

<i>Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας</i>	<i>Τόμ.</i>	<i>σελ.</i>	<i>Αθήνα</i>
<i>Bulletin of the Geological Society of Greece</i>	<i>XXVII</i>	<i>147-164</i>	<i>1991</i>
	<i>Vol.</i>	<i>pag.</i>	<i>Athens</i>

**ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ
ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ:
ΑΝΔΡΟΣ, ΣΙΦΝΟΣ ΚΑΙ ΔΟΝΟΥΣΑ***

**Δ. Παπανικολάου & Ε. Λόγος
με τη συνεργασία των Α. Γκανά, Α. Κοκορομύτη & Ε. Σπυρίδωνος**

ABSTRACT

The particular significance of the tectonic structure of the metamorphic formations of the Cyclades regarding their applications on hydrogeology is analyzed. More precisely, the large scale structure of isoclinal folding (D1) can be shown on specific tectonic maps which describe the geometry of the contacts between permeable and impermeable formations and subsequently the attitude of the subsurface water bearing surfaces as well as the axes of the underground water flow. The major hydrogeological contacts between gneisses-schists and marbles, which occur in almost all cycladic islands, are used in these specific maps.

The primary subsurface structure of the important, from the hydrogeological point of view, contacts is affected by younger tectonic structures of systematic open folding (D2) or systematic normal faulting (D3) which create second order water traps. The isoclinal folding in Andros Island constitutes a characteristic example of the primary structure whereas the complex structure of Donoussa Island offers a characteristic example of combination of first and second order structures corresponding to isoclinal folding, followed by open folds and finally by normal faults in monoclinic geometry. In the case of Sifnos Island the tectonic models are further differentiated by the development of listric faults which create a rotation of the overall primary isoclinal folding in each one of the five blocks that can be mapped along the western part of the island. The result is a rotation of the subsurface water flow planes and axes, following the intersection direction between the primary layering of the isoclinal folding and the secondary listric faults.

The above structural analysis in the islands of Andros, Sifnos and Donoussa indicates a methodology for hydrogeological investigations in the metamorphic terrains of the Cyclades based on the geometry of the contacts of the permeable/impermeable formations, followed by the subsurface barriers created by normal faults.

* Papanikolaou, D. & Logos, E., with contribution of Ganas, A., Kokoromitis, A. & Spyridonos, E. Tectonic models of the cycladic metamorphics and their application to Hydrogeology: Andros, Sifnos and Donoussa. University of Athens, Dept. of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, Panepistimioupoli, Zografou, 157 84, Athens, Greece (Ανακοινώθηκε στα Χανιά κατά την επιστημονική συνεδρία της 29/11/1991).

<i>Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας</i>	<i>Τόμ.</i>	<i>σελ.</i>	<i>Αθήνα</i>
<i>Bulletin of the Geological Society of Greece</i>	<i>XXVII</i>	<i>147-164</i>	<i>1991</i>
	<i>Vol.</i>	<i>pag.</i>	<i>Athens</i>

**ΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΤΩΝ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΩΝ
ΤΩΝ ΚΥΚΛΑΔΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ:
ΑΝΔΡΟΣ, ΣΙΦΝΟΣ ΚΑΙ ΔΟΝΟΥΣΑ***

**Δ. Παπανικολάου & Ε. Λόγος
με τη συνεργασία των Α. Γκανά, Α. Κοκορομήτη & Ε. Σπυρίδωνος**

ABSTRACT

The particular significance of the tectonic structure of the metamorphic formations of the Cyclades regarding their applications on hydrogeology is analyzed. More precisely, the large scale structure of isoclinal folding (D1) can be shown on specific tectonic maps which describe the geometry of the contacts between permeable and impermeable formations and subsequently the attitude of the subsurface water bearing surfaces as well as the axes of the underground water flow. The major hydrogeological contacts between gneisses-schists and marbles, which occur in almost all cycladic islands, are used in these specific maps.

The primary subsurface structure of the important, from the hydrogeological point of view, contacts is affected by younger tectonic structures of systematic open folding (D2) or systematic normal faulting (D3) which create second order water traps. The isoclinal folding in Andros Island constitutes a characteristic example of the primary structure whereas the complex structure of Donoussa Island offers a characteristic example of combination of first and second order structures corresponding to isoclinal folding, followed by open folds and finally by normal faults in monoclinic geometry. In the case of Sifnos Island the tectonic models are further differentiated by the development of listric faults which create a rotation of the overall primary isoclinal folding in each one of the five blocks that can be mapped along the western part of the island. The result is a rotation of the subsurface water flow planes and axes, following the intersection direction between the primary layering of the isoclinal folding and the secondary listric faults.

The above structural analysis in the islands of Andros, Sifnos and Donoussa indicates a methodology for hydrogeological investigations in the metamorphic terrains of the Cyclades based on the geometry of the contacts of the permeable/impermeable formations, followed by the subsurface barriers created by normal faults.

* Papanikolaou, D. & Logos, E., with contribution of Ganas, A., Kokoromitis, A. & Spyridonos, E.
Tectonic models of the cycladic metamorphics and their application to Hydrogeology: Andros, Sifnos and Donoussa.
University of Athens, Dept. of Dynamic, Tectonic and Applied Geology, Panepistimioupoli, Zografou, 157 84, Athens, Greece
(Ανακοινώθηκε στα Χανιά κατά την επιστημονική συνεδρία της 29/11/1991).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τεκτονική δομή των μεταμορφωμένων σχηματισμών των Κυκλάδων, εκτός της σημασίας που έχει ευρύτερα στη γεωλογική επιστήμη, έχει και ιδιαίτερη σημασία ως προς τις υδρογεωλογικές εφαρμογές. Πιο συγκεκριμένα, η δομή των ισοκλινών πτυχώσεων μεγάλης κλίμακας δίνει τη δυνατότητα κατασκευής ειδικών τεκτονικών χαρτών που δείχνουν την υπόγεια γεωμετρία των επαφών περατό/αδιαπέρατο και επομένως την κλίση των επιπέδων υδροφορίας καθώς και τους άξονες υπεδαφικής ροής. Οι σημαντικές υδρογεωλογικές επαφές μαρμάρων/γνευσιοσχιστολίθων που απαντούν σχεδόν σε όλα τα νησιά των Κυκλάδων χρησιμεύουν στην κατασκευή των ειδικών χαρτών.

Η αρχική υπεδαφική διάταξη των υδρογεωλογικά ενδιαφερόντων επαφών με την ισοκλινή πύκωση (D1) διαφοροποιείται από τις μεταγενέστερες τεκτονικές δομές των συστηματικών ανοιχτών πτυχών (D2) και των συστηματικών κανονικών μεταπτώσεων (D3) που δημιουργούν δευτέρας τάξεως "παγίδες" ύδατος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στην αρχική δομή της ισοκλινούς πύκωσης αποτελεί η νήσος Άνδρος, ενώ η δομή της νήσου Δονούσας αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα συνδυασμού πρώτης και δεύτερης τάξης δομών από το συνδυασμό ισοκλινούς πύκωσης και μονοκλινικής διάταξης κανονικών ρηγμάτων. Στην περίπτωση της νήσου Σίφνου παρατηρείται μία επιπλέον εντυπωσιακή διαφοροποίηση των τεκτονικών προτύπων από λιστρικά ρήγματα, που δημιουργούν στροφή της όλης αρχικής ισοκλινούς δομής στα 5 επιμέρους ρηξιτεμάχη που διακρίνονται κατά μήκος της δυτικής πλευράς του νησιού. Έτσι, παρατηρείται στρέψη των αξόνων υπόγειας ροής ανάλογη της στρέψης των λιστρικών ρηγμάτων, τα οποία μεταβάλλονται σε διεύθυνση από NE-SW σε E-W και σε NW-SE.

Από τη διερεύνηση της υδρογεωλογικής σημασίας των τεκτονικών στοιχείων στα νησιά Άνδρο, Σίφνο και Δονούσα προκύπτει μία μεθοδολογία εφαρμοσμένης τεκτονικής ανάλυσης στην οποία παίζουν καθοριστικό ρόλο, αφενός οι πρωτογενείς επαφές περατό/αδιαπέρατο και αφετέρου οι δευτερογενείς επιφάνειες των ρηγμάτων και ιδιαίτερα των λιστρικών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υδρογεωλογική έρευνα στους αλπικούς σχηματισμούς βασίζεται στον εντοπισμό των επιπέδων και των αξόνων ροής του υπεδαφικού νερού όπως αυτά καθορίζονται από την γεωμετρία των επαφών μεταξύ των υπερκείμενων περατών και υποκείμενων αδιαπέρατων σχηματισμών. Στις ιζηματογενείς ακολουθίες των αλπικών σχηματισμών των Ελληνίδων οι επαφές αυτές αντιπροσωπεύονται συνήθως είτε από περμοτριαδικές ηφαιστειοϊζηματογενείς ακολουθίες που υπόκεινται στρωματογραφικά ανθρακικών σχηματισμών, είτε από περιπτώσεις πωκαινικών φλυσχικών ακολουθιών που υπόκεινται των ανθρακικών σχηματισμών, είτε με στρωματογραφική επαφή λόγω αναστροφής, είτε με τεκτονική επαφή λόγω λεπίωσης ή επώθησης. Στις περιπτώσεις αυτές η κατασκευή υπεδαφικών χαρτών της επαφής περατού/αδιαπέρατου αποτελεί την κύρια μεθοδολογία στην υδρογεωλογική έρευνα με εφαρμογές γνωστές π.χ. στην Πελοπόννησο (ΛΕΚΚΑΣ, 1978; ΓΕΩΡΓΟΥΛΗΣ, 1984, κ.ά.).

Στις περιπτώσεις των μεταμορφωμένων πετρωμάτων όπως χαρακτηριστικά είναι ο χώρος των Κυκλάδων, τα τεκτονικά πρότυπα που απαντούν μπορούν να καθορίσουν αντίστοιχες μεθοδολογίες υδρογεωλογικής διερεύνησης με βάση την συγκεκριμένη δομή που απαντά στους σχηματισμούς αυτούς και η οποία είναι πολύ διαφορετική από τη δομή των μη μεταμορφωμένων ιζηματογενών ακολουθιών που αναφέρθηκε παραπάνω.

Η τεκμηρίωση της ύπαρξης ισοκλινών κατακεκλιμένων πτυχών μεγάλης κλίμακας στα διάφορα νησιά (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1976, 1977, 1978, 1980, 1984) οδηγεί σε μία πρώτη διάταξη στο χώρο από επαφές περατό/αδιαπέρατο, που στην προκειμένη περίπτωση συνήθως

αντιστοιχούν σε επαφές μεταξύ των διαφόρων τύπων μαρμάρων (και δολομίτες, σιπολινομάρμαρα κ.λπ.) και γνευσιοσχιστολίθων, που με τη βοήθεια τεκτονικών υπεδαφικών καρτών οριοθετούν την πρώτης τάξης υδροφορία (Εικ.1).

Η παραπάνω δομή που αναπτύσσεται με τεκτονική ροή και παράλληλη ανάπτυξη σχιστότητας και αποτελεί την κύρια παραμορφωτική φάση βάθους (D1) κατά κανόνα ακολουθείται, έπειτα από μία ή περισσότερες ενδιάμεσες τεκτονικές φάσεις με συνήθως ανοικτές πτυχές (D2) και από μία τελική παραμορφωτική φάση (D3) αμιγώς ρηξιγενούς χαρακτήρα στον ανώτερο τεκτονικό όροφο (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1977, 1987). Η τελευταία αυτή ρηγματογόνος φάση αναπτύσσεται συνήθως σε διεύθυνση εγκάρσια προς την πρωτογενή δομή του βαθύτερου τεκτονικού ορόφου δημιουργώντας ένα δεύτερο τεκτονικό πρότυπο, που προστιθέμενο στο προηγούμενο καταλήγει στον εντοπισμό συγκεκριμένων επιπέδων και αξόνων ροής, ανάλογα με το είδος των επαφών ως προς την ιδιότητα περατό/αδιαπεράτο και τις προκύπτουσες διατομές πρωτογενών και δευτερογενών επιφανειών (Εικ. 1).

Ο συνδυασμός των παραπάνω προτύπων οδηγεί σε μία συγκεκριμένη μεθοδολογία υδρογεωλογικής έρευνας στηριζόμενη σε τεκτονική ανάλυση των μεταμορφωμένων σχηματισμών. Η μεθοδολογία αυτή μπορεί να γίνει αντιληπτή από τα συγκεκριμένα παραδείγματα εφαρμογής στην περίπτωση των νησιών Άνδρος, Σίφνος και Δονούσα όπου έγιναν σχετικές εφαρμογές (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ και συν., 1985, 1986, 1988) και όπου τα μέχρι τώρα αποτελέσματα από τις υδρογεωτρήσεις, που ακολούθησαν τις προτάσεις των μελετών, υπήρξαν ιδιαίτερα θετικά.

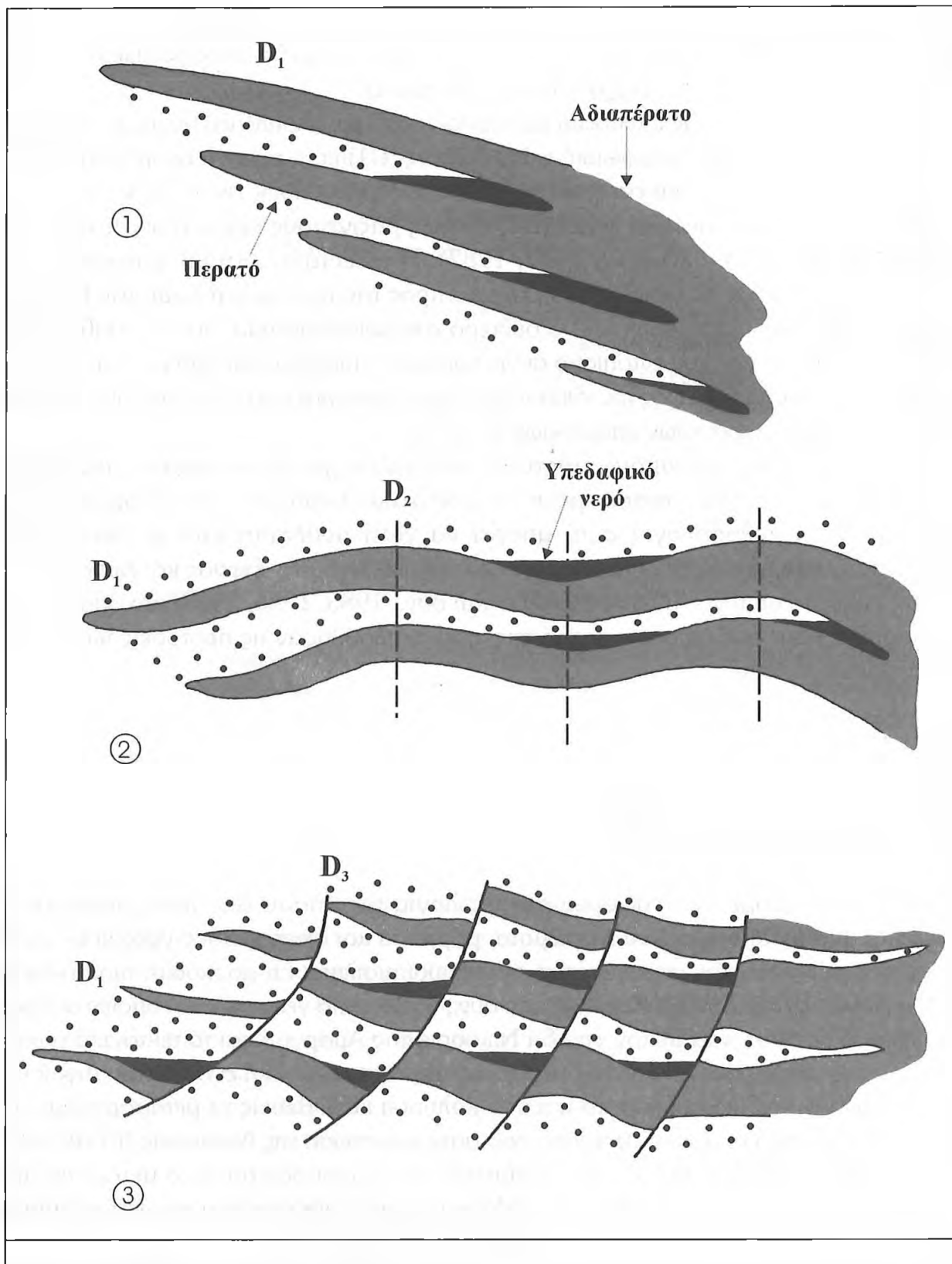
ΔΟΝΟΥΣΑ

Γεωλογική και τεκτονική δομή

Από τις περιορισμένες αναφορές στη γεωλογία της νήσου Δονούσας προκύπτει ότι αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, μάρμαρα και σχιστόλιθους-γνεύσιους υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης με παραγενέσεις ανδαλουσίτη/σιλιμανίτη-μοσχοβίτη-βιοσίτη-χαλαζία (DURR και συν., 1978α, 1978β; REINECKE και συν., 1982). Από γεωτεκτονική άποψη θεώρησαν ότι η Δονούσα ανήκει μαζί με την νησίδα Νικουριά της Αμοργού και τα τεκτονικά ράκη της Ανάφης και των Αστερουσίων της Κρήτης σε μία ανώτερη τεκτονική ενότητα του Αιγαίου που συνδέεται με οφιολιθικά πετρώματα και που καλύπτει κατά θέσεις τα μεταμορφωμένα των Κυκλάδων. Η άποψη αυτή δεν ευσταθεί τόσο στην περίπτωση της Νικουριάς (FYTROLAKIS & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1981), όσο και στην περίπτωση της Δονούσας όπου τα μεταμορφωμένα πετρώματα αντιστοιχούν στους λιθοστρωματογραφικούς ορίζοντες του κατώτερου τμήματος της ενότητας των Νοτίων Κυκλάδων (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1986).

Η γενική νεοτεκτονική και γεωμορφολογική εικόνα της Δονούσας υποδηλώνει έντονη ανοδική κίνηση ολόκληρου του νησιού με μέγιστο βαθμό ανύψωσης στο βόρειο τμήμα, που σε συνδυασμό με την έκδηλη θερμική ανακρυστάλλωση των πετρωμάτων και το γεγονός ότι το νησί βρίσκεται στην ίδια ζώνη με τις μέγιστες μορφολογικές κλίσεις η οποία και συμπίπτει με τις μεγάλες γρανιτικές εμφανίσεις των κεντρικών Κυκλάδων (SABOT & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1976, 1977) συνηγορεί στην ύπαρξη μεγάλου πρόσφατου πλουτωνίτη γρανιτικής σύστασης σε μικρό βάθος.

Κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση της νήσου διακρίθηκαν δύο κύριοι μεταμορφωμένοι σχηματισμοί: (i) λευκά αδροκρυσταλλικά μάρμαρα, με έντονη επίδραση θερμικής μεταμόρφωσης



Εικ. 1: Υδρογεωλογικά πρότυπα των μεταμορφωμένων των Κυκλάδων όπως προκύπτουν από τις κύριες παραμορφωτικές φάσεις (D1, D2, D3).

(1): Αρχική ισοκλινής πύκωση D1 με συγκέντρωση νερού στα πυθμαία των πτυχών που σχηματίζονται από τις επαφές περατό (μάρμαρο)/αδιαπέρατο (γνευσιοσχιστόλιθοι).

(2): Δευτερογενής πύκωση D2 με συγκέντρωση νερού στα πυθμαία των συγκλίνων πτυχών που πτυχώνουν τις αρχικές ισοκλινείς πτυχές των επαφών περατό/αδιαπέρατο.

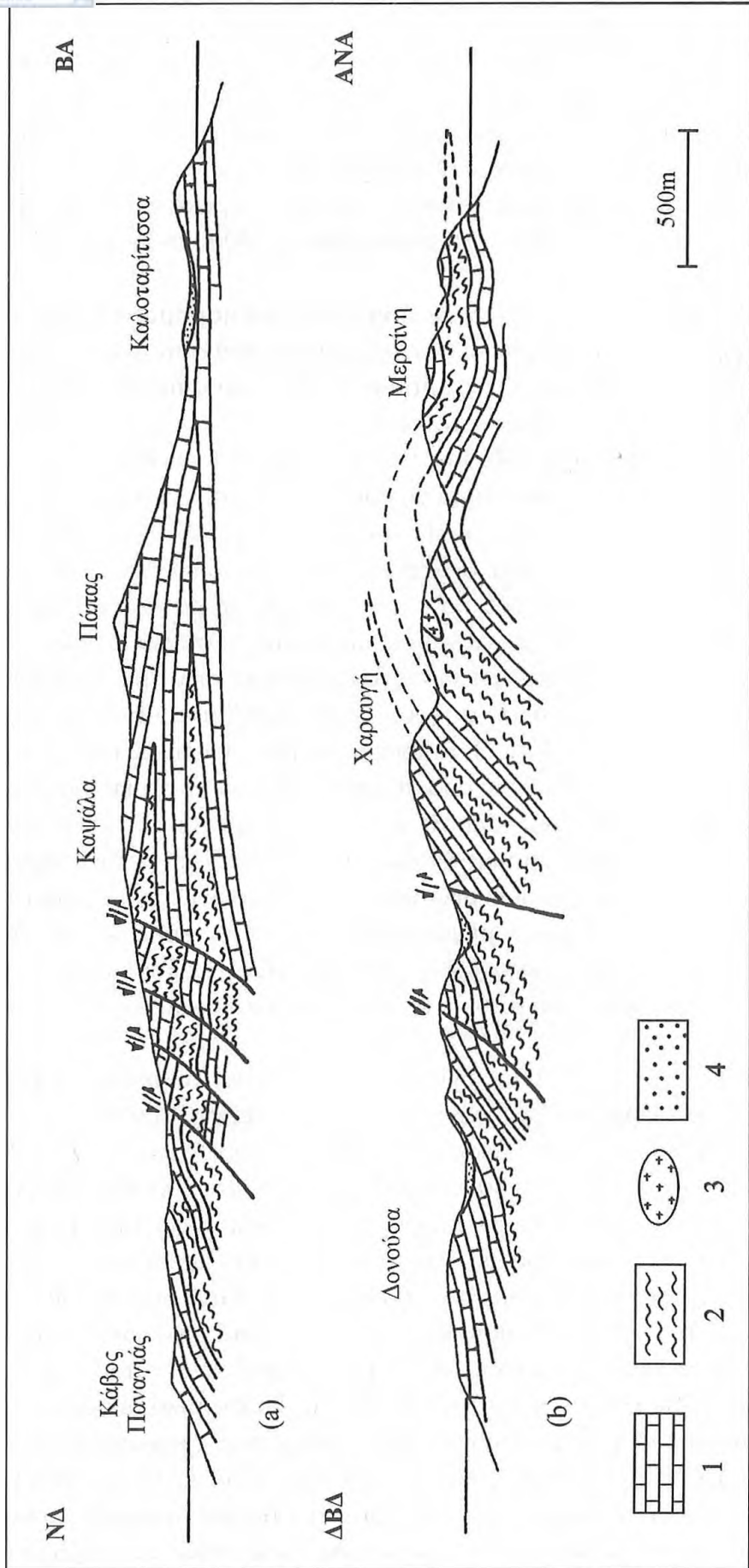
(3): Τελική παραμορφωτική δομή με κανονικά ρήγματα D3 που διακόπτουν τη συνέχεια των προηγούμενων πτυχών και δημιουργούν υπόγεια φράγματα.

από πλουτώνιτες που πιθανότατα υπάρχουν σε μικρό βάθος όπως σε γειτονικά νησιά (Μύκονος, Πάρος, Νάξος, κ.ά.), με πάχος που ποικίλλει λόγω της ροϊκής παραμόρφωσης και των ισοκλινών πτυχών (Εικ. 2) και (ii) αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι, κυρίως μετατόφφοι βασικής σύστασης με παρεμβολές μεταπηλιτών, μεταψαμμιτών και λεπτών οριζόντων μαρμάρων πάχους 1-5 m. Στην περιοχή βορειονατολικά της Μερσίνης οι αμφιβολιτικοί σχιστόλιθοι μεταβαίνουν σε μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους με πλήθος φλεβιδίων χαλαζία και αστρίων που δίνουν στο πέτρωμα την εικόνα μιγματίτη που γεινιάζει με 2-3 μικρές γρανιτικές εμφανίσεις (Εικ. 2). Μέσα στους σχιστόλιθους απαντά επίσης μία μεγάλη χαλαζιακή φλέβα (2x30m) στους πρόποδες του υψώματος Βάρδια.

Οι τεταρτογενείς αποθέσεις απαντούν είτε σαν γωνιώδη πλευρικά κορήματα δίπλα σε ρηξιγενείς ζώνες, είτε σαν χαλαρά ιζήματα στις κοίτες των χειμάρων κοντά στην εκβολή τους στους όρμους, αλλά και ως σκληρές επιφλοιώσεις-κρούστες όπως στην περίπτωση των αργιλοψαμμιτικού σχηματισμού στην κοιλάδα βόρεια του λιμανιού.

Η γενική διεύθυνση των σχηματισμών είναι Β-Ν έως ΒΑ-ΝΔ με γενική κλίση προς Δ και ΒΔ, με αποτέλεσμα οι κατώτεροι τεκτονικά σχηματισμοί να εμφανίζονται στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού ενώ οι ανώτεροι στο δυτικό (Εικ. 2). Η επανάληψη των ίδιων σχηματισμών μαρμάρων και σχιστολίθων οφείλεται στην ύπαρξη ισοκλινών πτυχών με διεύθυνση αξόνων ΒΒΑ-ΝΝΔ, όπως έχει τεκμηριωθεί και σε μεγαλύτερα νησιά όπως η Άνδρος και η Πάρος (ΡΑΡΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1978, 1980). Στην περίπτωση της Δονούσας πέρα από το στρωματογραφικό κριτήριο παρατηρείται ότι έχουμε φαινόμενα αποσφήνωσης τριών εμφανίσεων αμφιβολιτικού σχιστολίθου στα νότια πρανή του Πάπα ανάμεσα στις κορυφές Καψάλα και Βάρδια που αντιστοιχούν σε κορυφαία ισοκλινών πτυχών (Εικ. 2). Επίσης η ύπαρξη ισοκλινών πτυχών με κανονικά και ανεστραμμένα σκέλη επιβεβαιώνεται και από τη παρατήρηση των χαρακτηριστικών μεταβατικών πυριτικών οριζόντων μαρμάρων, άλλοτε με τα μάρμαρα υποκείμενα των σχιστολίθων και άλλοτε αντίθετα. Η μεγάλης κλίμακας ανοικτή αντικλινική δομή με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ που χωρίζει το νησί σε δύο τμήματα και οι μικρότερης κλίμακας δομές στην περιοχή της Μερσίνης (αντικλινική και συγκλινική) έχουν μεγάλη σημασία για την κυκλοφορία του υπόγειου νερού, δεδομένου ότι πρόκειται για νεότερες δομές που πτυχώνουν όλες τις προηγούμενες ισοκλινείς πτυχές, δίνοντας την εντύπωση ότι τα διαδοχικά σκέλη τους είναι απλά κεκλιμένα στρώματα.

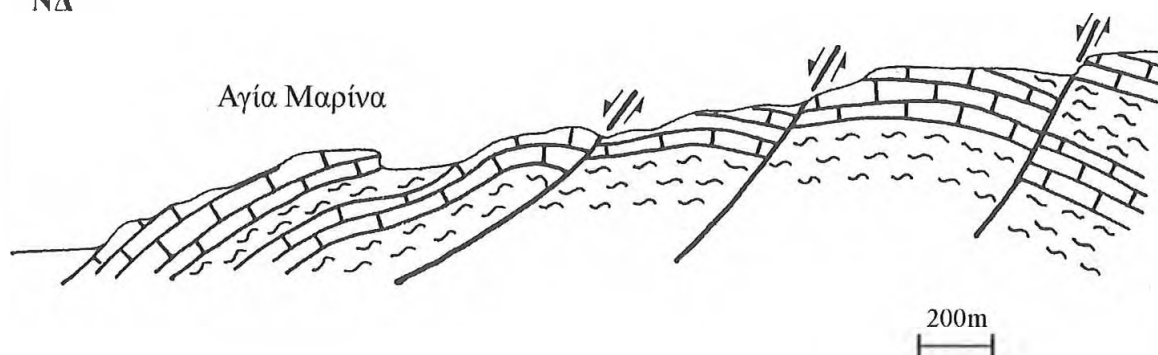
Η πολυπλοκότητα της τεκτονικής δομής των ισοκλινών πτυχών αυξάνεται με την ύπαρξη έντονης ρηξιγενούς τεκτονικής που εκφράζεται με κανονικά ρήγματα, όπως στην περίπτωση του δυτικού αντερίσματος της κοιλάδας του όρμου Κέδρος από την Αγ. Μαρίνα έως 1 km ΒΒΑ, όπου διακρίνονται τρία σημαντικά ρήγματα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, κλίση 30ο-45ο προς τα ΔΝΔ και άλμα που υπολογίζεται σε 20-50 m με κριτήριο την μετατόπιση της επαφής μαρμάρων/σχιστολίθων (Εικ. 3). Πέρα από τα ρήγματα αυτά η Δονούσα χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τεράστιων λιστρικών ρηγμάτων, τα οποία στα ανώτερα τμήματα καταλήγουν σε τυπικές σφαιρικές κατολισθήσεις. Τα λιστρικά ρήγματα παρατηρούνται κατά μήκος των ΒΔκων και ΒΑκων ακτών και συνδέονται με την απότομη παράκτια μορφολογία, όπου η μέση μορφολογική κλίση ξεπερνά το 80%, ενώ τοπικά φθάνει το 120%. Τα λιστρικά ρήγματα και οι σφαιρικές κατολισθήσεις δημιουργούν δύο γεωλογικά επικίνδυνες ζώνες κατολισθήσεων: μία με διεύθυνση ΒΑ-ΝΑ στις ΒΔ/κες ακτές και άλλη με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ στις ΒΑκες ακτές, ενώ η μετακίνηση είναι έντονη και συνεχής όπως φαίνεται από την μορφολογία και από την συνεχή μετατόπιση των αγρών και των μονοπατιών που υπάρχουν πάνω στα κορήματα που συγκεντρώνονται στα πεδία των κατολισθήσεων.



Εικ. 2: Γεωλογικές τομές της Δονούσας όπου παρουσιάζεται η δομή των ισοκλινών πυκνών στην περιοχή Πάπας και τα νεότερα κανονικά ρήγματα (a) καθώς και οι ανοικτές πυκνές στην περιοχή της Μερσίνης που πυκνώνουν τις αρχικές ισοκλινείς πυκνές (b). 1. Μάρμαρα, 2. Γνευσιο-σχιστόλιθοι, 3. Γρανίτης, 4. Αποθέσεις Τεταρτογενούς.

ΝΑ

ΒΑ



Εικ. 3: Γεωλογική τομή που παρουσιάζει τα διαδοχικά κανονικά ρήγματα στην περιοχή της Αγ. Μαρίνας που μεταθέτουν τις επαφές μαρμάρων/γνευσιο-σχιστολίθων.

Υδρογεωλογία

Οι παραπάνω γεωλογικοί σχηματισμοί της Δονούσας μπορούν να διακριθούν σε: (i) υδροπερατούς, όπου εντάσσονται οι μικροδιαπερατές τεταρτογενείς αποθέσεις, στις οποίες το νερό κυκλοφορεί διαμέσου των πόρων και τα μακροδιαπερατά μάρμαρα όπου το νερό κυκλοφορεί μέσω των ρωγμών που σχηματίζονται από τις διάφορες ασυνέχειες όπως η στρώση, η σχιστότητα, οι διακλάσεις κ.λπ. καθώς και από τα φυσικά έγκοιλα που δημιουργούνται από τη χημική αποσάρθρωση και τη δημιουργία του κάρσι και (ii) αδιαπέρατους, όπου ανήκουν οι σχιστόλιθοι οι οποίοι γενικά είναι στεγανοί εκτός από τα επιφανειακά 5-10m που αντιστοιχούν στον μανδύα αποσάρθρωσης και συμπεριφέρονται σαν μικροδιαπερατοί.

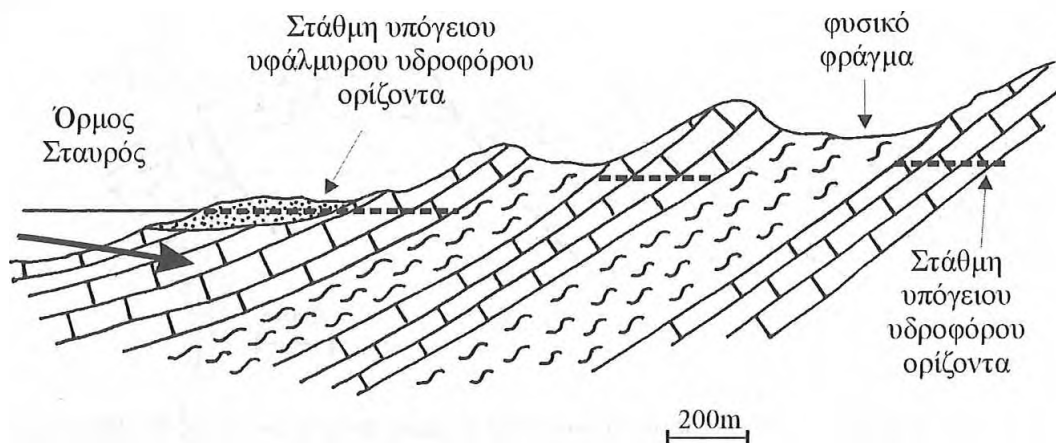
Οι μακροδιαπερατοί σχηματισμοί των μαρμάρων διακρίνονται σε δύο επιπλέον κατηγορίες: (i) όταν ο υδροφόρος ορίζοντας έρχεται σε επαφή με τη θάλασσα οπότε είναι υφάλμυρος, όπως συμβαίνει και με τον υδροφόρο ορίζοντα των μικροπερατών σχηματισμών της Δονούσας πίσω από τον όρμο του Σταυρού και (ii) όταν δεν υπάρχει κίνδυνος αλμύρνησης, είτε διότι υπάρχει φυσικό φράγμα από τον αδιαπέρατο σχιστόλιθο, είτε διότι βρίσκεται εξ ολοκλήρου πάνω από της επιφάνεια της θάλασσας (Εικ. 4).

Στον υδρογεωλογικό χάρτη της Δονούσας (Εικ. 5) παρατηρείται μία ιδιαίτερη περίπτωση στον όγκο των μαρμάρων νότια του όρμου Κέδρος όπου υπάρχει μερική επικοινωνία με την θάλασσα, η οποία όμως δεν πρέπει να συνεχίζεται πολύ βαθιά στη χέρσο δεδομένου ότι η στάθμη του πιθανού υδροφόρου ορίζοντα πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 500 m από την ακτή και αρκετά υψηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας. Στην περίπτωση αυτή έχει σημειωθεί το πιθανό όριο μεταξύ του μετώπου της αλμύρνησης και του υπόλοιπου υδροφόρου όγκου. Επίσης σαν όριο αλμύρνησης έχει χρησιμοποιηθεί ο άξονας του αντικλίνου που περνά από τους επιφανειακούς υδροκρίτες Πάπας και Βάρδια, διότι διαχωρίζει την υπόγεια κίνηση του νερού ανατολικά προς τη θάλασσα και δυτικά προς τις εναλλαγές υδροπερατών/αδιαπέρατων σχηματισμών και τους οικισμούς. Στον υδρογεωλογικό χάρτη σημειώνεται επίσης η φορά κίνησης του υπόγειου νερού μέσα στους μακροπερατούς σχηματισμούς, όπως αυτή καθορίζεται από την τεκτονική δομή.

Οι διαμορφωμένες υδρογεωλογικές συνθήκες κάνουν σαφές ότι εκτός από τα επιφανειακά νερά που απαντούν στις πρόσφατες αποθέσεις και έχουν πρόβλημα αλμύρνησης, η κυκλοφορία του υπεδαφικού νερού γίνεται στα μάρμαρα. Έτσι, πρωταρχικός παράγοντας είναι ο καθορισμός

ΝΔ

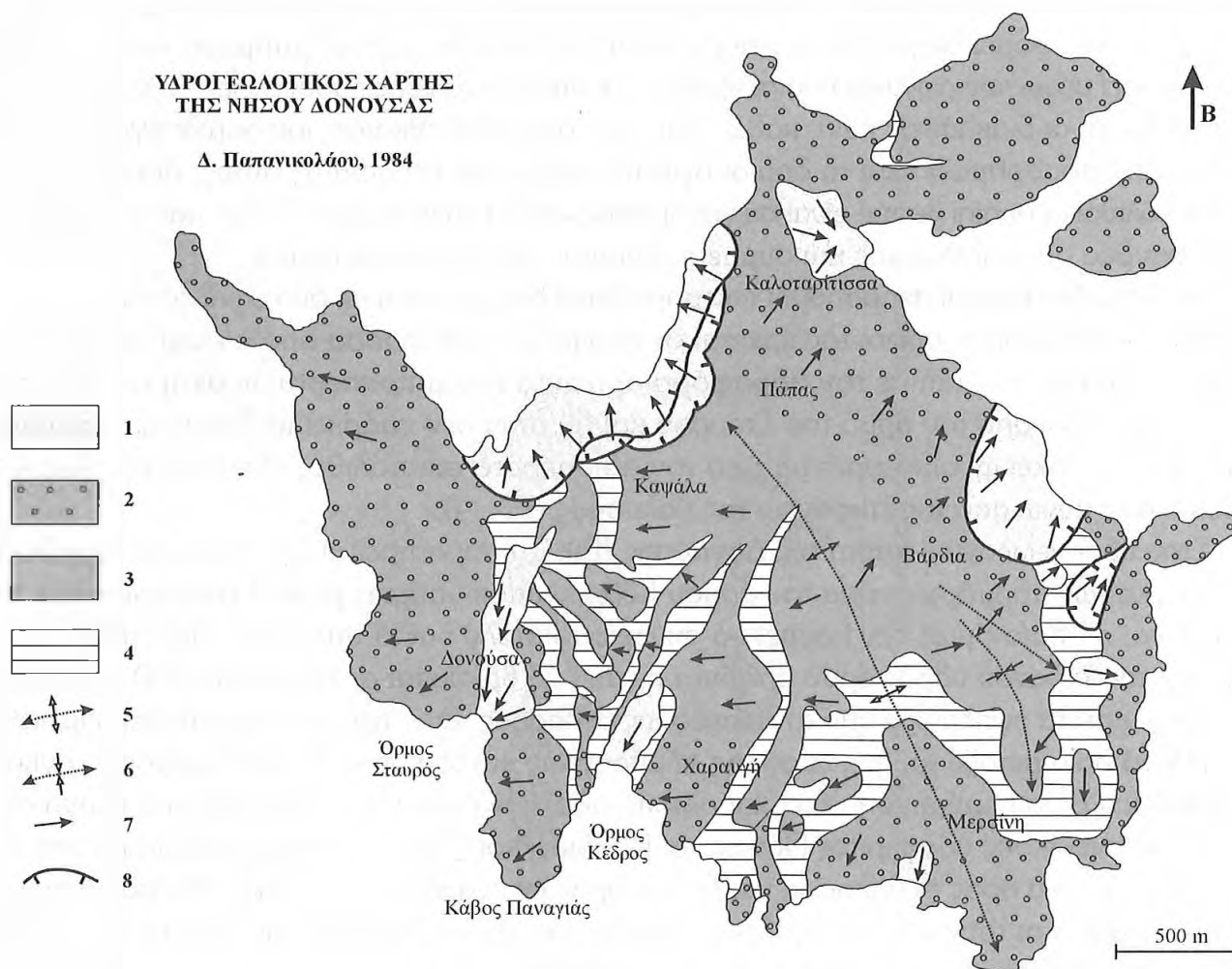
ΒΑ



Εικ. 4: Γεωλογική τομή όπου διακρίνονται τα φυσικά φράγματα που σχηματίζονται από τους γνευσιο-οξιστόλιθους, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο κίνδυνος αλμύρνησης του υδροφόρου ορίζοντα στα μάρμαρα.

**ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΔΟΝΟΥΣΑΣ**

Α. Παπανικολάου, 1984



Εικ. 5: Υδρογεωλογικός χάρτης της Δονούσας

1. Μικροπερατοί σχηματισμοί (αλλουβία, κώνοι κορημάτων), 2. Μακροπερατοί σχηματισμοί (μάρμαρα) με αλμύρνηση, 3. Μακροπερατοί σχηματισμοί (μάρμαρα), 4. Αδιαπερατοί σχηματισμοί (γνευσιο-οξιστόλιθοι), 5. Άξονας ανικλίνου, 6. Άξονας συγκλίνου, 7. Φορά κίνησης υπεδαφικού νερού, 8. Λιστρικά ρήγματα.

της γεωμετρίας των επαφών μεταξύ μαρμάρων/σχιστολίθων που το νερό ακολουθεί αφότου κατεισδύει στα μάρμαρα.

Το υδρογεωλογικό πρότυπο της Δονούσας είναι κατ' αρχήν οι δέσμες υδροφόρων οριζόντων στα μάρμαρα που με την μορφή ισοκλινών πτυχών επαναλαμβάνονται. Από την υπόγεια γεωμετρία των υδροφόρων επαφών μαρμάρων/σχιστολίθων διακρίνονται τρεις περιπτώσεις επαφών: (i) επαφές που έχουν μικρότερη κλίση από τη μορφολογική της επιφάνειας όπου έχουμε εκροή νερού ή ανάλογα με την κλίση της επαφής και τον όγκο του μαρμάρου, πηγές, (ii) επαφές που έχουν κλίση μεγαλύτερη της μορφολογικής οι οποίες όμως αφορούν μάρμαρα που επικοινωνούν με τη θάλασσα και επομένως δεν προσφέρονται για αναζήτηση νερού (iii) επαφές που έχουν κλίση μεγαλύτερη της μορφολογικής και που τα υπερκείμενα τους μάρμαρα δεν επικοινωνούν με τη θάλασσα διότι υπάρχει φυσικό φράγμα από σχιστόλιθο και αποτελούν τις κατ' εξοχήν ερευνητέες για υπεδαφικό νερό. Επίσης από τη φορά κίνησης του υπεδαφικού νερού φαίνεται σε ποιές θέσεις το νερό κατεισδύει σε βάθος στα μάρμαρα και πού βγαίνει από τα μάρμαρα στην επιφάνεια.

Δευτερογενής διαμόρφωση του προτύπου γίνεται από τους άξονες των αντικλινών-συγκλινών που αποτελούν νεότερες δομές που πτυχώνουν τις ισοκλινείς πτυχές καθώς και από τον κατακερματισμό των υπόγειων ζωνών υδροφορίας από τα ρήγματα, δημιουργώντας υπόγειες υπολεκάνες κατά μήκος μιας ζώνης υδροφορίας. Μία ενδιαφέρουσα υπολεκάνη προσδιορίζεται από τα 3 κανονικά ρήγματα κατά μήκος της ράχης που οδηγεί από τον κάβο Παναγίας στην Καψάλα. Στην περιοχή αυτή η επαφή μαρμάρων/σχιστολίθων βυθίζεται με κλίση 10° - 30° προς τα ΒΔ ακολουθώντας την γενική στρώση των μαρμάρων και η προς τα ΒΔ κίνηση του υπεδαφικού νερού μέσα στα μάρμαρα δημιουργεί έναν άξονα αποστράγγισης παράλληλα με τον άξονα της ράχης αμέσως βορειότερα.

ΣΙΦΝΟΣ

Γεωλογική και τεκτονική δομή

Η συστηματικότερη γεωλογική χαρτογράφηση, με έμφαση στη πετρολογία, έγινε από την Δάβη (1966), η οποία στο γεωλογικό χάρτη κλίμακας 1:50.000 (έκδοση ΙΓΜΕ) περιγράφει μάρμαρα και δολομίτες σε εναλλαγή με γνεύσιους και σχιστόλιθους γλαυκοφανιτικούς-γλαυκοφανίτες-χαλαζίτες που διέκρινε μέσα στους γνεύσιους κυρίως στο βόρειο αλλά και στο νότιο τμήμα του νησιού.

Από γεωτεκτονική άποψη η Σίφνος μπορεί να ενταχθεί στην ενότητα των Βορείων Κυκλάδων δεδομένου ότι λείπουν τα νηριτικά μάρμαρα με την σμύριδα (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1986), ενώ οι κυανοσχιστόλιθοι του βόρειου τμήματος μοιάζουν με αυτούς στη Σύρο και Τήνο. Η ηλικία της μεταμόρφωσης υπολογίζεται σε Ηωκαινική, περίπου 42 Ma για την κυανοσχιστολιθική και σε Μειοκαινική, περίπου 21-24 Ma, για την πρασινοσχιστολιθική φάση (SCHLIESTEDT *et al.*, 1987).

Η στρωματογραφική διάρθρωση κατά GOURNELLOS (1980), μέσα από τη λογική των ισοκλινών πτυχών που παρατήρησε, περιλαμβάνει: (i) ένα κατώτερο κλασικό σχηματισμό, που αποτελείται από ένα σύνολο γνευσίων και σχιστολίθων με μετα-όξινα πετρώματα, παρεμβολές μετα-κερατολίθων και φακούς ανθρακικών πετρωμάτων, αξιοσημείωτου πάχους, (ii) ένα κατώτερο σχηματισμό τεφρών ή κυανών μαρμάρων με σχιστολιθικούς φακούς, 100-

200 m πάχους, (iii) ένα σχηματισμό μετα-κροκαλοπαγούς με κλάστες από χαλαζία, δολομίτη, μάρμαρα, μετα-βασικά και μετα-όξινα πετρώματα, πάχους 60-80m, (iv) ένα ανώτερο κλαστικό σχηματισμό από ασβεστιτικούς -γλαυκοφανιτικούς σχιστόλιθους και γνεύσιους, πάχους μικρότερο από 80 m, (v) ένα ανώτερο σχηματισμό μαρμάρου με έντονη δευτερογενή δολομιπίωση, αγνώστου πάχους και (vi) κροκαλοπαγή, ψαμμίτες και τεταρτογενείς αποθέσεις.

Από τη συστηματική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:25000, που έγινε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, διαπιστώθηκε ότι η στρωματογραφική στήλη της Σίφνου απλουστεύεται με την ύπαρξη δύο ουσιαστικά σχηματισμών: (i) ένα σχηματισμό μαρμάρων που αποτελούν τη πιθανή βάση, με πάχος που είναι δύσκολο να προσδιοριστεί λόγω των ισοκλινών πτυχών και της ροϊκής παραμόρφωσης. Ο σχηματισμός του μετα-κροκαλοπαγούς με εναλλαγές ανθρακικού και αργιλικού υλικού παρατηρείται τοπικά με μεταβαλλόμενο πάχος και συνήθως αντιστοιχεί σε στρώματα μετάβασης από τα μάρμαρα στους σχιστόλιθους. (ii) ένα σχηματισμό σχιστολίθων που αποτελούν την οροφή με πάχος που πιθανόν ξεπερνά τα 500 m.

Ο GOURNELLOS (1980) περιέγραψε τη δομή των ισοκλινών πτυχών της Σίφνου σύμφωνα με τη γεωμετρία των άλλων Κυκλάδων και διέκρινε τέσσερις παραμορφωτικές φάσεις με πτυχές διαφόρων προσανατολισμών (NE-SW, NW-SE, N-S). Ο λόγος της διασποράς των διευθύνσεων των αξόνων των πτυχών όπως θα δούμε στη συνέχεια οφείλεται στην ύπαρξη λιστρικών ρηγμάτων, τα οποία έχουν στρέψει τα διαδοχικά τεκτονικά τεμάχια με μία δεξιόστροφη κίνηση που παρακολουθείται από Βορρά προς Νότο. Κατά τη χαρτογράφηση έγινε δυνατή η διάκριση των διαδοχικών ισοκλινών κατακεκλιμένων πτυχών μέσα σε κάθε τέμαχος με εντοπισμό των κορυφαίων των πτυχών σε ορισμένες θέσεις όπως: (i) στην περιοχή βόρεια του οικισμού Τρουλάκια, όπου τα αξονικά επίπεδα των ισοκλινών πτυχών έχουν μεγάλες κλίσεις προς NW και οι άξονες είναι περίπου οριζόντιοι, (ii) στην περιοχή των νότιων πρανών του Αγ. Συμεών, όπου οι άξονες είναι επίσης οριζόντιοι αλλά τα αξονικά επίπεδα κλίνουν ελαφρά προς NE, (iii) στα νότια πρανά του Προφ. Ηλία και της Πλατιάς Ράχης, όπου οι άξονες των πτυχών βυθίζονται προς NE όπως ακριβώς και τα αξονικά επίπεδα των πτυχών. Μία χαρακτηριστική εναλλαγή μαρμάρου/σχιστολίθου λόγω ισοκλινών πτυχών εμφανίζεται στα νότια πρανά του Αγ. Συμεών στον όρμο Καμάρες σε φυσική τομή.

Όσον αφορά στα ρήγματα, στο μεν γεωλογικό χάρτη της Δάβη (1966) σημειώνονται πολλά, τα οποία όμως δεν διακόπτουν τη συνέχεια των στρωμάτων και αποτελούν φωτοερμηνεία αεροφωτογραφιών, στο δε χάρτη κατά GOURNELLOS (1980) σημειώνονται ελάχιστα, τα οποία είτε διακόπτουν τη συνέχεια των στρωμάτων είτε αποτελούν χαρακτηριστικές μορφοτεκτονικές γραμμές, δεν σημειώνονται όμως οι κυριότερες ρηξιγενείς ζώνες που διαχωρίζουν τα ανεξάρτητα ρηξιτεμάχια. Οι ρηξιγενείς ζώνες που εντοπίστηκαν στην παρούσα μελέτη αντιστοιχούν σε μικρής κλίσης λιστρικά ρήγματα, στα οποία εκτός από τη χαρακτηριστική τοξοειδή γεωμετρία του μετώπου τους είναι χαρακτηριστική και η αλλαγή της κλίσης της ρηξιγενούς επιφάνειας, η οποία μπορεί να αρχίζει σχεδόν κατακόρυφη στα υψηλότερα σημεία για να καταλήγει σχεδόν οριζόντια στα χαμηλότερα σημεία κοντά στις ακτές.

Τέτοια ρήγματα έχουν εντοπισθεί στην Σύρο (RIDLEY, 1984) καθώς και στη Δονούσα (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1985). Τα λιστρικά ρήγματα διακόπτουν την συνέχεια της όλης δομής των μεταμορφωμένων σχηματισμών της Σίφνου και παρατηρείται διαφορετικός προσανατολισμός της επικρατούσας τεκτονικής διεύθυνσης που οφείλεται στο ότι αυτά αποτελούν ρηξιγενείς μορφές παραμόρφωσης του ανώτερου τεκτονικού ορόφου με επικρατούσα εντατική συνιστώσα τη βαρύτητα και με κίνηση που επιφέρει στρέψη.

Συγκεκριμένα, στη Σίφνο παρατηρούνται τέσσερα μεγάλα λιστρικά ρήγματα (Εικ. 6): (i)

στην περιοχή της Χερσονήσου στο βόρειο τμήμα του νησιού με πολύ μικρή κλίση (10° - 20°) προς NW, (ii) στα βόρεια πρανή του Αγ. Συμεών με διεύθυνση WSW-ESE κλίση 30° - 40° προς SW, (iii) στα ανατολικά πρανή του Προφ. Ηλία από τον όρμο Καμάρες ως τον όρμο Πλατυγιαλός, με γενική διεύθυνση NW-SE και κλίση 20° - 50° προς SW που αποτελεί την μεγαλύτερη δομή λιστρικού ρήγματος στο Κεντρικό Αιγαίο η οποία και διαχωρίζει ουσιαστικά το νησί σε δύο τεμάχια, (iv) στην περιοχή ανάμεσα στους όρμους Βαθύ και Πλατυγιαλός με γενική διεύθυνση ENE-WSW και κλίση 30° - 40° SSE καθώς και μερικά μικρότερα ίδιας γεωμετρίας που πλησιάζουν την συνήθη μορφή κατολισθήσεων όπως νότια του δρόμου Καμάρες-Απολλωνία. Η γενική εικόνα της ρηξιγενούς τεκτονικής της Σίφνου αποτελείται από την σταθερή ζώνη του βασικού ρηξιτεμάχους-υποβάθρου του ανατολικού τμήματος και διαδοχικά ρηξιτεμάχια με ολίσθηση προς τα δυτικά στο δυτικό τμήμα. Οι επιφάνειες των λιστρικών ρηγμάτων αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την υδρογεωλογία της νήσου και την υπόγεια κίνηση του νερού.

Υδρογεωλογία

Η υπόγεια υδροφορία της Σίφνου εντοπίζεται στα μάρμαρα και ιδιαίτερα στα κατώτερα σημεία τους κοντά στις επαφές με τους υποκείμενους σχιστόλιθους. Γενικά, δηλαδή το ατμοσφαιρικό νερό κατεισδύει στα μάρμαρα έως ότου φτάσει σε υποκείμενους αδιαπέρατους σχιστόλιθους οπότε ακολουθεί τη γεωμετρία της επαφής δημιουργώντας υπόγειους άξονες αποστράγγισης και είτε εκβάλλει στη θάλασσα δημιουργώντας υποθαλάσσιες πηγές, είτε εγκλωβίζεται σε υπόγειες λεκάνες σε διάφορα υψόμετρα, ακόμη και κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

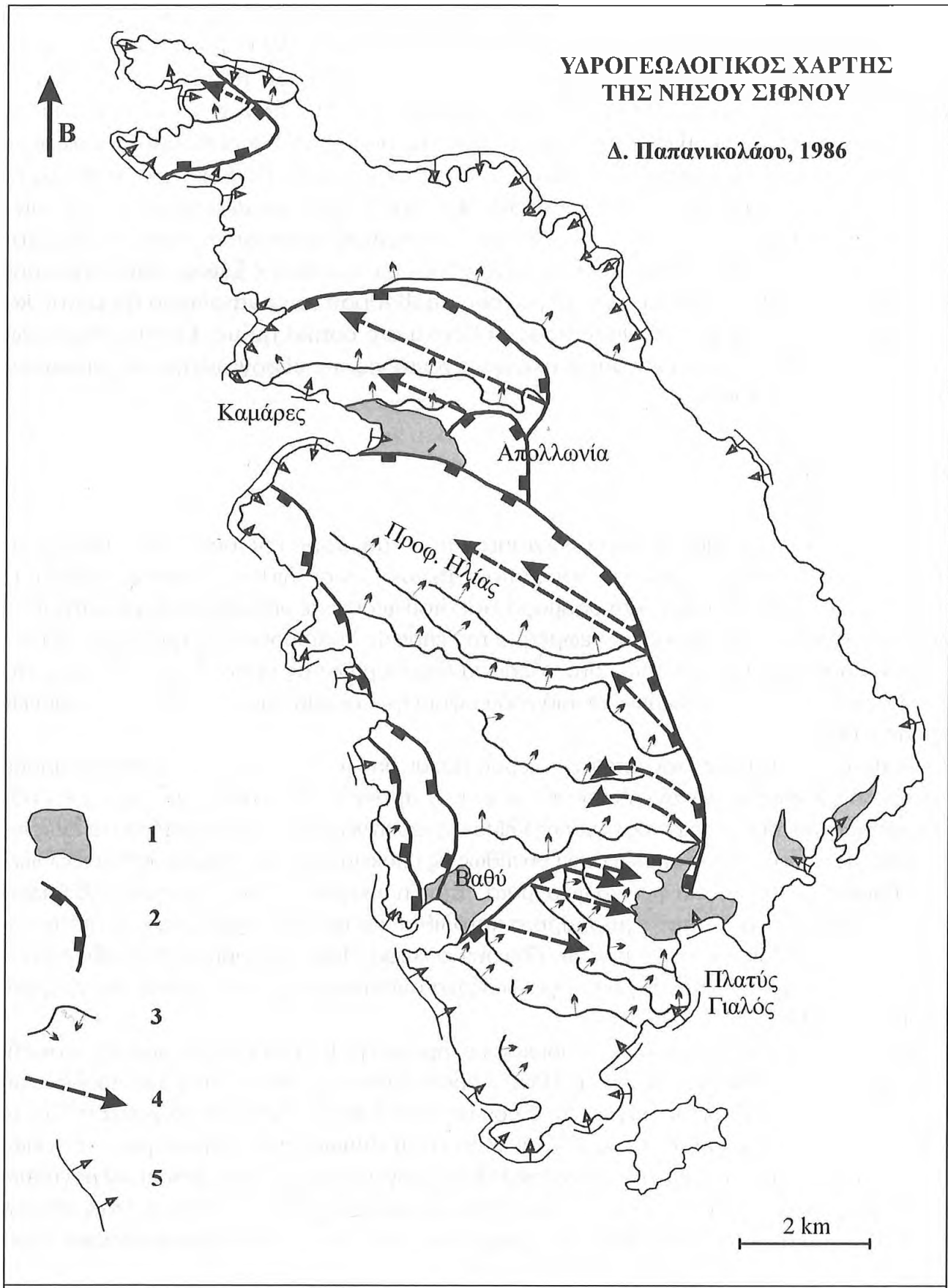
Επομένως, η ανεύρεση του υπόγειου νερού είτε σε υπόγεια λεκάνη, είτε εν κινήσει απαιτεί λεπτομερή γνώση της τεκτονικής δομής που στην προκειμένη περίπτωση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, περιλαμβάνει αφενός μεγάλης κλίμακας ισοκλινείς πτυχές και αφετέρου τα λιστρικά ρήγματα, που λόγω του ότι ακολουθούν συνήθως τις υποκείμενες των μαρμάρων σχιστολιθικές μάζες δημιουργούν υπόγεια φυσικά φράγματα. Έτσι, η υπόγεια κίνηση του νερού καθορίζεται από τη γεωμετρία της επαφής μάρμαρα/σχιστόλιθοι και από τη γεωμετρία των λιστρικών ρηγμάτων. Στην περίπτωση διατομής των δύο αυτών επιφανειών όπου απαντούν οι αδιαπέρατοι σχιστόλιθοι έχουμε τη δημιουργία υπόγειου άξονα αποστράγγισης κατά μήκος της γραμμής διατομής (Εικ. 6).

Το υδρογεωλογικό αυτό πρότυπο παρίσταται σχηματικά με βάση την περίπτωση της περιοχής των ανατολικών προβούνων του Προφ. Ηλία, η οποία ενδιαφέρει την ύδρευση της Απολλωνίας, αλλά ισχύει για όλες τις όμοιες περιπτώσεις που σχηματίζονται στα λιστρικά ρήγματα της Σίφνου (Εικ. 7). Με βάση το πρότυπο αυτό έχει γίνει η αποτύπωση των κυριότερων υπόγειων υδροφόρων επιφανειών μαρμάρων/ σχιστολιθών, υπόγειων φραγμάτων-λιστρικών ρηγμάτων και των αξόνων υπόγειας ροής με βάση τις κλίσεις των στρωμάτων, τις βυθίσεις των αξόνων των πτυχών και τις κλίσεις των λιστρικών ρηγμάτων πάνω στον ειδικό υδρογεωλογικό χάρτη (Εικ. 6).

Συμπερασματικά, κάθε άξονας υπόγειας ροής αποτελεί και γεωμετρικό τόπο θέσεων για υδρογεωτρήσεις. Η επιλογή της κατάλληλης θέσης κατά μήκος κάθε άξονα υπόγειας ροής εξαρτάται από το υψόμετρο της επιφάνειας και το προσβάσιμο του εδάφους, το βάθος της αναμενόμενης υδροφορίας και την πιθανότητα αλμύρνησης, λόγω της εισόδου του θαλασσινού νερού, στα αρνητικά υψόμετρα.

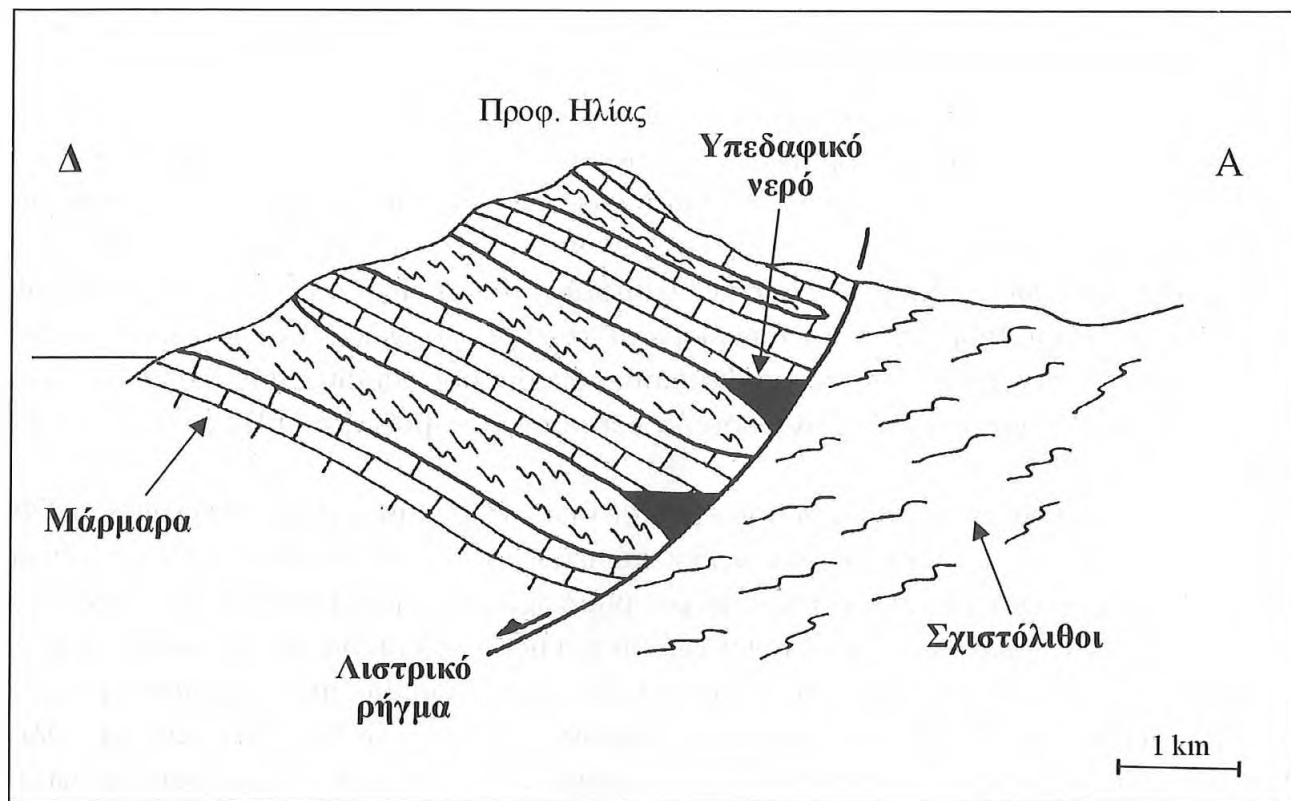
ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΣΙΦΝΟΥ

Δ. Παπανικολάου, 1986



Εικ. 6: Υδρογεωλογικός χάρτης της Σίφνου

1. Παράκτιες λεκάνες με υφάλμυρο ελεύθερο οριζόντα σε μικροδιαπερατούς σχηματισμούς (αλλούβια),
2. Λιστρικό ρήγμα, 3. Επαφή περατό/αδιαπέρατο (μάρμαρα/σχιστόλιθοι) με υδροφορία και η φορά κίνησης του νερού, 4. Υπόγειος άξονας απορροής, 5. Μείωπα διείσδυσης θαλασσινού νερού.



Εικ. 7: Το υδρογεωλογικό πρότυπο της Σίφνου που περιλαμβάνει τις επιφάνειες των λιστρικών ρηγμάτων που λειτουργούν σαν υπόγεια φράγματα και τις θέσεις όπου εγκλωβίζεται το υπεδafικό νερό στην διατομή των λιστρικών ρηγμάτων με τις επαφές μάρμαρα/σχιστόλιθοι, που επαναλαμβάνονται λόγω ισοκλινών πτυχών.

ΑΝΔΡΟΣ

Γεωλογική και τεκτονική δομή

Η συστηματική μελέτη της Άνδρου με γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:30.000 και λεπτομερή στρωματογραφική και τεκτονική ανάλυση έγινε από τον Παπανικολάου στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής με σειρά δημοσιεύσεων (1976, 1977, 1978) καθώς και σε άλλες δημοσιεύσεις στα πλαίσια της γεωλογίας των Κυκλάδων (1984, 1986, 1987).

Η Άνδρος δομείται από δύο γεωτεκτονικές ενότητες (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1978): (i) την ενότητα Βορείων Κυκλάδων που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού, χαρακτηρίζεται από μεταμορφωμένα πετρώματα υψηλών πιέσεων/χαμηλών θερμοκρασιών, μεσοζωϊκής ηλικίας και περιλαμβάνει κυρίως μάρμαρα (νηριτικά στη βάση-πελαγικά στην οροφή), σιπολινομάρμαρα, μαρμαρυγιακούς, αμφιβολιτικούς, ασβεστιτικούς σχιστόλιθους και επιδοιτικούς, αλβιτικούς γνεύσιους που πιθανά προέρχονται από μετατοφίτες, μεταβασάλτες καθώς και πολλά μετακλαστικά ιζήματα και (ii) την ενότητα Μακροτάνταλου, που εμφανίζεται στην Βόρεια Άνδρο στην περιοχή Μακροτάνταλου, χαρακτηρίζεται από πετρώμενα περμικής ηλικίας (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1976, 1978), που έχουν υποστεί κυανοσχιστολιθική φάση μεταμόρφωσης και περιλαμβάνει κυρίως μάρμαρα, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους-φυλλίτες-καλαζίτες, χλωριτικούς-επιδοιτικούς-αμφιβολιτικούς σχιστόλιθους έως αμφιβολίτες και η οποία βρίσκεται επωθημένη πάνω στην ενότητα Βορείων Κυκλάδων. Ο γενικός στρωματογραφικός χαρακτήρας και των δύο ενότητων είναι ένας αριθμός από οριζοντες μαρμάρων και σιπολινών με μία

μεγάλη μάζα από μετατόφρους και μεταπηλίτες πάντα πλούσιους σε ανθρακικά, ενώ υπάρχουν επίσης μερικοί χαλαζίτες και πυριτικά στρώματα μέσα στα μάρμαρα.

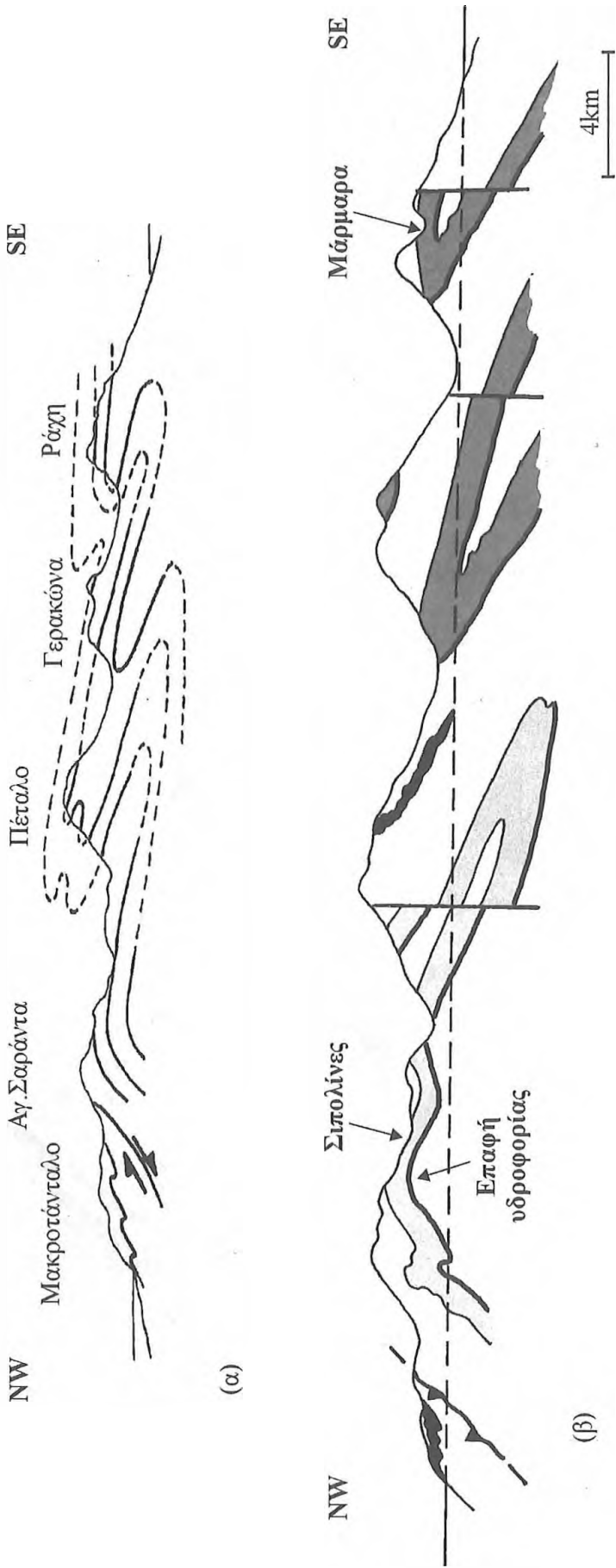
Η στρωματογραφική διάρθρωση της νήσου συμπληρώνεται από εκρηξιγενή πετρώματα που παρατηρούνται κυρίως κατά μήκος της τεκτονικής επαφής μεταξύ των δύο παραπάνω ενοτήτων και αποτελούν υπερβασικά πετρώματα οφιολιθικού τύπου (σερπεντινίτες ή ελαφρά σερπεντινωμένοι περιδοτίτες) καθώς και μικρές εμφανίσεις όξινων εκρηξιγενών πετρωμάτων με την μορφή φλεβών σε διάφορες θέσεις. Τα ιζηματογενή πετρώματα του Τεταρτογενούς που απαντώνται στην Άνδρο είναι πολύ περιορισμένα, κυρίως αργίλοψαμμιτικά υλικά από την αποσάρθρωση των σχηματισμών του υποβάθρου, ασβεστιτικοί ψαμμίτες που διακρίνονται σε έναν παλαιότερο συμπαγή και έναν νεότερο εύθρυπτο σχηματισμό καθώς και πλευρικά κορήματα.

Η λεπτομερής τεκτονική ανάλυση που έγινε σε όλες τις κλίμακες (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, 1978) απέδειξε ότι τα μεταμορφωμένα και τα υπερβασικά πετρώματα έχουν υποστεί την ίδια τεκτονική παραμόρφωση, στάδια της οποίας είναι: (i) μία υπολειμματική παλιά παραμορφωτική φάση με ισοκλινείς πτυχές ακαθόριστης διεύθυνσης, (ii) μία πολύ ισχυρή παραμορφωτική φάση με ισοκλινείς πτυχές με σχιστότητα κατά αξονικό επίπεδο και γράμμωση παράλληλη προς τον άξονα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ κατά την οποία δημιουργούνται οι δύο καθοριστικές μεγάλες κατακεκλιμένες πτυχές της Άνδρου (D1), (iii) μία νεότερη δεύτερη παραμορφωτική φάση σχεδόν ομοαξονική προς την προηγούμενη που πυχώνει την αρχική σχιστότητα και συναντάται συνήθως σαν ολισθοδιατμητικός σχισμός με διεύθυνση Α-Δ (D2), (iv) μία νεότερη τρίτη παραμορφωτική φάση που χαρακτηρίζεται από μετάβαση από συνθήκες πύκνωσης σε συνθήκες θραύσης με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ με χαρακτηριστικά κανονικά ρήγματα με πλάγια ολίσθηση (D3) και (v) μία τέταρτη παραμορφωτική φάση που εκδηλώνεται αποκλειστικά με θραύση που καταστρέφει τον προηγούμενο τεκτονικό ιστό.

Υδρογεωλογία

Η υδροφορία της Άνδρου εντοπίζεται αφενός στις περιοχές των αλλουβίων και των πλευρικών κορημάτων, όπου αναπτύσσεται επιφανειακός ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας και αφετέρου στους μακροπερατούς σχηματισμούς των μαρμάρων και των σιπολινών, όπου αναπτύσσονται υπόγειοι υδροφόροι ορίζοντες. Οι περιπτώσεις των επιφανειακών οριζόντων σε πρόσφατους χαλαρούς ιζηματογενείς σχηματισμούς αντιμετωπίζονται με τις συνήθεις μεθόδους εκμετάλλευσης με πηγάδια ή αβαθείς γεωτρήσεις ή καλλιέργια πηγών. Αντίθετα οι περιπτώσεις των υπόγειων υδροφόρων στα μεταμορφωμένα πετρώματα της Άνδρου απαιτούν άριστη γνώση της τεκτονικής δομής και της στρωματογραφικής διάρθρωσης. Ο εντοπισμός των περιοχών όπου πιθανόν να υπάρχει μόνιμη υπόγεια δεξαμενή ή δίοδος νερού βασίζεται στη γεωμετρία των επαφών ανάμεσα σε περατούς και αδιαπεράτους σχηματισμούς και στην περίπτωση της Άνδρου οι επαφές αυτές αφορούν στη βάση των οριζόντων μαρμάρων και σιπολίτη.

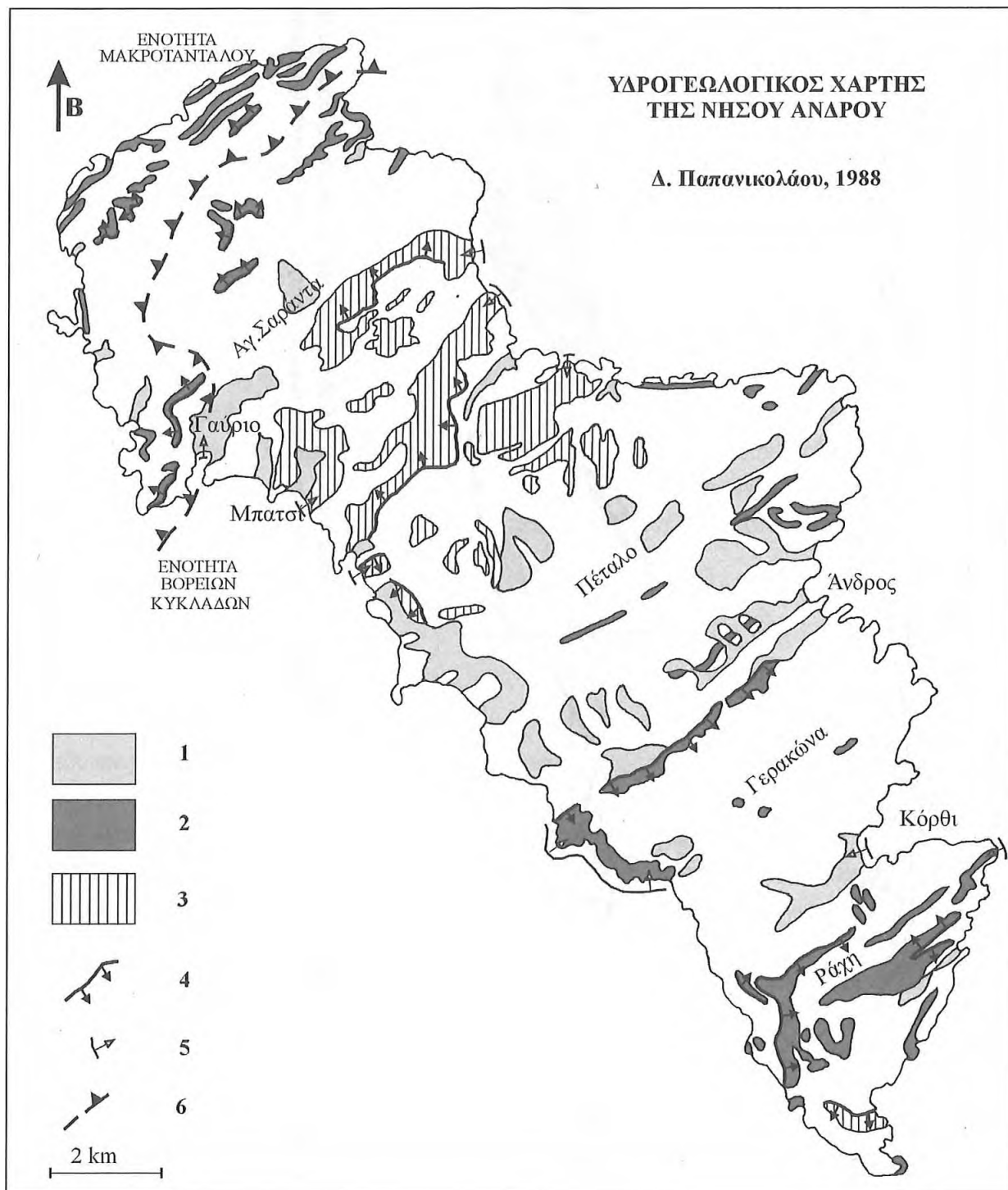
Η γενική γεωλογική τομή της Άνδρου μπορεί να χρησιμεύσει σαν οδηγός των ευνοϊκών θέσεων για τον εντοπισμό συγκλινικών δομών των επαφών περατό/αδιαπεράτο της Άνδρου (Εικ. 8). Οι θέσεις αυτές είναι οι εξής: (i) τα πυθμαία των κλειστών πτυχών των περιμικών μαρμάρων της ενότητας Μακροτάνταλου στην περιοχή βόρεια των οικισμών Κάλαμος, Χάρτες, Καλιβάρι, (ii) τα πυθμαία των συγκλινικών δομών των σιπολινών του Αγ. Πέτρου στην περιοχή



Εικ. 8: Γενική τεκτονική δομή κατά μήκος της νήσου Άνδρου (α) (από Παπανικολάου, 1978) και γεωλογική τομή με την υδρογεωλογική ερμηνεία της (β) όπου διακρίνονται οι υδροπερατοί σχηματισμοί μαρμάρων και σιπολινών, που οριοθετούν τις επιφάνειες περατό/αδιαπέρατο (μάρμαρα-σιπολίτες/σιστόλιθοι) σε συνάρτηση με τις ισοκλινείς πτυχώσεις.

του Άνω Γαυρίου και βόρεια από το Μπατσι και (iii) οι πυρήνες των ισοκλινών κατακεκλιμένων πτυχών του κατώτερου μάρμαρου στην αξονική περιοχή της Σταυροπέδας έως τα Φαλλικά και Λειβάδια και στην κορυφαία ζώνη της Ράχης, στην περιοχή Πίσω Μεριά καθώς και στην περιοχή Αγ. Άννας στον πυρήνα της αντικλινικής δομής (Εικ. 8).

Από τις παραπάνω τρεις κατηγορίες θέσεων οι οποίες φαίνονται και στον υδρογεωλογικό χάρτη (Εικ. 9), η πρώτη των περμικών μαρμάρων του Μακροτάνταλου έχει πολύ περιορισμένες δυνατότητες υδροφορίας, λόγω του μικρού πάχους των μαρμάρων και της αποκοπής της



Εικ. 9: Υδρογεωλογικός χάρτης της Άνδρου

1. Μικροπερατοί σχηματισμοί (αλλούβια, κορήματα), 2. Μάρμαρα (μακροπερατοί σχηματισμοί), 3. Σιπολίτες (μακροπερατοί σχηματισμοί), 4. Επαφές υδροφορίας περατό/αδιαπέρατο και η φορά κίνησης του υπεδαφικού νερού, 5. Μέτωπα διείσδυσης θαλασσινού νερού, 6. Τεκτονική επαφή.

συνέχειας των οριζόντων. Η τρίτη κατηγορία αφορά είτε δυσπρόσιτες περιοχές χωρίς σημαντικούς οικισμούς, είτε περιοχές όπου δεν υπάρχει μεγάλη ανάγκη νερού. Αντίθετα η δεύτερη κατηγορία των σιπολινών έχει δυνατότητα αξιοποίησης, λόγω της γειννίασης με οικισμούς όπου υπάρχει ανάγκη νερού και σε σχετικά προσβάσιμες περιοχές. Μειονέκτημα αποτελεί το ότι οι σιπολίνες του Αγ. Πέτρου περιλαμβάνουν άλλοτε πολύ ανθρακικό ασβέστιο και είναι σιπολινομάρμαρα ή και μάρμαρα έντονα μακροπερατά, ενώ άλλοτε περιλαμβάνουν σχιστολιθικούς ορίζοντες με παρεμβολές ασβεστιπικών οριζόντων ελάχιστα μακροπερατών. Πάντως είναι γεγονός ότι τα συστήματα διακλάσεων είναι έντονα ανεπτυγμένα και με μεγάλη συχνότητα. Έτσι, η προσπάθεια για ανεύρεση υπόγειου νερού σε μεγάλη ποσότητα πρέπει να γίνει στους σιπολίνες στην περιοχή μεταξύ του Άνω Γαυρίου και Μπατσι και σε βάθη από 200-300m.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΓΕΩΡΓΟΥΛΗΣ, Ι., 1984. Γεωλογικά Έρευναι εις την Επαρχίαν Μαντινείας. Διδακτορική διατριβή, Παν/μιο Αθηνών.
- GOURNELLOS, TH., 1980. Contribution a l'etude geologique des Cyclades (Grece): L'ile de Siphnos, These de 3eme Cycle, Paris.
- ΔΑΒΗ, Ε., 1966. Γεωλογική κατασκευή της νήσου Σίφνου. Γεωλ. Γεωφ. Μελ., ΙΓΜΕ, 10/3, 161-220.
- DURR, S., ALTHERR, R., KELLER, J., OKRUSCH, M. & SEIDEL, E., 1978. The median Aegean crystalline belt: stratigraphy, structure, metamorphism, magmatism. In Alps, Apennines, Hellenides, 455-477.
- DURR, S., SEIDEL, E., KREUZER, H. & HARRE, W., 1978. Temoins d'un metamorphisme d'age cretace superieur dans l'Egeide: datations radiometriques de mineraux provenant de l'ile de Nikouria. *Bull. Soc. Geol. France*, XX, 209-213.
- ΦΥΤΡΟΛΑΚΗΣ, Ν. & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., in collaboration with ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ, Α., 1981. Stratigraphy and structure of Amorgos Island, Aegean Sea. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 30/2, 455-472.
- ΛΕΚΚΑΣ, Σ., 1978. Συμβολή εις την γεωλογικήν δομήν της περιοχής Τριπόλεως. Διδακτορική διατριβή Παν/μιο Αθηνών, 192 σελ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1976. Η ηλικία του Κρυσταλλοσχιιστώδους εις την νήσον Άνδρον. Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 51, 292-301.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1977. The successive structures of the Post-alpine orogeny in Andros Island, Cyclades. VI Coll. Geol. Aegean Region, I, 311-319.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1978. Γεωλογικά έρευναι εις την νήσον Άνδρον. Διατριβή επί διδακτορία, Παν/μιο Αθηνών, 231 σελ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1978. Contribution to the Geology of Aegean Sea. The island of Andros. *Ann. Geol. Pays Hellen.* 29/2, 477-553.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1980. Contribution to the Geology of Aegean Sea. The island of Paros. *Ann. Geol. Pays Hellen.* 30/1, 65-96.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1984. The three metamorphic belts of the Hellenides: a review and a kinematic interpretation. *Geol. Soc. London, Spec. Publ.* 17, 551-561.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1986. Γεωλογία της Ελλάδας. Επτάτομος, 240 σελ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1986. The Medial Tectonometamorphic Belt of the Hellenides. 3rd Congress Geol. Soc. Greece, May 1986, *Bul. Geol. Soc. Greece*, 20/1, 101-120.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ., 1987. Tectonic Evolution of the Cycladic Blueschist Belt (Aegean Sea, Greece). In *Chemical Transport in Metasomatic Processes*, Reidel Publ.co., 429-450.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. σε συνεργασία με ΓΚΑΝΑ, Α., ΚΟΚΟΡΟΜΥΤΗ, Α., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., 1985. Υδρογεωλογική μελέτη της νήσου Δονούσας (Κυκλάδες). Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Έκθεση προς την Νομαρχία Κυκλάδων, 38 σελ.

- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. σε συνεργασία με ΓΚΑΝΑ, Α., ΚΟΚΟΡΟΜΥΤΗ, Α., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., 1986. Υδρογεωλογική μελέτη νήσου Σίφνου. Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Έκθεση προς την Νομαρχία Κυκλάδων, 75 σελ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. σε συνεργασία με ΓΚΑΝΑ, Α., ΚΟΚΟΡΟΜΥΤΗ, Α., ΛΟΓΟ, Ε., ΣΠΥΡΙΔΩΝΟΣ, Ε., 1988. Υδρογεωλογική μελέτη νήσου Άνδρου. Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Έκθεση προς την Νομαρχία Κυκλάδων, 199 σελ.
- REINESKE, T., ALTHERR, R., HARTUNG, B., HADJIPANAGIOTOU, K., KREUZER, H., HARRE, W., KLEIN, H., KELLER, J., GEENEN, E. & BOGER, H., 1982. Remnants of a late Cretaceous high temperature belt on the Island of Anafi (Cyclades, Greece). N. Jb. Miner. Abh. 145, 157-182.
- RIDLEY, G., 1984. The significance of deformation associated with blueschist facies metamorphism of the Aegean Island of Syros. Geol. Soc. London, Spec. Publ, 17, 545-550.
- SABOT, V. & PAPANIKOLAOU, D., 1976. La contribution de l'analyse geomorphologique a l'etude des grands mouvements du socle dans la mer Egee. Prakt. Acad. Athenes, 51, 86-96.
- SABOT, V. & PAPANIKOLAOU, D., 1977. Some geomorphological aspects of the Cyclades and their importance on the morphotectonic evolution of the area. VI Coll. Geol. Aegean Region, Athens 1977, Proc. 529-534.
- SCHLIESTEDT, M., ALTHERR, R. & MATTHEWS, A., 1987. Evolution of the Cycladic Crystalline Complex: Petrology, isotope geochemistry and geochronology. n: Helgeson (ed) Chemical Transport in Metasomatic Processes, 389-428, Reidel.