mg<sup>++</sup>) και σε δευτερευούσα θέση τοποθετούνται τα αλκάλια Νάτριο (Na<sup>+</sup>) και Κάλιο (K<sup>+</sup>). Στα νερά που εξετάστηκαν εμφανίζεται έντονη η παρουσία των

αλκαλίων και σε ορισμένα δείγματα, η ποσοστιαία τιμή τους ανέρχεται στα 70% επί του συνόλου των διαλελυμένων κατιόντων. Οι αρκετά υψηλές τιμές περιεκτικότητας του Νατρίου (από 82.7 mg/l έως 471.0 mg/l) και του Καλίου (από 3.5 mg/l έως και 117.0 mg/l) φανερώνουν το μέγεθος της επιβάρυνσης του υδροφορέα από την επίδραση των επιφανειακών παραγόντων. Το ασβέστιο ( $\text{Ca}^{++}$ ) και το Μαγνήσιο ( $\text{Mg}^{++}$ ) εμφανίζουν τιμές περιεκτικότητας, οι οποίες κυμαίνονται από 1.6 mg  $\text{Ca}^{++}/\text{l}$  έως 325 mg  $\text{Ca}^{++}/\text{l}$  και από 4.8 mg  $\text{Mg}^{++}/\text{l}$  έως 186.0 mg  $\text{Mg}^{++}/\text{l}$  αντίστοιχα.

(στ) Τα ανιόντα των εξετασθέντων νερών παρουσιάζουν γενικά αρκετά υψηλές τιμές περιεκτικότητας, οι οποίες ξεπερνούν τα ανώτατα όρια τιμών που θεωρητικά ισχύουν για τα υπόγεια κανονικά νερά υδροφόρων οριζόντιων αντίστοιχης λιθολογικής σύστασης. Η περιεκτικότητα των στοιχείων  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  και  $\text{PO}_4^{--}$  που θεωρούνται χαρακτηριστικοί δείκτες επιβάρυνσης των υπόγειων νερών από επιδράσεις ανθρωπογενούς προέλευσης (MATTHESS, 1973; HOLL, 1979; KARRENBERG, 1981; ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, 1986), κυμαίνεται από 70.0 mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$  έως 850.0 mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$ , από 3.1 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$  έως 220.0 mg  $\text{NO}_3^-/\text{l}$ , από 3.4 mg  $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$  έως 496.0 mg  $\text{SO}_4^{--}/\text{l}$  και από 4.0 mg  $\text{PO}_4^{--}/\text{l}$  έως 6.5 mg  $\text{PO}_4^{--}/\text{l}$  αντίστοιχα.

(ζ) Η οργανική επιβάρυνση, όπως διαπιστώνεται από την ανάλωση του  $\text{KMnO}_4$ , κυμαίνεται από 2.4 mg/l έως 19.5 mg/l. Οι συνήθεις τιμές ανάλωσης του  $\text{KMnO}_4$  για τα μη επιβαρυσμένα υπόγεια νερά κυμαίνονται μεταξύ 3.0 mg  $\text{KMnO}_4/\text{l}$  και 6.0 mg  $\text{KMnO}_4/\text{l}$  (HOLL, 1979).

Συγκρινόμενες οι τιμές περιεκτικότητας ορισμένων στοιχείων ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  και  $\text{NO}_3^-$ ), που ελήφθησαν κατά την παρούσα μελέτη, με τις τιμές των αντίστοιχων στοιχείων από αποτελέσματα παλαιότερων μελετών, όπου συμπεριλαμβάνεται και η περιοχή της παρούσας μελέτης (ΔΟΥΝΑΣ κ.ά., 1976; ΚΟΥΝΗΣ, 1981), διαπιστώνεται η συγκεντρωτική τάση αυτών και αποκαλύπτεται σχεδόν ο υπερδιπλασιασμός της τιμής περιεκτικότητάς τους.

Με βάση το διάγραμμα PIPER (1944) του σχήματος 5, προκύπτει ότι στην περιοχή μελέτης διακρίνονται οι τύποι II και III, δηλαδή γαιοαλκαλικά νερά με υψηλό ποσοστό αλκαλίων και αλκαλικά νερά. Στην πρώτη ομάδα νερών η περιεκτικότητα των αλκαλίων, κυρίως του Νατρίου ( $\text{Na}^+$ ), κυμαίνεται μεταξύ 20% και 50% επί του συνόλου των διαλυμένων κατιόντων.

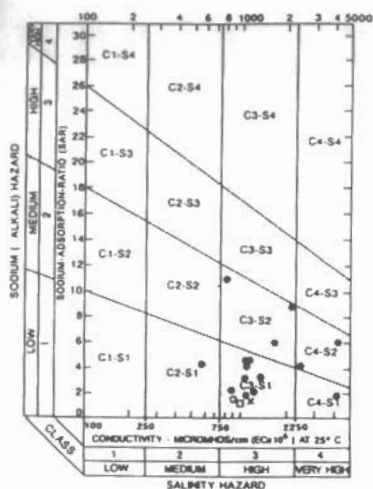
Από τα ανιόντα υπερτερούν τα οξυανθρακικά και τα χλωρίδια που κυμαίνονται από 25% έως 75% και από 19% έως 53% επί του συνόλου των διαλυμένων ανιόντων αντίστοιχα. Στη δεύτερη ομάδα νερών η περιεκτικότητα των αλκαλίων κυμαίνεται μεταξύ 50% και 70%. Τα υψηλότερα ποσοστά περιεκτικότητας από τα ανιόντα εμφανίζουν τα οξυανθρακικά (12%-69%), ακολουθούν τα χλωρίδια (16%-57%) και τα θειϊκά (12%-27%).

Γενικά, στην περιοχή μελέτης απαντώνται οι ακόλουθοι επικρατέστεροι χημικοί τύποι νερών: (α)  $\text{Ca-Mg-Na-Cl-HCO}_3$ , (β)  $\text{Na-Cl-HCO}_3$ , (γ)  $\text{Na-Cl}$

#### 4. Σχέση προσρόφησης Νατρίου (S.A.R.)

Η παρατεταμένη ανομβρία που παρατηρείται κατά τα τελευταία χρόνια έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση των υδατικών αποθεμάτων, τα οποία είναι απαραίτητα για την κάλυψη των αναγκών σε νερό της περιοχής Αθηνών. Το πρόγραμμα εκτέλεσης υδρογεωτρήσεων στο χώρο του λεκανοπεδίου με σκοπό τη συμπλήρωση (αναρρύθμιση) των αρδευτικών αναγκών προϋποθέτει και τον ανάλογο έλεγχο ορισμένων παραμέτρων καταλληλότητας των υπόγειων νερών της περιοχής.

Μια βασική παράμετρος για την αρδευτική καταλληλότητα του νερού είναι η



Σχ. 6: Διάγραμμα αρδευτικής καταλληλότητας των υπόγειων νερών κεντρικής περιοχής Αθηνών με βάση την τιμή S.A.R. και το βαθμό της περιεκτικότητας σε άλατα (Κατά RICHARDS, 1954 και HEM, 1970). Σύμβολα όπως στο σχήμα 4.

Fig. 6: Diagram of the groundwater irrigation quality of the center of Athens, following the S.A.R. values and the salt concentration (after RICHARDS, 1954 and HEM, 1970). Symbols as in fig. 4.

παράμετρος S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio). Πρόκειται για την εκτίμηση της ποσότητας του Νατρίου από το φαινόμενο προσρόφησης, που σε υψηλές τιμές περιεκτικότητας στα εδάφη δημιουργεί προβλήματα στην ανάπτυξη των φυτών.

Οι τιμές S.A.R. των υπόγειων νερών της περιοχής μελέτης κυμαίνονται με-ταξύ 1.7 και 11.1 (Πίνακας 2). Στο διάγραμμα ταξινόμησης αρδευτικών νερών κατά RICHARDS (1954) (Σχ. 6)

το μεγαλύτερο ποσοστό των τιμών αυτών εμπίπτουν στα πεδία C3-S1 και ένα μικρότερο ποσοστό στα πεδία C3-S2 και C4-S2. Το μεγαλύτερο ποσοστό (>70%) δειγμάτων παρουσιάζουν δηλαδή υψηλή επικινδυνότητα ως προς την αλατότητα και χαμηλή επικινδυνότητα ως προς την αλκαλικότητα. Η έντονη επιβάρυνση που φανερώνουν ορισμένα δείγματα νερών αντικατοπτρίζεται επίσης και στη σχέση μεταξύ αλκαλικότητας και αλμυρότητας. Τα νερά αυτά εμπίπτουν στα πεδία C4-S1, C3-S2 και C4-S2 του διαγράμματος και υποδηλώνουν την υψηλή έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα αλμυρότητας και μέσης τάξεως επικινδυνότητα ως προς την αλκαλικότητα.

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι" στην περιοχή που μελετήθηκε παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία σε ότι αφορά τη λιθολογική τους σύσταση με μεγαλύτερη συμμετοχή της ασβεστολιθικής φάσης στην περιοχή Ακαδημίας αλλά και του Συντάγματος έναντι των περιοχών Μοναστηράκι και Ομόνοια. Στην περιοχή Δεληγιάννη τα οφιολιθικά πετρώματα επικρατούν δίνοντας μια εικόνα "άγριου φλύσχη".

Η παλαιομορφολογία του Αλπικού υποβάθρου, που προήλθε από τη νεοτεκτονική δράση (κανονικά ρήγματα ΒΑ-ΝΔ, ΒΔ-ΝΑ και Β-Ν) και την επίδραση των εξωγενών παραγόντων (εξαλλοίωση - διάβρωση), στο μεγαλύτερο μέρος της περιοχής που μελετήθηκε ταυτίζεται με το τοπογραφικό ανάγλυφο.

Οι "Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι", που στην περιοχή καλύπτονται από μικρό σχετικά πάχος μεταλλικών σχηματισμών και αποθέσεων, παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία στο βαθμό εξαλλοίωσής τους. Τα εντελώς εξαλλοιωμένα, τα οποία συμπεριφέρονται και σαν εδάφη, κατά κανόνα εμφανίζονται σε έκταση στα ανώτερα μορφολογικά στρώματα και υδρογεωλογικά συμπεριφέρονται σαν ημιπερατοί σχηματισμοί παρά το ότι στο σύνολό τους πρακτικά αποτελούν στεγανούς σχηματισμούς. Στους ημιπερατούς σχηματισμούς κατατάσσονται επίσης και βασικά και υπερβασικά πετρώματα, οι ψαμμίτες και οι χαλαροί Τεταρτογενείς σχηματισμοί.

Στους καρστικοποιημένους Ασβεστόλιθους των Αθηνών που δομούν τους λόφους των Αθηνών δημιουργείται ένας επικρεμάμενος υδροφόρος ορίζοντας περι-

ορισμένου υδρογεωλογικού ενδιαφέροντος.

Με βάση τα στοιχεία κυρίως των γεωτρήσεων στην περιοχή που μελετήθηκε διαπιστώνεται η ύπαρξη ενός πρακτικά ελεύθερου υδροφόρου ορίζοντα, μικρού βάθους (3.0 - 19.5 μέτρα περίπου). Ο ορίζοντας αυτός αναπτύσσεται στα ανώτερα τμήματα των "Αθηναϊκών Σχιστόλιθων" και στα χαλαρά ιζήματα του καλύμματος. Ο άξονας αποστράγγισης του έχει φορά από Ανατολή προς Δύση και παραλληλίζεται κατά κάποιο τρόπο με τον άξονα του κύριου υδρογραφικού δικτύου της περιοχής.

Τα αποτελέσματα των υδροχημικών αναλύσεων που έγιναν σε γεωτρήσεις, πηγάδια, πηγαίο και επιφανειακό νερό της κεντρικής περιοχής των Αθηνών, έδειξαν το μέγεθος της επιβάρυνσης που έχει υποστεί ο υπόγειος υδροφορέας. Κύριος παράγων της εντόνου αυτής ρύπανσης, η οποία αποδεικνύεται με τις υπερβολικά υψηλές τιμές περιεκτικότητας των δεικτών ρυπάνσεως, όπως είναι τα  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^-$  και οι τιμές ανάλωσης  $\text{KMnO}_4$  και της S.A.R. είναι οι ανθρώπινες επεμβάσεις (κατασκευές, δίκτυα αποχέτευσης και υδροδότησης, κλπ.), που συντελούνται στην ιστορική αυτή πόλη από αρχαιότατων χρόνων μέχρι σήμερα. Οι παρατηρούμενες με τοπικό χαρακτήρα υδροχημικές ανωμαλίες (συγκέντρωση και αρραίωση αλάτων σε παραπλήσιες γεωτρήσεις) συνηγορούν στις επιδράσεις, που δέχεται ο υδροφορέας, περισσότερο ανθρωπογενούς παρά γαιογενούς προέλευσης, εφ' όσον η λιθολογική σύσταση του υδροφορέα ("Αθηναϊκοί Σχιστόλιθοι") δεν συμβάλλει στον εμπλουτισμό του υπόγειου νερού σε παντοειδή άλατα.

Η ανομοιογένεια του υπόγειου νερού αντικατοπτρίζεται επίσης στην εμφάνιση πολλών διαφορετικών υδροχημικών τύπων. Η χρησιμότητά του, έστω και για τη διατήρηση του πράσινου σε δημόσιους ή ιδιωτικούς χώρους, θεωρείται περιορισμένη εάν ληφθεί υπόψη η υψηλή μέχρι πολύ υψηλή επικινδυνότητα της αλατότητας και αλκαλικότητας που εμφανίζεται στο νερό ορισμένων γεωτρήσεων.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. and ΚΟΥΚΗΣ, Γ. (1976). Γεωλογική - γεωτεχνική μελέτη της περιοχής Ακροπόλεως Αθηνών. Ι.Γ.Μ.Ε., Γεωτεχν. Ερευναι, Αρ. 1, 48σ., Αθήνα.
- ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. and ΜΟΥΓΙΑΡΗ, Ν. (1981). Η υδρογεωλογία του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου. Τ.Ε.Ε. Πρακτικά Ημερίδας "Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου", σελ. 20-40.
- ΑΝΔΡΟΝΟΠΟΥΛΟΣ, Β. (1981): Η γεωλογία του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου. Τ.Ε.Ε. Πρακτικά Ημερίδας "Γεωτεχνικά προβλήματα του Αθηναϊκού Σχιστόλιθου", σελ. 2-19
- ΔΟΥΝΑΣ, Α., ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ., ΜΟΡΦΗΣ, Α., ΤΑΣΙΟΣ, Ν. and ΓΑΚΗΣ, Α. (1976). Υδρογεωλογική έρευνα εντός των πλαισίων της μελέτης του Μητροπολιτικού Σιδηρόδρομου Αθηνών (ΜΕΤΡΟ). Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά Ερευναι No 19, σελ. 1-47.
- ΔΟΥΝΑΣ, Α. and ΓΑΚΗΣ, Α. (1977). Διακύμανσις στάθμης ύδατος των πιεζομετρικών γεωτρήσεων περιοχής metro Αθηνών (Δεκέμβριος 1974 - Δεκέμβριος 1976). Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρολογικά και Υδρογεωλογικά Ερευναι No 22.
- FREYBERG, B.v. (1951). Das Neugebiet nordwestlich Athen. Ann. Geol. Pays. Hellen., 3, 65-86, Αθήνα.
- HEM, J.D. (1970). Study and interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Geol. Surv. Water-Supply-Paper 1473, Washington D.C..
- HOLL, K. (1979). WASSER, Untersuchung - Beurteilung - Aufbereitung - Chemie

- Bakteriologie - Virologie - Biologie. G. Aufage, de Gruyter - Verlag, Berlin - New York.

- ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1986). Εφαρμοσμένη Γεωλογία, Τόμος Α. Εκδοση Τ.Ε.Ε., Αθήνα.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΚΟΥΝΗΣ, Γ., ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ, Π., ΜΕΤΤΟΣ, Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ, Π. and ΓΑΚΗΣ, Α. (1976). Γεωλογικός χάρτης περιοχής Μετρό Αθηνών, Κλίμακα 1:7.500. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε..
- KATSIKATSOS, G., MIGIROS, G., TRIANTAPHYLLIS, M. and METTOS, A. (1986). Geological structure of Internal Hellenides (E. Thessaly - SW Macedonia, Euboea-Attica-Northern Cyclades Islands and Lesvos). I.G.M.E., Geol. & Geoph. Res., Special Issue, p. 191-212.
- KARRENBERG, H. (1981). Hydrogeologie der nichtverkarstungsfähigen Festgesteine. Springer-Verlag, Wien-New York.
- KIESLINGER, A. (1933). Die Akropolis - Überschiebung in Athen. Zentr. f. Min., B, 276-280, Stuttgart.
- KOBER, L. (1929). Beiträge zur Geologie von Attika. Sitz. Akad. Wiss. Mat.-Nat. kl., 138, p. 199-326
- ΚΟΥΝΗΣ, Γ. (1980-1981). Υδρογεωλογική έρευνα ΜΕΤΡΟ Αθηνών. I. Μετρήσεις, II. Ανάλυση υδρογεωλογικών συνθηκών. Εκδόσεις Ι.Γ.Μ.Ε., Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Ερευνες No 34.
- ΚΟΥΝΗΣ, Γ. (1981). Υδρογεωλογική Ερευνα Μετρό Αθηνών - II Ανάλυση υδρογεωλογικών συνθηκών. Υδρολογικές και Υδρογεωλογικές Ερευνες, No 34, ΙΓΜΕ Αθηνών.
- KTENAS, C. (1907). Sur l' age des terrains calcaires des environs d' Athenes. C. R. Ac. Sciences, 144, 697-699, Paris.
- LEPSIUS, R. (1893). Geologie von Attica. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. 196S, Berlin 1893 & μετάφραση Γ. Βουγιούκα, Βιβλιοθήκη Μαρασλή, 592σ., Αθήνα 1906.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ., ΓΕΩΡΓΙΑΔΟΥ-ΔΙΚΑΙΟΥΛΙΑ, Ε. and ΜΙΡΚΟΥ, Ρ. (1971). Το σύστημα των σχιστολίθων Αθηνών. - I. Στρωματογραφία και Τεκτονική. Ann. Geol. de Pays Hell., Vol. XXIII, p. 183-216.
- ΜΑΡΙΝΟΣ, Γ., ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ, Γ. and ΜΙΡΚΟΥ-ΠΕΡΙΠΟΠΟΥΛΟΥ, Ρ. (1973). Το σύστημα των σχιστολίθων. - II. Στρωματογραφία και τεκτονική. Ann. Geol. de Pays Hell., Vol. XXIV, p. 439-444.
- MATTHESS, G. (1973). Die Beschaffenheit des Grundwassers. Lehrbuch der Hydrogeologie, Gebruder Borntraeger, Berlin - Stuttgart.
- NIEDERMAYER, J. (1971). Geological map and underground map of Athens, Scale 1:10.000. Technical Chamber of Greece and Greek Geological Society.
- NIEDERMAYER, J. (1973). Die geologische karte von Athen 1:10.000. Technical Chamber of Greece and Greek Geological Society. Bull. of the Geol. Soc. of Greece, Vol. VIII, n° 2, p. 117-134.
- PIPER, A.M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. Trans. amer. geophys. Union, 25, Washington.
- RENZ, C. (1940). Die tektonik der griechischen Gebirge. Πραγμ. Ακαδ. Αθηνών, 8, 171σ., Αθήνα.
- RICHARDS, L.A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Dept. Agriculture, Handb., 60, Washington.
- ΣΑΜΠΑΤΑΚΑΚΗΣ, Ν. (1991). Τεχνικογεωλογική έρευνα του Λεκανοπεδίου των Αθηνών. Διδακτορική Διατριβή, Γεωλ. Τμήμα Πατρών, σελ. 1-210.
- SINDOWSKI, K. (1949). Der geologische Bau von Attika. Ann. Geol. Pays
- Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

Hell., II/2, p. 163-218.

SINDOWSKI, K. (1951): Zur Geologie des Lykabettos - Turkowuni - Gebietes bei Athen. Ann. Geol. Pays. Hell., III, p. 11-21.

ΤΡΙΚΚΑΛΙΝΟΣ, Ι. (1948). Συμβολή εις την διερεύνησιν της τεκτονικής δομής των ασβεστολιθικών στρωμάτων της περιοχής του Λυκαβητιού. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 23, 290-292, Αθήνα.