

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ

*" ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΟΝ
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΙΕΡΑ ΜΟΝΗ
ΔΟΧΕΙΑΡΙΟΥ ΑΓΙΟΥ ΟΡΟΥΣ. "*

Επιμέλεια

ΜΙΧΑΛΑΚΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ
ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΣ

Επιβλέποντες Καθηγητές

ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
ΤΣΟΚΑΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ



Αεροφωτογραφία της περιοχής έρευνας γύρω από την Ιερά Μονή Δοχειαρίου που έχει τραβηχτεί από ύψος 3600 μέτρων και με φακό εστιακής απόστασης 88,76 cm (κλίμακα 1: 40.000)

ΠΕΡΙΟΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	1
1. Εισαγωγή	2
1.1 Θέση της περιοχής έρευνας.....	2
1.2 Στόχος της έρευνας.....	2
1.3 Φιλοξενία Μονής.....	2
2. Ιστορικά στοιχεία.....	5
2.1 Ιστορικά στοιχεία τη Μονής.....	5
2.2 Ιστορικά στοιχεία της υδροδότησης.....	5
2.2.1 Σήραγγες ανεύρεσης νερού.....	5
2.2.2 Υδροδότηση της Μονής.....	6
2.2.3 Παλαιές προσπάθειες υδροδότησης.....	6
2.2.4 Το σημερινό δίκτυο και τα προβλήματά του.....	6
2.2.5 Φύλαξη και καθαρισμός νερού.....	7
2.2.6 Χρήση υπόγειων υδάτων.....	7
2.2.7 Χρήση όμβριων υδάτων.....	8
2.2.8 Βροχοπτώσεις.....	8
2.2.9 Ανάγκες της Μονής σε νερό.....	8
3. Μεθοδολογία έρευνας.....	9
3.1 Γενικά.....	9
3.2 Γεωλογική έρευνα.....	10
3.2.1 Γενικά.....	10
3.2.2 Γεωτεκτονική τοποθέτηση και λιθοστρωματογραφία της Σερβομακεδονικής.....	10
3.2.3 Μαγματισμός.....	14
3.2.4 Τεκτοορογενετική εξέλιξη.....	16
3.2.5 Γεωτεκτονική τοποθέτηση της περιοχής έρευνας και γεωλογική χαρτογράφηση.....	16
3.2.6 Περιγραφή πετρολογικών σχηματισμών.....	17
3.2.7 Στρωματογραφία.....	18
3.2.8 Τεκτονική.....	26
3.2.8.1 Ρήγματα.....	26
3.2.8.2 Διακλάσεις.....	26
3.2.9 Συμπεράσματα.....	27
3.3 Υδρογεωλογική έρευνα.....	38
3.3.1 Γενικά.....	38
3.3.1.1 Μέθοδοι υδρογεωλογίας.....	38
3.3.1.2 Υδρολογικό ισοζύγιο.....	39
3.3.1.2.1 Κατακρημνίσματα.....	41
3.3.1.2.2 Επιφανειακή απορροή.....	45
3.3.1.2.3 Κατείσδυση.....	46
3.3.1.2.4 Εξατμισοδιαπνοή.....	47

3.3.1.3 Κατηγορίες πετρωμάτων.....	48
3.3.1.4 Ολικό πορώδες.....	48
3.3.1.5 Περαιτότητα.....	52
3.3.1.6 Υδραυλική βραχομάζας.....	54
3.3.1.6.1 Υδατοαπορροφητικότητα.....	56
3.3.1.6.2 Υδατοκινητικότητα.....	56
3.3.1.7 Υδροφόρα στρώματα.....	58
3.3.1.7.1 Καρστικά υδροφόρα συστήματα (γενικά).....	59
3.3.1.7.2 Προσχωσιγενείς υδροφόροι.....	60
3.3.1.7.3 Υδροφόροι σε μαγματικά και μεταμορφωμένα πετρώματα.....	61
3.3.1.7.4 Υδροφορία σε ηφαιστειακά πετρώματα.....	61
3.3.1.7.5 Υδροφορία σε συνεκτικά ιζήματα (πλην ανθρακικών)	61
3.3.1.8 Πηγές.....	61
3.3.1.8.1 Παράκτιες πηγές (Νόμος Ghyben-Herzberg).....	65
3.3.1.9 Αποθέματα υπογείου νερού.....	67
3.3.1.10 Πηγάδια.....	68
3.3.2 Υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών στο χώρο έρευνας...69	
3.3.2.1 Προσχωσιγενείς σχηματισμοί.....	69
3.3.2.2 Ρωγμώδεις σχηματισμοί.....	69
3.3.3 Καταγραφή και αξιολόγηση πηγαίων αναβλύσεων.....	71
3.3.4 Υδροχημική έρευνα.....	73
3.3.5 Συμπεράσματα.....	74
3.4 Συμπεράσματα.....	76
3.4.1 Μέθοδος VLF στην Υδρογεωλογία.....	76
3.4.1.1.1 Αρχές Φυσικής - Ηλεκτρ/κή επαγωγή, Νόμος της Επαγωγής.....	76
3.4.1.1.2 Το φαινόμενο της επαγωγής σε ακίνητο πλαίσιο μέσα σε χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.....	76
3.4.1.2 Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι στη Γεωφυσική.....	78
3.4.1.3 Ιστορία και εξέλιξη των πομπών VLF.....	78
3.4.1.4 Πομποί VLF.....	79
3.4.1.5 Προσανατολισμός της έντασης του μαγνητικού πεδίου.....	80
3.4.1.6 Δέκτης VLF.....	81
3.4.1.7 ABEM WADI.....	82
3.4.1.8.1 Παράμετροι που μετράει το WADI.....	82
3.4.1.8.2 Πως φαίνεται μια ανωμαλία.....	83
3.4.1.8.3 Διαταραχές.....	84
3.4.1.8.5 Φιλτράρισμα.....	85
3.4.1.8.6 Εγκάρσιες τομές.....	87
3.4.1.8.7 Βάθος διεύθυνσης.....	89
3.4.1.10 Ερμηνεία και παραδείγματα καταγραφών.....	91
3.4.2 Εφαρμογή της Μεθόδου VLF για την υδρογεωλογική έρευνα.....	95
3.4.3 Αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας.....	97
3.4.4 Αξιολόγηση των μετρήσεων.....	97
3.4.4.1 Περιοχή Άγιοι Πάντες.....	97
3.4.4.2 Περιοχή Λάκκος Πηγαδιού.....	98
3.4.4.3 Περιοχή Ντορός.....	99

3.4.4.4 Περιοχή Παναγούδα.....	99
3.4.5 Συμπεράσματα.....	100
4 Γενικά Συμπεράσματα - Προτάσεις.....	120
4.1 Γεωτρήσεις.....	120
4.2 Υδρομάστευση πηγών.....	123
Φωτογραφίες.....	127

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η αφορμή για την πραγματοποίηση της παρούσας μελέτης, ως διπλωματική διατριβή, προέκυψε από τη γνωστοποίηση του προβλήματος υδροδότησης της Ιεράς Μονής Δοχειαρίου Αγίου Όρους στον καθηγητή κ.κ. Τσόκα Γρηγόριο του τμήματος Γεωλογίας του Α.Π.Θ. και ο σκοπός της είναι η επίλυση αυτού του προβλήματος.

Η ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής διατριβής δεν θα ήταν εφικτή χωρίς την αμέριστη συμπαράσταση και βοήθεια από τους δύο επιβλέποντες καθηγητές κ.κ. Τσόκα Γρηγόριο και Δημόπουλο Γεώργιο τους οποίους και ευχαριστούμε θερμά.

Δεν θα έπρεπε να παραλείψουμε την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε ο υποψήφιος διδάκτορας κ.κ. Σωτηριάδης Μιχάλης κατά την διεξαγωγή των χημικών αναλύσεων δειγμάτων νερού οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας και Υδρογεωλογίας.

Η αναγνώριση των πετρολογικών δειγμάτων έγινε με τις πολύτιμες πληροφορίες που μας παρείχε ο κ.κ. Κωστόπουλος Δημήτρης τον οποίο και θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε.

Τέλος ευχαριστούμε και τους καθηγητές κ. Χατζηδημητριάδη και κ. Κίλια για τις γεωλογικές πληροφορίες που μας έδωσαν και αφορούσαν την περιοχή έρευνας.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η πραγματοποίηση της παρούσας διπλωματικής έγινε στον περιβάλλοντα χώρο της Ιεράς Μονής Δοχειαρίου Αγίου Όρους. Η εν λόγω Μονή βρίσκεται στην δυτική ακτή της χερσονήσου του Άθω και σε υψόμετρο περίπου 30 μέτρων από την επιφάνεια της θάλασσας όπως φαίνεται από τον χάρτη του σχήματος 1.1. Είναι η πρώτη Μονή που αντικρίζει κάποιος όταν ταξιδεύει κανείς με το καράβι από την Ουρανούπολη προς την Δάφνη.

1.2 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η Ιερά Μονή Δοχειαρίου, αντίθετα με ότι συμβαίνει σε άλλα μοναστήρια του Αγίου Όρους, από την εποχή της ίδρυσης της αντιμετώπιζε οξύτατο πρόβλημα ύδρευσης και άρδευσης. Το νερό για τους Δοχειαρίτες ήταν δυσεύρετο και αποτελούσε για αυτούς ένα μείζον πρόβλημα που αναζητούσε την λύση του. Από τους ίδιους τους μοναχούς έχουν γίνει προσπάθειες εξοικονόμησης και αξιοποίησης του νερού αλλά παράλληλα έχουν πραγματοποιηθεί έρευνες και από το Ι.Γ.Μ.Ε.

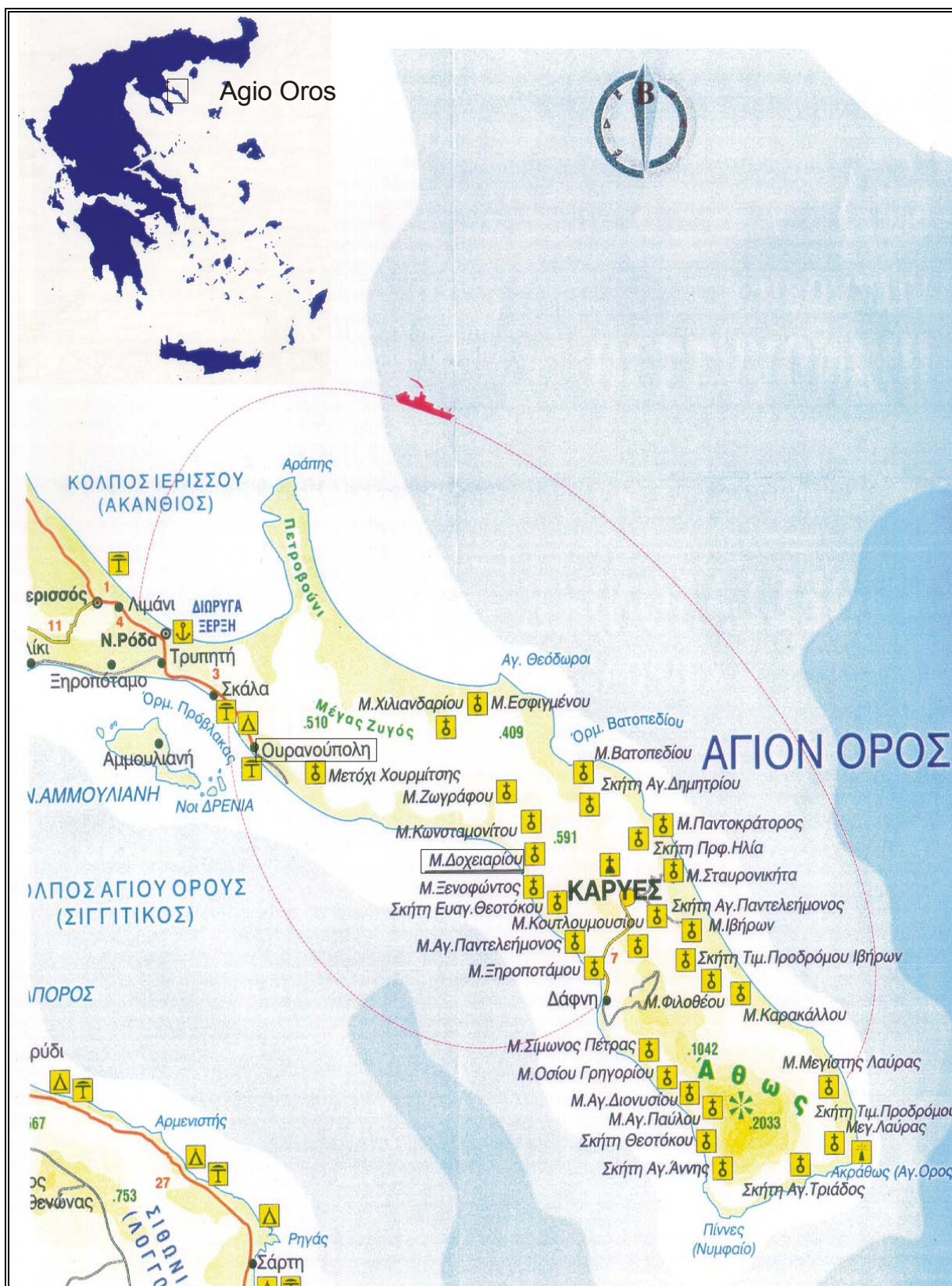
Η εργασία αυτή έχει ως άμεσο στόχο την υπόδειξη κατάλληλης θέσης ή θέσεων οι οποίες έχουν πιθανότητα υδροφορίας. Αξιολογώντας τα δεδομένα της γεωλογικής, υδρογεωλογικής και γεωφυσικής έρευνας θα γίνει προσπάθεια να υποδειχθεί τελικά η οριστικοποίηση ή όχι μιας θέσης που μπορεί να πραγματοποιηθεί υδρογεώτρηση.

Για την επίτευξη του σκοπού αυτού και την ολοκλήρωση της μελέτης πραγματοποιήθηκαν στην Μονή τρεις επισκέψεις. Η πρώτη επίσκεψη έγινε από τις 2 έως τις 3 Δεκεμβρίου του 2000 με την επίβλεψη του καθηγητή κ.κ. Τσόκα Γρηγόριου. Η επίσκεψη αυτή είχε αναγνωριστικό κυρίως χαρακτήρα καθώς οριοθετήθηκε η περιοχή έρευνας και καθορίστηκαν οι επιστημονικές εργασίες που έπρεπε να πραγματοποιηθούν κατά την επόμενη μας επίσκεψη στο μοναστήρι. Κατά την διάρκεια της δεύτερης επίσκεψης (13/2/2001- 17/2/2001) χαρτογραφήθηκε η περιοχή έρευνας σε χάρτη κλίμακας 1:5000, έγινε συλλογή δειγμάτων για την αναγνώριση τους στο εργαστήριο και πραγματοποιήθηκε και η γεωφυσική έρευνα με τη μέθοδο VLF Η τρίτη και τελευταία επίσκεψη (25/5/2001- 26/5/2001) έγινε με τη συνοδεία των επιβλεπόντων καθηγητών κ.κ. Δημόπουλο και Τσόκα. Σκοπός της ήταν η επί τόπου επίβλεψη και αξιολόγηση των εργασιών που είχαν πραγματοποιηθεί κατά την δεύτερη επίσκεψη.

1.3 ΦΙΛΟΞΕΝΙΑ ΜΟΝΗΣ

Είναι χρέος μας να αναφερθούμε μόνο με κολακευτικά λόγια για τη φιλοξενία που τύχαμε κατά την διάρκεια όλων των επισκέψεων μας στη Μονή. Όλοι οι μοναχοί μας συμπεριφέρθηκαν με απόλυτη ευγένεια και ήταν πάντα πρόθυμοι να μας εξυπηρετήσουν.

Βρεθήκαμε στην ευχάριστη θέση να καταλύσουμε στους ιδιαίτερα διαμορφωμένους ξενώνες της Μονής αλλά και να γευματίσουμε μαζί με τους μοναχούς σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Επίσης σημαντική βοήθεια μας παρείχε, κατά την παραμονή μας στην Μονή, το όχημα που μας παρεχώρησαν οι μοναχοί για τις μετακινήσεις μας σε απομακρυσμένα σημεία από αυτήν.



Σχήμα Σφάλμα! Αγνωστη παράμετρος αλλαγής..1: Χάρτης του Αγίου Όρους όπου μπορεί να διακριθεί η Ουρανούπολη και η Ιερά Μονή Δοχειαρίου.

Εδώ θα πρέπει να ευχαριστήσουμε θερμά τον μοναχό της Μονής Πατέρα Θεόκτιστο ο οποίος σε όλες τις επισκέψεις μας συντρόφευε και μας ξεναγούσε. Χωρίς την πολύτιμη βοήθειά του δεν θα ήταν εφικτή σε σύντομο χρονικό διάστημα η διεξαγωγή τόσο της γεωλογικής χαρτογράφησης όσο και των γεωφυσικών μετρήσεων καθώς όλες τις ημέρες της παραμονής μας εκεί μας συνόδευε στις μετακινήσεις και μας βοηθούσε.

2. ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ

Κτήτορας της Μονής είναι ο Άγιος Ευθύμιος, ο οποίος υπήρξε μαθητής του Αγίου Αθανασίου του Αθωνίτη, στο πρώτο μοναστήρι του Αγίου Όρους, στη Μεγίστη Λαύρα. Εκεί ο Άγιος Ευθύμιος κατείχε την θέση του “δοχειάρη”, του διαχειριστή δηλαδή της αποθήκης των τροφίμων, και έτσι η μονή που ίδρυσε ονομάστηκε, “του δοχειαρίου”.

Ο Άγιος Ευθύμιος έχτισε τα κτίρια της Μονής στο σημείο που του είχε παραχωρήσει με μίσθωση η γειτονική Μονή Ξενοφώντος, περίπου το 976. Σε μία πολύ δύσκολη περίοδο λειψυδρίας οι αρχάγγελοι Μιχαήλ και Γαβριήλ εμφανίστηκαν με όραμα σε έναν μοναχό και του υπέδειξαν το ακριβές σημείο που θα μπορούσαν οι πατέρες να βρουν νερό. Το πηγάδι που ανοίχτηκε σε αυτήν τη θέση ονομάστηκε Αγίασμα Αρχαγγέλου, υπάρχει μέχρι σήμερα και αποτελεί το κύριο σημείο ύδρευσης της μονής. Για τον λόγο αυτό το μοναστήρι αφιερώθηκε από τον Άγιο Ευθύμιο στους αρχάγγελους Μιχαήλ και Γαβριήλ.

2.2 ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ

2.2.1 ΣΗΡΑΓΓΕΣ ΑΝΕΥΡΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ

Το πόσο πολύτιμο μα και δυσεύρετο ήταν ανέκαθεν το νερό για τους Δοχειαρείτες φαίνεται από τις πολλές υπόγειες σήραγγες, που είχαν κατασκευάσει στην προσπάθειά τους να οδηγηθούν σε σημεία από όπου αυτό ανάβλυζε και μετά μέσω αυλακιών να το συλλέξουν για προσωπική τους χρήση. Αρκετές από αυτές σώζονται και διατηρούνται μέχρι σήμερα.

Μια από τις παλαιότερες σήραγγες βρίσκεται στην τοποθεσία Κτητορικό νερό, ονομασία που σαφώς υποδηλώνει την ύπαρξη μιας από τις πρώτες παρουσίες νερού στην περιοχή. Πρόκειται για πλακοσκεπή σήραγγα της οποίας η κατασκευή ανάγεται στις αρχές του 11^{ου} αιώνα και από την οποία έρχεται νερό ακόμα και τώρα, με κάπως βέβαια μειωμένη παροχή το καλοκαίρι.

Κοντά στα ερείπια ενός παλιού μοναστηριού, του Καλλιγράφου, που βρίσκεται στην περιοχή της μονής, βρίσκονται άλλες τρεις τέτοιες στοές που οδηγούν σε νερό, με μήκος η καθεμιά τους μεγαλύτερο από 30 μ. Η πρώτη απ’ αυτές ανάγεται στις αρχές του 10ου αιώνα και όπως και η δεύτερη, έχει νερό μόνο όταν βρέξει πάρα πολύ, ενώ αντίθετα η Τρίτη στοά έχει νερό σχεδόν πάντα, το οποίο μάλιστα χρησιμοποιείται από ένα κελί.

Στην τοποθεσία Πρώτο νερό υπάρχει ένα τούνελ λαξεμένο μέσα σε βράχο. Το νερό που βγαίνει στην Παναγούδα, σε ένα κτήμα με ελιές το αρδεύει μέσω μιας καινούργιας δεξαμενής 80 κ.μ. Στο κάθισμα του Αγ. Δημητρίου υπάρχει μια πλακοσκεπή σήραγγα μήκους 45 μ, που έχει νερό μόνο όταν βρέχει πολύ. Τέλος στην θέση Πλατάνι υπάρχει ένα επίσης πλακοσκεπές τούνελ που, μόνο όταν βρέξει πάρα πολύ, βγάζει νερό. Παρουσία νερού στη θέση αυτή αναφέρεται από το 1580.

Το πλήθος όλων αυτών των υπόγειων στοών, που πρέπει να είναι το μεγαλύτερο που συναντά κανείς σε όλο το Άγιο Όρος, αναδεικνύει την έλλειψη επιφανειακών και υπόγειων νερών κοντά στο μοναστήρι, που θα μπορούσαν να καλύψουν τις βασικές τουλάχιστον ανάγκες σε νερό και η οποία ήταν αισθητή από την πρώτη κιόλας χρονική περίοδο εγκατάστασης μοναχών στην περιοχή της Μονής.

2.2.2 ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ.

Η υδροδότηση, λοιπόν, της Μονής γινόταν αναγκαστικά από το Κτητορικό νερό, που απέχει 1,5 km και έχει υψόμετρο 120μ, με αυλάκια που ακολουθούσαν το βυζαντινό καλντερίμι προς το μοναστήρι. Σώζονται τέσσερα αλληπάλληλα στρώματά τους, που το καθένα ανάγεται και σε διαφορετική ιστορική περίοδο. Το κατώτατο είναι του 11^{ου} αιώνα και αποτελείται από ανοικτά κεραμικά πήλινα λούκια. Στο αμέσως ανώτερο επίπεδο υπάρχει ανοικτό αυλάκι του 13^{ου} αιώνα, που είναι κτισμένο με ασβέστη και αμοκονίαμα.

Του επόμενου αιώνα, δηλ., του 14^{ου}, είναι το αυλάκι που βρίσκεται από πάνω. Αυτό είναι σκεπαστό με πέτρινες πλάκες και μέσα από αυτό ερχόταν το νερό, μάλλον μέχρι το 1935. Τότε χρησιμοποιήθηκαν μαντεμένιοι, δηλαδή χυτοσίδηροι, σωλήνες, οι οποίοι τοποθετήθηκαν μέσα σ' αυτό το τελευταίο σκεπαστό αυλάκι. Οι σωλήνες αυτοί είχαν μεγάλη διάμετρο, επειδή συχνά φράζονταν από ασβεστιτικά άλατα.

2.2.3 ΠΑΛΑΙΕΣ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΥΔΡΟΔΟΤΗΣΗΣ.

Το 1880 είχε γίνει προσπάθεια να μεταφερθεί νερό από τη Μάννα νερού, μια πηγή που απέχει 5,5 km από το μοναστήρι και βρίσκεται σε υψόμετρο 360μ. Για να βρεθούν τα αναγκαία χρήματα έγινε έρανος, αλλά επειδή η χρήση μολυβδοσωλήνων ήταν πολύ μεγάλη δαπάνη, το έργο δεν μπόρεσε τελικά να πραγματοποιηθεί. Γύρω στο 1930, αφού είχε ήδη προηγηθεί μια ανεπιτυχής προσπάθεια να βρεθεί πηγαίο νερό, με την βοήθεια ενός Ιταλού υδρομάντη, υπήρξε σκέψη για κατασκευή τεχνητής λίμνης σε απόσταση 1200 μ από το μοναστήρι και σε υψόμετρο 180 μ. Όμως η εκλογή της θέσης της ήταν τουλάχιστον ατυχής, μιας και η λίμνη σε εκείνο το σημείο θα μπορούσε να αποτελέσει κίνδυνο για το ίδιο μοναστήρι, αφού θα ήταν ακριβώς από πάνω του. Το χειμώνα επίσης, η λίμνη δεν θα είχε αρκετά νερά.

2.2.4 ΤΟ ΣΗΜΕΡΙΝΟ ΔΙΚΤΥΟ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΟΥ.

Το μεγάλο αυτό πρόβλημα υδροδότησης, με κάποιες μικρές διαφοροποιήσεις, το αντιμετωπίζουν ακόμα και σήμερα οι μοναχοί της μονής Δοχειαρίου. Έτσι από το 1958, όπως χαρακτηριστικά αναφέρουν και οι ίδιοι, " παρακαλούσαν " την κάθε κυβέρνηση για εγκατάσταση δικτύου που θα έφερνε νερό στο μοναστήρι. Τελικά μόλις το 1971 εγκαταστάθηκε δίκτυο που σήμερα εξυπηρετεί τη μονή φέρνοντας νερό από δύο σημεία υδροληψίας: το ρέμα της Αρχόντισσας και την πηγή " Μάνα νερού ", που βρίσκονται σε 5.5 – 6.0 km απόσταση από το μοναστήρι. Εξαιτίας και κάποιων άλλων προβλημάτων του υδραγωγείου, έγινε υδροδότηση από το ρέμα του Σταλού (20/11/96). Η λύση όμως ήταν μάλλον πρόχειρη: το νερό ερχόταν με αναρρόφηση από ένα μικρό φυσικό λάκκο, που βρισκόταν μέσα στο ρέμα, αφού προηγουμένως με ένα φίλτρο κατακρατούνταν φύλλα και άλλα φερτά υλικά. Ήταν επομένως θέμα χρόνου να το πετάξει έξω το νερό, πράγμα που έγινε ένα σχεδόν μήνα μετά, κατά την διάρκεια μιας μικροπλημμύρας. Τέλος, συλλέγεται και από ένα μικρό ρυάκι συνεχούς ροής που ονομάζεται Λάκκος του Νευροκόπου και που είναι πράγματι ένας λάκκος που έχει ψάρια. Μάλιστα, το 1975-76 είχε ημερήσια παροχή 30 κ.μ σε περίοδο ξηρασίας.

2.2.5 ΦΥΛΑΞΗ ΚΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΝΕΡΟΥ.

Το νερό καθώς έρχεται από τις δύο πηγές υδροδότησης και προτού εισέλθει στο μοναστήρι, φυλάσσεται σε μια λιθόκτιστη με σοβά δεξαμενή 80 κ.μ που βρίσκεται σε υψόμετρο 70 m και σε απόσταση 200 m από τη Μονή. Παλιά, η δεξαμενή, της οποίας το νερό χρησιμοποιείται τόσο για άρδευση όσο και για ύδρευση, ήταν ακάλυπτη, αλλά τώρα έχει καλυφθεί με πλάκα από σκυρόδεμα. Για τον καθαρισμό του νερού της δεξαμενής έχει χρησιμοποιηθεί σε τρεις περιπτώσεις από το 1980, ποσότητα ασβέστη μετά από προβλήματα δυσεντερίας που παρουσιάστηκαν, κυρίως λόγω των ακάλυπτων νερών του ρέματος από όπου υδρεύεται το μοναστήρι. Παράλληλα χρησιμοποιούνται πλέγματα για την κατακράτηση και απομάκρυνση των φύλλων και άλλων φερτών υλικών μεγάλων διαστάσεων, ενώ στη δεξαμενή ρίχνεται και αγιασμός την πρώτη ημέρα του κάθε μήνα.

Μια δεξαμενή 300 κ.μ χρησιμεύει στην ύδρευση της μονής και στην άρδευση των κήπων της αλλά συμβάλει και στη δασοπυρόσβεση, καθώς βρίσκεται σε υψόμετρο 250 μ καλύπτοντας έτσι ένα μεγάλο μέρος της δασικής έκτασης της. Επειδή, μάλιστα οι πατέρες μεριμνούν ιδιαίτερα ώστε να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον από τα έργα και τις δραστηριότητες τους, ούτε να αλλοιώνεται η φυσική του μορφή, θα καλύψουν την δεξαμενή με χώμα και θα προσπαθήσουν να αποκαταστήσουν στην αρχική του μορφή τον περιβάλλοντα χώρο.

2.2.6 ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ.

Η μονή υδρεύεται και με υπόγεια νερά από πηγές, από γεωτρήσεις και από πηγάδια. Μάλιστα, ενώ έχουν γίνει μελέτες από το Ι.Γ.Μ.Ε. για τέσσερις γεωτρήσεις, έχουν σωληνωθεί οι τρεις και από αυτές έχουν λίγο νερό μόνο οι δύο.

Εκτός από το αγίασμα των Αρχαγγέλων υπάρχουν αρκετά ακόμα πηγάδια στην περιοχή του μοναστηριού. Συγκεκριμένα, στον Αρσανά υπάρχουν δύο, από τα οποία το ένα είναι παλιό πηγάδι, ενώ το άλλο είναι σύγχρονο, βάθους επτά μέτρων, που το άνοιξαν οι μοναχοί το 1990 με τα ίδια τους τα χέρια. Επίσης, κατάντη του χώρου που βρίσκεται το κοιμητήριο και σε σημείο όπου υπάρχουν ίχνη από βυζαντινό πηγάδι, ανοίχθηκε το 1960 ένα πηγάδι που τώρα έχει υποστεί υφαλμύριση. Στο κάθισμα των Αγίων Πάντων βρίσκεται πηγάδι λαξεμένο μέσα στο βράχο, ενώ στο κάθισμα του Αγίου Δημητρίου, το πηγάδι του 1600 που υπάρχει εκεί δεν έχει πολύ καλό νερό.

Στην τοποθεσία Γούβα, το ένα από τα δύο πηγάδια δεν λειτουργεί, λόγω καθίζησης που έχει υποστεί, ενώ το άλλο, που έγινε το 1917, έχει νερό μόνο το χειμώνα και πάλι μόνο όταν βρέχει πολύ. Εξάλλου, γεώτρηση του Ι.Γ.Μ.Ε. που έγινε το 1990 στην περιοχή, βρήκε πολύ νερό σε βάθος 25 μ, αλλά δυστυχώς οι υπεύθυνοι μηχανικοί συνέχισαν και βαθύτερα, με αποτέλεσμα να χαθεί ξαφνικά όλο το νερό, προφανώς μέσω κάποιου κατακόρυφου υπογείου ρήγματος που συνάντησε το γεωτρήπανο.

Δύο άλλα πηγάδια, που έχουν νερό μόνο όταν βρέχει πολύ, βρίσκονται, το ένα στο κάθισμα του Αγίου Μοδέστου και το άλλο στην παλαιά σκήτη του Προδρόμου. Το τελευταίο είναι του 14^{ου} αιώνα και έχει 19 μ βάθος. Τέλος, πηγάδι που έχει νερό υπάρχει και στο κονάκι της μονής στις Καρυές.

2.2.7 ΧΡΗΣΗ ΟΜΒΡΙΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Το μοναστήρι χρησιμοποιεί επίσης για τις ανάγκες του και νερό της βροχής που περισυλλέγεται από τις στέγες των διαφόρων κτισμάτων του. Νερό της βροχής αποθηκευόταν και σε μία φρεατοειδή δεξαμενή που λειτουργούσε από πολύ παλιά στη θέση Χαΐρι πάνω σε ένα παλιό καλντερίμι. Η χρήση απευθυνόταν στους περαστικούς διαβάτες της εποχής τους οποίους δρόσιζε κάνοντάς τους έτσι μία μικρή δωρεά, ένα χαΐρι. Παρόμοια δεξαμενή λειτουργεί και σήμερα στην τοποθεσία Πλάκα. Επίσης προς το ακρωτήριο της χερσονήσου του Άθω, στη σκήτη του Αγίου Βασιλείου, σώζονται στο κελί του Πατέρα Μαξίμου, πιθάρια κτιστά μέσα στο έδαφος όπου αποθηκευόταν το βρόχινο νερό.

2.2.8 ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ

Είναι γεγονός ότι παρατηρείται μια συνεχής μείωση των βροχοπτώσεων την τελευταία δεκαετία. Στο πρόσφατο παρελθόν η κατάσταση ήταν ακόμη δυσκολότερη. Μεταπολεμικά είχε φτάσει περίοδος που το νερό δεν έφθανε να αρδευτούν οι κήποι. Υπήρξαν αρκετές φορές πριν από τον πόλεμο αλλά και στις δεκαετίες του '40 και του '50 που ακόμα και το πηγάδι Αγίασμα των Αρχαγγέλων στέρευε και αναγκάζονταν να φέρνουν από αλλού νερό για να το γεμίζουν.

2.2.9 ΑΝΑΓΚΕΣ ΤΗΣ ΜΟΝΗΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Οι ανάγκες της μονής σε νερό αυξάνουν με το πέρασμα του χρόνου, αλλά αυτό δεν οφείλεται σε μία ανάλογη αύξηση του πλήθους των μοναχών, αφού μέχρι το 1985, ενώ υπήρχαν περισσότεροι μοναχοί είχαν μικρότερες ανάγκες από τις σημερινές. Η αύξηση των αναγκών οφείλεται σε αλλαγές στη χρήση του νερού που έχουν επέλθει τα τελευταία χρόνια. Μέχρι πρόσφατα στους χώρους υγιεινής δε χρησιμοποιούνταν νερό για την απομάκρυνση των λυμάτων. Απλά απομακρύνονταν με τη βαρύτητα μέσα από κατακόρυφα αυλάκια που ήταν χτισμένα μέσα σε δύο πύργους και από τη βάση των οποίων κατευθύνονταν προς τη θάλασσα. Ο αριθμός των προσκυνητών που επισκέπτονταν μέχρι τότε το μοναστήρι ήταν σημαντικά περιορισμένος, σε αντίθεση με σήμερα, που αρκετές φορές παρέχεται φιλοξενία μέχρι και σε 60 επισκέπτες την ημέρα. Λαμβάνοντας υπ'όψιν ότι το σύνολο των μοναχών της μονής είναι περίπου 30, προκύπτει αμέσως ένας τουλάχιστον διπλασιασμός των αναγκών σε σχέση με τότε. Ο συλλογισμός αυτός δεν απέχει και πολύ από την πραγματικότητα, καθώς όλες οι χρήσεις του νερού είναι κοινές για μοναχούς και επισκέπτες της μονής, εκτός ίσως από τη χρήση των ντους από τους επισκέπτες και από το πλύσιμο των ρούχων των μοναχών, που πρέπει να σημειωθεί ότι δεν συμβαίνει τόσο συχνά όσο στον έξω κόσμο.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η μεθοδολογία έρευνας που ακολουθήθηκε για τον εντοπισμό υδροφόρων στρωμάτων στην Ιερά Μονή Δοχειαρίου Αγίου Όρους εφαρμόζοντας γεωλογικές και γεωφυσικές μεθόδους περιελάμβανε τις εξής επιμέρους μελέτες.

Θεωρήθηκε απαραίτητη η λεπτομερέστερη γεωλογική χαρτογράφηση της περιοχής γύρω από τη μονή, η καταγραφή τεκτονικών στοιχείων και ο εντοπισμός τεκτονικών γεγονότων (π.χ. ρήγματα), τα οποία είναι απαραίτητα για την καλύτερη κατανόηση της γεωλογίας της.

Αξιολογήθηκε η μορφολογία - τοπογραφία και εκτιμήθηκαν τα υδρογεωλογικά στοιχεία όπως η ύπαρξη πηγών, πηγαδιών και υδρογεωτρήσεων στον ευρύτερο χώρο γύρω από τη μονή.

Πραγματοποιήθηκε γεωφυσική έρευνα με την ηλεκτρομαγνητική μέθοδο VLF για τον εντοπισμό υπεδάφινων αγώγιμων ζωνών, κυρίως ρηγμάτων, για τα οποία εξετάστηκε η πιθανότητα υδροφορίας τους.

Ο συνδυασμός των γεωλογικών - τεκτονικών, υδρογεωλογικών και γεωφυσικών μελετών και των στοιχείων που συγκεντρώθηκαν από αυτές καθόρισε την πορεία της έρευνας, τα γενικότερα συμπεράσματα και την οριοθέτηση πιθανών θέσεων υδροφορίας που αποτελεί και τον τελικό στόχο της παρούσας διπλωματικής διατριβής.

3.2 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο ευρύτερος ελληνικός χώρος ανάλογα με την ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των αλπικών ιζημάτων, τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες και την ιδιαίτερη τεκτονική συμπεριφορά χωρίζεται γεωλογικά σε 14 γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες από τα ανατολικά προς τα δυτικά είναι οι εξής:

- 1) Η μάζα της Ροδόπης
- 2) Η Σερβομακεδονική μάζα (ή ζώνη)
- 3) Η Περιροδοπική ζώνη
- 4) Η ζώνη Παιονίας
- 5) Η ζώνη Πάικου οι τρεις αυτές ζώνες είναι γνωστές με το όνομα ζώνη Αξιού
- 6) Η ζώνη Αλμωπίας
- 7) Η Πελαγονική ζώνη
- 8) Η Αττικο - Κυκλαδική ζώνη
- 9) Η Υποπελαγονική ζώνη ή ζώνη <<Ανατολικής Ελλάδας>>
- 10) Η ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας
- 11) Η ζώνη Ωλονού - Πίνδου
- 12) Η ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης
- 13) Η Αδριατικο'ιόνιος ζώνη
- 14) Η ζώνη Παξών ή Προαπουλία

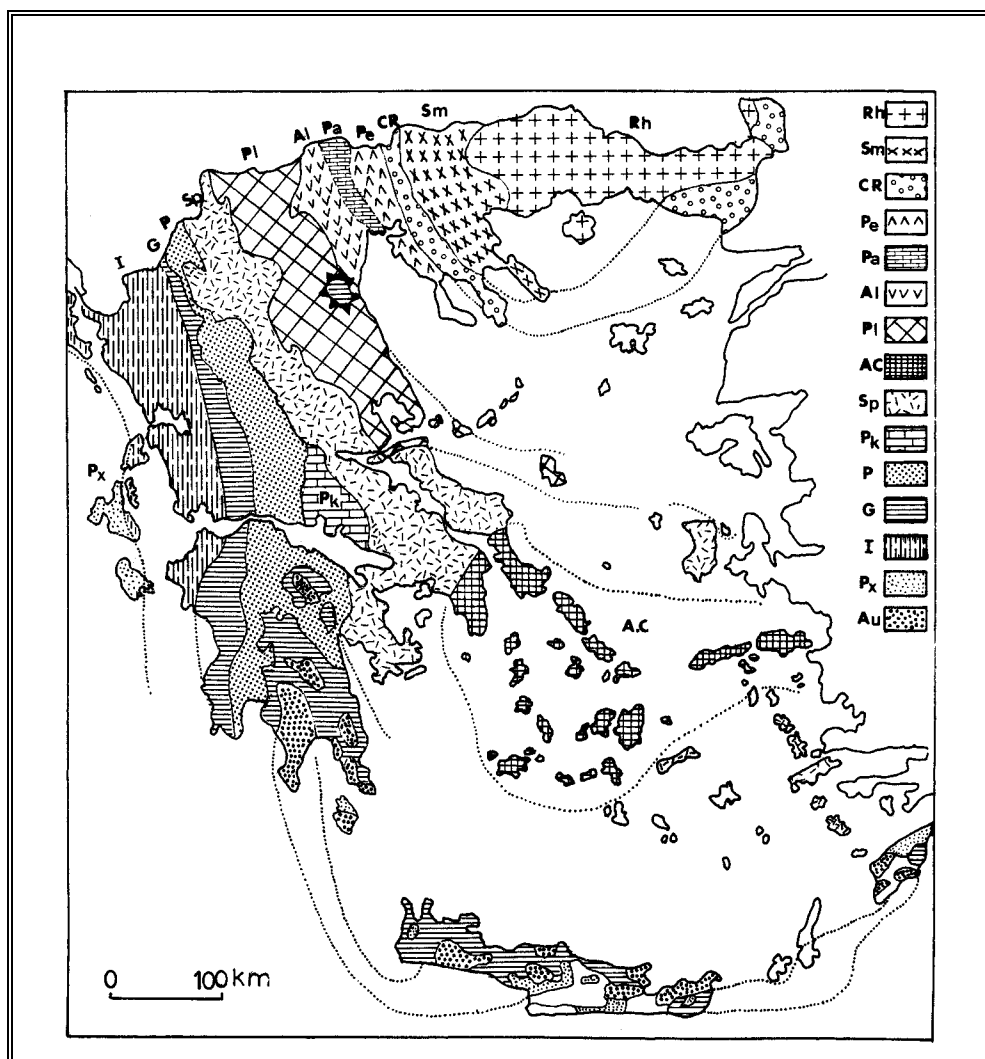
Σαν διακριτές γεωτεκτονικές ζώνες αναφέρονται και η ενότητα <<Τάλεα Όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθοι >> που μάλλον ανήκει στην Αδριατικο'ιόνιο και η ενότητα Βοιωτίας που πιθανόν είναι τμήμα της Υποπελαγονικής. Οι ζώνες αυτές χαρακτηρίζονται ως <<γεωλογικές ενότητες>>.

Οι γεωτεκτονικές ζώνες χωρίζονται σε Εσωτερικές Ελληνίδες (Περιροδοπική, Παιονία, Πάικο, Αλμωπία, Πελαγονική, Αττικο - Κυκλαδική, Υποπελαγονική), σε Εξωτερικές Ελληνίδες (Παρνασσού - Γκιώνας, Ωλονού - Πίνδου, Γαβρόβου - Τρίπολης, Αδριατικο'ιόνιος, Παξών ή Προαπουλία) και στην Ελληνική Ενδοχώρα (μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής).

3.2.2 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΙ ΛΙΘΟΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ ΤΗΣ ΣΕΡΒΟΜΑΚΕΔΟΝΙΚΗΣ

Η χερσόνησος του Άθως ανήκει γεωλογικά στην Σερβομακεδονική ζώνη. Γεωγραφικά η ζώνη αυτή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.2.2, οριοθετείται με ανατολικό όριο τη γραμμή του Στρυμώνα και δυτικό όριο την Περιροδοπική ζώνη.

Η Σερβομακεδονική ζώνη λιθοστρωματογραφικά διαιρείται σε δύο μεγάλες σειρές πετρωμάτων: την κατώτερη και αρχαιότερη σειρά των Κερδυλλίων και την ανώτερη (νεότερη) σειρά του Βερτίσκου. Μεταξύ των δύο σειρών υπάρχει συμφωνία και ομαλή μετάβαση της κατώτερης προς την ανώτερη. Νεώτερες απόψεις υποστηρίζουν ότι ανάμεσα στις δύο σειρές - ενότητες υπάρχει τεκτονική επαφή, η φύση και η σημασία της οποίας δεν έχει ακόμα διευκρινιστεί.



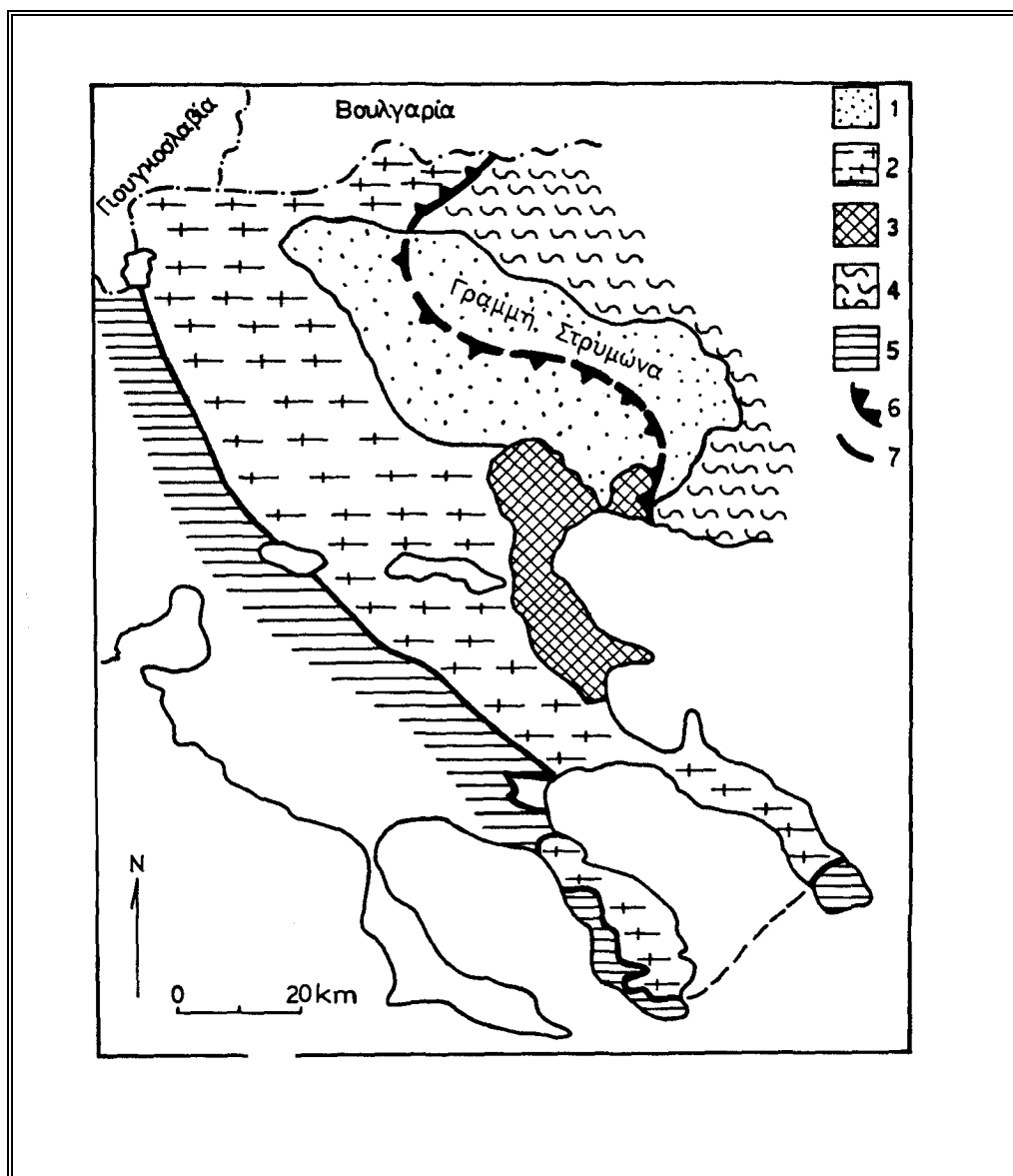
Σχήμα 3.2.1: Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιοδοτική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πά'ικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικο-Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου-Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Πάξων ή Προαπούλια, Au: Ενότητα Ταλέα Ορη-πλακώδεις ασβεστόλιθοι πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983).

α) Η σειρά των Κερδυλλίων

Καταλαμβάνει την Ανατολική Χαλκιδική μεταξύ των εκβολών του Στρυμόνα και του Στρατωνίου, έχει συνολικό πάχος περίπου 3000 μέτρα και τα πετρώματα της συνιστούν τους βαθύτερους ορίζοντες της Σερβομακεδονικής μάζας και ίσως τους βαθύτερους ορίζοντες σε όλη την Ελλάδα.

Οι λιθολογικές φάσεις από τους ανώτερους ορίζοντες προς τους κατώτερους είναι οι εξής:

1. **Ανώτερο μάρμαρο**, πάχους 30 έως 300 μέτρων, με παρεμβολές βιοιτικών γνευσίων, βιοιτικών - κεροστιλβικών γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων, επιδοιτικών - ακτινολιθικών σχιστολίθων, και αμφιβολιτών.
2. **Βιοιτικός γνεύσιος**, πάχους 700 -1000 μέτρων, με παρεμβολές βιοιτικών - κεροστιλβικών γνευσίων, αμφιβολιτών και λεπτών ενστρώσεων μαρμάρων.



Σχήμα 3.2.2: Τεκτονικό σκαρίφημα της Σερβομακεδονικής μάζας, 1: μεταλτικά ιζήματα της κοιλάδας του Στρυμώνα, 2: σειρά Βερτίσκου, 3: σειρά Κερδυλλίων, 4: μάζα της Ροδόπης, 5: Περιροδοτική ζώνη, 6: ανατολικό όριο της Σεβομακεδονικής, (Γραμμή Στρυμώνα), 7: δυτικό όριο

3. **Ενδιάμεσο μάρμαρο**, πάχους 10 - 200 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και γνευσίων.
4. **Βιοιτιτικός γνεύσιος**, πάχους περίπου 1000 μέτρων, με παρεμβολές αμφιβολιτών και ασβεστοπηριτικών πετρωμάτων.
5. **Κατώτερο μάρμαρο**, πάχους μέχρι 150 μέτρων.
6. **Βιοιτιτικός γνεύσιος**, πάχους περίπου 700 μέτρων.

Κατά τον Δημητριάδη (1974), που μελέτησε τους ορίζοντες 4 - 6 της σειράς Κερδυλλίων, η γενική μεταμόρφωση των πετρωμάτων αυτών έγινε σε συνθήκες κορδιεριτικής - αμφιβολιτικής φάσης. Ειδικότερα οι βαθύτεροι ορίζοντες μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες σιλλιμανιτικής - κορδιεριτικής - καλιοαστριούχου - αλμανδινικής υποφάσης, που είναι η υψηλότερη υποφάση της αμφιβολιτικής φάσης με συνθήκες θερμοκρασίας $670^{\circ} - 680^{\circ} \text{ C}$ και πίεσης 3,5 Kbars. Στους ίδιους

ορίζοντες διαπιστώθηκαν επίσης φαινόμενα ανάτηξης με σχηματισμό μιγματιτικών πετρωμάτων.

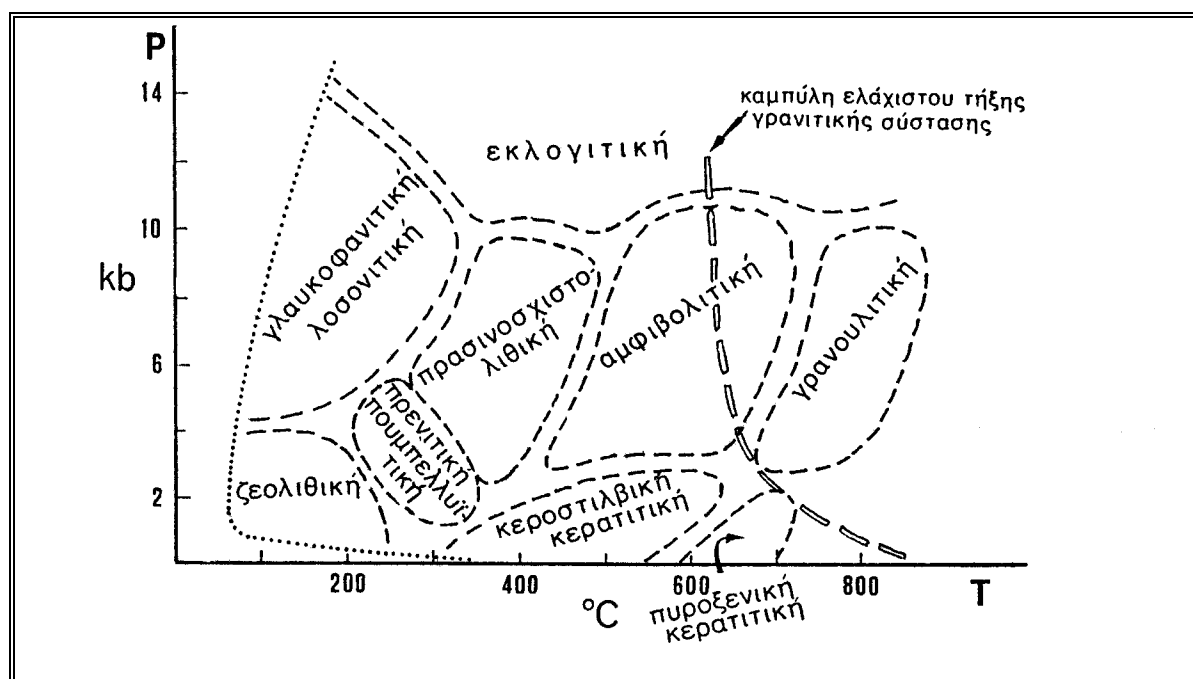
b) Η σειρά του Βερτίσκου

Βρίσκεται δυτικά της προηγούμενης σειράς, κατέχει τον κορμό της Χαλκιδικής και εκτείνεται προς Βορρά μέχρι των συνόρων.

Συνίσταται από μία ακολουθία γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ιδίως ορίζοντες της επικρατούν οι μεταγάββροι - μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, που προήλθαν από μεταμόρφωση βασικών πυριγενών. Συχνά παρεμβάλλονται με τεκτονικές επαφές μέσα στα άλλα πετρώματα σερπεντινικά σώματα.

Τα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες αλμανδινικής - αμφιβολιτικής φάσης.

Στο σχήμα 3.2.3 φαίνονται οι μεταμορφικές φάσεις σε διάγραμμα πίεσης - θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.2.3: Οι μεταμορφικές φάσεις σε διάγραμμα πίεσης P - θερμοκρασίας T.

c) Συσχέτιση και ηλικίες των δύο σειρών

Η διάκριση των δύο σειρών στηρίχθηκε σε ορισμένες λιθολογικές διαφορές αυτών οι οποίες εντοπίζονται στα εξής:

- Ο βαθμός μεταμόρφωσης των πετρωμάτων θεωρήθηκε χαμηλότερος στη σειρά του Βερτίσκου κυρίως διότι παρατηρήθηκαν θέσεις με επίδραση πρασινοσχιστολιθικής μεταμόρφωσης.
- Στη σειρά των Κερδυλλίων μεγάλη είναι η παρουσία μαρμάρων συχνά σε ορίζοντες πολύ μεγάλου πάχους, σε αντίθεση με τη σειρά Βερτίσκου όπου η παρουσία των μαρμάρων είναι σπάνια και υπό μορφή λεπτών ενστρώσεων.

- Μέσα στα πετρώματα της σειράς Βερτίσκου παρεμβάλλονται τεκτονικά σχιστοποιημένα σερπεντινικά σώματα που απουσιάζουν από τη σειρά Κερδυλλίων.

Παρ' όλες όμως τις διαφορές αυτές υπάρχουν και πολλές ομοιότητες μεταξύ τους, όπως είναι η παρουσία στις δύο σειρές των ίδιων λοιπών πετρωμάτων (γνευσίων και σχιστολίθων) καθώς και η παρουσία ίδιων τεκτονικών στοιχείων. Έτσι δεν μπορεί να αποκλεισθεί η πιθανότητα να πρόκειται για και μόνη, ενιαία μάζα κρυσταλλικών πετρωμάτων. Στο πνεύμα αυτό της ενιαίας μάζας τελευταία έγινε μια διαφορετική διαίρεση του κρυσταλλοσχιστώδους της Σερβομακεδονικής σε δύο ορίζοντες (Chatzidimitriadis et al).

- ⇒ τον κατώτερο ορίζοντα των γνευσίων - μιγματιτών
- ⇒ τον ανώτερο ορίζοντα των γνευσίων, σχιστολίθων, μαρμάρων και αμφιβολιτών.

Όσον αφορά τη μεταμορφική ιστορία της συνολικής κρυσταλλοσχιστώδους μάζας σήμερα πιστεύεται ότι δύο μεταμορφώσεις έχουν επιδράσει στα πετρώματά της:

- ⇒ μια πρώτη μεταμόρφωση σε συνθήκες αμφιβολιτικής φάσης που έλαβε χώρα στο Παλαιοζωικό (300 εκ. έτη).
- ⇒ μια δεύτερη ανάδρομη μεταμόρφωση σε συνθήκες πρασινοσχιστολιθικής φάσης που χρονολογήθηκε με ραδιοχρονολογήσεις στο Κάτω - Μέσο Κρητιδικό (130 εκ. έτη).

Παρ' όλα αυτά, πολλές άλλες ραδιοχρονολογήσεις που έγιναν για τη μεταμόρφωση έδωσαν ποικίλες ηλικίες (από Παλαιοζωικές μέχρι Τριτογενείς) στα μεταμορφωμένα πετρώματα της μάζας, γεγονός που εξηγείται σαν το αποτέλεσμα αναζωπυρώσεων που έλαβαν χώρα μετά την πρώτη κύρια μεταμόρφωση που πρέπει να ήταν παλιά, ίσως μάλιστα και Κατωπαλαιοζωική όπως υποστηρίζεται από πολλούς ερευνητές. Φυσικά η απόθεση των αρχικών ιζημάτων, που στη συνέχεια έδωσαν τα μεταμορφωμένα πετρώματα, μπορεί να ήταν ακόμα πιο παλιά πιθανόν και προκάμβρια.

3.2.3 ΜΑΓΜΑΤΙΣΜΟΣ

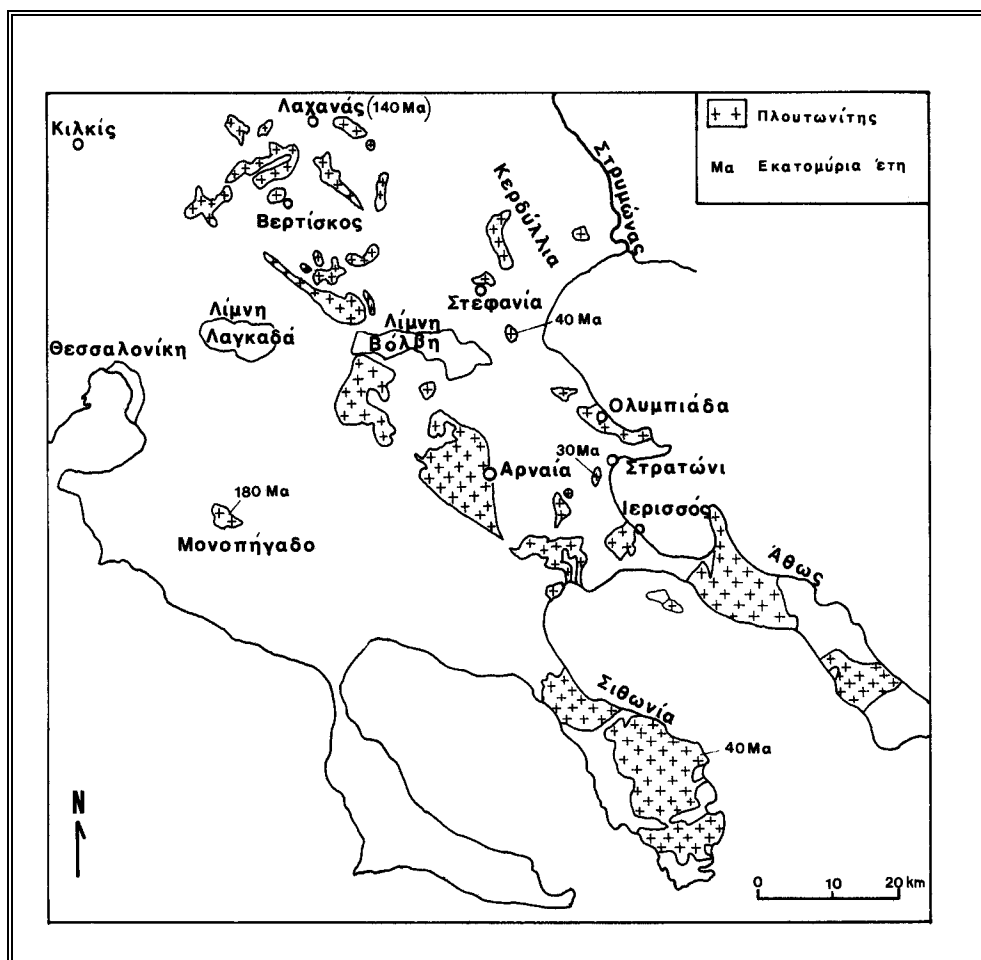
Μεγάλοι όγκοι πυριγενών πετρωμάτων διακόπτουν τη συνέχεια των μεταμορφωμένων πετρωμάτων του κρυσταλλοσχιστώδους (Σχ. 3.2.4). Τα πυριγενή πετρώματα προέρχονται από διάφορες μαγματικές εκδηλώσεις στη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας, που κατατάσσονται συμβατικά σε τέσσερις φάσεις μαγματισμού.

Τα μεταβασικά πετρώματα (αμφιβολίτες, μεταγάββροι, μεταδιαβάσες), που βρίσκονται συμπτυχωμένα με τα κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα των σειρών Κερδυλλίων και Βερτίσκου και κυρίως στο χώρο επαφής των δύο σειρών, θεωρήθηκαν ότι ανήκουν σε μια πρώτη φάση μαγματισμού βασικής - υπερβασικής σύστασης προαλπικής ηλικίας. Οι νεώτερες υποθέσεις για τα πετρώματα αυτά, οι οποίες όμως δεν έχουν ακόμα ολοκληρωθεί, τα θεωρούν αλπικής ηλικίας μεταοφειολιθικά πετρώματα πιθανής προέλευσης από την ωκεάνια περιοχή της ζώνης του Αξιού από όπου προήλθαν με επώθηση.

Μια δεύτερη μαγματική φάση γρανιτικής σύστασης αντιπροσωπεύουν οι πλαγιокλαστικοί - μικροκλινικοί γνεύσιοι των περιοχών Κερδυλλίων, Ολυμπίδας και Βερτίσκου που ήταν παλιοί γρανίτες. Η φάση αυτή πιστεύεται ότι είναι Ανωπαλαιοζωικής ηλικίας συνδεδεμένη με την Ερκύνια ορογένεση, αν και δεν

αποκλείεται να πρόκειται για την ίδια με την επόμενη αλπική φάση μαγματισμού. Λείπουν οι ραδιοχρονολογικές εργασίες.

Η τρίτη φάση μαγματισμού έλαβε χώρα στο Μεσοζωικό και δημιούργησε τους μεγάλους γρανιτικούς όγκους της Αρναίας, του Αγίου Όρους, του Μονοπήγαδου, του Λαχανά, τον χαλαζιακό διορίτη του Φλαμουρίου στο όρος Βερτίσκος, και πιθανόν



Σχήμα 3.2.4: Σκαρίφημα του ευρύτερου χώρου της Σερβομακεδονικής μάζας με τις κυριότερες πλουτωνικές εμφανίσεις και τις αντίστοιχες ηλικίες των ραδιοχρονολογήσεων. Συντάχθηκε με στοιχεία που πάρθηκαν από Kockel et al 1977 και Durr et al 1978.

ορισμένους από τους πλαγιокλαστικούς - μικροκλινικούς γνευσίους. Οι πλουτωνικοί όγκοι θεωρούνται σύγχρονοι με την κύρια αλπική πτύχωση του Ιουρασικού και εμφανίζονται ως προς αυτήν συγκινητικοί.

Τέλος η τέταρτη μαγματική φάση ήταν του Τριτογενούς (Ηώκαινο - Ολιγόκαινο), μετα-ορογενετική, όξινη που δημιούργησε τον γρανίτη Ιερισσού, τον γρανοδιορίτη του Στρατωνίου, τους χαλαζιακούς διορίτες Μεγάλης Παναγιάς, Στεφανίας και Στρυμόνα και τον γρανίτη Σιθωνίας. Με τη φάση αυτή συνδέονται και ορισμένες μικρές εμφανίσεις πορφύρων και πηγματιτικών και απλιτικών φλεβών με πλούσια μεταλλοφορία.

Τέλος στο χώρο της Σερβομακεδονικής έχουν εντοπισθεί μερικές μικρές ρυολιτικές εμφανίσεις (Ποντοκερασιάς, Στρυμονικού κλπ) που οφείλονται στη μετα-αλπική, Πλειο-τεταρτογενή ηφαιστειότητα.

3.2.4 ΤΕΚΤΟΟΡΟΓΕΝΕΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Η Σερβομακεδονική είναι μία μάζα κρυσταλλικών πετρωμάτων η οποία έχει υποστεί επανειλημμένες τεκτονικές επιδράσεις μέχρι την τελική διαμόρφωσή της.

Η πρώτη κύρια τεκτονική δράση ήταν ασφαλώς προ-Άνω Παλαιοζωική και σύμφωνα με τις απόψεις των Γιουγκοσλάβων γεωλόγων πρόκειται για μία προ-Κάμβριο ορογενετική περίοδο κατά την οποία μεταμορφώθηκαν και πτυχώθηκαν τα πετρώματα της Σερβομακεδονικής. Εντούτοις οι ραδιοχρονολογικές ενδείξεις που υπάρχουν στον Ελληνικό χώρο δείχνουν ότι η ορογενετική αυτή περίοδος πρέπει να είναι Ερκύνια, 300 εκ. ετών.

Κατά την ορογένεσή αυτή δημιουργήθηκαν ισοκλινείς πτυχές συμμεταμορφικές προς την πρώτη κύρια αμφιβολιτική μεταμόρφωση, οι άξονες των οποίων έχουν γενική διεύθυνση και βύθιση προς Βορρά.

Η δεύτερη ορογενετική περίοδος είναι Αλπική και τοποθετείται μεταξύ Ανωτέρου Ιουρασικού και Κάτω Κρητιδικού. Στην περίοδο αυτή έλαβε χώρα η δεύτερη ανάδρομη πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση και η δεύτερη φάση πτυχώσεων που ήταν συμμεταμορφική και προκάλεσε πτυχές υποισοκλινείς οι άξονες των οποίων εμφανίζονται διεσπαρμένοι. Στην ίδια περίοδο εκδηλώθηκε και η τρίτη φάση μαγματισμού (Μεσοζωική) που δημιούργησε τους μεγάλους γρανιτικούς όγκους της μάζας.

Μεταξύ τέλους Κρητιδικού και Ολιγοκαίνου έλαβαν χώρα οι Αλπικές φάσεις πτυχώσεων οι οποίες δημιούργησαν λεπιώσεις των στρωμάτων, τοπικές και μεγάλες επωθήσεις, καθώς και μία αναστροφή των στρωμάτων στο δυτικό περιθώριο της ζώνης. Ανοιχτές πτυχές και πτυχές τύπου knick προκλήθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων Τριτογενών πτυχώσεων.

Κατά πάσα πιθανότητα οι πτυχώσεις αυτές έγιναν σε τρεις διαδοχικές φάσεις: στο τέλος Κρητιδικού, στο Πριαμπόνιο του Άνω Ηωκαίνου και στο Ολιγόκαινο. Δεν έχουν ακόμη διευκρινιστεί οι δομές της κάθε μιας φάσης και η ακριβής χρονική διαδοχή τους στο χώρο της Σερβομακεδονικής.

3.2.5 ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ

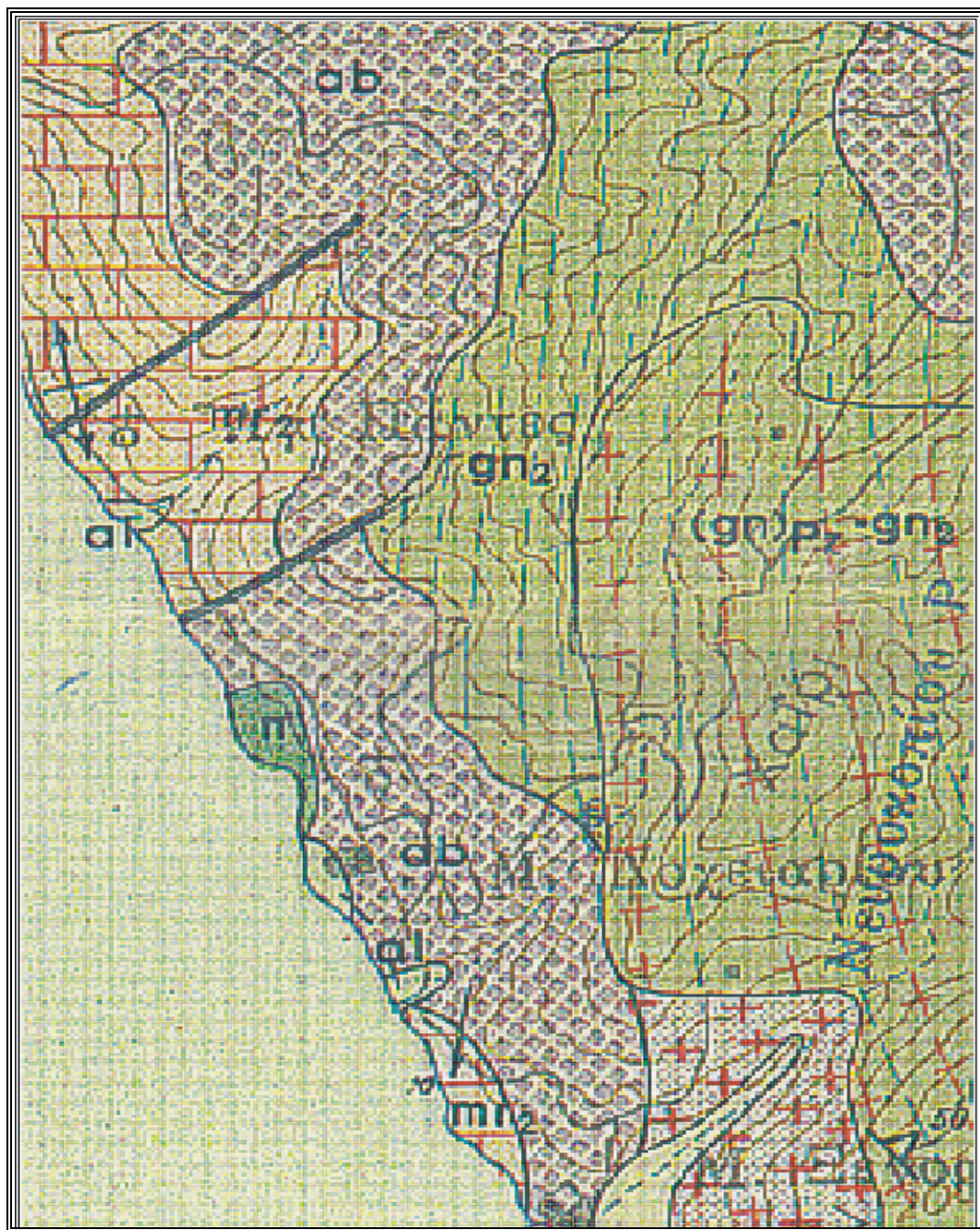
Η περιοχή ανήκει στη σειρά του Βερτίσκου, έχει υποστεί τα τεκτονικά γεγονότα και τις μεταμορφικές φάσεις και υπακούει στα ιδιαίτερα λιθοστρωματογραφικά στοιχεία που προαναφέρθηκαν.

Τα γενικότερα χαρακτηριστικά και οι πληροφορίες ελήφθησαν υπ' όψιν, αλλά ο στόχος της έρευνας και η ιδιαιτερότητα της περιοχής σαν χώρος έρευνας, επέβαλλαν την λεπτομερέστερη γεωλογική μελέτη στον χώρο γύρω από την Ιερά Μονή.

Για τον λόγο αυτό ο υπάρχων γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 του Ι.Γ.Μ.Ε. (φύλλο Βατοπέδι), ο οποίος και φαίνεται στο σχήμα 3.2.5, δεν επαρκούσε για την ολοκληρωμένη παροχή πληροφοριών του εύρους της κλίμακας της παρούσας εργασίας.

Έτσι λοιπόν θεωρήθηκε απαραίτητη η γεωλογική χαρτογράφηση σε μεγαλύτερη κλίμακα (1:5.000). Συντάχθηκε γεωλογικός χάρτης με βάση τον τοπογραφικό χάρτη κλίμακας 1:5.000 και ισοδιάστασης 4 μέτρων.

Κατά την μελέτη οριοθετήθηκε και χαρτογραφήθηκε ο χώρος που θα επαρκούσε για την διεκπεραίωση της έρευνας.



Σχήμα 3.2.5: Γεωλογικός χάρτης του Ι.Γ.Μ.Ε. κλίμακας 1: 50.000 στον οποίο φαίνεται η περιοχή έρευνας.

3.2.6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ

Κατά την γεωλογική χαρτογράφηση, η οποία διήρκησε από 13/2/2001 έως 17/2/2001, εκτός από την άμεση αναγνώριση πετρολογικών σχηματισμών, συλλέχθηκαν δείγματα τα οποία μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο για την λεπτομερέστερη περιγραφή και τον ακριβή προσδιορισμό τους.

Οι πετρολογικοί σχηματισμοί που αναγνωρίστηκαν είναι οι εξής;

- ⇒ Μάρμαρα.
- ⇒ Παραγνεύσιοι με πιθανό πρωτόλιθο ψαμμίτη - αρκόζη και διακριτά ορυκτά χαλαζία, μαρμαρυγίες και χλωρίτη.

- ⇒ Ορθογενεύσιος με πιθανή προέλευση από σχιστοποιημένο γρανίτη.
- ⇒ Ασβεστοπυριτικοί σχηματισμοί (calc silicates) που έχουν περίπου 50% ασβεστίτικο υλικό.
- ⇒ Βασικά - Υπερβασικά πετρώματα με διακριτά ορυκτά χλωρίτη, αμφιβόλους και ακτινόλιθο. Πρόκειται πιθανότητα για γάββρους, μικρογάββρους και πυροξενίτες οι οποίοι έχουν ακτινιλιωθεί και έντονα αποσαθρωθεί.
- ⇒ Χλωριτικός σχιστόλιθος με διακριτά ορυκτά χλωρίτη και ακτινόλιθο. Ο πιθανός πρωτόλιθος είναι μάργα ή υπερβασικό ή υαλώδης βασάλτης ή πυροξενίτης αλλά σίγουρα όχι γάββρος.
- ⇒ Χαλαζίτες
- ⇒ Ψαμμίτες

Οι παραπάνω σχηματισμοί μπορούν να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ➔ Μάρμαρα - Ασβεστοπυριτικά (calc silicates) τα οποία πιθανόν ανήκουν στα ανώτερα τμήματα της σειράς των Κερδυλλίων.
- ➔ Παραγενέσιοι - Ορθογενέσιοι που ανήκουν στη σειρά Βερτίσκου.
- ➔ Χαλαζίτες - Ψαμμίτες
- ➔ Βασικά - Υπερβασικά πετρώματα που ανήκουν στη σειρά του κατώτερου Βερτίσκου.

Με βάση αυτή την ομαδοποίηση ορίστηκαν διακριτοί σχηματισμοί κατά τη σύνταξη του γεωλογικού χάρτη.

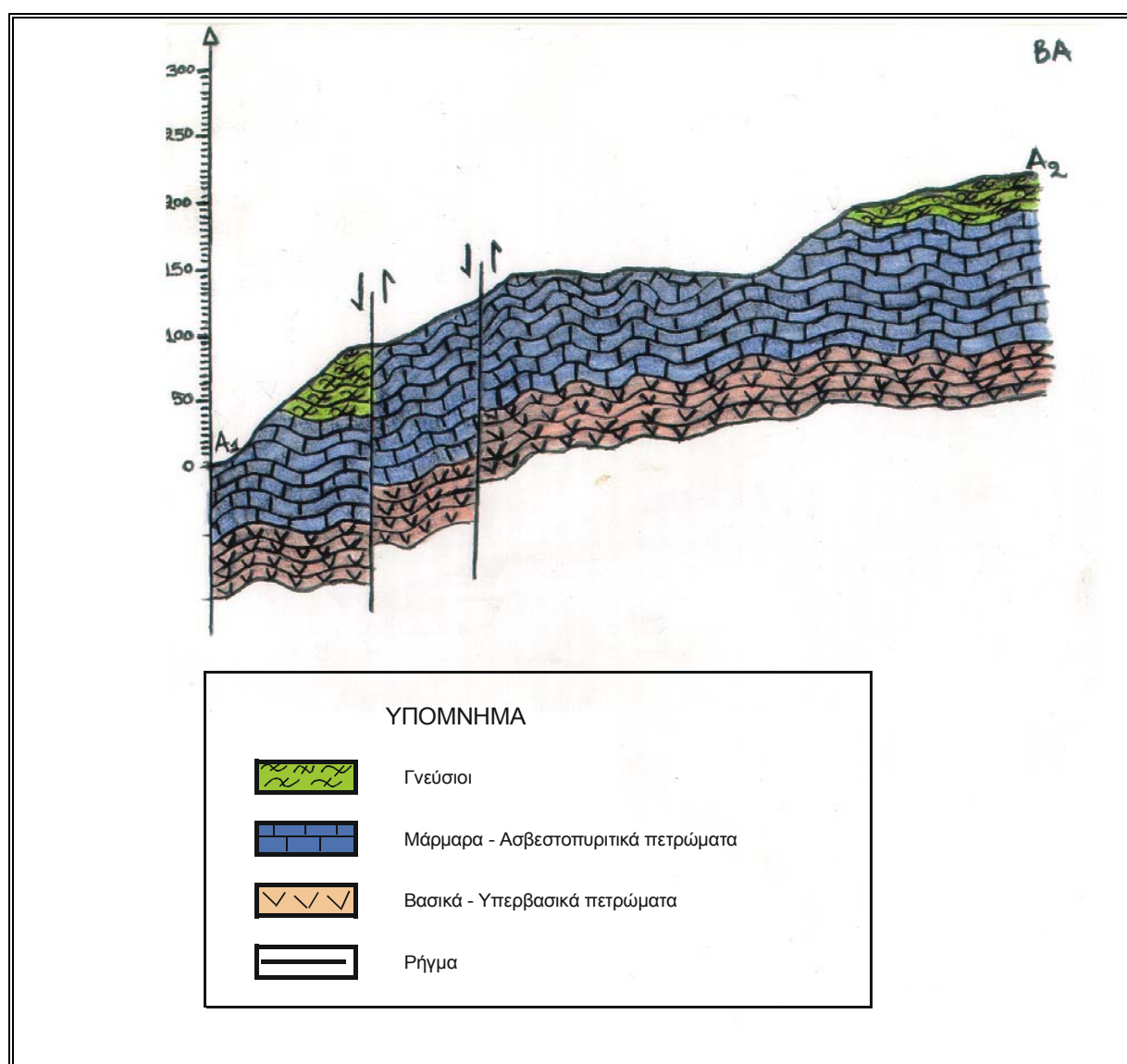
3.2.7 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Με βάση τα γενικότερα στρωματογραφικά στοιχεία που αφορούν τη σειρά του Βερτίσκου, ότι δηλαδή συνίσταται από μία ακολουθία γενεσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και λεπτών στρωμάτων μαρμάρων, ενώ στους ανώτερους ορίζοντες της επικρατούν οι μεταγάββροι - μεταδιαβάσες και αμφιβολίτες, αλλά και στην άμεση παρατήρηση της διαδοχής των πετρολογικών σχηματισμών στην περιοχή, παρατηρείται μία γενική συμφωνία της στρωματογραφίας της περιοχής με αυτής της σειράς του Βερτίσκου.

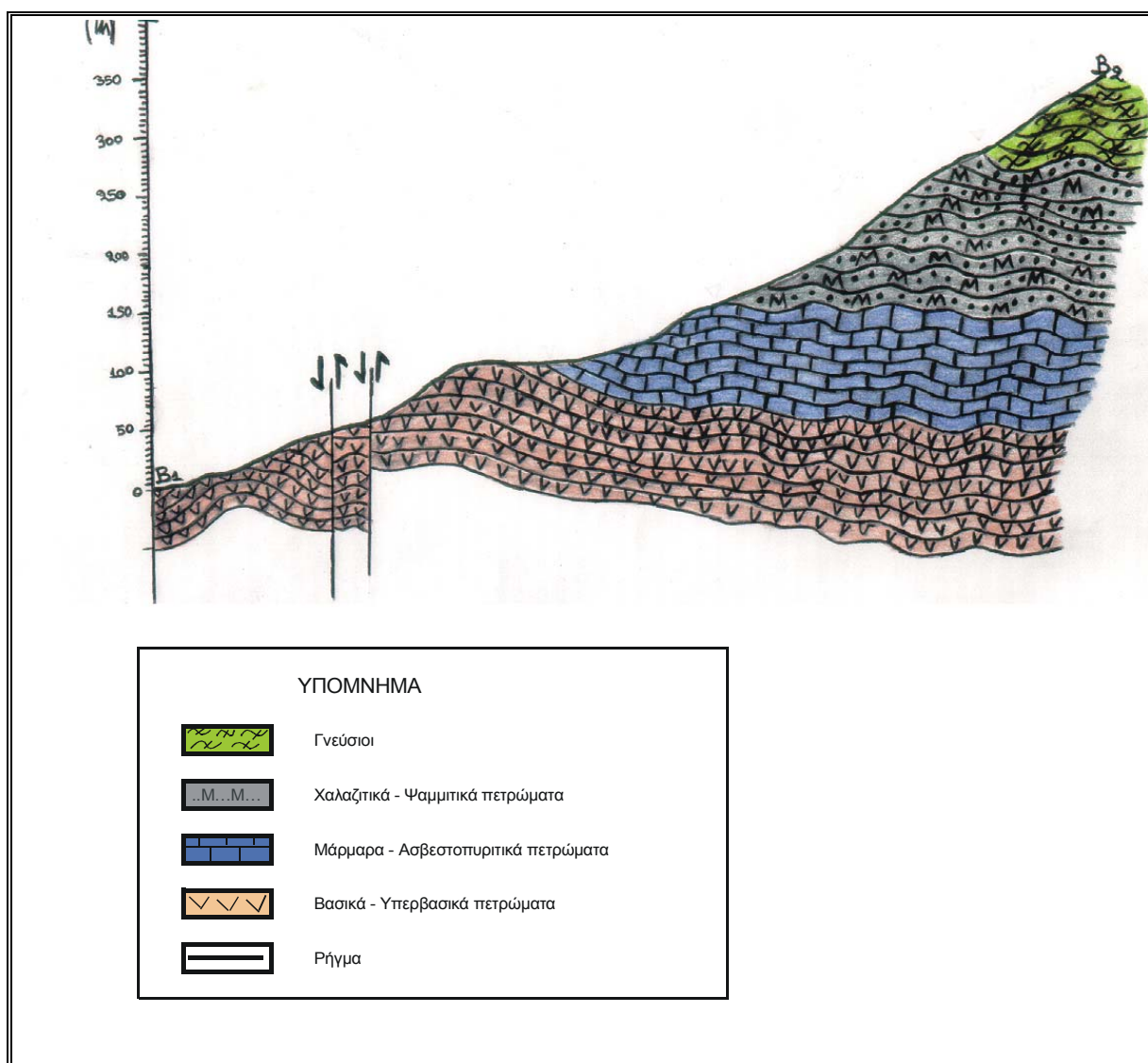
Η προχωρημένη αποσάθρωση, η έντονη βλάστηση, το τοπογραφικό ανάγλυφο και το δύσβατο της περιοχής κατέστησαν αρκετά δύσκολη έως αδύνατη την καταγραφή μετρήσεων σε όλο το εύρος της περιοχής έρευνας. Η έντονη πτύχωση που παρατηρήθηκε γενικότερα στην περιοχή, αλλά και σε επιμέρους θέσεις, με τη συνεχή μεταβολή διευθύνσεων και γωνιών κλίσεων των σχηματισμών δυσχέρησε την σαφή κατανόηση της στρωματογραφικής αλληλουχίας των πετρωμάτων. Το γεγονός ότι η περιοχή συνίσταται από μεταμορφωμένα πετρώματα, τα οποία δεν υπόκεινται στο νόμο της επαλληλίας, αποτέλεσε έναν ακόμη λόγο στο να μην καθίσταται σαφής η διαδοχή των πετρωμάτων.

Η ύπαρξη γεωτρήσεων μεγάλου βάθους στην περιοχή και ο προσδιορισμός του βαθμού μεταμόρφωσης των σχηματισμών, πράγμα το οποίο δεν αποτελούσε αντικείμενο της παρούσας έρευνας, θα μπορούσε να δώσει τα απαραίτητα στοιχεία για τον προσδιορισμό της στρωματογραφικής διαδοχής των πετρωμάτων, η κατανόηση της οποίας θα έδινε πιθανές θέσεις για υπόγειους ταμιευτήρες, η εύρεση των οποίων αποτελεί τον τελικό σκοπό της αυτής έρευνας.

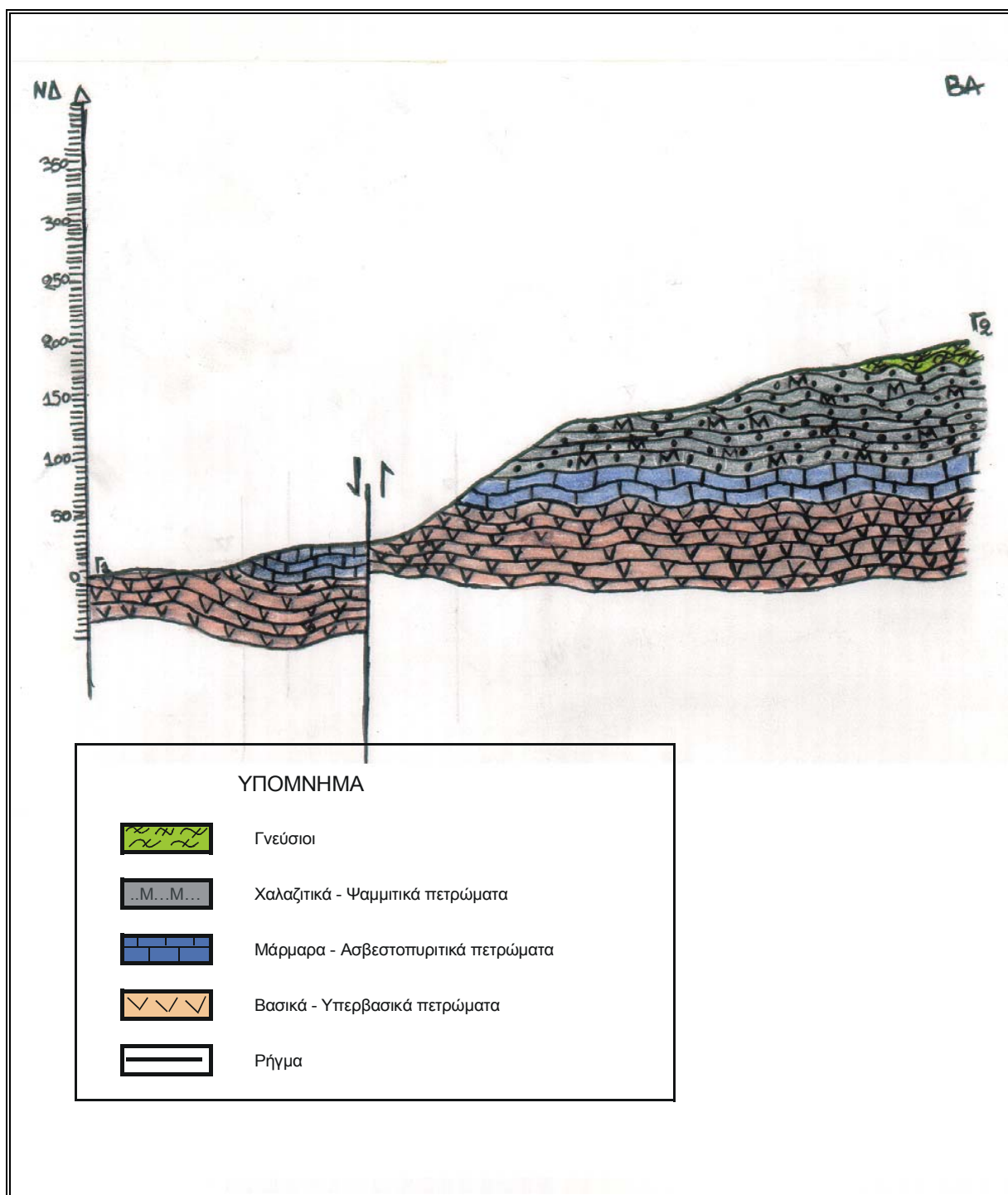
Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν κατά την γεωλογική χαρτογράφηση και τη γενικότερη παρατήρηση της περιοχής συντάχθηκε γεωλογικός χάρτης και κατασκευάστηκαν γεωλογικές τομές σε διάφορες θέσεις οι οποίες μπορούν να δώσουν μία ενδεικτική εικόνα της γεωλογίας της. Όπως φαίνεται στον χάρτη οι τομές



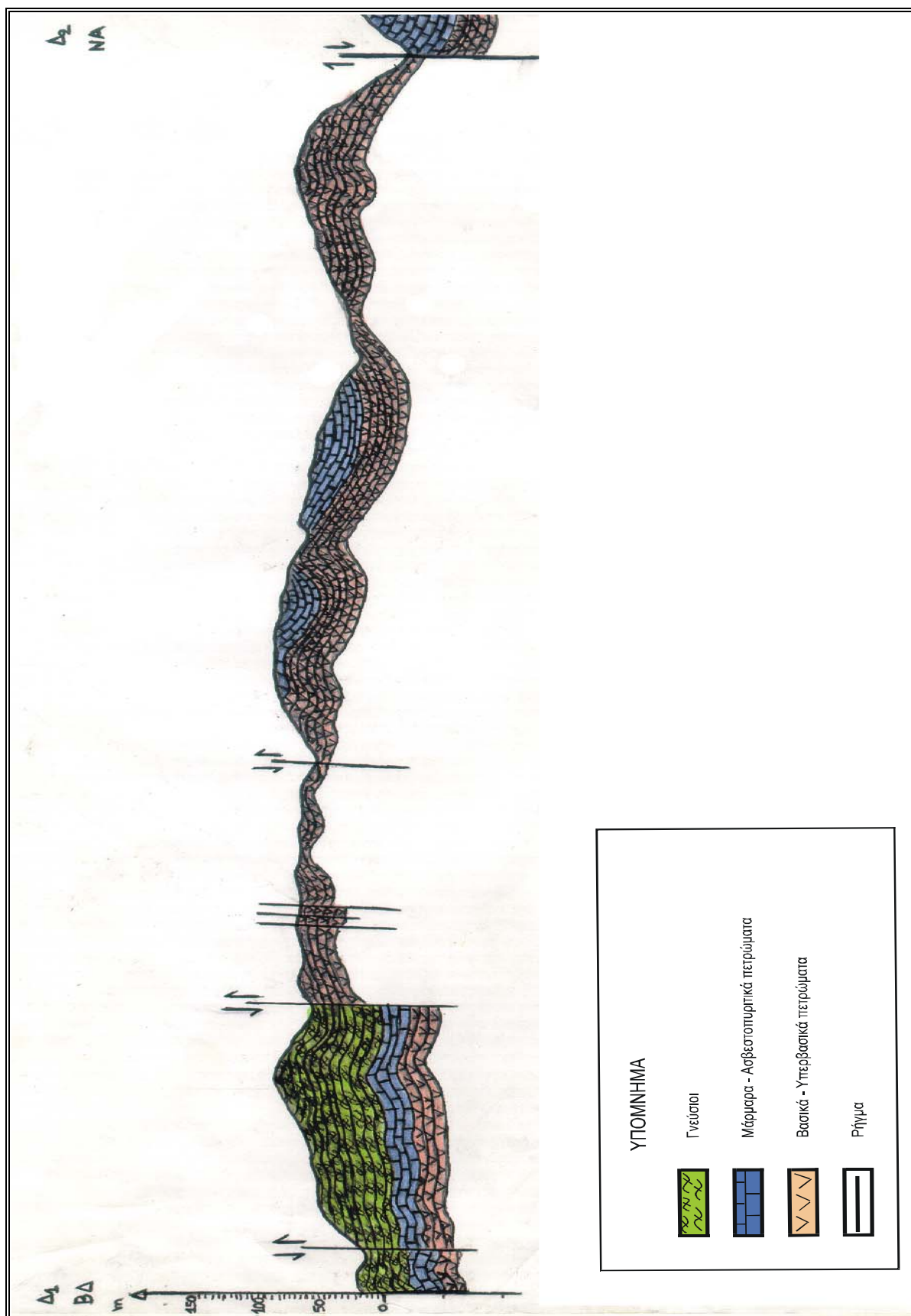
Σχήμα 3.2.6



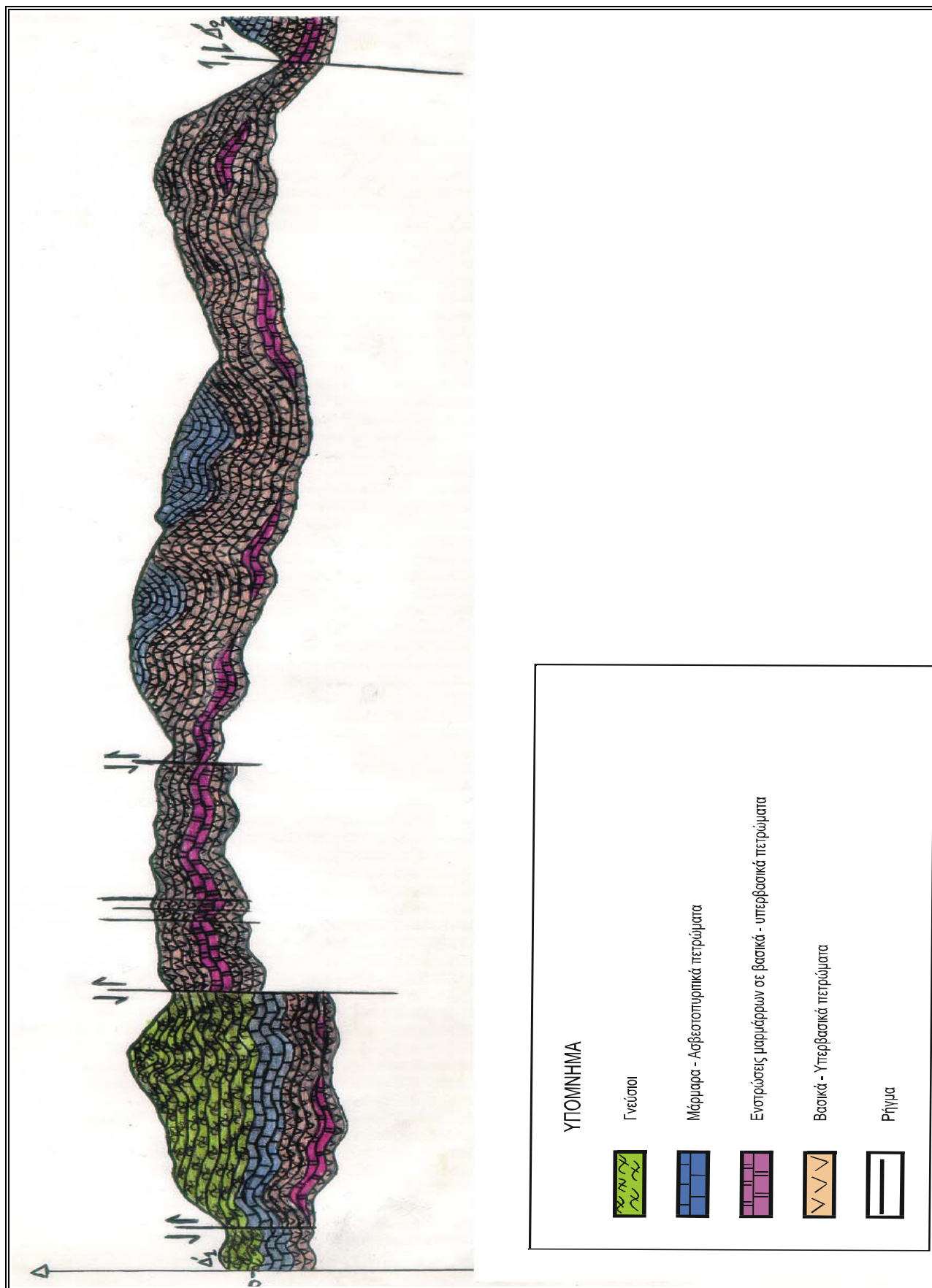
Σχήμα 3.2.7



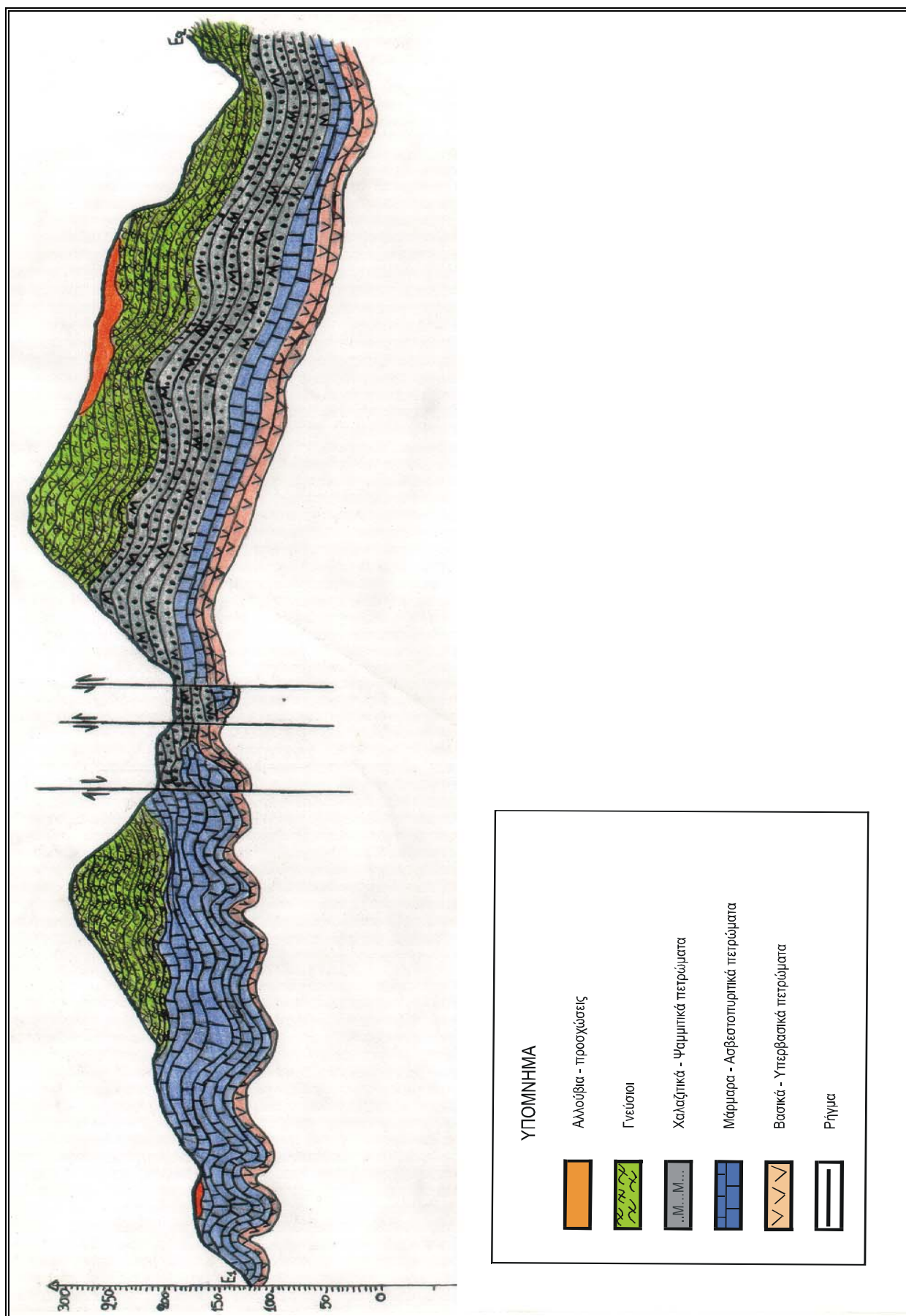
Σχήμα 3.2.8



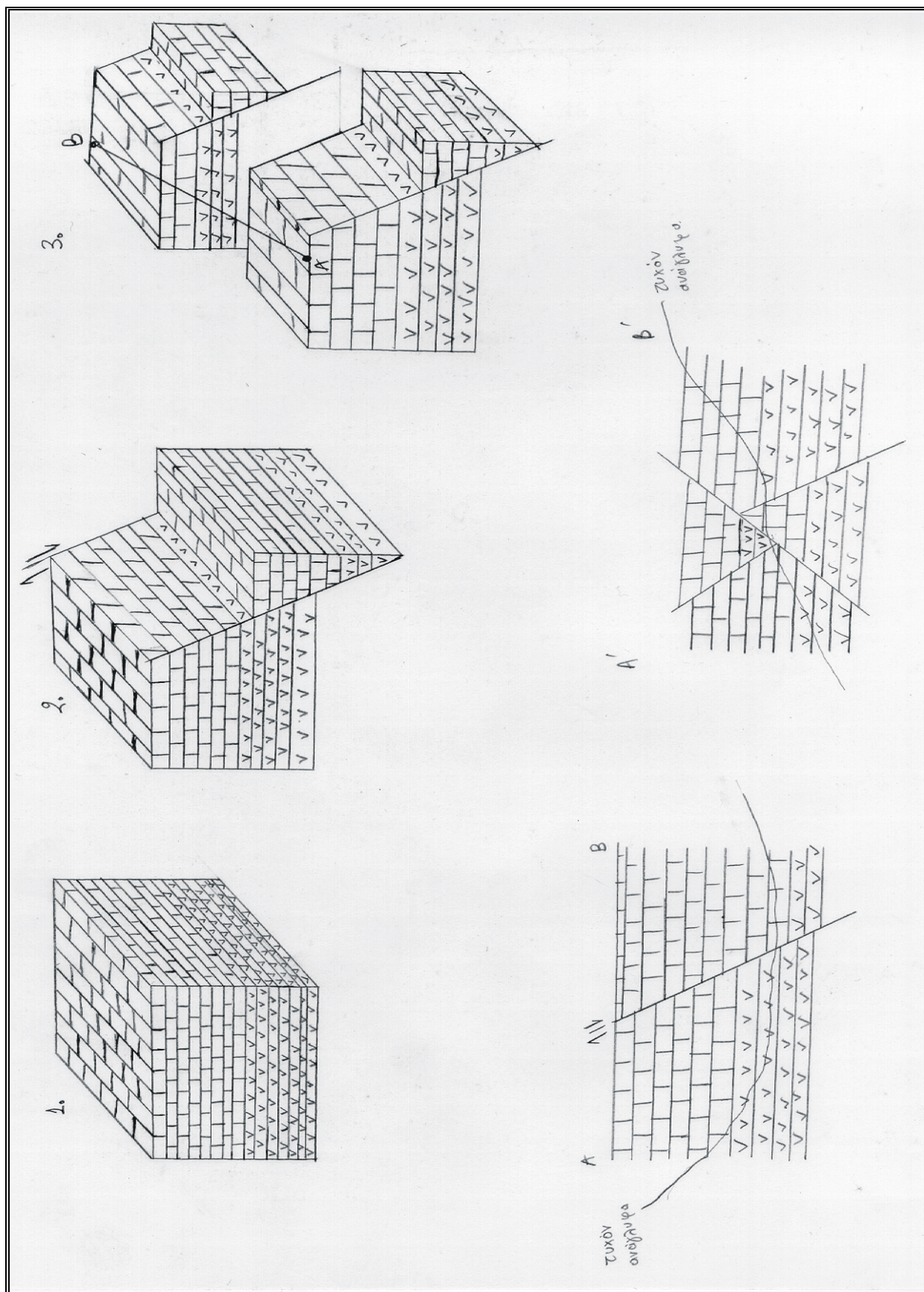
Σχήμα 3.2.9



Σχήμα 3.2.10



Σχήμα 3.2.11



Σχήμα 3.2.12

που σχεδιάστηκαν είναι οι $A_1 - A_2$, $B_1 - B_2$, $\Gamma_1 - \Gamma_2$ με διεύθυνση ΝΔ - ΒΑ και οι $\Delta_1 - \Delta_2$, $E_1 - E_2$ με διεύθυνση ΒΔ - ΝΑ (Σχήματα 3.2.6 - 3.2.11).

Η τομή $\Delta_1 - \Delta_2$ κατασκευάστηκε με δύο διαφορετικές θεωρήσεις. Στην τομή $\Delta_1 - \Delta_2$ (Σχ. 3.2.9) εξηγείται η γεωλογία της περιοχής με την υπόθεση ενός στρώματος μαρμάρων όπου η τεκτονική, με πλήθος πτυχών και ρηγμάτων, έχει δημιουργήσει την σημερινή εικόνα που παρουσιάζει ο χώρος έρευνας. Στην τομή $\Delta_1' - \Delta_2'$ (Σχ. 3.2.10) θεωρούνται ενστρώσεις μαρμάρων, εκτός από τον κύριο όγκο τους, οι οποίες εξηγούν την αλληλοδιαδοχή των αυτών με τα βασικά - υπερβασικά μεταμορφωμένα της περιοχής.

Παρατίθεται ένα τρισδιάστατο σκαρίφημα (Σχ. 3.2.12) το οποίο δίδει τον τρόπο ερμηνείας της αλληλοδιαδοχής των στρωμάτων με τη θεώρηση της τομής $\Delta_1 - \Delta_2$

3.2.8 ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

3.2.8.1 ΡΗΓΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε η περιοχή έρευνας είναι έντονα τεκτονισμένη με πλήθος ρηγμάτων και διακλάσεων που είναι αποτυπωμένες στα διάφορα πετρώματα. Τα ρήγματα τα οποία καταγράφηκαν απεικονίζονται στον γεωλογικό χάρτη. Πρόκειται για κανονικά, σχεδόν κατακόρυφα ρήγματα τα οποία έχουν συντελέσει στην διαμόρφωση της σημερινής εικόνας της περιοχής. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί στον χάρτη αυτά παρατηρούνται σε δύο κύριες διευθύνσεις. Η μία είναι ΒΔ - ΝΑ σχεδόν παράλληλα στην ακτογραμμή, και η άλλη ΒΑ - ΝΔ διεύθυνσης ακολουθώντας τα ρέματα της περιοχής.

Ένα πιθανό μεγάλο ρήγμα καταγράφεται σε υψόμετρο περίπου 80 μέτρων, παράλληλα στην ακτογραμμή, διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ, το οποίο παρατηρείται από την περιοχή των Αγ. Πάντων έως και τον Λάκκο Πηγαδίου. Στο ύψος της Παναγούδας εντοπίζονται δέσμες ρηγμάτων παράλληλα στο κύριο ρήγμα που αναφέρθηκε. Η ζώνη που εντοπίζεται αυτό το ρήγμα παρουσιάζει έντονο κατακερματισμό των πετρωμάτων.

Ακολουθώντας τη διεύθυνση του ρέματος νότια της περιοχής των Αγ. Πάντων καταγράφεται ρήγμα διεύθυνσης ΒΑ - ΝΔ το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί από τον ορεινό όγκο έως και την επιφάνεια της θάλασσας.

Εξακόσια μέτρα ΒΔ της Μονής και 150 μέτρα ΒΔ του ρέματος της Παναγούδας καταγράφηκαν δέσμες ρηγμάτων με διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ, που προκάλεσαν την τεκτονική επαφή μεταξύ των μαρμάρων και των βασικών - υπερβασικών πετρωμάτων.

Παράλληλα στο ρέμα της Παναγούδας χαρτογραφήθηκε ένα πιθανό ρήγμα με διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ το οποίο ρηγματώνει από ΝΔ προς ΒΑ βασικά - υπερβασικά, μάρμαρα, χαλαζίτες.

Τέλος εντοπίζεται ρήγμα στο Λάκκο Πηγαδίου με ΒΑ - ΝΔ διεύθυνση στο οποίο πιθανόν να οφείλεται η τεκτονική επαφή βασικών - υπερβασικών, χαλαζιτών και ακόμα πιο ΒΑ γνευσίων.

3.2.8.2 ΔΙΑΚΛΑΣΕΙΣ

Κατά την χαρτογράφηση μετρήθηκαν στα πετρώματα, όπου αυτό ήταν δυνατό, πλήθος επιφανειών διακλάσεων και κατασκευάστηκαν ροδοδιαγράμματα

διευθύνσεων κλίσεων σε επιμέρους θέσεις. Τόσο τα ροδοδιαγράμματα όσο και οι πίνακες τιμών των διακλάσεων που καταγράφηκαν παρατίθενται στα σχήματα 3.2.13 - 3.2.21. Στον χάρτη φαίνονται τα ροδοδιαγράμματα στις αντίστοιχες θέσεις. Ειδικότερα διακρίνονται οι θέσεις TR 1, TE 2, PA 2 (PA 2). Για την κατασκευή των ροδοδιαγραμμάτων και των διαγραμμάτων Schmidt χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Stereonet Version 2.40.

Το πλήθος των τιμών που μετρήθηκαν ποικίλει από θέση σε θέση. Αυτό οφείλεται σε διάφορα αίτια τα οποία παρεμπόδισαν τη λήψη περισσότερων μετρήσεων. Η ορθότητα των συμπερασμάτων που προκύπτουν από τα ροδοδιαγράμματα στατιστικά είναι ανάλογη του πλήθους των στοιχείων που μετρήθηκαν. Έτσι με μεγάλη βεβαιότητα είναι δυνατόν σε ορισμένες θέσεις να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για τις διευθύνσεις κλίσεως των διακλάσεων των διαφόρων σχηματισμών.

Θέση TR1: παρατηρούνται σε βασικά - υπερβασικά πετρώματα δύο κύριες διευθύνσεις διακλάσεων μία BBD και μία NA.

Θέση TE2: σε μάρμαρα - ασβεστοπηριτικά πετρώματα παρατηρείται ένα κύριο σύστημα διακλάσεων με διεύθυνση προς τα νότια.

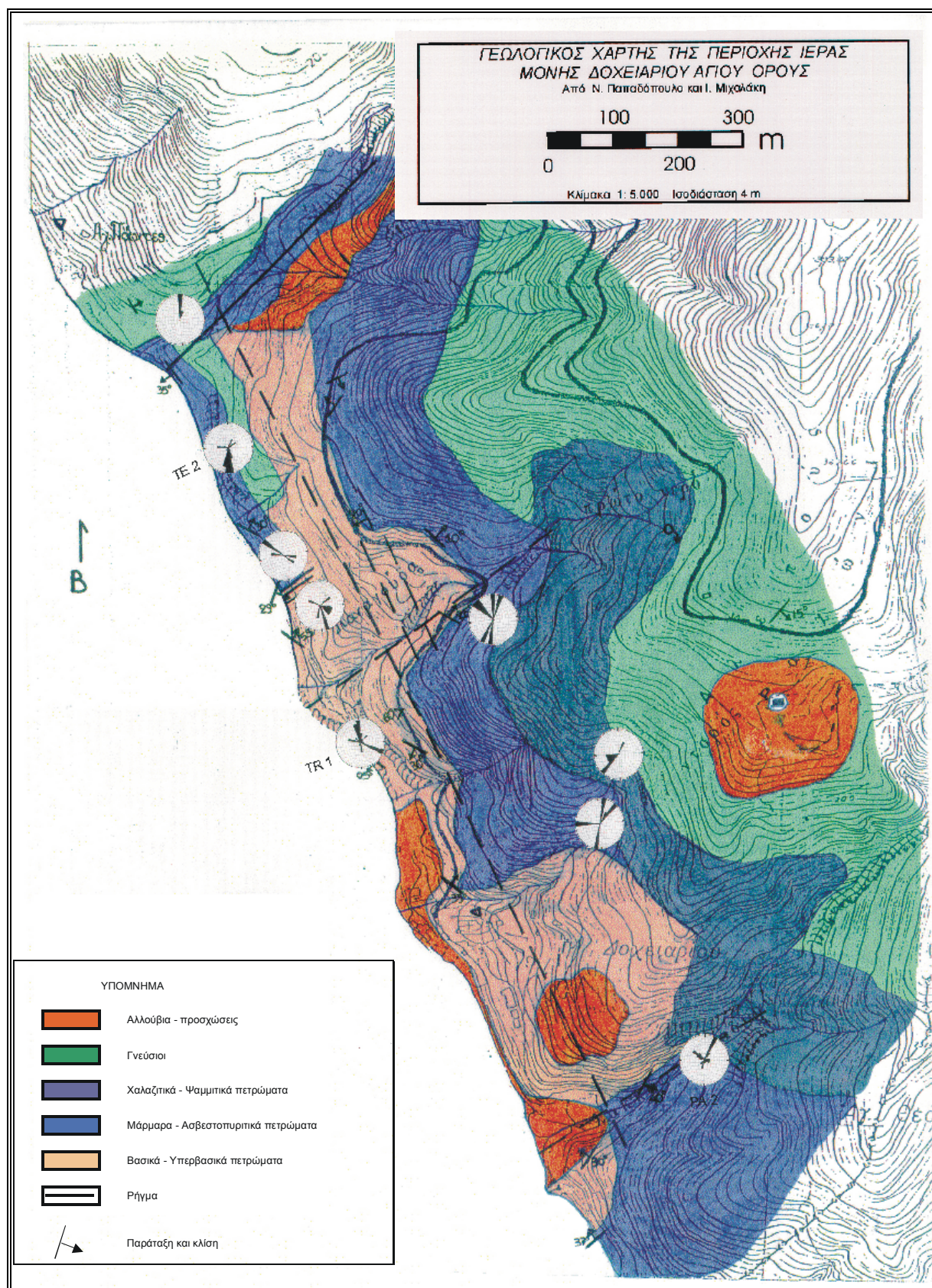
Θέση PA2: σε μάρμαρα - ασβεστοπηριτικά πετρώματα παρατηρείται ένα κύριο σύστημα διακλάσεων με διεύθυνση BBA και ένα δευτερεύον με διεύθυνση BD.

3.2.9 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

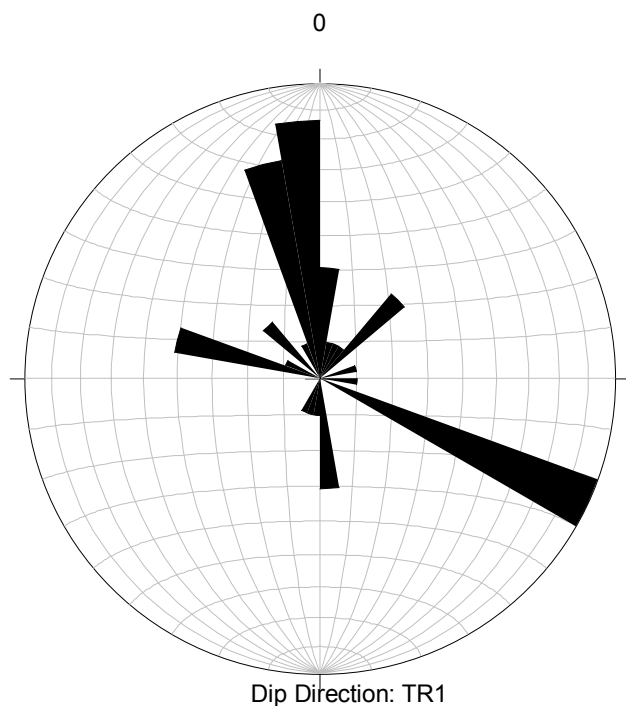
Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της γεωλογικής έρευνας και έχοντας σαν τελικό στόχο τον εντοπισμό υπόγειων υδροφορέων και αξιολογώντας τα στοιχεία που συγκεντρώθηκαν είναι δυνατόν να εξαχθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

Η εμφάνιση των μαρμάρων - ασβεστοπηριτικών πετρωμάτων στην περιοχή είναι μικρή. Σε επιμέρους θέσεις φαίνονται να υπόκεινται της υπόλοιπης μεταμορφωμένης μάζας και σε ορισμένες να υπέρκεινται. Σε άλλες δε θέσεις φαίνονται ως ενστρώσεις σ' αυτή τη μάζα. Μακροσκοπικά διαφοροποιούνται σε σχετικά μικρές αποστάσεις και θα μπορούσε να γίνει λόγος, ενισχύοντας την υπόθεση της ύπαρξης τους ως ενστρώσεις, θεωρώντας τα δύο διαφορετικούς ορίζοντες. Σε διάφορα σημεία μετρήθηκαν κλίσεις καθώς και επαφές μεταξύ των σχηματισμών οι οποίες και φαίνονται στο χάρτη.

Εκτιμάται ότι η δομή της γεωλογίας της περιοχής καθιστά δύσκολη την δημιουργία υπόγειων ταμιευτήρων η ανίχνευση των οποίων αποτελεί τον τελικό στόχο της έρευνας.



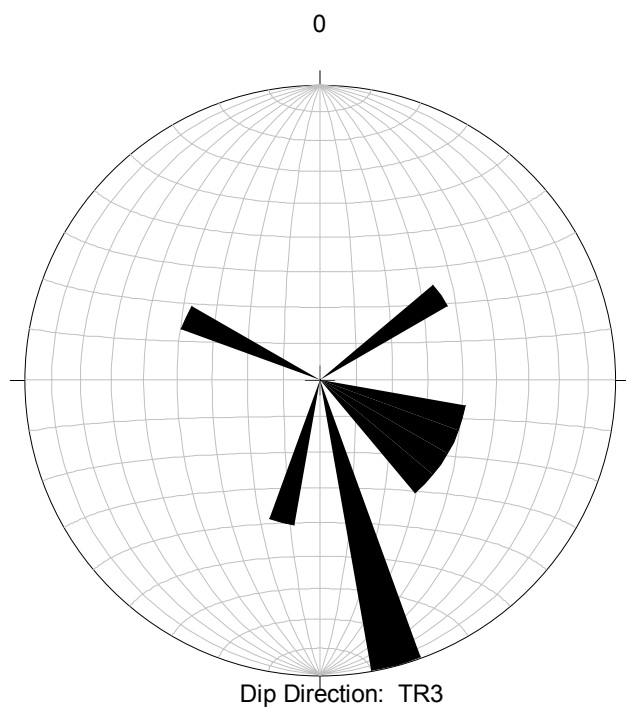
Γεωλογικός χάρτης της περιοχής που περιέχει τα ροδοδιαγράμματα στις διάφορες θέσεις. Φαίνονται επίσης οι θέσεις TR 1, TE 2 και PA 2 (ΠΑ 2).



Σχήμα 3.2.13: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε βασικούς - υπερβασικούς σχηματισμούς της θέσης TR1.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ - ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ TR1.

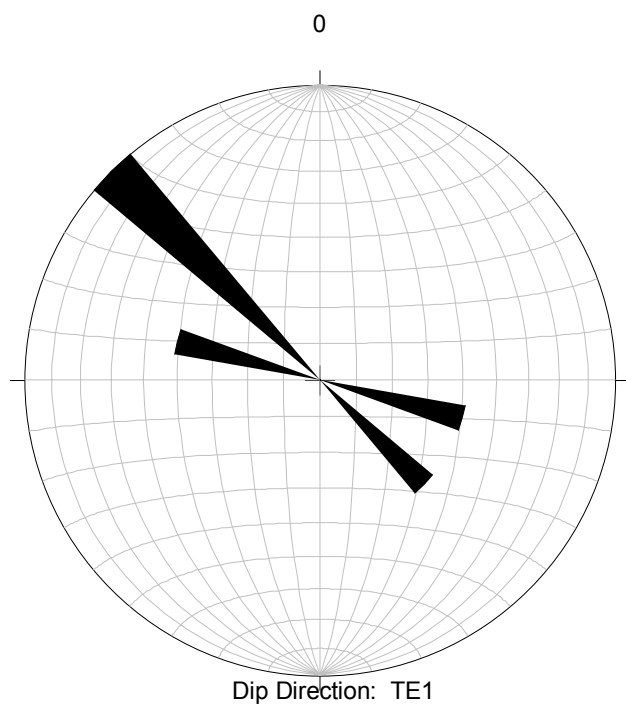
200/68	352/88	196/50	172/85	350/85	314/90
350/85	286/80	40/60	284/80	112/82	310/90
0/80	170/85	348/85	348/85	114/80	310/80
40/60	170/85	346/85	4/85	116/84	114/84
72/54	182/35	0/90	42/55	112/84	20/85
288/85	352/85	358/85	334/80	111/75	111/85
348/85	350/85	92/60	36/65	113/90	10/72
281/80	350/87	348/85	348/80	292/90	



Σχήμα 3.2.14: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε βασικούς - υπερβασικούς σχηματισμούς της θέσης TR3.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ - ΥΠΕΡΒΑΣΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ TR3.

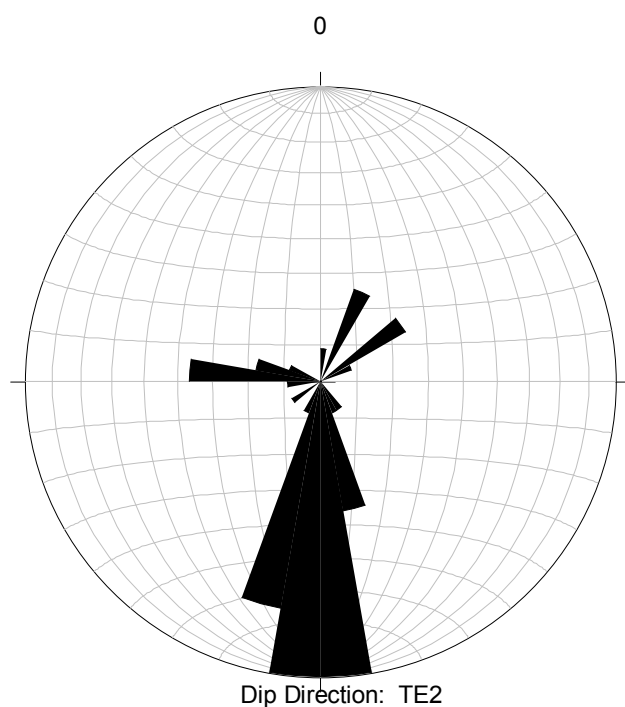
292/70	106/40
194/90	132/55
160/45	52/50
122/45	168/45
118/56	



Σχήμα 3.2.15: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης TE1.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ TE1.

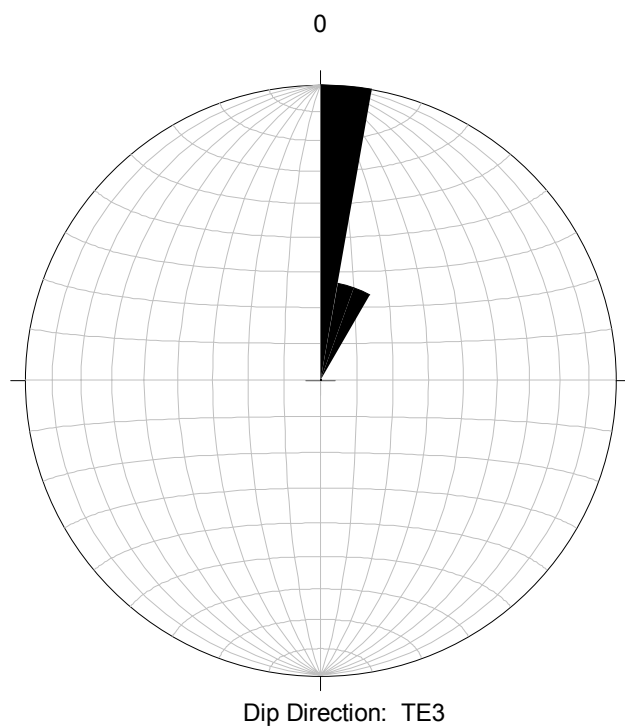
132/20
312/76
313/76
284/75
192/75
106/86



Σχήμα 3.2.16: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης TE2.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ TE2.

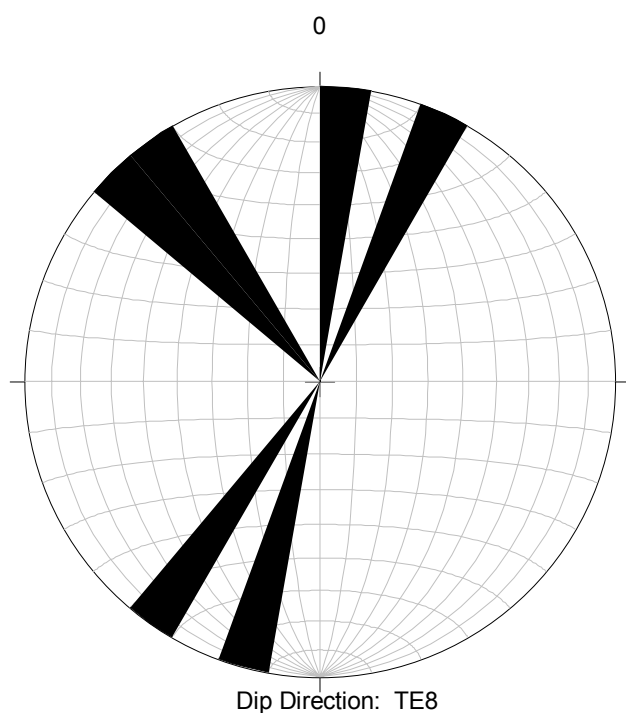
196/80	196/85	166/65	20/88	230/10	162/5
198/70	184/85	192/80	198/80	167/10	192/74
276/65	182/78	20/70	276/55	150/20	192/80
278/55	60/25	184/70	176/60	144/6	178/55
188/80	24/80	286/50	188/88	178/14	179/80
50/25	170/80	184/85	50/25	270/4	180/80
178/60	186/80	200/90	284/2	178/10	182/70
6/65	170/70	50/25	268/2	290/0	160/40



Σχήμα 3.2.17: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης TE3.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ TE3.

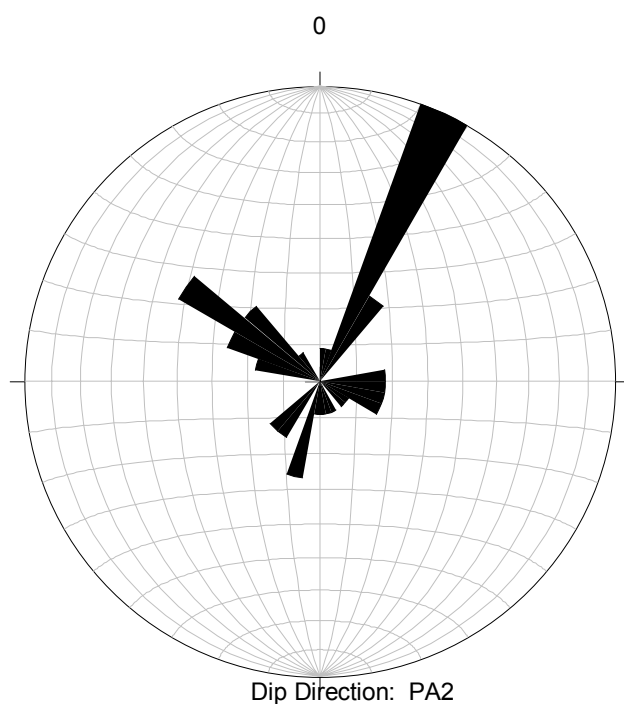
6/84
15/85
24/78
7/85
5/84



Σχήμα 3.2.18: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης TE8.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ TE8.

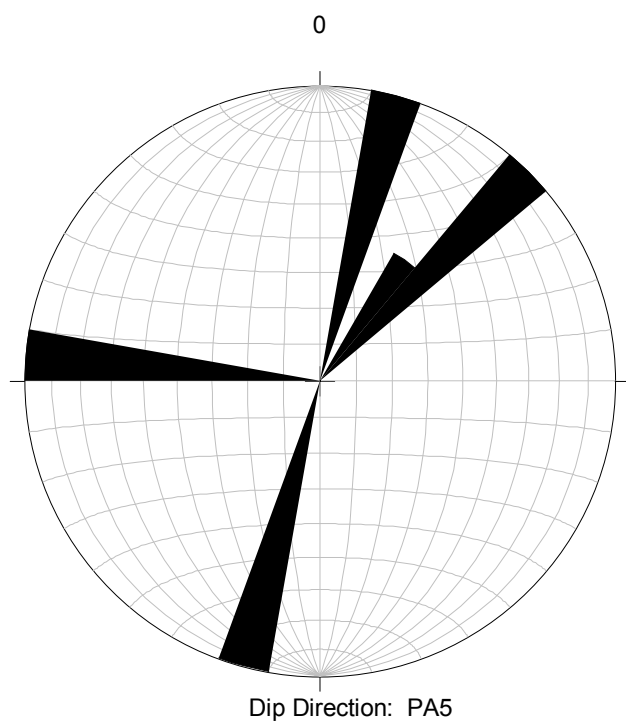
320/47
20/75
198/80
210/5
312/0
4/10
310/10



Σχήμα 3.2.19: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης ΠΑ2.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΠΑ2.

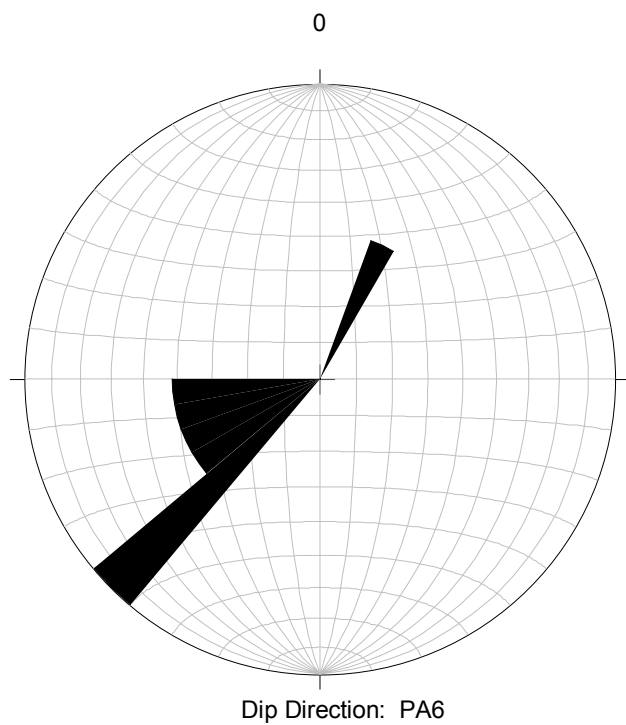
82/60	26/82	320/25	306/25	26/8/0
80/60	30/88	290/30	290/89	20/80
110/65	32/80	210/80	28/88	22/85
280/65	32/80	20/85	304/40	152/2
18/80	300/25	330/30	316/24	164/6
192/85	294/20	304/30	114/83	173/3
0/75	184/80	304/20	20/90	101/82
194/88	224/55	214/60	107/80	120/26
284/62	94/60	92/70	192/80	20/88
130/75	224/70	314/25	24/82	



Σχήμα 3.2.20: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε μάρμαρα - ασβεστοπυριτικά πετρώματα της θέσης ΠΑ5.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΜΑΡΜΑΡΑ - ΑΣΒΕΣΤΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΠΑ5.

40/80
40/85
30/80
196/80
194/80
10/85
276/80
274/25
10/85



Σχήμα 3.2.21: Ροδοδιάγραμμα διεύθυνσης κλίσεως διακλάσεων σε γνεύσιους της θέσης ΠΑ6.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΙΜΩΝ ΔΙΑΚΛΑΣΕΩΝ ΣΕ ΓΝΕΥΣΙΟΥΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΠΑ6.

220/65
245/65
255/80
228/50
262/85
28/70
238/60
238/70

3.3 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο εντοπισμός υδροφόρων στρωμάτων, σαν τελικός σκοπός της εργασίας αυτής, οδήγησε στην διεξαγωγή υδρογεωλογικής έρευνας στην ευρύτερη περιοχή της Ιεράς Μονής Δοχειαρίου. Αφού έγινε κατανοητή η γεωλογία και η τεκτονική της, το επόμενο βήμα ήταν ο εντοπισμός ιδανικών μοντέλων τα οποία θα μπορούσαν να λειτουργήσουν ως υπόγειοι ταμιευτήρες νερού οι οποίοι και να εκμεταλλευτούν.

Λέγοντας ιδανικά μοντέλα εννοούνται γεωλογικοί σχηματισμοί με ορισμένη αλληλουχία, έκταση, μορφή, πάχος, σύσταση και διαπερατότητα οι οποίοι δύνανται να αποτελέσουν υδροφόρους ορίζοντες.

Για τον λόγο αυτό καταγράφηκαν όλα τα στοιχεία που θα βοηθούσαν στην ανεύρεση τέτοιων οριζόντων. Εκτιμήθηκαν δηλαδή στοιχεία για το υδρολογικό ισοζύγιο, οι υπάρχουσες πηγές, τα πηγάδια, οι γεωτρήσεις, ακολούθησε υδροχημική έρευνα για την καταλληλότητα της πόσης των νερών, και έγινε χρήση νομογραμμάτων για την εκτίμηση της τάξης μεγέθους της διαπερατότητας τόσο των κοκκώδων όσο και των ρωγμώδων σχηματισμών.

Η αξιολόγηση των υδρογεωλογικών στοιχείων και τα συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτά θα καθορίσουν τις προτάσεις για την επίτευξη του στόχου της έρευνας.

3.3.1.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην υδρογεωλογία είναι πολυπληθείς και ποικιλότυποι ακριβώς για τον λόγο των σύνθετων προβλημάτων που αντιμετωπίζει, αλλά και των τάσεων που επικρατούν.

Εντελώς συνοπτικά θα αναφερθούν μερικές:

- i. Γεωλογικές, στηριζόμενες στη μελέτη της γεωλογικής κατασκευής του υπεδάφους.
- ii. Υδρολογικές, στηριζόμενες σε μετρήσεις πάνω στην ποσοτική μετακίνηση του νερού (κατείσδυση, απορροή κτλ.).
- iii. Μετεωρολογικές, με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία.
- iv. Χημικές με βάση τη χημική εξέλιξη του νερού κατά την υπόγεια κίνησή του.
- v. Υδραυλικές με βάση τους νόμους της υδραυλικής.
- vi. Πιεζομετρικές, στηριζόμενες στη μεταβολή της πιεζομετρικής επιφάνειας υδροφόρων στρωμάτων.
- vii. Ιχνοθετικές, με βάση την ιχνοθέτηση νερού.
- viii. Μαθηματικές: με βάση σύνολο μαθηματικών τύπων δημιουργείται μαθηματικό πρότυπο διαφόρων ροών.
- ix. Μέθοδοι ομοιωμάτων: δημιουργία ομοιωμάτων π.χ. ρεοηλεκτρική αναλογία κτλ.
- x. Γεωφυσικές: επισήμανση υδροφόρων οριζόντων από μετρήσεις με γεωφυσικά όργανα.

Οι μέθοδοι που συνδυάστηκαν στην παρούσα μελέτη ήταν οι γεωλογικές, οι υδρογεωλογικές και οι γεωφυσικές.

3.3.1.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ

Ένας αέναςος κύκλος του νερού διαγράφεται στη φύση καθώς αυτό μεταπηδά από πεδίο σε πεδίο επαναλαμβάνοντας συνεχώς την κίνησή του αυτή μέσα στο χρόνο.

Ο κύκλος αυτός μελετάται ιδιαίτερα από την *επιφανειακή υδρολογία* την επιστήμη δηλαδή εκείνη που μελετά το νερό από την στιγμή που το τελευταίο φτάνει στην επιφάνεια της γης, με οποιαδήποτε μορφή: βροχή, χαλάζι, χιόνι, δροσιά κτλ. Αυτά είναι γνωστά στο σύνολό τους σαν *ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα* ή απλά *κατακρημνίσματα* συμβολιζόμενα με το γράμμα P .

Το νερό λοιπόν φθάνοντας στην επιφάνεια της γης σαν *κατακρημνίσματα* έχει να ακολουθήσει τρεις δρόμους.

i. Να διαπεράσει την επιφάνεια του εδάφους και να κατέλθει στο υπέδαφος, στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προστιθέμενο στο υπόγειο νερό. Η ποσότητα αυτή συνιστά την *κατείσδυση* I . Μπορεί, αφού κάνει ένα υπόγειο δρομολόγιο, να επανέλθει στο φως ύστερα από κάποιο χρόνο παραμονής στο υπέδαφος, και με το υδρογραφικό σύστημα να οδηγηθεί στη θάλασσα από όπου επανεξατμίζεται για να επαναλάβει τον κύκλο.

ii. Να ρεύσει επιφανειακά και παραλαμβάνόμενο από το υδρογραφικό δίκτυο (τα ποτάμια συστήματα) να εκχυθεί τελικά στην θάλασσα (ή σπάνια σε λίμνη). Αυτή λοιπόν η ποσότητα που ρέει επιφανειακά και τελικά χύνεται στην θάλασσα, συνιστά την *επιφανειακή απορροή* R που φυσικά και αυτή μπορεί τελικά να επανεξετμισθεί και να επανέλθει στην ατμόσφαιρα από όπου θα επαναλάβει τον κύκλο.

iii. Να επανεξατμισθεί από την επιφάνεια του εδάφους, από την ελεύθερη επιφάνεια του υδρογραφικού συστήματος, από το υπέδαφος ή ακόμα να διαπνευσθεί από τα φυτά που το αντλούν από το υπέδαφος. Αυτή η ποσότητα συνιστά την *εξατμισοδιαπνοή* E , που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα για να συνεχίσει τον κύκλο.

Από τα πιο πάνω λοιπόν προκύπτει το εξής:

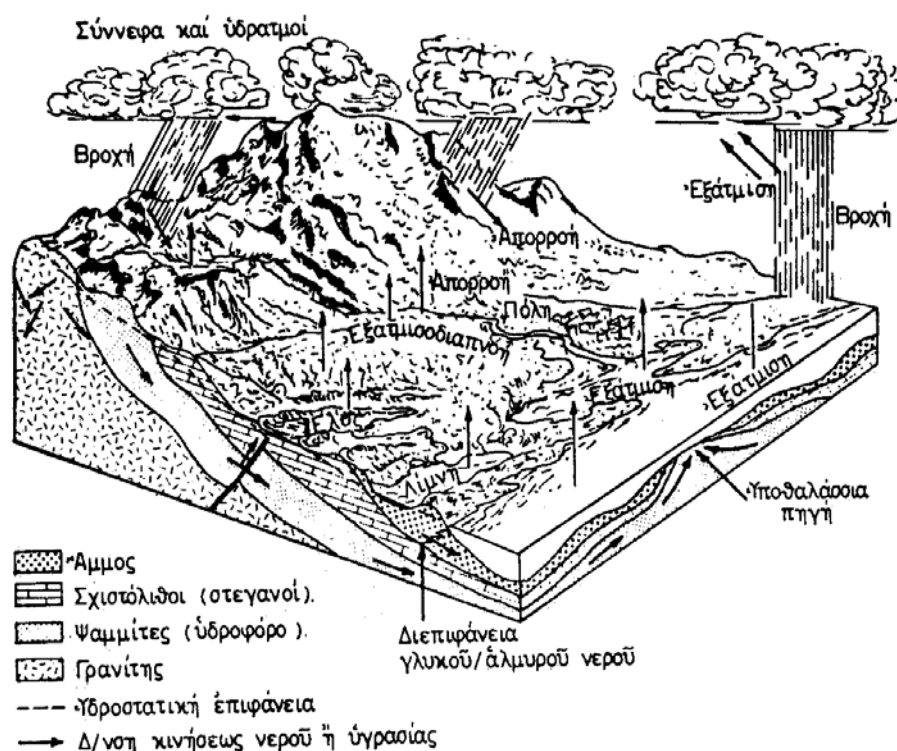
$$P = I + R + E$$

Η εξίσωση αυτή αποτελεί την εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου που είναι χαρακτηριστική σε κάθε περιοχή και καθορίζει την υδάτινη οικονομία της περιοχής.

Τα στοιχεία της πιο πάνω εξίσωσης λέγονται και φάσεις του υδρολογικού ισοζυγίου. Μπορούν να εκφραστούν σε όγκο (m^3), σε ύψος νερού - βροχής (mm), και ακόμα σε συντελεστές δηλαδή σε ποσοστό ως προς τα κατακρημνίσματα.

Το ύψος βροχής (νερού) προκύπτει από τον όγκο όταν διαιρεθεί με το εμβαδό της περιοχής στην οποία αναφέρεται. Δηλαδή με την έκφραση αυτή δεχόμαστε ομοιόμορφη κατανομή του υπ' όπιν μεγέθους σε όλη την εξεταζόμενη περιοχή, οπότε το μέγεθος αυτό (η φάση αυτή) θα σχημάτιζε στρώμα νερού με πάχος ίσο προς τα πού mm αναφέρονται.

Στο σχήμα 3.3.1 φαίνεται γραφικά ο υδρολογικός κύκλος του νερού.



Σχήμα 3.3.1: Σχηματική παράσταση του υδρολογικού ισοζυγίου

3.3.1.2.1 ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε κατακρημνίσματα Ρ είναι το σύνολο του μετεωρικού νερού που φτάνει στην επιφάνεια της γης με οποιαδήποτε μορφή (βροχή, χιόνι, χαλάζι, δροσιά κτλ).

Η μέτρηση των κατακρημνισμάτων γίνεται με ειδικά όργανα, τα βροχόμετρα, που μπορούν να είναι και γραφικά (βροχογράφοι). Οι μετρήσεις που παίρνονται από τα διάφορα αυτά όργανα είναι φυσικά mm ύψους βροχής και από τις μετρήσεις βρίσκονται το ετήσιο ή μηνιαίο ύψος κατακρημνισμάτων για ένα ορισμένο έτος ή μήνα δηλαδή το ύψος των κατακρημνισμάτων που έπεσαν κατά την διάρκεια του συγκεκριμένου έτους ή μήνα. Με βάση τα στοιχεία αυτά κατασκευάζονται υετογράμματα, δηλαδή τα διαγράμματα κατανομής των κατακρημνισμάτων μέσα στους δώδεκα μήνες του έτους και γενικά διαγράμματα κατακρημνισμάτων - χρόνου ($P-t$) που είναι σημαντικά γιατί το καθεστώς κατανομής των βροχοπτώσεων στο χρόνο (το βροχομετρικό σύστημα) και η ένταση αυτών επηρεάζουν την κατανομή των φάσεων του υδρολογικού ισοζυγίου.

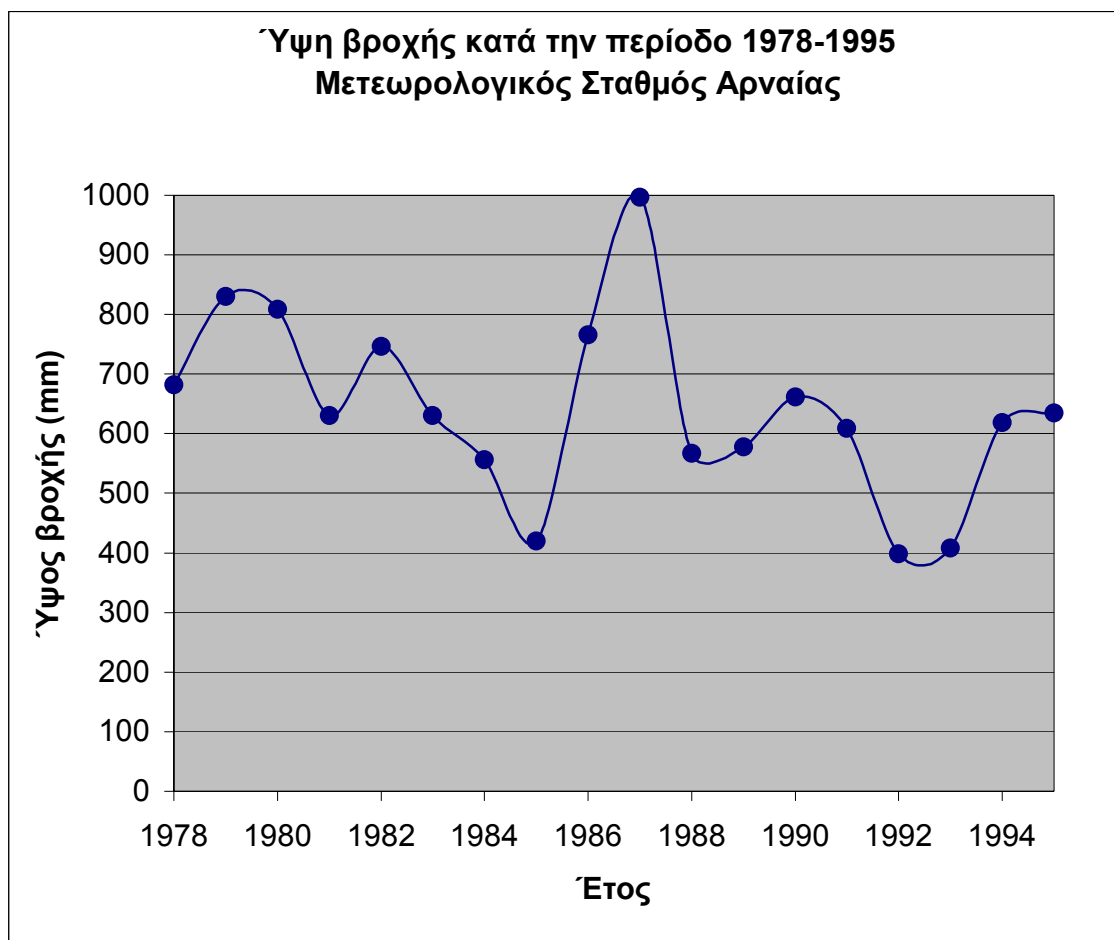
Η συγκεκριμένη μελέτη δεν περιλαμβάνει ακριβές μετρήσεις των κατακρημνισμάτων για την περιοχή έρευνας. Βρέθηκαν πληροφορίες (υετογράμματα), τα οποία μπορούν να θεωρηθούν ενδεικτικά για την περιοχή μελέτης. Αυτά έχουν προέλθει από μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού της Ιεράς Μονής Σίμωνος Πέτρας, που βρίσκεται περίπου 13 km ΝΑ της Μονής Δοχειαρίου και του μετεωρολογικού σταθμού της Αρναίας. Η Αρναία και η Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας φαίνονται στον παρακάτω χάρτη του σχήματος 3.3.2. Οι μετρήσεις αναφέρονται στο έτος 1994 (Σχ. 3.3.4). Ακολουθεί διάγραμμα (Σχ. 3.3.5) με την σύγκριση των ύψος βροχής για το έτος 1994 των μετεωρολογικών σταθμών Ιεράς Μονής Σίμωνος Πέτρας και Αρναίας καθώς και τα ύψη βροχής κατά την περίοδο 1978 - 1995 από τον μετεωρολογικό σταθμό της Αρναίας (Σχ. 3.3.3).

Τα διαγράμματα που παρατίθενται είναι εντελώς ενδεικτικά και απλά δίδονται για την γενική πληροφόρηση του υετού στην περιοχή έρευνας. Μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή η έλλειψη κατακρημνισμάτων κατά την θερινή περίοδο (Μάιος - Σεπτέμβριος) και το πρόβλημα ύδρευσης - άρδευσης από αυτό το έλλειμμα.



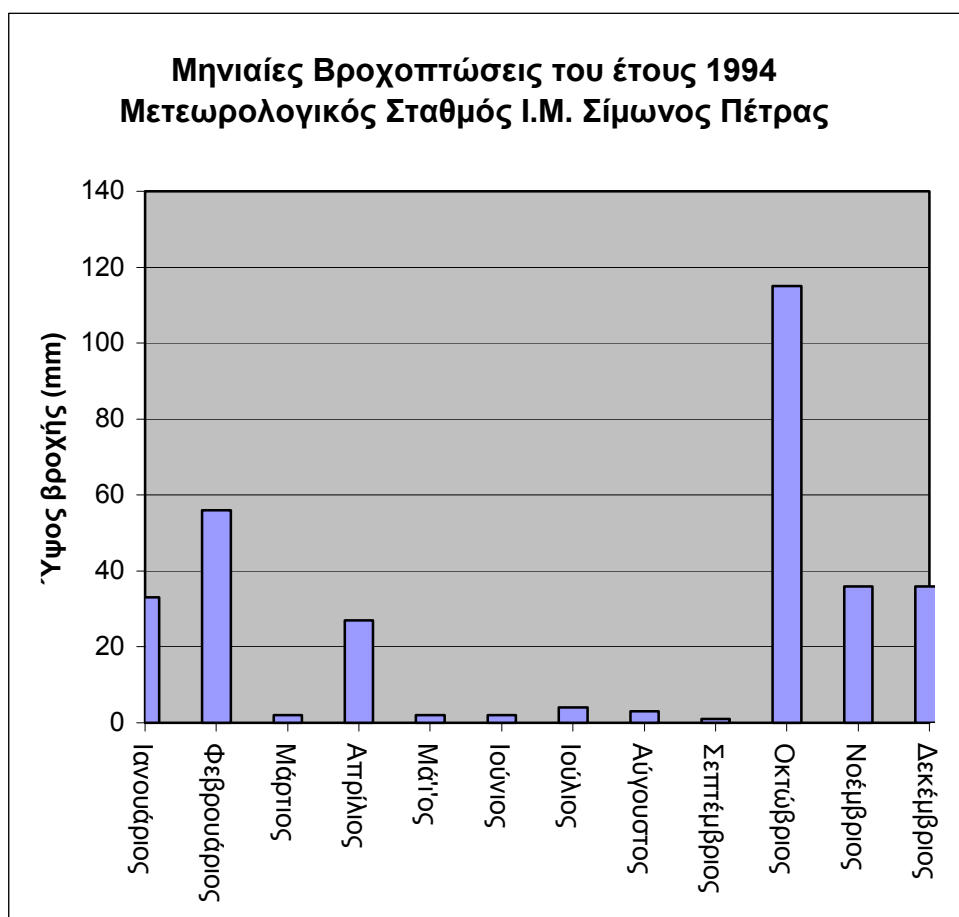
Σχήμα 3.3.2: Χάρτης που φαίνονται οι περιοχές της Αρναίας και της Ιεράς Μονής Σίμωνος Πέτρας.

ΕΤΟΣ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm/έτος)
1978	682
1979	830
1980	809
1981	630
1982	746
1983	630
1984	556
1985	420
1986	766
1987	1000
1988	567
1989	578
1990	662
1991	609
1992	399
1993	408
1994	619
1995	635
Μ.Ο.	641



Σχήμα 3.3.3

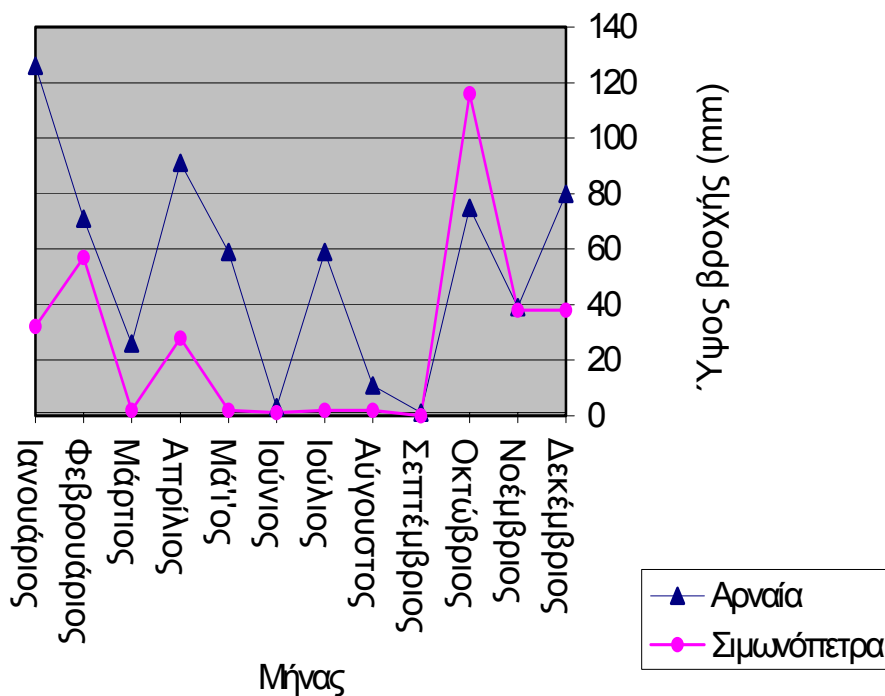
ΜΗΝΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm)
Ιανουάριος	33
Φεβρουάριος	56
Μάρτιος	2
Απρίλιος	27
Μάϊος	2
Ιούνιος	2
Ιούλιος	4
Αύγουστος	3
Σεπτέμβριος	1
Οκτώβριος	115
Νοέμβριος	36
Δεκέμβριος	36



Σχήμα 3.3.4

ΜΗΝΑΣ	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm) Αρναία	ΥΨΟΣ ΒΡΟΧΗΣ (mm) Σιμωνώπετρα
Ιανουάριος	126	32
Φεβρουάριος	71	57
Μάρτιος	26	2
Απρίλιος	91	28
Μάϊος	59	2
Ιούνιος	3	1
Ιούλιος	59	2
Αύγουστος	11	2
Σεπτέμβριος	1	0
Οκτώβριος	75	116
Νοέμβριος	39	38
Δεκέμβριος	80	38

Σύγκριση ύψων βροχής για το έτος 1994 των
Μετεωρολογικών Σταθμών Αρναίας και Ι.Μ.
Σίμωνος Πέτρας



Σχήμα 3.3.5

3.3.1.2.2 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΑΠΟΡΡΟΗ

Με τον όρο επιφανειακή απορροή R αναφέρεται το τμήμα εκείνο του νερού των κατακρημνισμάτων που μόλις πέσει στην επιφάνεια της γης ρέει επιφανειακά, εισέρχεται στο υδρογραφικό σύστημα, από το οποίο απάγεται οδηγούμενο τελικά στη θάλασσα (ή στη λίμνη) όπου και εκχύνεται. Στην επιφανειακή απορροή μπορεί να υπαχθεί και η υποδερμική απορροή, δηλαδή οι μικρές συνήθως εκείνες ποσότητες νερού που διαπερνούν την επιφάνεια του εδάφους και κινούνται για λίγο στα επιπόλαια τμήματα του εδάφους - υπεδάφους για να επανέλθουν πάλι στο φως, σύντομα συνήθως, και να εισέλθουν στο υδρογραφικό χωρίς προηγούμενα κατά την υπόγεια διαδρομή τους να έχουν φτάσει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες.

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την επιφανειακή απορροή μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: τους κλιματικούς και τους φυσιογραφικούς.

i. Στους κλιματικούς ανήκουν:

→ Η βροχόπτωση (κατακρημνίσματα) που μπορεί να επιδρά με:

- Την ένταση: βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης ευνοούν την επιφανειακή απορροή, το αντίθετο δε συμβαίνει με βροχοπτώσεις μικρής έντασης.

- Την κατανομή μέσα στο υδρολογικό έτος: αραιές μονωμένες βροχοπτώσεις ευνοούν την εξατμισοδιαπνοή, σε βάρος φυσικά της κατείσδυσης και της επιφανειακής απορροής, αντίθετα συνεχείς βροχοπτώσεις ευνοούν την επιφανειακή απορροή και την κατείσδυση σε βάρος της εξατμισοδιαπνοής φυσικά.

- Το συνολικό ετήσιο ύψος βροχόπτωσης.

→ Η θερμοκρασία, ο άνεμος και άλλοι κλιματικοί παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισοδιαπνοή και έμμεσα επιδρούν στην επιφανειακή απορροή.

ii. Στους φυσιογραφικούς ανήκουν:

→ Η κλίση του εδάφους: όσο πιο μεγάλη είναι τόσο πιο πολύ ευνοεί την επιφανειακή απορροή, ενώ οριζόντια εδάφη τη μηδενίζουν.

→ Η βλάστηση: όσο πιο έντονη είναι τόσο πιο πολύ μειώνει την επιφανειακή απορροή.

→ Το υδρογραφικό δίκτυο: όσο πιο μεγάλη είναι η επιφανειακή απορροή σε μια λεκάνη τόσο πιο πυκνό είναι το υδρογραφικό δίκτυο. Είναι άρα ο δείκτης της υπάρχουσας κατάστασης και κατά δευτερεύοντα λόγο η ύπαρξη του διευκολύνει την απορροή.

→ Η φύση του εδάφους - υπεδάφους που οφείλεται φυσικά στη λιθολογική τους σύσταση είναι αποφασιστικός παράγοντας: τα περατά εδάφη παρουσιάζουν συγκριτικά μεγάλη κατείσδυση και μικρή απορροή, ενώ τα αδιαπέρατα το αντίθετο. Αυτό φυσικά διαπιστώθηκε πολλές φορές σε λεκάνες με ίδια τα άλλα στοιχεία και διαφορετική λιθολογική σύσταση, όπου προέκυψαν μεγάλες διαφορές στο συντελεστή επιφανειακής απορροής των λεκανών αυτών. Δίνεται παρακάτω πίνακας των συντελεστών επιφανειακής που παρουσιάζουν οι συνηθέστερα απαντώμενοι λιθολογικοί σχηματισμοί, για κλιματικές συνθήκες παρεμφερείς με τις ελληνικές και <<συνήθη>> φυσιογραφικά στοιχεία:

Περιοχές ασβεστολιθικές (καρστικές γενικά)	0-10%
>> προσχλωσιγενείς (ανάλογα με την κλίση του εδάφους και σύσταση)	5-20%
>> οφειολιθικές	14-35%
>> με φλύσχη, μάργες, φυλλίτες, αργιλικούς σχιστολίθους και παρεμφερή	15-40%
>> γρανιτικές	15-35%
>> μολασσικών, ψαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών	10-30%
>> ηφαιστειακών πετρωμάτων	20-40%
>> πρασινολίθων, γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και	

παρεμφερών μεταμορφωμένων

15-45%

Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από έντονη κλίση του εδάφους, πυκνή βλάστηση, πυκνό υδρογραφικό δίκτυο, εμφάνιση πετρωμάτων που ευνοούν την επιφανειακή απορροή (γνεύσιοι, σχιστολίθοι, οφειόλιθοι), ενώ η υπάρξη ασβεστολίθων και προσχώσεων, που χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρότερη επιφανειακή απορροή και θα ευνοούσαν την κατείσδυση, είναι περιορισμένη. Αυτά σε συνδυασμό με τους δυσμενείς κλιματικούς παράγοντες έχουν συντελέσει στην επιφανειακή απορροή των κατακρημνισμάτων και στην απαγωγή τους στο υδρογραφικό δίκτυο σε βάρος της κατείσδυσης, η οποία θα μπορούσε να εμπλουτίσει τους υδροφόρους ορίζοντες οι οποίοι και να εκμεταλλεύονται κατά την θερινή περίοδο.

3.3.1.2.3 ΚΑΤΕΙΣΔΥΣΗ

Με τον όρο κατείσδυση I εννοείται το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που διαπερνά την επιφάνεια του εδάφους, φτάνει στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες και προστίθεται στο υπόγειο νερό μετέχοντας στις κινήσεις του τελευταίου.

Από τους παράγοντες που ρυθμίζουν τον συντελεστή κατείσδυσης οι σημαντικότεροι είναι οι εξής δύο:

- Τα κατακρημνίσματα που υπεισέρχονται στον καθορισμό του συντελεστή κατείσδυσης με την κατανομή τους μέσα στο υδρολογικό έτος και την ένταση των βροχοπτώσεων. Είναι φυσικά προφανής και ο ρόλος του ύψους τους (αφού η κατείσδυση είναι πάντα ένα ποσοστό αυτών το οποίο μάλιστα συναυξάνεται με αυτά).
- Η φύση του εδάφους και υπεδάφους που υπεισέρχεται με το <<δυναμικό κατείσδυσης>>, το οποίο ρυθμίζεται από την περατότητά τους, το πορώδες τους, ουσιαστικά από την λιθολογική τους σύσταση και ο ρόλος τους είναι θεμελιώδης για την κατείσδυση. Έτσι για συνήθεις περιπτώσεις (κατακρημνισμάτων, κλίσης, βλάστησης, κλίματος κλπ.) ο συντελεστή ενεργής κατείσδυσης διακυμαίνεται ως εξής κατά περιοχές ανάλογα με τη λιθολογική σύστασή τους:

Περιοχές ασβεστολιθικές (καρστικές γενικά)	25-60%
>> προσχωσιγενείς	10-20%
>> οφειολιθικές	4-8%
>> με φλύσχη, μάργες, φυλλίτες, αργιλικούς σχιστολίθους και παρεμφερή	3-7%
>> γρανιτικές	5-12%
>> μολασσικών, ψαμμιτικών και παρεμφερών σχηματισμών	15-25%
>> ηφαιστειακών πετρωμάτων	3-8%
>> πρασινολίθων, γνευσίων, μαρμαρυγιακών σχιστολίθων και παρεμφερών μεταμορφωμένων	3-7%

Φυσικά οι πάνω τιμές είναι συνήθεις και δεν αποκλείονται αποκλίσεις προς τα πάνω ή προς τα κάτω.

Εκτός από τους δύο πιο πάνω παράγοντες, υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί που ρυθμίζουν την κατείσδυση. Αυτοί είναι:

- Η κλίση του εδάφους. Είναι φανερό ότι μεγάλες κλίσεις διευκολύνουν την απομάκρυνση του νερού, άρα την απορροή σε βάρος της κατείσδυσης. Αντίθετα μικρές κλίσεις και κυρίως τα οριζόντια εδάφη ευνοούν την κατείσδυση
- Η βλάστηση. Τα φυτά συγκρατούν το νερό και διευκολύνουν την ολική κατείσδυση, σε βάρος της επιφανειακής απορροής. Όμως λόγω της διαπνοής τους είναι τελικά συζητήσιμο αν τελικά ευνοούν την ενεργή κατείσδυση.

- Η θερμοκρασία, ο άνεμος και οι άλλοι κλιματικοί παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισιδιαπνοή και έτσι επιδρούν έμμεσα στην κατεΐσδυση.
- Η υγρασία του εδάφους, η πάκτωσή του από διέλευση ζώων, ανθρώπων, μηχανημάτων, η άροση του εδάφους, το βάθος στο οποίο φτάνει ο υποκείμενος υδροφόρος ορίζοντας έχουν επίδραση στον συντελεστή κατεΐσδυσης.

Για τους σχηματισμούς που εμφανίζονται στην περιοχή και σε σχέση με την έκταση που καταλαμβάνουν γίνεται επίσης αντιληπτό το πρόβλημα εμπλουτισμού πιθανών υδροφόρων της περιοχής κάτι το οποίο προκύπτει και από τη δυσμενή επίδραση των υπόλοιπων παραγόντων που ρυθμίζουν τον συντελεστή κατεΐσδυσης.

3.3.1.2.4 ΕΞΑΤΜΙΣΙΔΙΑΠΝΟΗ

Η εξατμισιδιαπνοή Ε είναι το μέρος εκείνο των κατακρημνισμάτων που επανέρχεται στην ατμόσφαιρα είτε από εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους από τα πρώτα στρώματά του, από τις ελεύθερες επιφάνειες του νερού (ρυάκια, μικροσυγκεντρώσεις νερού σε κοιλάσματα), από το νερό που με την μορφή λεπτού υμενίου περικαλύπτει τα φυτά κατά τη βροχή ή που επικάθεται σ' αυτά με μορφή σταγόνων, είτε από τη διαπνοή των φυτών. Δηλαδή είναι οι κάθε είδους φυσικές πρωτογενείς απώλειες του νερού των κατακρημνισμάτων από εξάτμιση ή διαπνοή που επανέρχονται άμεσα στην ατμόσφαιρα.

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την εξατμισιδιαπνοή είναι εκείνοι που έχουν σχέση με το φυσικό φαινόμενο της εξάτμισης και το φυσιολογικό της διαπνοής.

- i. Σε ό,τι αφορά την εξάτμιση αναφέρεται αρχικά η εξίσωση της εξάτμισης (νόμος του Dalton):

$$V = \frac{A (F_k - F_a)}{H}$$

Όπου:

V η ταχύτητα εξάτμισης που εκφράζεται σε mm πάχους εξατμιζόμενου νερού ανά μονάδα χρόνου

A ο συντελεστής που εξαρτάται από τη φύση του υγρού, την ταχύτητα απαγωγής των υδρατμών (ταχύτητα ανέμου), το υδρομετρικό έλλειμμα κλπ.

F_k η τάση των κορεσμένων υδρατμών για τη θερμοκρασία της επιφάνειας του υγρού

F_a η πραγματική υπάρχουσα τάση υδρατμών στον αέρα

H η ατμοσφαιρική πίεση

Από τον παραπάνω τύπο προκύπτουν έμμεσα οι παράγοντες που ρυθμίζουν την εξάτμιση:

- Η θερμοκρασία του νερού και της ατμόσφαιρας και κατ' επέκταση και η ηλιοφάνεια που ρυθμίζει την τιμή του F_k .
- Η ταχύτητα πνοής του ανέμου που απομακρύνει κορεσμένες μάζες αέρα.
- Η ατμοσφαιρική πίεση (και κατ' επέκταση το υψόμετρο).
- Η ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν ήδη στην ατμόσφαιρα και που καθορίζουν την F_a .
- Η χημική ποιότητα του νερού (οι διαλυμένες ουσίες μειώνουν την εξάτμιση επιδρώντας με το συντελεστή A).
- Η ιδιομορφία του εδάφους (βλάστηση, λιθολογία, πορώδες) που δημιουργεί τις επιφάνειες εξάτμισης

Όλα αυτά προκειμένου για την πραγματική εξάτμιση πρέπει να συνδεθούν με τα κατακρημνίσματα που την επηρεάζουν άμεσα και δραστικά τόσο με την ποσότητά τους, όσο και την κατανομή τους μέσα στο χρόνο.

ii. Σε ότι αφορά την διαπνοή μερικοί σημαντικοί παράγοντες που τη ρυθμίζουν είναι:

→ Η εξατμιστική δυνατότητα της ατμόσφαιρας, που εκφράζεται με τους τέσσερις πρώτους παράγοντες που αναφέρθηκαν πιο πάνω για την εξάτμιση.

→ Οι κλιματικοί εκείνοι παράγοντες που δρουν πάνω στη ζωή και τη φυσιολογία των φυτών

→ Η υγρασία του εδάφους (όπως αναλύθηκε προηγουμένως)

→ Η πυκνότητα της βλάστησης, το είδος των φυτών και η ηλικία αυτών.

Θα αναφερθεί τέλος και εδώ ο θεμελιώδης ρόλος των κατακρημνισμάτων για την πραγματική διαπνοή που υπεισέρχονται επίσης με την ποσότητά τους και την κατανομή τους στο χρόνο.

Η εξατμισιδιαπνοή για την περιοχή έρευνας ευνοείται πράγμα που προκύπτει από τους παραπάνω παράγοντες.

3.3.1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα πετρώματα και οι σχηματισμοί διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- i. Τα *κοκκώδη πετρώματα* (ή κοκκώδεις σχηματισμοί) που λέγονται και πορώδη πετρώματα. Είναι αυτά που έχουν πρωτογενώς σχηματισθέντα ενδιάκενα (πόρους) και έχουν όπως λέγεται ενδιακενικό νερό και έχουν ενδιακενική περατότητα ή μικροπερατότητα ή είναι μικροπερατά. Οι όροι <<μικροπερατό>> και <<μικροπερτότητα>> δεν σημαίνουν κατ' ανάγκη μικρή περατότητα αλλά απλά ότι αυτή η ιδιότητά τους, η περατότητα δημιουργείται από την ύπαρξη <<μικρών>> πλην όμως συνήθως σχετικά πυκνών πόρων και οπών. Τέτοια πετρώματα ή σχηματισμοί είναι φυσικά οι πρόσφατες γεωλογικά προσχώσεις και αποθέσεις στις οποίες η διαγένεση δεν προχώρησε τόσο ώστε να τις ομογενοποιήσει και να εξαλείψει τον αρχικό κοκκώδη χαρακτήρα τους. Είναι επίσης οι ψαμμίτες, τα μολασσικά ιζήματα κλπ. που αν και σχετικά παλιοί σχηματισμοί, διατηρούν την αρχική κοκκώδη υφή τους.
- ii. Τα *ρωγμώδη πετρώματα* (ή ρωγμώδεις σχηματισμοί). Είναι αυτά που έχουν δευτερογενώς σχηματισθείσες ρωγμές ή έγκοιλα, έχουν όπως λέγεται ρωγμώδες νερό και έχουν περατότητα ρωγμών ή μακροπερατότητα ή είναι μακροπερατά. Και εδώ οι όροι << μακροπερατότητα>> και <<μακροπερατό>> δεν σημαίνουν κατ' ανάγκη μεγάλη περατότητα, αλλά ότι αυτή η ιδιότητα δημιουργείται από την ύπαρξη μεγάλων - μακρών πλην όμως συνήθως σχετικά αραιών ρωγμών και εγκοίλων. Ένα τυπικό τέτοιο πέτρωμα είναι ο ασβεστόλιθος (οι ανθρακικοί σχηματισμοί γενικότερα). Είναι επίσης οι γρανίτες, οι οφειόλιθοι, και άλλα πετρώματα που δείχνουν παρόμοια συμπεριφορά αλλά πάντως με μικρότερη ένταση και με διαβάθμιση αυτής της έντασης που τείνει τελικά στο μηδενισμό της εκδηλώσεις αυτών των ιδιοτήτων, όπως εξάλλου μπορεί να συμβεί και με τα μικροπερατά.

3.3.1.4 ΟΛΙΚΟ ΠΟΡΩΔΕΣ

Ολικό πορώδες (m) είναι ο λόγος του όγκου όλων των κενών (V_v) ενός πετρώματος ή σχηματισμού διά τον ολικό όγκο (V) του πετρώματος ή σχηματισμού.

$$m = \frac{V_v}{V}$$

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν το ολικό πορώδες είναι διαφορετικοί για τα ρωγμώδη και κοκκώδη πετρώματα (πορώδη) πράγμα το οποίο οφείλεται στα διαφορετικά αίτια που το δημιουργούν.

A. Για τα ρωγμώδη πετρώματα το πορώδες ρυθμίζεται από:

- Την πυκνότητα των ρωγμών
- Το άνοιγμα των ρωγμών.
- Την πυκνότητα και το μέγεθος των εγκοίλων (που χαρακτηρίζουν τους ανθρακικούς σχηματισμούς - καρστ).

Οι ρωγμές παρατηρούνται σε όλα τα πετρώματα ανεξαιρέτα. Όμως τα αργιλώδη κυρίως παρουσιάζουν ταχεία ίαση γι' αυτό στα πετρώματα αυτά το πορώδες από τις ρωγμές είναι πρακτικά ανύπαρκτο. Επομένως έχει μεγάλη σημασία όταν επικρατεί <<ζώσα τεκτονική>> δηλαδή σύγχρονη ενεργή τεκτονική. Γιατί οι ρωγμές που προκλήθηκαν από παλιότερες τεκτονικές φάσεις θα έχουν ιαθεί σε πολλά είδη πετρωμάτων. Κατά ένα γενικό τρόπο η πυκνότητα των ρωγμών και το άνοιγμα αυτών μειώνεται με το βάθος των πετρωμάτων με εξαίρεση τα ανθρακικά πετρώματα. Γι' αυτό σε όλα τα πετρώματα, εκτός από τα ανθρακικά, το πορώδες μειώνεται με το βάθος και πέραν ενός ορισμένου βάθους τείνει να μηδενισθεί.

Τα έγκοιλα παρατηρούνται κυρίως, αν και όχι αποκλειστικά, στα ανθρακικά πετρώματα και οφείλονται φυσικά στην ιδιοτυπία της υπόγειας καρστικής διάβρωσης. Όπως επίσης στην καρστική διάβρωση οφείλεται και το γεγονός ότι τα ανθρακικά πετρώματα έχουν ρωγμές με μεγάλα ανοίγματα σε όλο το βάθος της καρστικοποίησης που είναι τις περισσότερες φορές ίσο με το βάθος του ανθρακικού σχηματισμού. Μερικοί άλλοι σχηματισμοί όπως οι γρανίτες και οι οφειόλιθοι παρουσιάζουν παρεμφερή φαινόμενα, αλλά με πολύ μικρότερη ένταση.

Από τα πιο πάνω προκύπτει η ιδιαίτερη σημασία των ανθρακικών πετρωμάτων για την υδρογεωλογία.

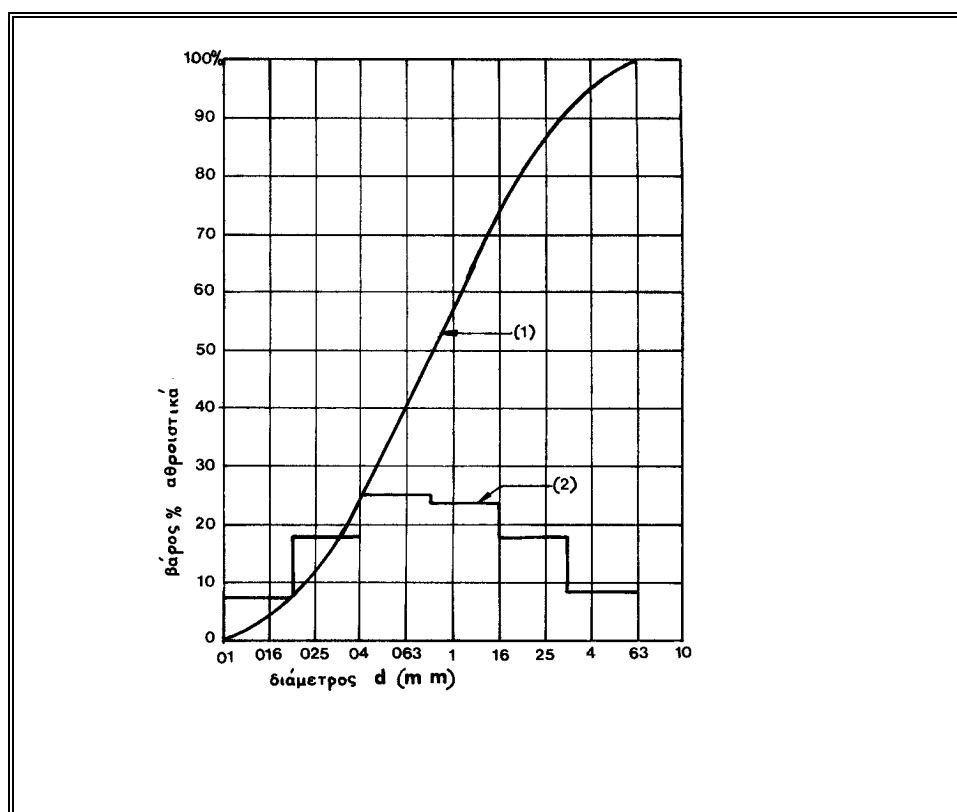
B. Για τα κοκκώδη πετρώματα το πορώδες ρυθμίζεται από:

- Το σχήμα των κόκκων το οποίο καθορίζει σε ένα ποσοστό τη μορφή και τις διαστάσεις των πόρων ή κόκκων γενικά.
- Την κοκκομετρική σύσταση του σχηματισμού. Με τον όρο κοκκομετρική σύσταση εννοείται η κατανομή της διαμέτρου των κόκκων σε συνάρτηση με το αντίστοιχο βάρος τους. Η κοκκομετρική σύσταση βρίσκεται με την κοκκομετρική ανάλυση και παριστάνεται γραφικά με τις αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες, σπανιότατα δε με τα ιστογράμματα συχνότητας. (Σχήμα 3.3.6). Οι αθροιστικές κοκκομετρικές καμπύλες δίνουν σημαντικότερες πληροφορίες για το πορώδες ενός σχηματισμού, γιατί δίνουν την συμμετοχή των κόκκων διαφορετικής διαμέτρου στη σύσταση του σχηματισμού.

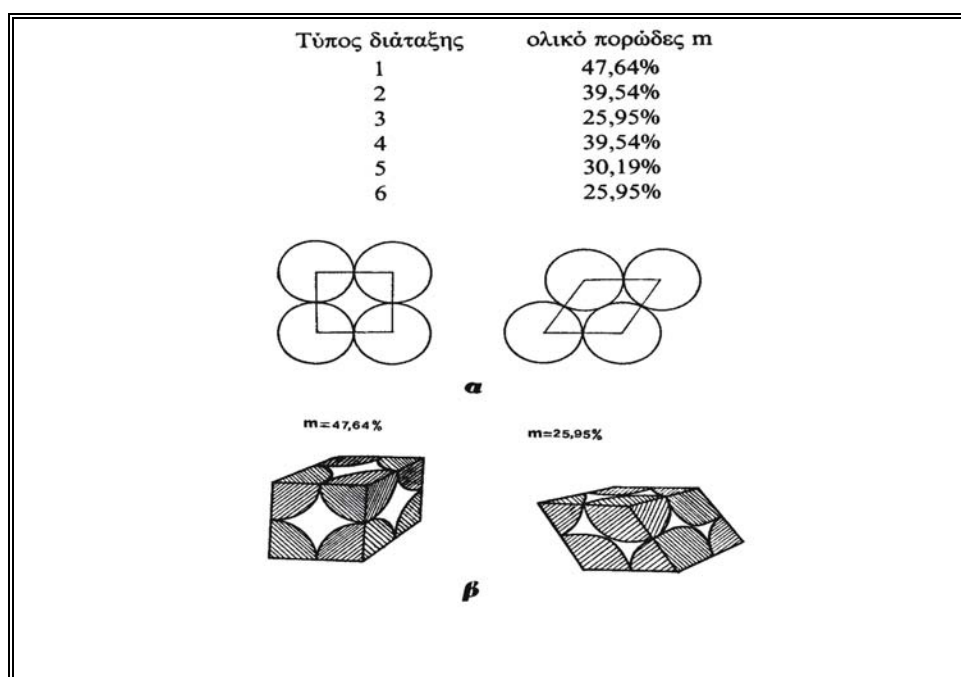
Για τον συγκριτικό ποσοτικό έλεγχο ενός δείγματος με βάση την αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη έχουν εισαχθεί οι πιο κάτω παράμετροι, των οποίων βέβαια οι τιμές χαρακτηρίζουν την καμπύλη και κατ' επέκταση το δείγμα:

- ♦ *Ενεργή διάμετρος d_{10} .* Είναι η διάμετρος των κόκκων που αντιστοιχεί στο 10% του βάρους του δείγματος. Η διάμετρος αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία γιατί ανταποκρίνεται στο λεπτόκοκκο υλικό που πληρώνει τα κενά που δημιουργούνται μεταξύ κόκκων με μεγαλύτερη διάμετρο και έτσι μειώνει το ολικό πορώδες τόσο πιο πολύ όσο μικρότερη είναι σε σύγκριση με τη μέση διάμετρο του δείγματος.
- ♦ *Συντελεστής ομοιομορφίας U .* Δίνεται από τη σχέση $U = d_{60} / d_{10}$ όπου d_{60} είναι η διάμετρος που αντιστοιχεί στο 60% του βάρους και d_{10} η διάμετρος που αντιστοιχεί στο 10% του βάρους.

→ Από την διάταξη των κόκκων. Ο ρόλος της στον καθορισμό του πορώδους φαίνεται από σχήματα 3.3.7 και 3.3.8 για ίσες σφαίρες.



Σχήμα 3.3.6: Απεικόνιση της κοκκομετρικής σύστασης υλικού: (1) αθροιστική κοκκομετρική καμπύλη, (2) ιστόγραμμα συχνότητας



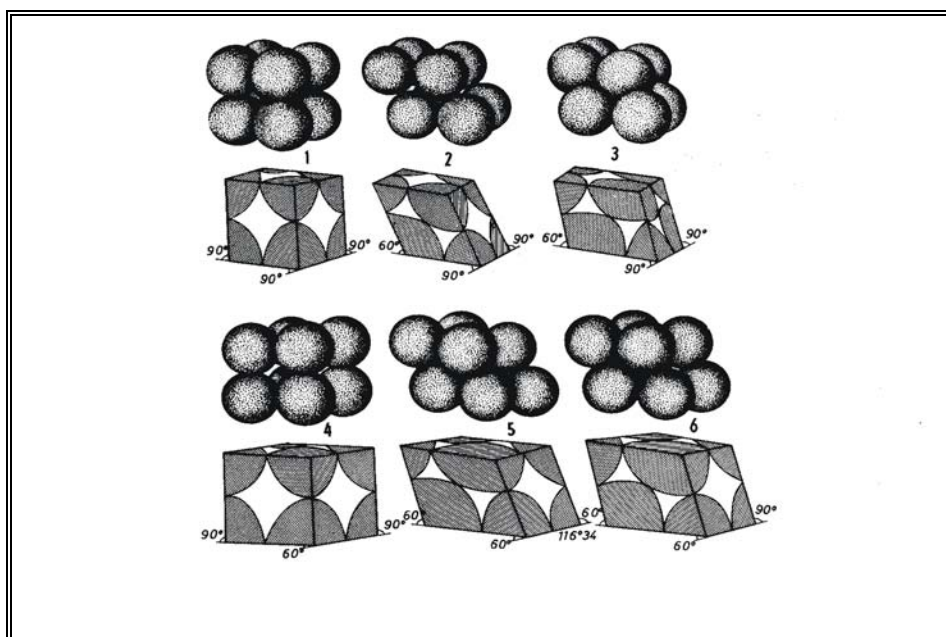
Σχήμα 3.3.7: Κυβική και ρομβοεδρική διάταξη κόκκων.

→ Την κονίαση των κόκκων, τα αργιλικά υλικά, τα άλατα, τη συνίζηση και κυρίως τη διαγένεση. Όλα αυτά προκαλούν μείωση του ολικού πορώδους. Η διαγένεση παρατηρείται σε παλιότερες και συνήθως σε βαθύτερες προσχώσεις και αποθέσεις. Έτσι στα κοκκώδη πετρώματα παρατηρείται μείωση του πορώδους με το βάθος, όπως συμβαίνει συνήθως και στα ρωγμώδη, που παρατηρείται μείωση της διάβρωσης και του βαθμού ρωγμωσης, με εξαίρεση φυσικά τους καρστικούς σχηματισμούς.

Η τιμή του ολικού πορώδους ποικίλει πολύ στα διάφορα πετρώματα ιδιαίτερα στα ρωγμώδη. Οι συνήθεις τιμές του ολικού πορώδους για διάφορους σχηματισμούς και πετρώματα είναι:

Ασβεστόλιθοι -Μάρμαρα (ανθρακικά γενικά)	0,5-17%
Οφειόλιθοι	0,1-3%
Γρανιτικά	0,1-2,5%
Ηφαιστειακά	0,1-3,5%
Πρασινόλιθοι, Γνεύσιοι, Αργιλικοί σχιστόλιθοι και παρεμφερή	
Μεταμορφωμένα	0,05-2%
Φλύσχης, Φυλλίτης, Αργιλικοί σχιστόλιθοι και παρεμφερή	8-30%
Ψαμμίτης, Μολάσση	6-25%
Μάργες	47-50%
Χαλίκια	25-40%
Χαλίκια και Άμμος	25-30%
Άμμος	20-50%
Χαλίκια - άμμος - άργιλος	6-18%
Άργιλος	44-50%
Πηλοί πρόσφατοι	50-60%
Ιλύς	34-50%

Σαν κατακλείδα θα σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ολικό πορώδες παρουσιάζουν οι άργιλοι και κυρίως οι πρόσφατοι πηλοί.



Σχήμα 3.3.8: Τύποι διάταξης σφαιρικών κόκκων.

3.3.1.5 ΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Περατότητα ή διαπερατότητα λέγεται η ιδιότητα των πετρωμάτων και σχηματισμών να επιτρέπουν την κίνηση των υγρών (των ρευστών γενικά) διά μέσου αυτών. Το νερό π.χ. μπορεί να ρέει διά μέσου του συστήματος αγωγών που δημιουργούν οι μικροί ή μεγάλοι πόροι και τα μικρά ή μεγάλα ενδιάκενα που πρωτογενώς έχουν σχηματιστεί, δηλαδή από τη γένεσή του είχε το πέτρωμα ή ο σχηματισμός (όπως π.χ οι διάφορες προσχώσεις, οι ψαμμίτες, τα κροκαλοπαγή κλπ που ήδη ονομάστηκαν κοκκώδεις σχηματισμοί). Η ροή του νερού μπορεί ακόμα να γίνεται διά μέσου συστήματος ρωγμών ή σειράς εγκοίλων κλπ που σχηματίστηκαν δευτερογενώς δηλαδή μετά την απόθεση των σχηματισμών (τέτοιοι σχηματισμοί είναι κυρίως οι ανθρακικοί, όπως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, αλλά και πυριγενείς όπως γρανίτες, οφειόλιθοι κλπ που ονομάστηκαν ρωγμώδεις σχηματισμοί). Συμβατικά οι πρώτοι (κοκκώδεις ή πορώδεις), στους οποίους το νερό κινείται μέσα στα ενδιάκενα που κατά κανόνα έχουν μικρές διαστάσεις, ονομάστηκαν μικροπερατοί (όχι κατ' ανάγκη μικρής περατότητας) γιατί είναι μικρών διαστάσεων, αλλά συνήθως έχουν πυκνά ενδιάκενα και οι ρωγμώδεις ονομάστηκαν μακροπερατοί (όχι κατ' ανάγκη μεγάλης περατότητας) γιατί είναι συνήθως μεγάλων διαστάσεων. Οι δύο αυτοί όροι είναι συμβατικοί και περισσότερο εμπειρικοί, πλην όμως έχουν περιεχόμενο γιατί η ροή του νερού μέσα σε αυτές τις δύο κατηγορίες πετρωμάτων γίνεται κατά τρόπο βασικά διαφορετικό.

Οι παράγοντες που ρυθμίζουν την περατότητα δεν είναι ακριβώς ίδιοι για τα πορώδη και τα ρωγμώδη πετρώματα.

A. Πορώδη πετρώματα.

Για τα πορώδη πετρώματα οι παράγοντες που ρυθμίζουν την περατότητα είναι:

→ Η κοκκομετρική σύσταση και το πορώδες. Για τον υπολογισμό της περατότητας γίνεται χρήση του εμπειρικού τύπου $k = 100 d_{10}^2$ (Hazen 1895) όπου k είναι ο συντελεστής περατότητας σε m/sec και d_{10}^2 η ενεργή διάμετρος των κόκκων σε m. Στο σχήμα 3.3.9 δίνεται η κατάταξη των κοκκώδων σχηματισμών με βάση την κοκκομετρική τους σύσταση και μερικές χαρακτηριστικές καμπύλες. Κάτω από αυτό δίνονται οι τιμές περατότητας του κάθε σχηματισμού όπως προκύπτουν από τον τύπο του Hazen και τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών αυτών σαν υδροφορέων. Εδώ φαίνεται καθαρά ο ρόλος της κοκκομετρικής σύστασης στην περατότητα ενός σχηματισμού. Η χρήση του νομογράμματος αυτού ακολουθεί στην παράγραφο 3.3.2.1 για την εκτίμηση της τάξης μεγέθους της περατότητας των κοκκώδων σχηματισμών που εντοπίζονται στο χώρο έρευνας.

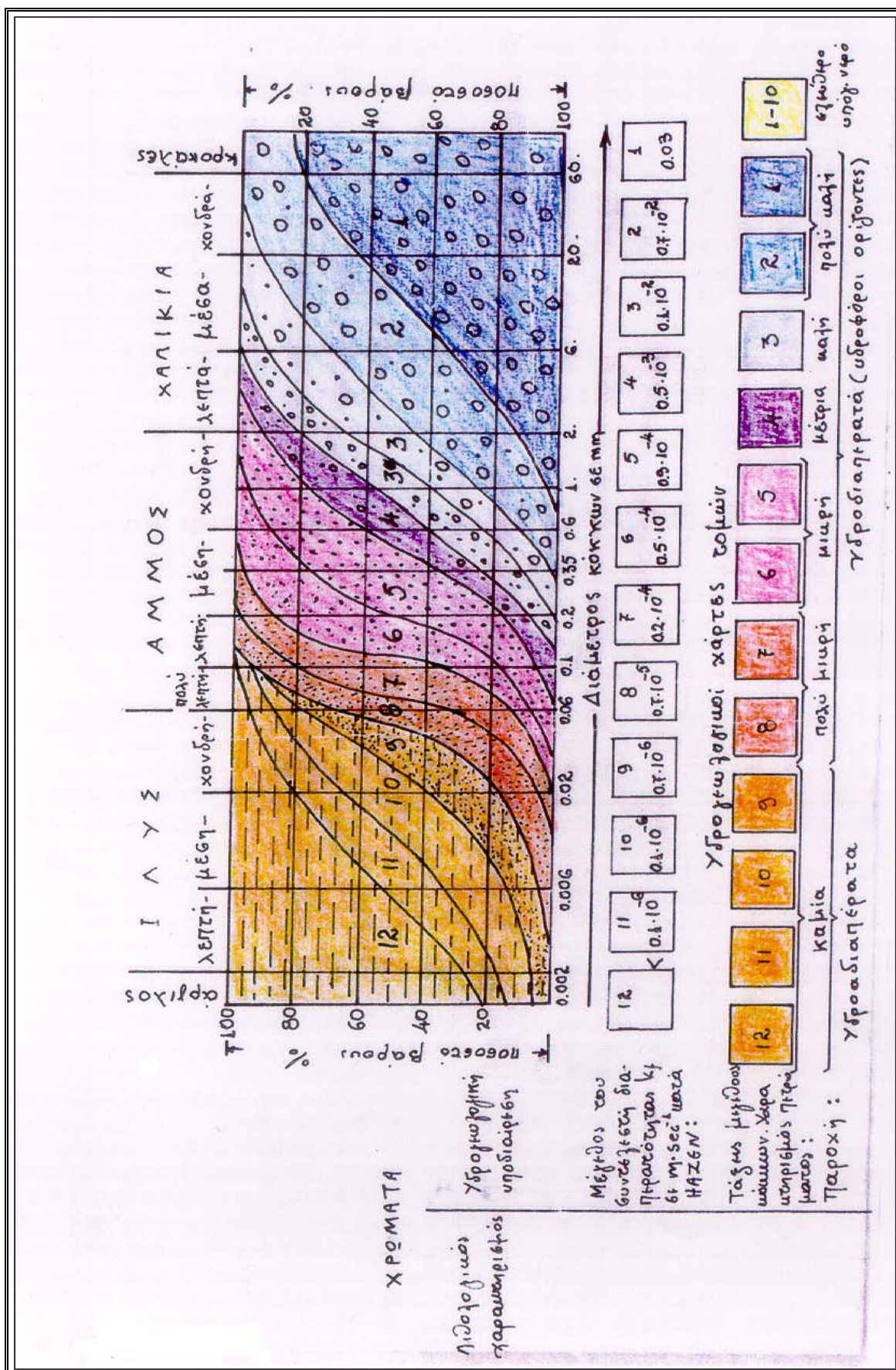
→ Η θερμοκρασία του νερού και του πετρώματος.

→ Τα εγκλείσματα αερίων.

→ Η συνίζηση, η ιλύωση και η διαγένεση του πορώδους μέσου.

B. Ρωγμώδη πετρώματα:

Σε αυτά στο ρόλο της κοκκομετρικής σύστασης αντιστοιχεί η πυκνότητα του δικτύου των ρωγμών, το εύρος αυτών όπως και η πυκνότητα και το μέγεθος των εγκοίλων. Έτσι οι καρστικές περιοχές και ιδίως οι πολύ καρστικοποιημένες μπορούν να έχουν πλούσια τέτοια δίκτυα. Όπως αναφέρθηκε η ρηξιγενής τεκτονική που δημιούργησε το δίκτυο αυτό των ρωγμών πρέπει να είναι γεωλογικά πρόσφατη και μάλιστα ζώσα, δηλαδή πρόσφατη και να συνεχίζεται ακόμα. Γιατί παλιά συστήματα ρωγμών επουλώνονται με το χρόνο είτε λόγω παρεμβολής νέου υλικού, είτε λόγω επαναπροσέγγισης των δύο τμημάτων που βρίσκονταν σε διάσταση. Στους καρστικούς όμως σχηματισμούς λόγω της ιδιότυπης υπόγειας καρστικής διάβρωσης το δίκτυο ρωγμών και εγκοίλων ουσιαστικά δεν φράσσεται. Εξ' άλλου από τους ρωγμώδεις σχηματισμούς πρακτικά μόνο οι καρστικοί μπορούν να έχουν μεγάλη περατότητα και πλούσια υδροφορία, οι δε άλλοι (γρανίτες, οφειόλιθοι) συνήθως



πολύ περιορισμένη. Μάλιστα στους αργιλούχους σχηματισμούς (αργιλικοί σχιστόλιθοι, μάργες, φλύσχεις, φυλλίτες κλπ) τα δίκτυα ρωγμών δεν έχουν κανένα πρακτικό ενδιαφέρον, γιατί επουλώνονται ταχύτατα και πλήρως.

Από τους άλλους παράγοντες που αναφέρθηκαν για τα πορώδη η θερμοκρασία και ο διαλυμένος αέρας έχουν τη σχετική επίδραση και στα ρωγμώδη, αλλά μάλλον μικρότερη από ότι στα πορώδη. Η καθίζηση υλικών μπορεί να φράζει μερικές επιφανειακές ρωγμές. Η συνίζηση πρακτικά δεν υπάρχει. Η διαγένεση έχει ήδη συντελεστεί στα ρωγμώδη.

Οι συνηθέστερες συντελεστές περατότητας για τα περισσότερα απαντώμενα πετρώματα είναι οι εξής:

<u>Σχηματισμοί</u>	<u>περατότητα k(m/sec)</u>
Αργίλλος, Αργίλλος πλαστική	$10^{-8} - 10^{-10}$
Πηλοί, Σαπροπηλοί	$10^{-6} - 10^{-9}$
Αμμόαργίλλοι	$10^{-4} - 10^{-6}$
Άμμοι λεπτόκοκκοι	$10^{-3} - 10^{-4}$
Άμμοι μεσόκοκκοι	$10^{-2} - 10^{-3}$
Άμμοι χονδρόκοκκοι	$10^{-1} - 10^{-2}$
Χαλίκια	$10^0 - 10^{-1}$
Άμμοι - Χαλίκια	$10^{-2} - 10^{-3}$
Άμμοι - Χαλίκια - Πηλοί	$10^{-3} - 10^{-4}$
Μάργες	$10^{-6} - 10^{-9}$
Φλύσχεις	$10^{-6} - 10^{-9}$
Ψαμμίτης	$10^{-3} - 10^{-5}$
Κροκαλοπαγή, Μολάσσειες	$10^{-4} - 10^{-5}$
Ασβεστόλιθοι, Μάρμαρα	$10^{-2} - 10^{-5}$
Σχιστόλιθοι διάφοροι	$10^{-6} - 10^{-9}$
Οφειόλιθοι	$10^{-5} - 10^{-8}$
Γνεύσιοι, Μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, Πρασινόλιθοι και παρεμφερή μεταμορφωμένα	$10^{-6} - 10^{-9}$
Γρανίτες και γενικά όξινοι πλουτωνίτες	$10^{-5} - 10^{-9}$
Ηφαιστειακά διάφορα	$10^{-6} - 10^{-9}$

Οι τιμές αυτές δίνουν την τάξη μεγέθους υπό την προϋπόθεση ότι ισχύει η κλίμακα της ομογένειας.

Στο νομόγραμμα του σχήματος 3.3.10 που παρατίθεται φαίνεται η διακύμανση της περατότητας των ρωγμώδων πετρωμάτων.

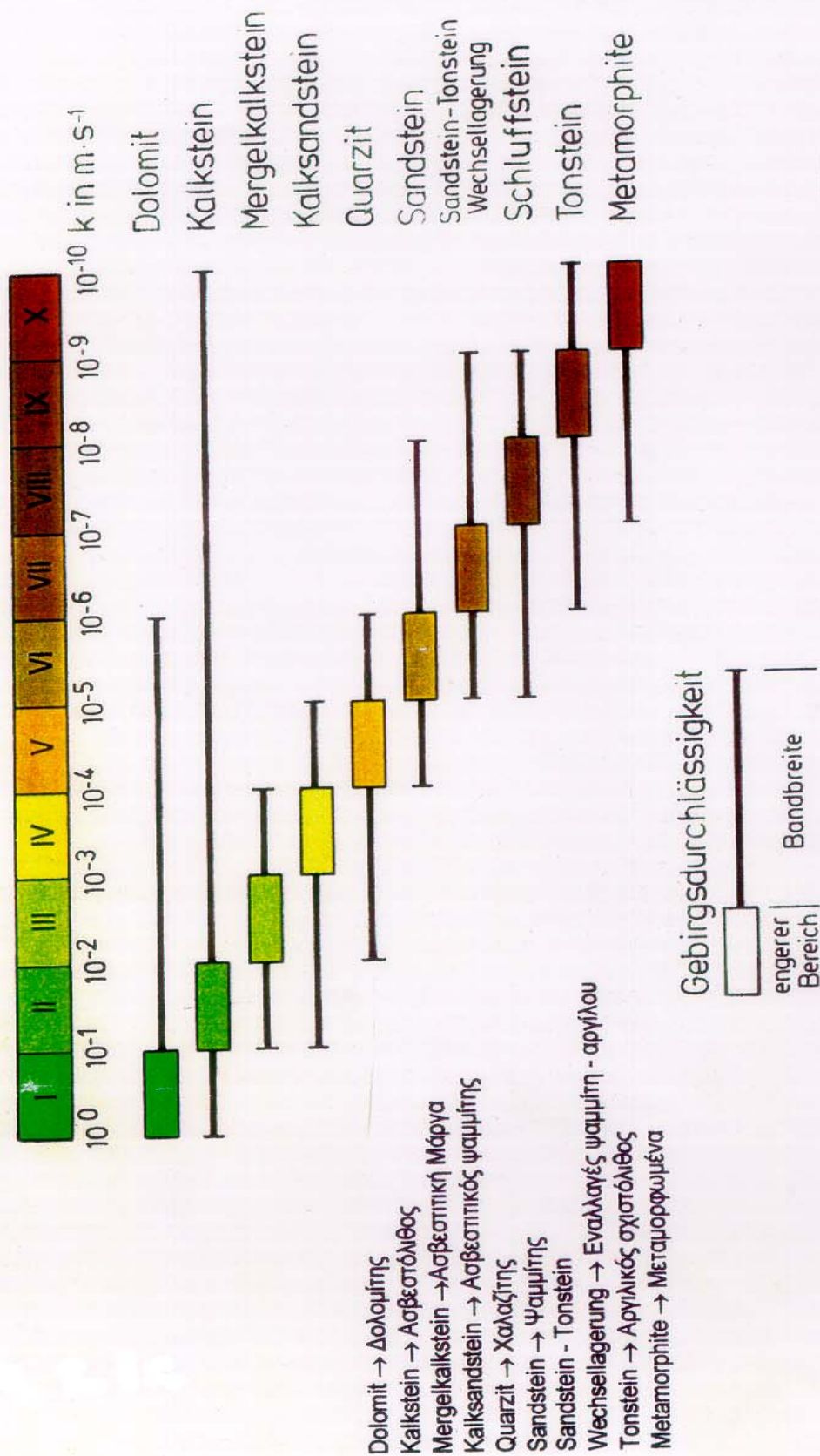
3.3.1.6 ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΒΡΑΧΟΜΑΖΑΣ

Η βραχομάζα χαρακτηρίζεται από τις εξής παραμέτρους ως προς τη συμπεριφορά του νερού σ' αυτή:

- Υδατοαπορροφητικότητα
- Υδατοκινητικότητα
- Διαπερατότητα

Η διαπερατότητα αναλύθηκε στην παράγραφο 3.3.1.5 στο μέρος Β που αναφέρεται η περατότητα των ρωγμώδων σχηματισμών.

Abb.4 Gebirgsdurchlässigkeiten in der Auflockerungszone der Festgesteine:



Σχήμα 3.3.10: Περαιτότητα k_f (m/sec) ρωγμώδων σχηματισμών καθώς και η απόκλιση αυτών των τιμών.

3.3.1.6.1 ΥΔΑΤΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η υδατοαπορροφητικότητα εξαρτάται αρχικά από τον όγκο που καταλαμβάνουν οι κατατμήσεις όταν αφαιρεθεί από αυτές το υλικό πλήρωσης. Γενικά η ικανότητα ενός πετρώματος να προσλαμβάνει νερό ελαττώνεται με το βάθος, ενώ είναι αυξημένη κοντά στην επιφάνεια λόγω αποσάθρωσης.

Αν οι συντελεστές ρωγμάτωσης της βραχομάζας κατά Stini για τα τρία συστήματα κατατμήσεων είναι:

$$K_{\alpha} = \frac{1}{d_{\alpha}}$$

$$k_{\beta} = \frac{1}{d_{\beta}}$$

$$k_{\gamma} = \frac{1}{d_{\gamma}}$$

και το εύρος των ανοιγμάτων των κατατμήσεων σε καθένα χωριστά σύστημα είναι f_{α} , f_{β} , f_{γ} , τότε ο όγκος του χώρου των κατατμήσεων θα είναι:

$$V_{kl} \text{ (cm}^3 \text{ / m}^3 \text{)} = 1000 * (f_{\alpha} * k_{\alpha} * k_{\alpha} + f_{\beta} * k_{\beta} * k_{\beta} + f_{\gamma} * k_{\gamma} * k_{\gamma}) = 1000 * \sum f^{(mm)} * k * k_e \quad \text{ή}$$

$$V_{kl} \text{ (%) } = \frac{1}{10} \sum f^{(mm)} * k * k_e$$

και εξαιτίας αυτού του όγκου η υδατοαπορροφητικότητα θα είναι $V_{kW} \text{ (%) } = \frac{n}{10} * k * k_e$

όπου n είναι το ενεργό πορώδες των υλικών που έχουν γεμίσει τις κατατμήσεις (L.. Muller 1963) και που ανάλογα με τη φύση τους παίρνει διάφορες τιμές όπως:

χαλίκια $n = 25\%$

άμμοι - αμμοχαλίκια $n = 20\%$

λεπτή άμμος - ψαμμίτης $n = 10\%$

άργιλλος με χαλίκια - συνεκτικά χαλίκια $n = 5\%$

άργιλλος $n = 3\%$

αλλούβια $n = 10 - 20\%$

Η πραγματική πρόσληψη νερού από τη βραχομάζα δεν εξαρτάται μόνο από την υδατοαπορροφητικότητά της αλλά και από το υδρολογικό ισοζύγιο της περιοχής.

$$P = I + R + E$$

Όπου I η κατείσδυση, R η επιφανειακή απορροή και E η εξατμισοδιαπνοή.

Η υδατοαπορροφητικότητά υπολογίζει την ποσότητα όχι όμως την ορμητικότητα και την διάρκεια των διεισδύσεων του νερού.

3.3.1.6.2 ΥΔΑΤΟΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

Ως υδατοκινητικότητα χαρακτηρίζεται η τελεία ρυθμισμένη διαπερατότητα της βραχομάζας.

Η κίνηση του νερού γίνεται μέσα στους πόρους στα κοκκώδη πετρώματα και διαμέσου των ρωγμών και των εγκοίλων στα ρωγμώδη. Στην δεύτερη περίπτωση, όταν το δίκτυο των κατατμήσεων είναι εξαιρετικά πυκνό και το άνοιγμά τους μικρό τότε οι ξεχωριστές αυτές κατατμήσεις συμπεριφέρονται σαν πόροι και η ροή του νερού σ' αυτές ακολουθεί το νόμο του Darcy.

Η ικανότητα μετακίνησης του νερού στα συστήματα κατατμήσεων, εξαρτάται κυρίως από το εύρος του ανοίγματος των κατατμήσεων αυτών. Η απόσταση, το βάθος, το εύρος, η κατανομή και γενικά η πυκνότητα των κατατμήσεων είναι διαφορετικά ανάλογα με το είδος του πετρώματος, τις συνθήκες απόθεσης του, τους κλιματικούς παράγοντες αλλά και την γεωλογική του ιστορία.

Επίσης εξαρτάται από το αν οι χώροι των κατατμήσεων είναι πληρωμένοι ή όχι από πηλό ή άργιλλο, υλικά μυλωνιτίωσης ή ορυκτολογικά υλικά όπως μεταλλεύματα, διοξείδιο του πυριτίου κλπ, αλλά και από την υδραυλική σύνδεση των κατατμήσεων. Επιπροσθέτως όσο πυκνότερο είναι το δίκτυο των κατατμήσεων και όσο μακρύτερες είναι αυτές, τόσο καλύτερη θα είναι η υδατοκινητικότητα του πετρώματος.

Η κίνηση του νερού δεν γίνεται με την ίδια ένταση προς όλες τις διευθύνσεις. Υπάρχουν δηλαδή διευθύνσεις με μεγαλύτερη υδατοκινητικότητα που οφείλεται στο ότι τα διαφορετικά συστήματα κατατμήσεων παρουσιάζουν διαφορετικές ιδιότητες και πυκνότητα. Κατατμήσεις που παρουσιάζουν μία ιδιάζουσα υδατοκινητικότητα είναι οι κατατμήσεις στρώσεις.

Κατά την διεύθυνση των μεγάλων κατατμήσεων παρατηρείται μεγαλύτερη ταχύτητα διείσδυσης του νερού, με αποτέλεσμα να προσκομίζονται μεγαλύτερες ποσότητες O_2 και CO_2 που αυξάνουν τη διάλυση των πετρωμάτων και ιδιαίτερα των ανοιχτών αυτών χώρων, με αποτέλεσμα να θεωρούνται ως δρόμοι κίνησης του υπόγειου νερού.

Το νερό είναι δυνατόν να σχηματίζει ένα κλειστό δίκτυο ροής ή να ρέει σε χωριστούς υδραγωγούς, ανάλογα με το βαθμό δικτύωσης και πλήρωσης των κατατμήσεων. Σε αυτό το γεγονός οφείλεται και η ανομοιόμορφη κατανομή του νερού που διείσδυσε, καθώς και η εμφάνιση ζωνών που παρουσιάζουν ιδιαίτερη υδροφορία.

Η διεύθυνση ροής του υπόγειου νερού εξαρτάται και από την κλίση του εδάφους, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν εναλλασσόμενες αποθέσεις υδροπερατών και λιγότερο υδροπερατών σχηματισμών.

Ο προσδιορισμός του δρόμου ροής, της κατεύθυνσης και της ταχύτητάς της γίνεται στο ύπαιθρο με τη χρήση χρωστικών ουσιών. Η χρωστική ουσία ρίχνεται στο νερό σε μία καθορισμένη θέση και προσδιορίζεται η έξοδός της σε κατάλληλα μακρά εβρισκόμενα σημεία παρατήρησης. Ο Eiselle (1966) σε 30 δοκιμές με χρωστικές παρατήρησε ότι στο 80% των περιπτώσεων το νερό ακολούθησε την κλίση των στρωμάτων, ενώ σε άλλες δοκιμές η πιο καλή υδροβατή ζώνη αντιστοιχούσε στα κύρια συστήματα κατατμήσεων.

Η ροή του υπόγειου νερού λαμβάνει χώρα κατά την διεύθυνση της μεγαλύτερης υδραυλικής κλίσης, δηλαδή κάθετα στις ισοπιεζομετρικές του καμπύλες. Επίσης η κατανομή, το εύρος του ανοίγματος, το μέγεθος καθώς και το απόθεμα του νερού που φέρον οι κατατμήσεις προσδιορίζουν την μορφή της ελεύθερης επιφάνειας του υπόγειου νερού. Όσο πιο μικρές και ομοιόμορφες είναι οι αποστάσεις μεταξύ των κατατμήσεων, όσο πιο ισομεγέθη είναι τα ανοίγματά τους και όσο πιο καλά είναι δικτυωμένες, τόσο πιο απλή είναι η μορφή της στάθμης αυτής. Επομένως ο προσδιορισμός της βοηθάει στην κατανόηση της ύπαρξης ή όχι κατατμημένων ζωνών.

Οι υδροπερατές ζώνες στη φύση επιτρέπουν μια κίνηση νερού κατά προτίμηση. Όσο ελαττώνεται το μέγεθος των θραυσμογενών τμημάτων του πετρώματος, δηλαδή παρατηρείται αύξηση στο δίκτυο κατατμήσεων, ή ελάττωση στην απόσταση ανάμεσα στις κατατμήσεις στην περιοχή γύρω στα 10 cm, τόσο επιτυγχάνεται μια ικανοποιητική ομοιογένεια στα στερεά πετρώματα που επιτρέπει σε ικανοποιητικό βαθμό τον υπολογισμό της διαπερατότητας.

Τόσο η ανισοτροπία όσο και η ανομοιογένεια, προσδιορίζουν τις θέσεις όπου εμφανίζονται οι πηγές, αλλά και την πορεία της ελεύθερης στάθμης του νερού μέσα στη βραχομάζα.

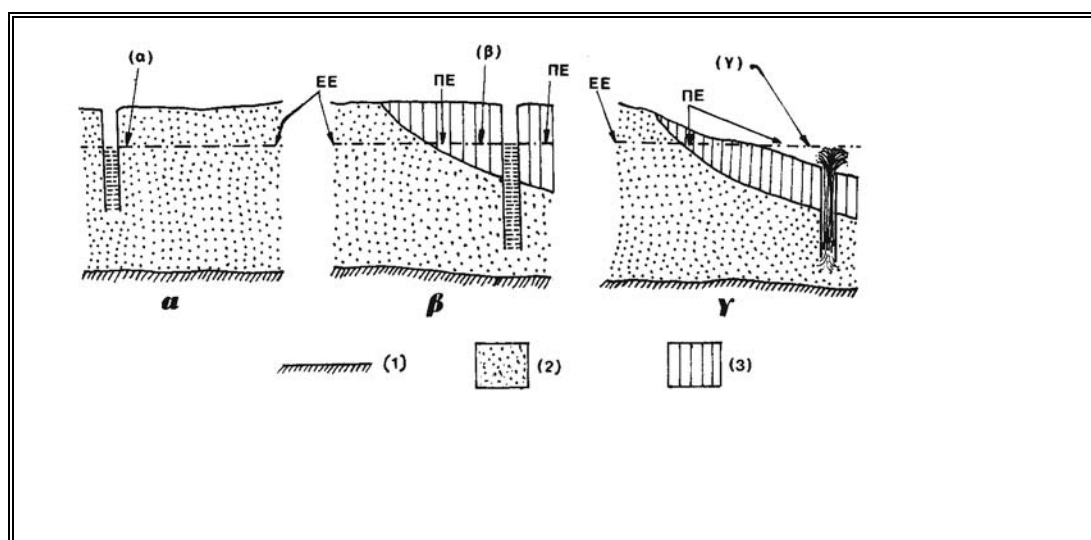
3.3.1.7 ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΤΡΩΜΑΤΑ

Υδροφόρο στρώμα ή υδροφορέας είναι ένας γεωλογικός σχηματισμός ή στρώμα ο οποίος πληρεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις για να είναι κορεσμένος με νερό. Λέγεται και ταμειυτήρας και το νερό το οποίο είναι αποθηκευμένο σ' αυτόν είναι εκμεταλλεύσιμο.

Υδροφόρος ορίζοντας είναι η επιφάνεια όπου η πίεση του νερού είναι ίση με την ατμοσφαιρική. Πρόκειται δηλαδή για την υδροστατική στάθμη.

- *Ελεύθερο υδροφόρο στρώμα*: σχηματίζεται από ένα περατό γεωλογικό στρώμα όταν η κορεσμένη ζώνη καταλαμβάνει τμήμα αυτού του στρώματος. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των υδροφόρων στρωμάτων είναι ότι η περατότητα της κορεσμένης ζώνης και η περατότητα της μη κορεσμένης είναι ίσες. Το ανώτερο τμήμα της κορεσμένης ζώνης λέγεται ελεύθερη επιφάνεια (Ε.Ε) ή ελεύθερη στάθμη ή υδροστατική στάθμη. Η επιφάνεια αυτή δεν εμποδίζεται από αδιαπέρατους σχηματισμούς να πάρει τη φυσική της θέση και βρίσκεται υπό την επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης.
- *Εγκλωβισμένο ή υπό πίεση υδροφόρο στρώμα*: σχηματίζεται από ένα περατό γεωλογικό στρώμα πλήρως κορεσμένο το οποίο υπόκειται ενός αδιαπέρατου στρώματος το οποίο έχει πολύ μικρή περατότητα (πρακτικά μη μετρήσιμη). Το υπό πίεση υδροφόρο στρώμα δεν έχει ελεύθερη επιφάνεια και η πίεση που επικρατεί στην οροφή αυτού του στρώματος είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Η φυσική θέση της επιφάνειας του νερού, όπως αποκαλύπτεται σε ένα πιεζόμετρο, δηλαδή η επιφάνεια την οποία τείνει να καταλάβει η ανώτερη στάθμη του νερού λέγεται πιεζομετρική επιφάνεια (στάθμη) Π.Ε και βρίσκεται πάνω από την αδιαπέρατη οροφή του υδροφόρου στρώματος.
- *Αρτεσιανό υδροφόρο στρώμα*: είναι μία υποπερίπτωση των υπό πίεση υδροφόρων στρωμάτων όταν η πιεζομετρική στάθμη βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αποτέλεσμα αυτού είναι να σχηματίζεται πίδακας, λόγω υδροστατικής πίεσης, όταν ανοιχτεί οπή από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι το υδροφόρο στρώμα.

Όλα τα παραπάνω φαίνονται στο επόμενο σχήμα 3.3.11.



Σχήμα 3.3.11: Τύποι υδροφόρων οριζόντων: α) ελεύθερος, β) υπό πίεση, γ) αρτεσιανός, ΕΕ = Ελεύθερη Επιφάνεια, ΠΕ = Πιεζομετρική Επιφάνεια, 1) αδιαπέρατο υπόβαθρο, 2) υδροφόρο στρώμα, 3) αδιαπέρατος σχηματισμός.

3.3.1.7.1 ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΥΔΡΟΦΟΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ (ΓΕΝΙΚΑ)

Καρστικό υδροφόρο σύστημα είναι το σύστημα εκείνο που συνίσταται εξολοκλήρου ή κατά κύριο λόγο από καρστικούς (ανθρακικούς) σχηματισμούς.

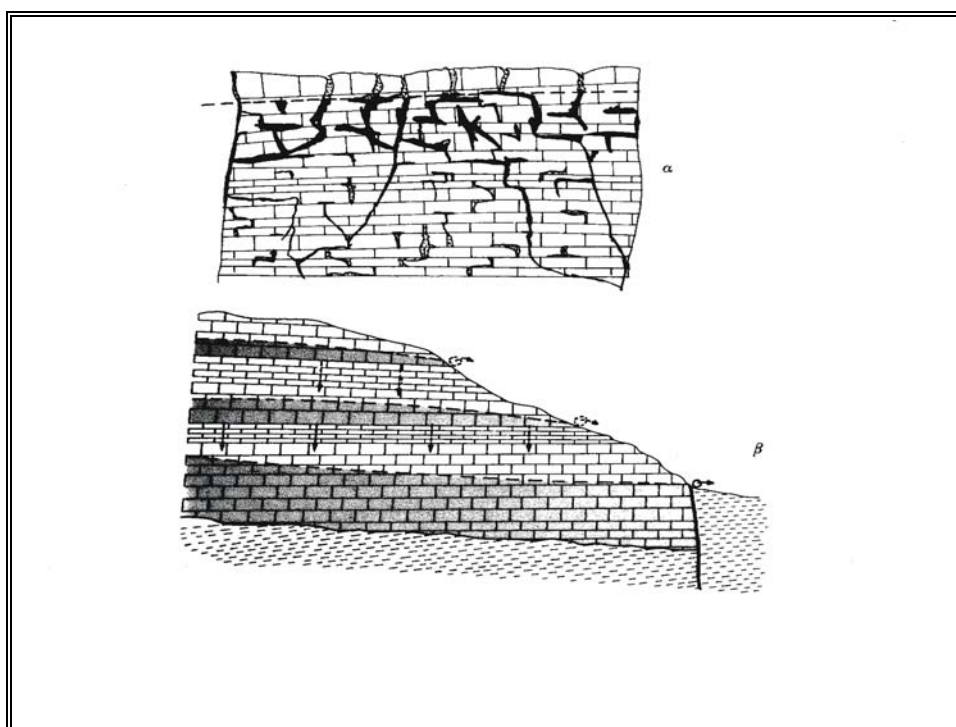
Η συνδυασμένη δράση της ρωγμάτωσης και της διάλυσης από το νερό που κυκλοφορεί στις ρωγμές δημιουργεί στα καρστικά πετρώματα δίκτυο αγωγών το οποίο υπό ορισμένες προϋποθέσεις μπορεί να προσομοιωθεί με έναν υδροφόρα. Το χαρακτηριστικό του είναι η μεγάλη ανισοτροπία και ανομοιογένεια και οι μεγάλες ταχύτητες του νερού (μέχρι και 28 km/ημέρα) με αποτέλεσμα να μην ισχύουν κατά κανόνα στα καρστικά συστήματα οι νόμοι του Darcy και του Ghyben - Herzberg. Τα καρστικά συστήματα χαρακτηρίζονται από διπλό πορώδες (πορώδες των καρστικών αγωγών - πορώδες των ανθρακικών τεμαχών). Ο βαθμός καρστικοποίησης υποδηλώνεται από την ύπαρξη εξωκαρστικών μορφών. Η υδροφορία των καρστικών συστημάτων ελέγχεται από τα επίπεδα βάσης, τοπικά (στεγανοί σχηματισμοί υποκείμενοι του καρστικού συστήματος, στεγανά διαφράγματα, σώματα επιφανειακού νερού, προσχωματικοί υδροφόροι), γενικά (στάθμη θάλασσας), ή απόλυτα (πεδίο ανάβλυσσης καρστικών υποθαλάσσιων πηγών).

Οι υδροφόροι στα καρστικά συστήματα ουσιαστικά είναι ένα δίκτυο αγωγών και ρωγμών που επικοινωνούν με ασυνεχή υδροστατική επιφάνεια. Αυτή χαρακτηρίζεται από μεγάλη εποχική διακύμανση ($\exists$ 50 m) εξαιτίας μικρού συντελεστή εναποθήκευσης S και μεγάλης υδραυλικής αγωγιμότητας T.

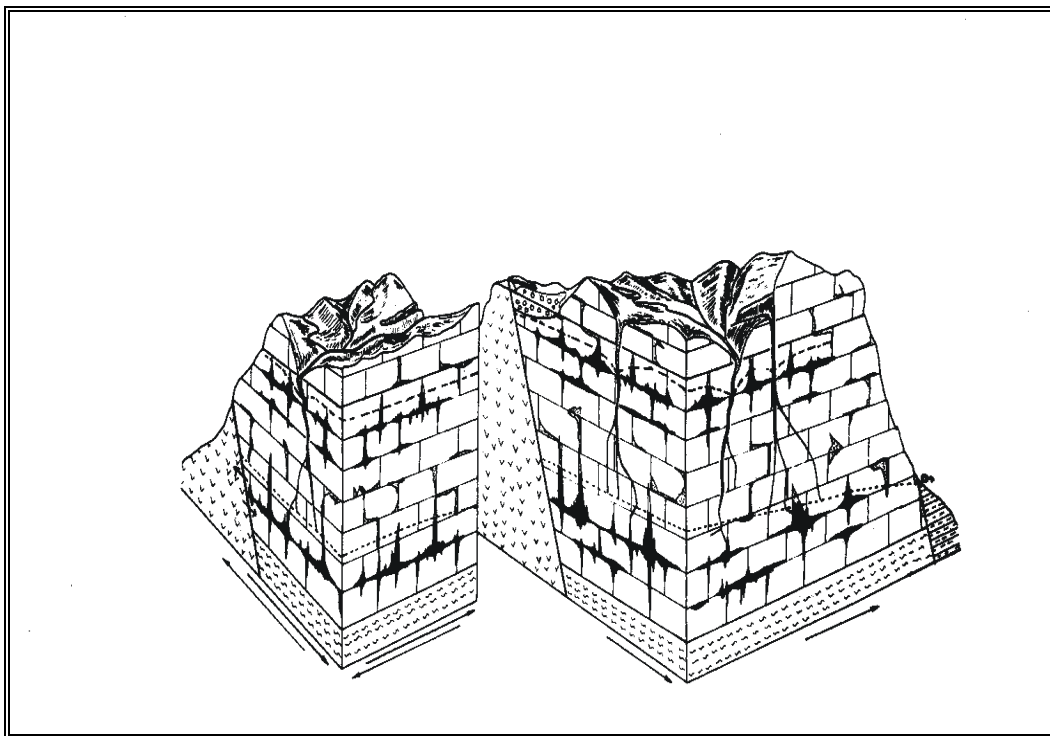
Η τοποθέτηση των γεωτρήσεων πρέπει να γίνεται μετά από σίγουρη γνώση του επιπέδου βάσης της καρστικής διάβρωσης και κατά προτίμηση κοντά σε ρήγματα ή διασταυρώσεις ρηγμάτων.

Το παράκτιο καρστικό σύστημα, όταν είναι ανοιχτό προς τη θάλασσα είναι συνήθως ρυπασμένο σε βάθος μερικών km από την ακτή. Ανάλογα και οι καρστικές πηγές είναι συχνά αλμυρές. Η βασική αιτία της ρύπανσης του καρστικού νερού από τη θάλασσα είναι η τεκτονική. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις υποθαλάσσιων πηγών με γλυκό νερό.

Στα σχήματα 3.3.12 και 3.3.13 δίνονται παραστατικά και σχηματικά πρότυπα καρστικού υδροφόρου συστήματος.



Σχήμα 3.3.12 Καρστικό υδροφόρο στρώμα α) παραστατική απεικόνιση, β) σχηματική απεικόνιση.



Σχήμα 3.3.13: Στερεοδιάγραμμα που απεικονίζει ένα καρστικό υδροφόρο στρώμα.

3.3.1.7.2 ΠΡΟΣΧΩΣΙΓΕΝΕΙΣ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ

Σχεδόν το 90% των υδροφόρων που εκμεταλλεύονται αποτελούνται από χαλαρά κλαστικά ιζήματα, κυρίως χαλίκια και άμμους. Αυτό οφείλεται στους εξής λόγους:

- Βρίσκονται σε πλεονεκτικές θέσεις από άποψη εμπλουτισμού από τα υδρορρέματα, τα ποτάμια και τις λίμνες.
- Η ειδική απόδοσή τους είναι σχετικά μεγάλη.
- Βρίσκονται σε κοιλάδες όπου οι στάθμες του νερού είναι κοντά στη επιφάνεια του εδάφους και κατά συνέπεια η άντληση γίνεται από μικρό βάθος.
- Η υδραυλική τους αγωγιμότητα είναι σχετικά μεγαλύτερη από όλους τους άλλους σχηματισμούς με εξαίρεση τους καρστικούς.
- Είναι ευκολοδιάτρητοι, έτσι και η έρευνα και η εκμετάλλευση είναι γρήγορες και φτηνές. Ο λόγος όμως αυτός τείνει να ξεπεραστεί σήμερα λόγω της σύγχρονης τεχνικής της διάτρησης.

Οι καταλληλότερες θέσεις κατασκευής υδρογεωτρήσεων είναι:

- Κοντά σε υδρορρέματα όπου τα υλικά είναι χοντρόκοκκα και εξασφαλίζεται ο επαγωγικός εμπλουτισμός.
- Οι περιοχές τοπογραφικών ταπεινώσεων
- Τα κατάντη τμήματα αλλουβιακών κώνων
- Οι αναβαθμίδες πλήρωσης
- Οι παλιές κοίτες υδρορρεμάτων
- Περιοχές όπου οι αδρομερείς προσχώσεις έχουν μεγαλύτερο πάχος.
- Οι παρυφές αλλουβιακών πεδιάδων αν το πάχος των προσχώσεων είναι σημαντικό.

3.3.1.7.3 ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ ΣΕ ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΜΕΝΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Στα κρυσταλλικά πετρώματα η απόδοση των γεωτρήσεων δεν αυξάνει σε βάθη κάτω από 100 m και οι παροχές τους είναι μερικά m^3 έως $10 m^3/h$.

Η υδροφορία γίνεται ακόμα πιο ασήμαντη αν έχουν εξαλλοιωθεί οι άστριοι (καολινιτίωση, σωσσυριτίωση, μπεντονιτοποίηση). Πετρώματα με αλβίτες έχουν καλύτερη απόδοση από πετρώματα με ολιγόκλαστο. Η αποσάθρωση χωρίς εξαλλοίωση αυξάνει την υδροπερατότητα αλλά περιορίζεται στα επιφανειακά στρώματα. Καλύτερες αποδόσεις πετυχαίνονται στη ζώνη μερικής αποσάθρωσης. Χαρακτηριστικό είναι ότι η απόδοση των γεωτρήσεων μειώνεται σημαντικά με το χρόνο.

Ζώνες διάρρηξης, διασταυρώσεις ρηγμάτων και ζώνες αποσάθρωσης στις χαμηλά τοπογραφικές περιοχές αποτελούν τις καλύτερες θέσεις για την τοποθέτηση γεωτρήσεων.

3.3.1.7.4 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΣΕ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα τριτογενή ηφαιστειακά πετρώματα, όταν δεν έχουν υποστεί εξαλλοίωση παρουσιάζουν σημαντική μέχρι μεγάλη υδροφορία λόγω έντονου κερματισμού. Όταν οι τόφφοι παρουσιάζονται έντονα καολινιτωμένοι και μπεντονιτοποιημένοι είναι πρακτικά στεγανοί. Οι μεταηφαιστειακές ζώνες διάρρηξης παρουσιάζουν σημαντική υδροφορία ενώ η υδροφορία των ηφαιστιτών μικραίνει όσο αυξάνει το βάθος και η ηλικία τους.

3.3.1.7.5 ΥΔΡΟΦΟΡΙΑ ΣΤΑ ΣΥΝΕΚΤΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ (πλην ανθρακικών)

Τα κοκκώδη ιζήματα (ψαμμίτες - κροκαλοπαγή) προέρχονται από συγκόλληση χαλαρών υλικών (άμμων - χαλικιών) και η υδρογεωλογική τους συμπεριφορά πλησιάζει εκείνη των τελευταίων ανάλογα με το βαθμό διαγένεσης, τη φύση του συγκολλητικού υλικού κλπ. Οι αποδόσεις τους είναι γενικά μεγάλες και γίνονται μεγαλύτερες όσο αυξάνει η κοκκομετρία, ελαττώνεται η διαγένεση και η συγκολλητική ύλη περιέχει χονδρότερα υλικά (άμμοι). Οι ιλλίτες παρουσιάζουν την ίδια υδρογεωλογική συμπεριφορά με τους ιλείς.

Τα μαργα'ικά πετρώματα (μάργες - μαργα'ικοί ασβεστόλιθοι) δημιουργούν φτωχό υδροφόρο (0,5 - 7 lit/sec) που περιορίζονται στα 8 - 10 μέτρα από την επιφάνεια. Σημαντική υδροφορία παρουσιάζουν τα αμμούχα μέλη τους.

Η υδροφορία των συνεκτικών ιζημάτων ελαττώνεται με την ηλικία τους και αυξάνει με τον βαθμό κατακερματισμού τους. Ζώνες διασταύρωσης ρηγμάτων αποτελούν τις καλύτερες θέσεις για την τοποθέτηση γεωτρήσεων.

3.3.1.8 ΠΗΓΕΣ

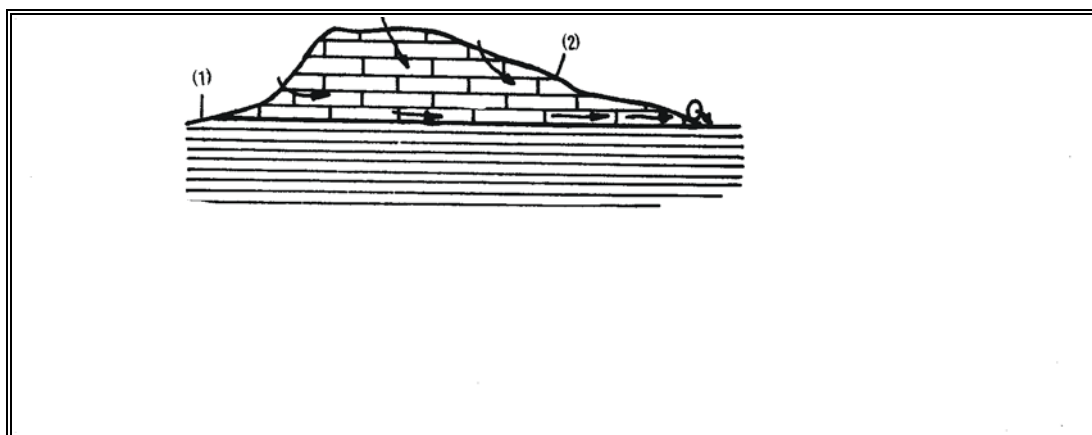
Μία πηγή είναι μία θέση στην οποία υπάρχει φυσική εκφόρτιση υπογείου νερού από το πέτρωμα ή το έδαφος σχηματίζοντας ή ρέοντας προς <<επιφανειακό σώμα νερού>>. Μία διάχυτη εκφόρτιση είναι μία θέση όπου η εκφόρτιση υπογείου νερού δεν είναι συγκεντρωμένη σε καθορισμένο χώρο αλλά παίρνει τη μορφή <<διάχυτης υγρασίας>> η οποία στη συνέχεια χάνεται με τη διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής.

Πολυάριθμες ταξινομήσεις των πηγών έχουν προταθεί ανάλογα με τα υδραυλικά τους χαρακτηριστικά (αρτεσιανές ή μη αρτεσιανές), την περιεκτικότητα TDS ή ακόμα και ορυκτών ουσιών στο νερό τους (μεταλλικές ή μη μεταλλικές πηγές), την θερμοκρασία τους (θερμές ή ακρατοπηγές), το μέγεθος της παροχής

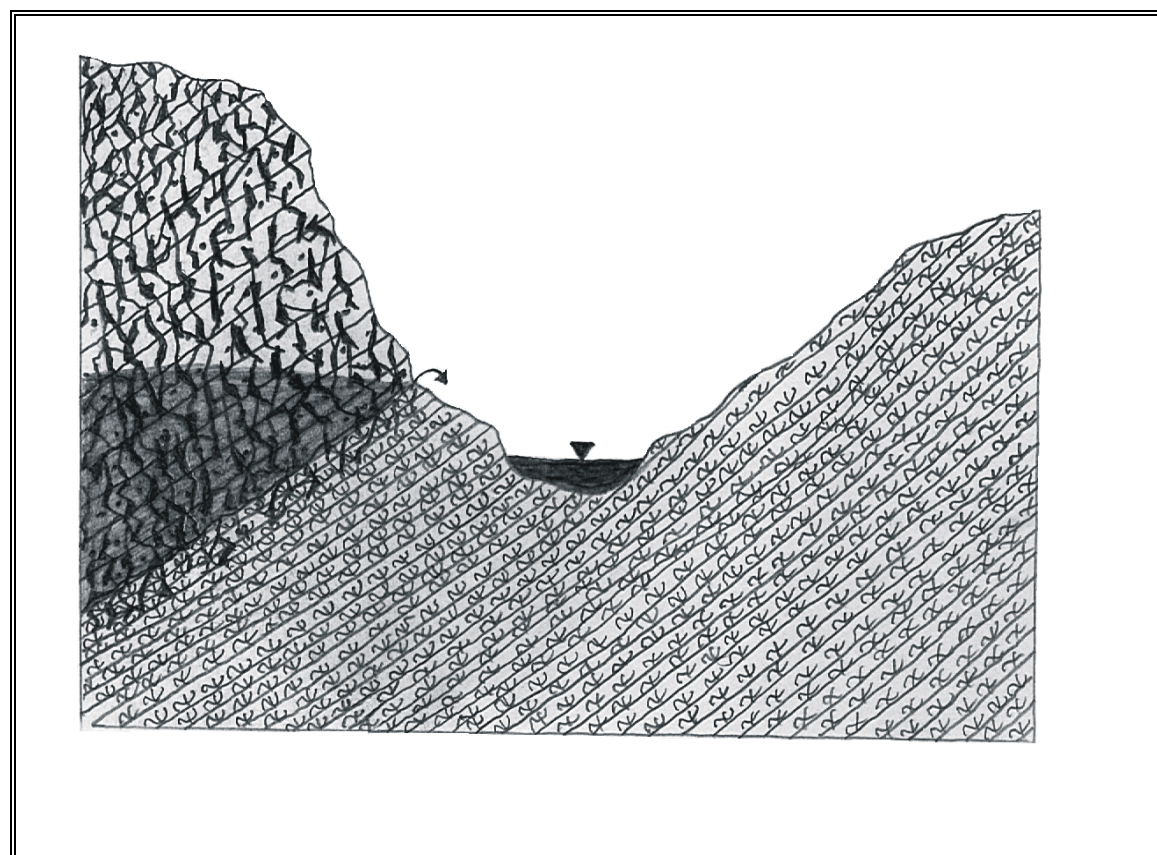
τους, τη διάρκεια ροής τους (μόνιμες, παροδικές, περιοδικές) και τέλος την τοπογραφική και γεωλογική τους θέση.

Στον πίνακα 3.3.1 δίνεται μία ταξινόμηση των πηγών κατά Heath - Trainer (1968).

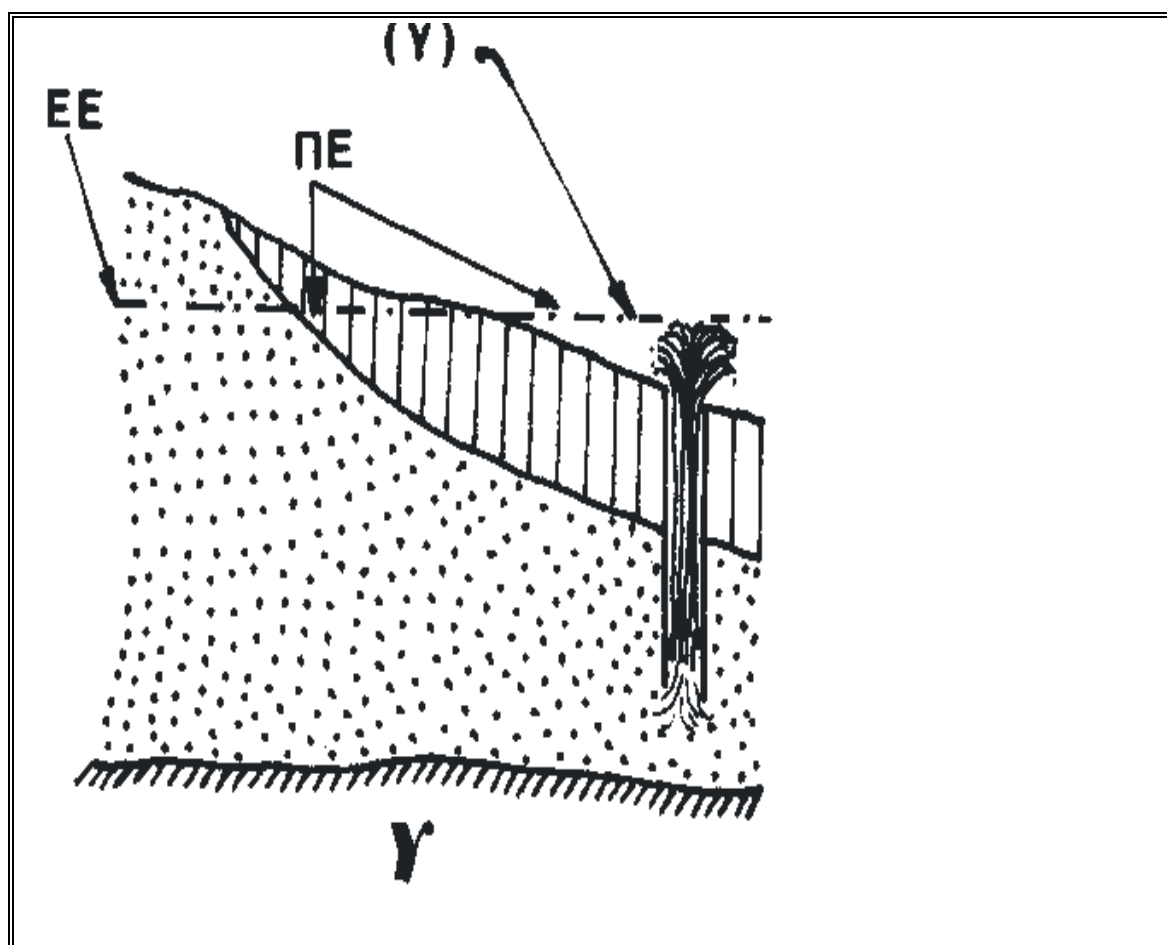
Στην συνέχεια ακολουθούν ορισμένα σκαριφήματα και η περιγραφή τους για την κατανόηση του μηχανισμού εκδήλωσης των πηγών. (Σχήματα 3.3.14 - 3.3.17)



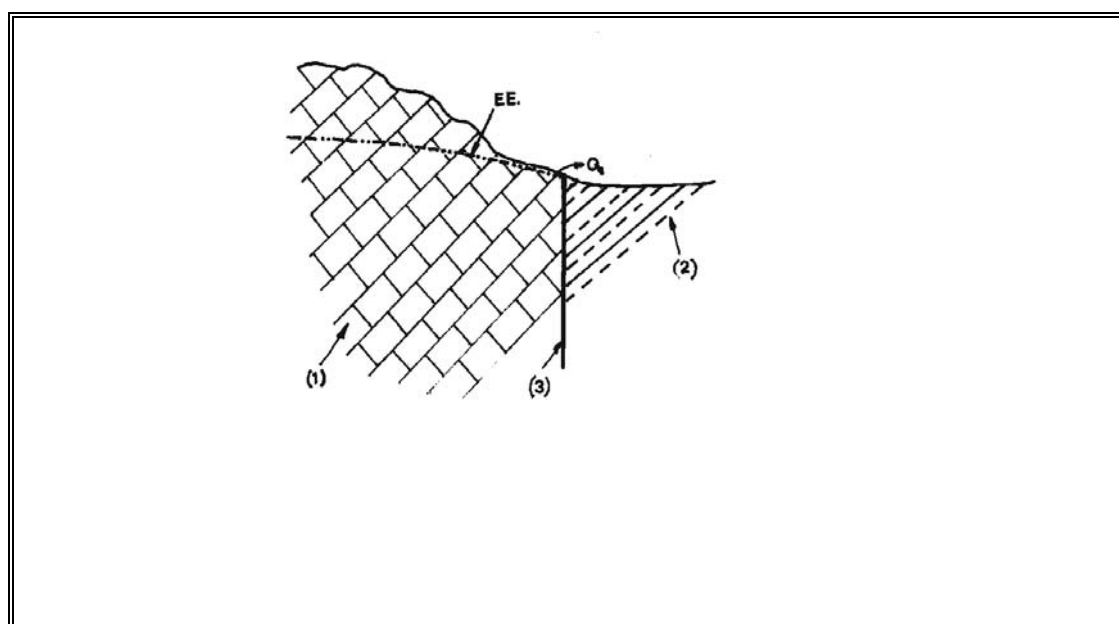
Σχήμα 3.3.14: Πηγή επαφής μεταξύ του περατού (2) και του αδιαπέρατου (1) σχηματισμού.



Σχήμα 3.3.15: Πηγή υπερχείλισης μεταξύ του αδιαπέρατου υποβάθρου κάτω και του κατακερματισμένου πετρώματος πάνω (πηγές στο Λάκκο του Νευροκόπου).



Σχήμα 3.3.16: Αρτεσιανή πηγή.



Σχήμα 3.3.17: Πηγή που έχει δημιουργηθεί λόγω ρήγματος, (1) διαπερατός σχηματισμός π.χ. ασβεστόλιθος, (2) αδιαπέρατος σχηματισμός, (3) ρήγμα.

Πίνακας 3.3.1: Ταξινόμηση πηγών (Heath - Trainer 1968)

Τύπος πετρώματος	Γεωλογική θέση	Τύπος πορώδους	Υδραυλικός χαρακτήρας	Αντιπροσωπευτικές πηγές
1. Παχύς υδροπερατός σχηματισμός από χαλαρά αμμόδη ή χαλικώδη υλικά	Υδροφόρος από παχύ υδροπερατό. Η παρουσία δεν επηρεάζεται από τους υποκείμενους σχηματισμούς	Πορώδες εξ' ολοκλήρου ή κυρίως πρωτογενές	Ελεύθερος υδροφόρος	Πηγές στις κοίτες υδρορρεμάτων, στις βάσεις των όχθων και στις ταπεινώσεις των αλλουβιακών κώνων

Οι πηγές της κατηγορίας 1 συνήθως εμφανίζονται εκεί που η υδροστατική επιφάνεια <<κόβει>> την τοπογραφική

2α. υδροπερατός σχηματισμός πολύ μικρού πάχους	Υδροφόρος με τη μορφή "καλύμματος"(υδροπερατού υλικού, συνήθως μικρής κλίσης) πάνω σε στεγανό υλικό	Επικρατεί το πρωτογενές πορώδες	Ελεύθερος υδροφόρος	Οι πηγές εμφανίζονται κάτω από "mesas" στα πόδια πλευρικών κορημάτων και κατολισθήσεων ή στον στεγανό πυθμένα των κοιλάδων
2b. Εναλλαγές υδροπερατών και υδατοστεγανών σχηματισμών.	Υδροφόρος με τη μορφή διαπερατού στρώματος παρενεστωμένου μεταξύ στεγανών στρωμάτων	Επικρατεί το πρωτογενές πορώδες	Αρτεσιανός υδροφόρος	Πηγές κατά της μήκος της εμφάνισης (κυρίως στη βάση) ψαμμιτού παρενεστωμένου μεταξύ σχιστολίθων-άμμων, μεταξύ αργίλλων, ηφαιστειακής σκόνης, μεταξύ λάβας κλπ

Οι πηγές της κατηγορίας 2 απαντούν στην επαφή διαπερατών και στεγανών στρωμάτων (πηγές επαφής).

3. Ρωγματωμένο πέτρωμα	Ο υδροφόρος μεταβιβάζει το νερό μέσα από ρωγμές	Δευτερογενές πορώδες (ρήγματα, διακλάσεις, κατατμήσεις)	Ελεύθερος ή αρτεσιανός υδροφόρος	Οι πηγές εξέρχονται από ρήγματα, ζώνες διάρρηξης, κατατμήσεις, ή από το έδαφος κοντά σ' αυτές τις ρωγμές
Διαλυτά συμπαγή πετρώματα	Καρστικός υδροφόρος	Ρωγμές διευρυμένες από τη διάλυση	Ελεύθερος ή αρτεσιανός υδροφόρος	Πηγές που εξέρχονται από καρστικούς αγωγούς (ασβεστόλιθοι, δολομίτες)

Οι πηγές των κατηγοριών 3 και 4 απαντούν εκεί όπου συστήματα ρωγμών που επικοινωνούν μεταξύ τους φθάνουν στην επιφάνεια του εδάφους.

5. Λάβα	Υδροφόρο ηφαιστειακό πέτρωμα που διατέμνεται από σωλήνες, φυσαλίδες και ρωγμές	Σωλήνες ροής και δευτερογενές (ρωγμές) μαζί με πρωτογενές πορώδες	Ελεύθερος ή αρτεσιανός υδροφόρος	Πηγές προερχόμενες από ροή λάβας
---------	--	---	----------------------------------	----------------------------------

Τέλος θα ήταν σκόπιμο να αναφερθεί και η σχέση της παροχής μιας πηγής με το χρόνο. Ο Maillet (1904), ο οποίος ήταν υπεύθυνος ύδρευσης του Παρισιού, παρομοίωσε τη λειτουργία μιας πηγής με την εκκένωση ενός ρεζερβουάρ και παρατήρησε ότι όσο ψηλότερη είναι η στάθμη του νερού τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η παροχή της πηγής.

Η σχέση της παροχής q_t και του χρόνου t είναι εκθετική και δίνεται από τη σχέση

$$q_t = q_0 e^{-at}$$

όπου t είναι ο χρόνος σε ημέρες και το a ο συντελεστής στείρευσης. Ο συντελεστής στείρευσης δείχνει πόσο μειώθηκε η παροχή μιας πηγής σε σχέση με την προηγούμενη μέρα και εξαρτάται από την περατότητα k , την υδραυλική αγωγιμότητα T , τον συντελεστή εναποθήκευσης S , από την έκταση και το γεωμετρικό σχήμα του υδροφόρου στρώματος.

3.3.1.8.1 ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΠΗΓΕΣ (νόμος Ghyben - Herzberg)

Οι παράκτιοι υδροφόροι κάτω από φυσικές συνθήκες αποστραγγίζονται προς τη θάλασσα. Οι έντονες αντλήσεις στις παράκτιες γεωτρήσεις ελαττώνουν ή αναστρέφουν τη φυσική υδραυλική βαθμίδα προς τη θάλασσα. Το φαινόμενο αυτό της μείωσης ή αναστροφής της υδραυλικής κλίσης μπορεί να προκαλέσει τη διείσδυση του θαλασσινού νερού προς την ενδοχώρα. Έτσι οι αντλούμενες υδρογεωτρήσεις μολύνονται από το θαλασσινό νερό με καταστρεπτικό αποτέλεσμα για τους υδροφόρους ορίζοντες.

Το γλυκό και το θαλασσινό νερό δεν αναμιγνύονται δεδομένου ότι έχουν διαφορετική πυκνότητα Σχ. 3.3.18. Το ειδικά βαρύτερο νερό θαλασσινό ($1,025 \text{ gr/cm}^3$) αγωνίζεται να εισέλθει μέσα στο γλυκό νερό ($1,0 \text{ gr/cm}^3$), κάτω ακριβώς από αυτό, και να σχηματίσει αλμυρό υδροφόρο ορίζοντα. Εφόσον δεν παρατηρείται καμία ανωμαλία το γλυκό νερό επιπλέει πάνω στο αλμυρό και παρουσιάζεται μία ισορροπία μεταξύ των δύο αυτών υδροφόρων οριζόντων. Η επιφάνεια διαχωρισμού γλυκού/αλμυρού νερού καλείται "διεπιφάνεια", κλίνει μέσα στον υδροφόρο ορίζοντα προς την ηπειρωτική πλευρά και έχει συνήθως μία ελαφρά κοίλη μορφή. Η θέση αυτή της διαχωριστικής επιφάνειας διαπιστώθηκε από τους Ghyben - Herzberg με παρατηρήσεις στις Ολλανδικές ακτές. Η θεωρία τους αυτή στηρίχθηκε στην υδροστατική ισορροπία.

Το βάθος της διεπιφάνειας, σύμφωνα με τους Ghyben - Herzberg είναι:

$$z_0 = \frac{\rho_w}{\rho_s - \rho_w} h$$

όπου ρ_w , ρ_s είναι οι πυκνότητες του γλυκού και του θαλασσινού νερού αντίστοιχα, z_0 το βάθος του γλυκού νερού κάτω από τη στάθμη της θάλασσας (βάθος διεπιφάνειας), h ύψος της στάθμης του γλυκού νερού πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Επειδή $\rho_w = 1,0 \text{ gr/cm}^3$ και $\rho_s = 1,025 \text{ gr/cm}^3$ η σχέση Ghyben - Herzberg γίνεται:

$$z_0 > 40h$$

Αν x_0 είναι το εύρος του μετώπου από το οποίο ρέει γλυκό νερό προς τη θάλασσα μπορεί να υπολογιστεί η παροχή, ανά μονάδα μήκους, q του τελευταίου από τη σχέση

$$q = -2x_0 k \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

όπου k η διαπερατότητα του υδροφόρου και $z=0$.

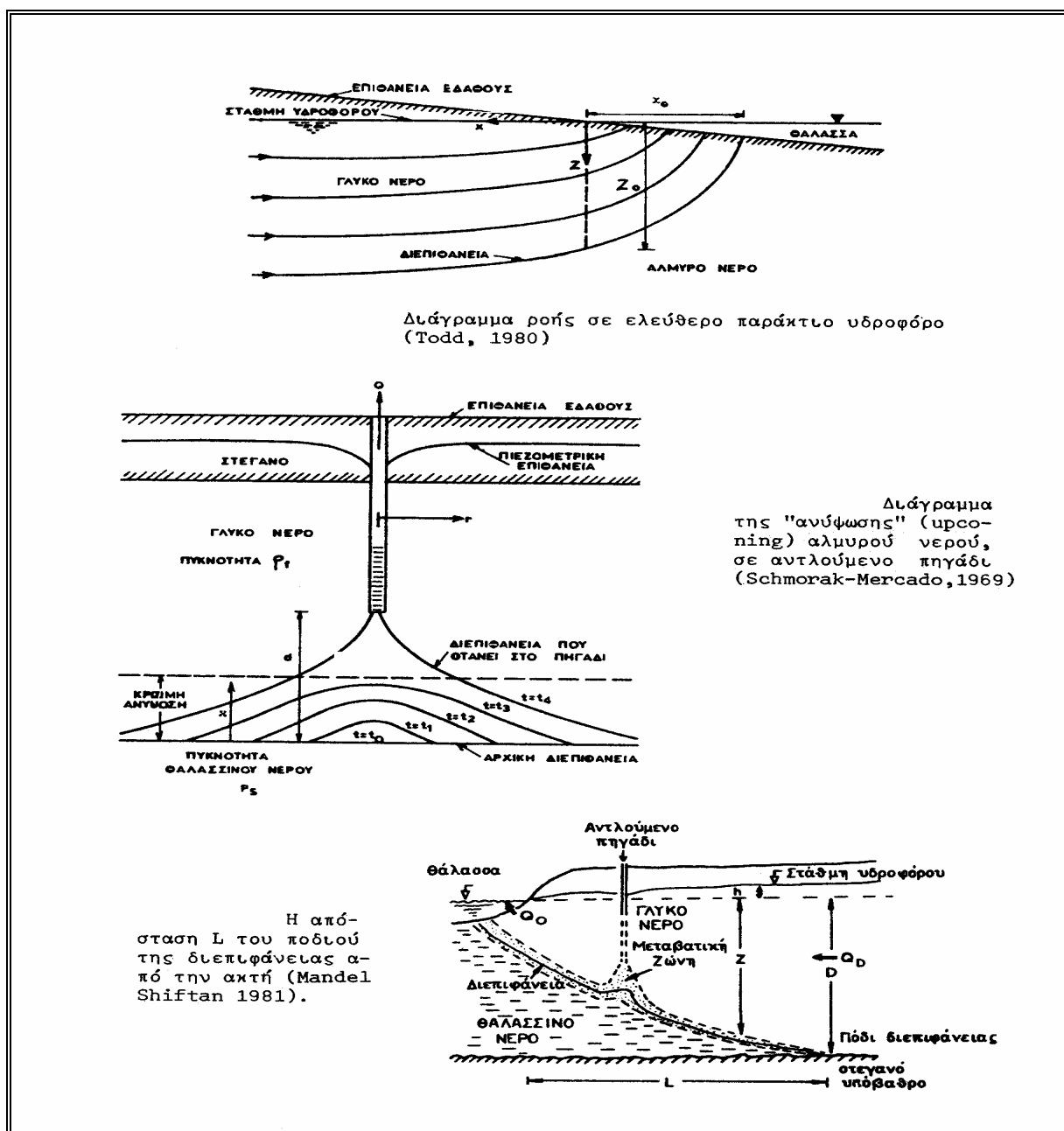
Η ανύψωση z της διεπιφάνειας σε αντλούμενα παράκτια υδρομαστευτικά έργα, λόγω άντλησης, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z = \frac{Q}{2\pi dk [(\rho_s - \rho_w) / \rho_w]}$$

όπου Q η παροχή άντλησης και d η κατακόρυφη απόσταση ανάμεσα στον πυθμένα του υδρομαστευτικού έργου και την αρχική επιφάνεια της διεπιφάνειας.

Τέλος η ασφαλής παροχή Q_m χωρίς να προκληθεί αλμύριση του νερού της αντλούμενης υδρογεώτρησης είναι:

$$Q_m = \pi d^2 k [(\rho_s - \rho_w) / \rho_w]$$



Σχήμα 3.3.18

3.3.1.9 ΑΠΟΘΕΜΑΤΑ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ

Με τον όρο αποθέματα υπογείου νερού εννοείται η ποσότητα του νερού που βρίσκεται αποθηκευμένη μέσα στον εκάστοτε υδροφόρο ορίζοντα και συμμετέχει στις κινήσεις του υπογείου νερού (Σχ. 3.3.19).

Υπάρχουν τέσσερα διαφορετικά είδη αποθεμάτων υπόγειου νερού τα οποία ο Plotnikov καθόρισε ως εξής (νόμος Plotnikov 1940):

- i. Ρυθμιστικά: Αυτά τα αποθέματα είναι οι ποσότητες του νερού που βγαίνουν υπό την μορφή πηγών και φτάνουν στη θάλασσα. Είναι δηλαδή το νερό των πηγών που αδειάζει και φεύγει από τους υπόγειους υδροφορείς κατά την ξηρή περίοδο. Τα ρυθμιστικά αποθέματα δεν είναι σταθερά από έτος σε έτος αλλά μεταβάλλονται.

Υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$W_R = E \cdot m_e \cdot \Delta h$$

Όπου E είναι το εμβαδό του υδροφόρου στρώματος, m_e το ενεργό πορώδες και Δh η μέση διακύμανση της στάθμης του υπόγειου υδροφόρου.

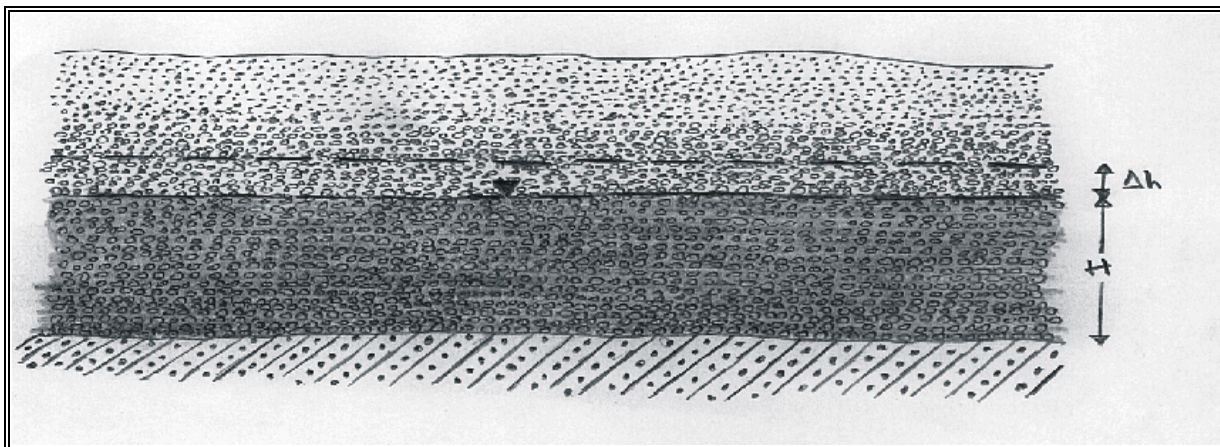
- ii. Μόνιμα: Είναι τα αποθέματα που βρίσκονται μεταξύ του αδιαπέρατου υποβάθρου και της κατώτερης στάθμης που μπορεί να φτάσει ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας. Τα μόνιμα αποθέματα είναι σταθερά και μεταβάλλονται μόνο με τον γεωλογικό χρόνο. Γι' αυτό το λόγο δεν θα πρέπει να γίνεται άντληση για μακρό χρονικό διάστημα από αυτά καθώς υπεράντλησή τους δύναται να προκαλέσει ανεπίστρεπτες κλιματικές μεταβολές σε μία περιοχή καταστροφικές για το περιβάλλον. Μπορούν να υπολογιστούν από τη σχέση:

$$W_P = E \cdot m_e \cdot H$$

Όπου E , m_e το εμβαδό και το ενεργό πορώδες των υδροφόρων στρωμάτων και H το συνολικό πάχος των υδροφορέων.

- iii. Εκμεταλλεύσιμα: Είναι το άθροισμα των ρυθμιστικών και όσων έφυγαν διά μέσου των πηγών έξω από την λεκάνη δηλαδή $W_E = W_R + 1/n \cdot W_R$ όπου το n παίρνει τιμές από 1,5 έως 2,5. Συνήθως τα εκμεταλλεύσιμα αποθέματα είναι ίσα με την ποσότητα του νερού που κατεισδύει σε μία περιοχή. ($W_E > W_I$).
- iv. Εκκενώσιμα: Εάν η στάθμη ενός υδροφορέα κατέλθει στο επίπεδο ανάβλυσης μιας πηγής τότε η παροχή της μηδενίζεται και φυσικά στερεύει. Τα εκκενώσιμα αποθέματα βρίσκονται συνήθως από τη σχέση

$$W = \frac{86400 \cdot q_0}{a}$$



Σχήμα 3.3.19: Σχηματικό διάγραμμα στο οποίο φαίνεται ένας υδροφόρος ορίζοντας πάχους H και η διακύμανση της στάθμης αυτού Δh .

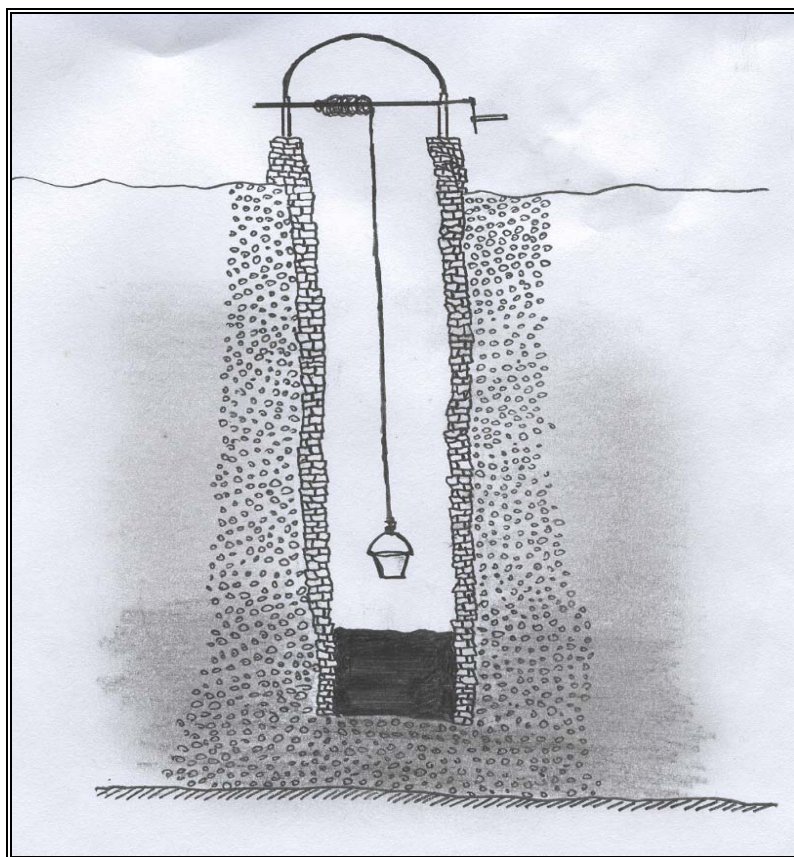
3.3.1.10 ΠΗΓΑΔΙΑ

Πρόκειται για τεχνικά έργα εκμετάλλευσης επιφανειακών υδροφόρων που πραγματοποιούνται τόσο σε χαλαρούς όσο και συμπαγείς σχηματισμούς (συνήθως ασβεστόλιθοι). Πραγματοποιούνται κατακόρυφες εκσκαφές τόσο με μηχανικά μέσα (π.χ. γεωτρήσεις) όσο και με τη χρήση εργαλείων εκσκαφής από τον άνθρωπο αφού δεν πρόκειται για μεγάλου βάθους εκσκαφές. Η διάτρηση του εδάφους γίνεται σε τέτοιο βάθος, ώστε να έχει εισέλθει στον υδροφόρο και να είμαι δυνατή η επιθυμητή άντληση με όσο τον δυνατό ταχύτερη επαναφορά της στάθμης, λόγω της ταπείνωσής, που οφείλεται στην άντληση του υδροφόρου. Είναι τεχνικά έργα μικρής δυναμικότητας υδροδότησης, που η συνήθης χρήση τους αποσκοπεί στην κάλυψη καθημερινών αναγκών για ύδρευση και άρδευση, μικρής κλίμακας περιοχής γύρω από τη θέση κατασκευής τους.

Η άντληση του νερού γίνεται με τη χρήση τροχαλίας η οποία είναι τοποθετημένη σε βάση πάνω από την οπή του πηγαδιού στην επιφάνεια του εδάφους. Η τροχαλία χρησιμοποιείται για την ανέλκυση δοχείου μέσω σχοινιού, το οποίο έχει γεμίσει με νερό από τον υποκείμενο υδροφόρο ορίζοντα.

Εσωτερικά το φρεάτιο του πηγαδιού χτίζεται με πλήθους για την αποφυγή καταρρεύσεων χαλαρών τμημάτων και ακολουθεί η επίστρωση με ασβέστη για την πρόληψη και την αντιμετώπιση εστιών μόλυνσης. Επιφανειακά καλύπτεται η οπή του με πώμα, ώστε όταν δε γίνεται χρήση του, να προφυλάσσεται από επιφανειακούς ρύπους.

Η χρήση τους γίνεται από την αρχαιότητα και φτάνει ως τις μέρες μας, με μικρές διαφοροποιήσεις στη μορφή και το μηχανισμό λειτουργίας τους ο οποίος φαίνεται στο σχήμα 3.3.20.



Σχήμα 3.3.20: Σκαρίφημα ενός πηγαδιού.

3.3.2 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΤΟ ΧΩΡΟ ΕΡΕΥΝΑΣ

Όπως φαίνεται από την γεωλογική χαρτογράφηση, στην περιοχή έρευνας συναντώνται τόσο προσχωσιγενείς όσο και συμπαγείς σχηματισμοί. Βάση νομογραμμάτων και των υδραυλικών τους στοιχείων, έγινε εκτίμηση της πιθανότητας υδροφορίας και της γεωμετρίας τους.

3.3.2.1 ΠΡΟΣΧΩΣΙΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Στους προσχωσιγενείς σχηματισμούς εντάσσονται τόσο ποταμοχειμάρριες αποθέσεις, όσο και ζώνες έντονης αποσάθρωσης και έντονου κατακερματισμού.

Επί μέρους για κάθε ζώνη, βάση της μέσης κοκκομετρικής σύστασης και του νομογράμματος που παρατίθεται στην παράγραφο 3.3.1.5 Α έγινε εκτίμηση της περατότητάς τους.

Στο Λάκκο Πηγαδίου εντοπίζονται ποταμοχειμάρριες προσχώσεις, μικρής σχετικά έκτασης που φτάνουν μέχρι λίγα μέτρα από την θάλασσα, με πολλά φερτά υλικά. Πρόκειται για μεσόχονδρη άμμο με λεπτά χαλίκια μέτριας διαπερατότητας.

Στον ελαιώνα, βόρεια του Λάκκου Πηγαδίου, εντοπίζεται μία ζώνη έντονης αποσάθρωσης μερικών μέτρων πάχους. Τα υλικά αυτά της αποσάθρωσης είναι μεσόχονδρη ιλύς με πολλή λεπτή άμμο πολύ μικρής διαπερατότητας.

Βορειανατολικά του ρέματος της Παναγούδας, στον ελαιώνα, σε ζώνη αποσάθρωσης και κατακερματισμού, οι χαλαροί σχηματισμοί αποτελούνται από μεσόχονδρη ιλύ με πολλή λεπτή άμμο πολύ μικρής διαπερατότητας.

Οι δύο παραπάνω περιοχές έχουν δημιουργηθεί από την έντονη αποσάθρωση και κατακερματισμό, λόγω έντονης τεκτονικής, επιφανειακών εκδηλώσεων βασικών - υπερβασικών πετρωμάτων τα οποία πιθανώς αποτελούν το υπόβαθρό τους.

Τέλος στην περιοχή Ντορός, που αποτελεί ένα τμήμα ζώνης πιθανής κατολίσθησης, εμφανίζονται σχηματισμοί ιλύος με πάρα πολύ μικρή υδροδιαπερατότητα. Η ζώνη αυτή βρίσκεται σε γνευσιακές εμφανίσεις που έχουν γενικότερη παράταξη ΒΑ - ΝΔ και μικρή κλίση προς τα ΝΑ.

3.3.2.2 ΡΩΓΜΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ

Οι ρωγμώδεις σχηματισμοί που απαντούν στην περιοχή είναι κυρίως γνεύσιοι, βασικά - υπερβασικά, μάρμαρα και χαλαζίτες.

Η εκτίμηση της διαπερατότητας για τους παραπάνω σχηματισμούς γίνεται με την αξιολόγηση του ρωγμώδους τους και του πορώδους της βραχομάζας. Για τους σχηματισμούς αυτούς το πορώδες τους θεωρείται όμως αμελητέο. Έτσι έγινε προσδιορισμός, χωρίς τη διεξαγωγή δοκιμών, της διαπερατότητας τους λόγω του ρωγμώδους.

Σύμφωνα με τον Louis (1969) η διαπερατότητα παράλληλα σε ένα σύστημα ρωγμών παράλληλων, επίπεδων και λείων δίνεται από τον τύπο:

$$K = \frac{g \cdot e^3}{12 \cdot V \cdot b}$$

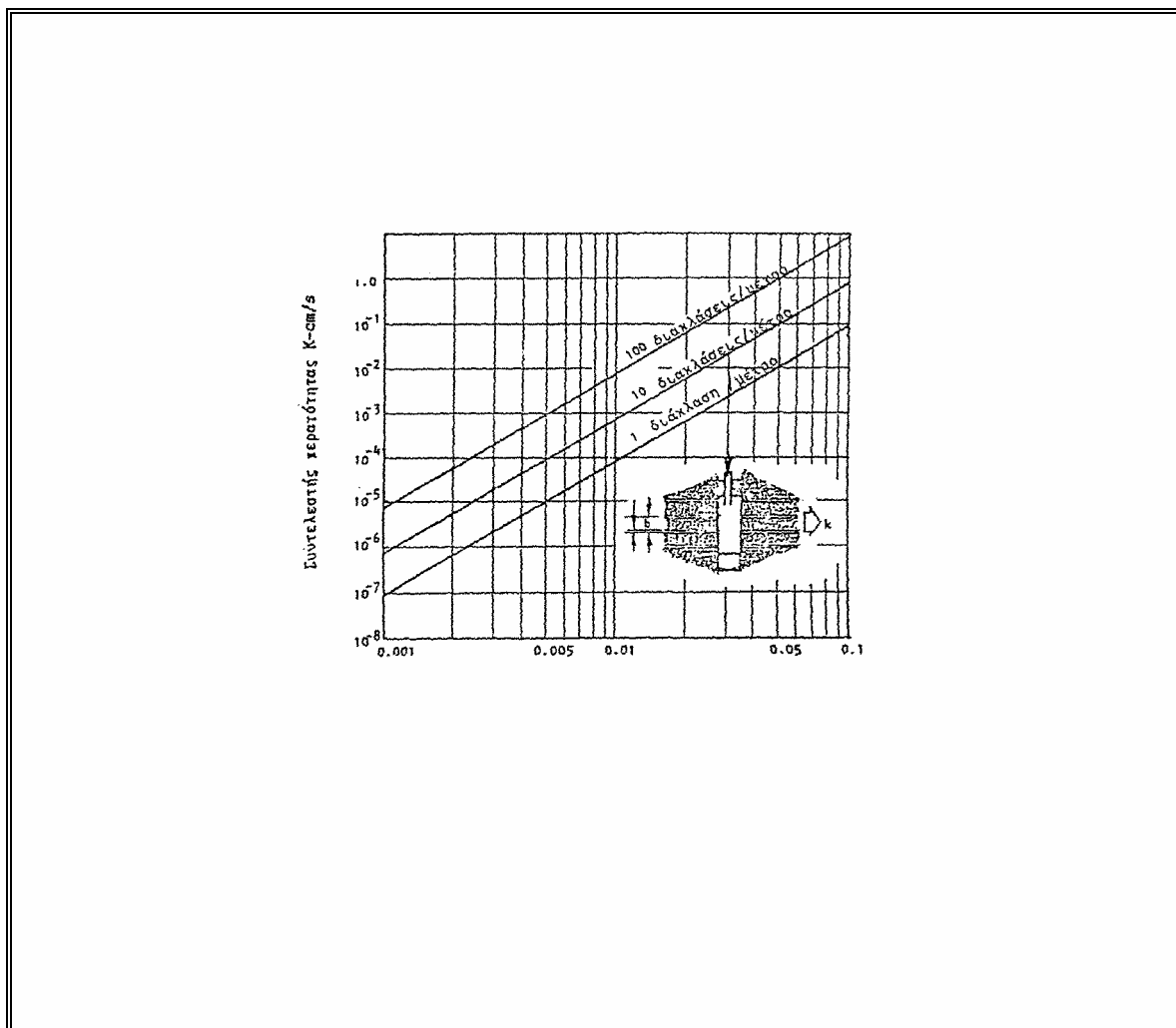
όπου η g επιτάχυνση της βαρύτητας ($981 \text{ cm}^2/\text{sec}$)

e το άνοιγμα της ρωγμής

b η απόσταση ανάμεσα στις ρωγμές

V ο συντελεστής κινηματικού ιξώδους ($0,101 \text{ cm}^2/\text{sec}$ για καθαρό νερό 20°C).

Η διαπερατότητα K , για τέτοιο σύστημα, σε συνάρτηση με το άνοιγμα των ρωγμών δίνεται στο σχήμα 3.3.21. Σε αυτό φαίνεται πόσο ευαίσθητη είναι η περατότητα της βραχομάζας στο μέγεθος του ανοίγματος. Κατά επέκταση η διαπερατότητα της βραχομάζας είναι ευαίσθητη και στις τάσεις, αφού τα ανοίγματα αλλάζουν με το μέγεθος τους.



Σχήμα 3.3.21: Επίδραση ανοίγματος και συχνότητας διάκλασεων στον συντελεστή περατότητας κατά την διεύθυνση μιας οικογένειας λείων, παράλληλων διακλάσεων σε βραχομάζα. (Μαρίνος, 1985)

Η παραπάνω σχέση ισχύει για γραμμική ροή, σε αντίθετη περίπτωση τα σφάλματα είναι σημαντικά. Σφάλματα επίσης, συνοδεύουν την εφαρμογή της σε τραχείες επιφάνειες ρωγμών και σε πληρωμένες ρωγμές. Η σχέση αυτή δίνει την πιο μεγάλη ισοδύναμη περατότητα για ρωγμές.

Η πιο χαμηλή ισοδύναμη περατότητα για ρωγμή με υλικό πλήρωσης δίνεται από τη σχέση:

$$K = \frac{e}{b} k_f + k_r$$

k_f όπου είναι η διαπερατότητα του υλικού πλήρωσης
 k_r η διαπερατότητα του άθικτου πετρώματος.

Στους γνευσίους παρατηρούνται ρωγμές με πολύ μικρό μέσο άνοιγμα, της τάξης χιλιοστών, το οποίο στο μεγαλύτερο μέρος του έχει ιαθεί από αργιλικό υλικό πλήρωσης με αποτέλεσμα τη μείωση της υδροδιαπερατότητας τους, καθιστώντας τους σχεδόν αδιαπέρατους. Μονάχα ρωγμές που οφείλονται σε πρόσφατα τεκτονικά γεγονότα είναι ικανές να καταστήσουν τους γνευσίους πιθανούς υδροφορείς μικρής όμως παροχής κατά την υδρομάστευσή τους.

Τα βασικά - υπερβασικά πετρώματα έχουν υποστεί την γενικότερη τεκτονική της περιοχής όμως η άμεση και πλήρη ίασή τους με υλικό πλήρωσης τα καθιστά πρακτικά αδιαπέρατα. Θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πετρώματα στεγανά.

Οι χαλαζίτες εμφανίζουν σύστημα ρωγμών, της τάξεως αρκετών χιλιοστών, όπου στα επιφανειακά τμήματα της βραχομάζας τους θα μπορούσε να ειπωθεί ότι ο μηχανισμός υδραυλικής επικοινωνίας του ρωγμώδες τους είναι παρόμοιος με αυτό των ασβεστολίθων. Για τους χαλαζίτες όμως το ρωγμώδες αυτό ελαττώνεται με το βάθος και σε μεγαλύτερα βάθη μηδενίζεται. Έτσι δικαιολογείται η εμφάνιση πηγών (κυρίως υπερχειλίσης) οι οποίες εμφανίζονται στα ανώτερα τμήματα των χαλαζιτών στα οποία ισχύουν τα προηγούμενα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η εμφάνιση των πηγών στο ρέμα του Λάκκου του Νευροκόπου (Σχ. 3.3.15).

Η δυνατότητα υδρομάστευσης σ' αυτούς ποικίλει ανάλογα τον τεκτονισμό τους και του δημιουργηθέντος ρωγμώδες, την έκταση που καταλαμβάνουν και η σχέση επαφής τους με τα γειτονικά πετρώματα.

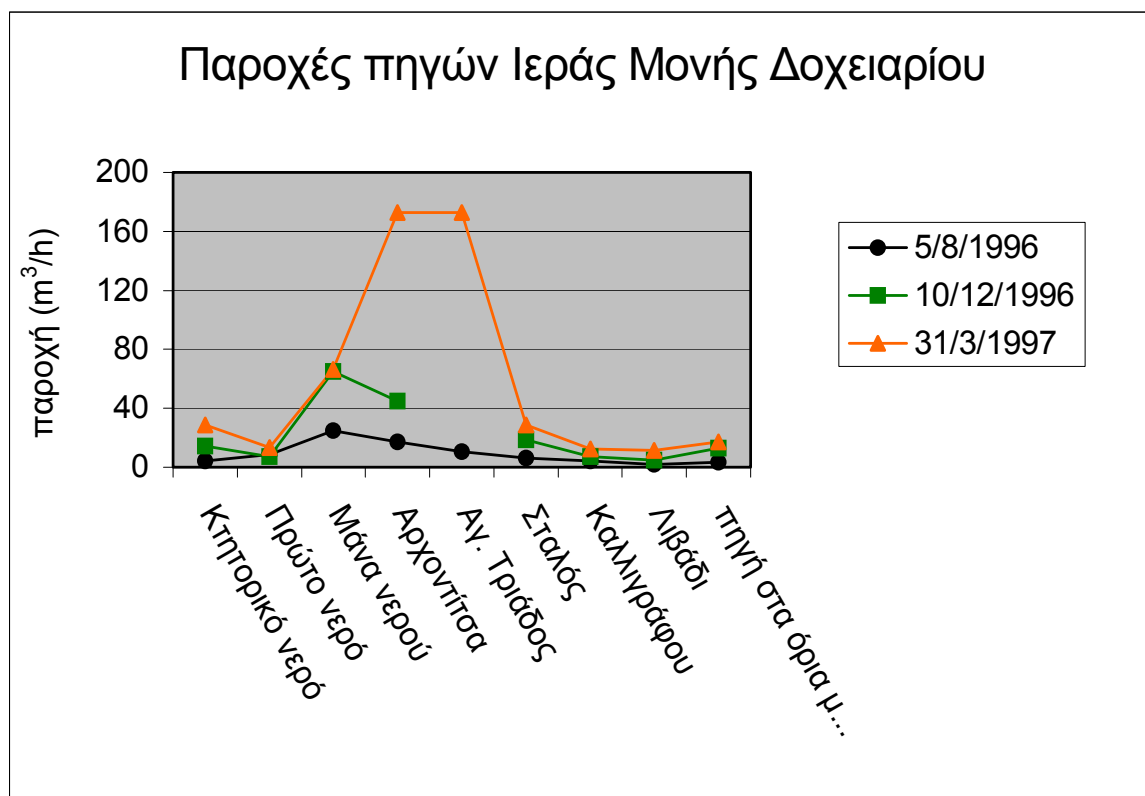
Τα μάρμαρα - ασβεστοπηριτικά που συναντώνται στο χώρο έρευνας αποτελούν τους κυριότερους σχηματισμούς στους οποίους το ρωγμώδες είναι σχετικά μεγάλο σε σχέση με τον όγκο των σχηματισμών και εκτείνεται σχεδόν σε όλο το βάθος της εμφάνισής τους. Οι ρωγμές που παρατηρήθηκαν είχαν μέγεθος από μερικά χιλιοστά έως και αρκετά εκατοστά. Αυτές δημιουργήθηκαν από τρία κύρια συστήματα διακλάσεων, όπως αυτά αναφέρονται στην παράγραφο 3.2.8.2, με αποτέλεσμα σε αρκετές περιοχές να παρατηρείται ο έντονος κατακερματισμός τους. Χαρακτηριστική είναι η παραθαλάσσια εμφάνισή τους ΒΔ της μονής, όπου με ελάχιστη επεξεργασία, έγινε η χρήση τους ως δομικά υλικά.

Λόγω αυτού του ρωγμώδους η διαπερατότητά τους παίρνει μεγάλες τιμές και το μόνο πρόβλημα της υδροφορίας τους θα ήταν οι μη ευνοϊκές συνθήκες αποταμίευσης νερού σε αυτούς καθώς και η εισχώρηση θαλασσινού νερού στη μάζα τους λόγω της μικρής απόστασης αυτών από τη θάλασσα.

3.3.3 ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΗΓΑΙΩΝ ΑΝΑΒΛΥΣΕΩΝ

Μέρος της υδρογεωλογικής έρευνας αποτέλεσε η χαρτογράφηση πηγών και πηγαδιών, όπου αυτά βρέθηκαν, και έχουν πρακτικό ενδιαφέρον για τον τελικό σκοπό της μελέτης. Επίσης ελήφθησαν υπ' όψιν στοιχεία τα οποία αφορούν τις παροχές πηγών στον ευρύτερο χώρο της έκτασης της μονής. Οι παροχές των πηγών μετρήθηκαν σε παλιότερη χρονολογική περίοδο και τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνεται στο επόμενο γράφημα.

Όνομα πηγής	05/08/96	10/12/96	31/03/97
Κτητορικό νερό	4,32	14,4	28,8
Πρώτο νερό	8,64	7,2	13,29
Μάνα νερού	24,69	64,8	66,46
Αρχοντίτσα	17,28	44,69	172,8
Αγ. Τριάδος	10,41		172,8
Σταλός	6,3	18,51	28,8
Καλλιγράφου	4,32	7,2	12,34
Λιβάδι	1,77	4,55	11,22
πηγή στα όρια με Κωνσταμονίτου	3,32	12,96	17,28



Σχήμα 3.3.22

Κατά την μελέτη αυτή έγιναν μετρήσεις παροχών πηγών με άμεσο πρακτικό ενδιαφέρον (ημερομηνία μέτρησης 15/2/2001). Τα αποτελέσματα αυτών δίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

ΠΗΓΕΣ	ΠΑΡΟΧΗ (lit/hr)
Αγ. Πάντες	386
Πρώτο Νερό	831
Μάννα Νερού	2842

Οι πηγές στο ρέμα του Λάκκου του Νευροκόπου είναι πηγές υπερχείλισης και το σκαρίφημα για την κατανόηση του μηχανισμού τους δίνεται στο σχήμα 3.3.15.

Στο χώρο της μονής υπάρχουν δύο πηγάδια. Το ένα βρίσκεται στην περιοχή Αγίοι Πάντες το οποίο είναι εκμεταλλεύσιμο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Σ' αυτό έγιναν μετρήσεις αγωγιμότητας και pH και βρέθηκαν οι τιμές 980 $\mu\text{S/cm}$ για την αγωγιμότητα και 7,03 για το pH (14/2/2001).

Το άλλο πηγάδι βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο της μονής. Το νερό του αποκαλείται από τους μοναχούς ως <<Αγίασμα Αρχαγγέλων>> και χρησιμοποιείται για την ύδρευση της μονής. Σ' αυτό μετρήθηκαν 912 $\mu\text{S}/\text{cm}$ αγωγιμότητα και 7,57 pH (17/2/2001).

3.3.4 ΥΔΡΟΧΙΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Η υδροχημική έρευνα περιελάμβανε χημικές αναλύσεις νερών από δείγματα που πάρθηκαν από τις πηγές Πρώτο νερό, Μάννα νερού, και Λάκκος Νευροκόπι (2 πηγές) και ένα πηγάδι, αυτό το <<Αγίασμα Αρχαγγέλων>>.

Οι χημικές αναλύσεις είχαν ως σκοπό την εύρεση της περιεκτικότητας των κατιόντων (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{1+} , Na^{1+}) και των ανιόντων (HCO_3^{1-} , NO_3^{1-} , SO_4^{2-} , Cl^{1-}). Υπολογίστηκε επίσης και η ολική σκληρότητα. Η αγωγιμότητα και το pH βρέθηκαν με άμεση μέτρηση στο ύπαιθρο.

Κατά την συλλογή των δειγμάτων του νερού στο ύπαιθρο προστέθηκε σ' αυτά μικρή ποσότητα υδροχλωρικού οξέως για την διατήρησή τους. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την οξύνιση των δειγμάτων, πράγμα το οποίο σήμαινε ότι κατά την χημική τους ανάλυση θα παρουσιαζόντουσαν αυξημένες τιμές της περιεκτικότητας των χλωριούχων. Για τον λόγο αυτό πριν από την χημική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε εξουδετέρωση αυτών για να γίνουν ουδέτερα (PH=7).

Μετά το πέρας των χημικών αναλύσεων, για να ελεγχθεί αν τα αποτελέσματα ήταν αξιόπιστα, υπολογίστηκε το α % σφάλμα των μετρήσεων που δίνεται από τον παρακάτω τύπο.

$$\alpha \% = \frac{\Sigma_{\text{κατ}} - \Sigma_{\text{αν}}}{\Sigma_{\text{κατ}} + \Sigma_{\text{αν}}} * 100$$

Όπου $\Sigma_{\text{κατ}}$ και $\Sigma_{\text{αν}}$ είναι τα αθροίσματα των τιμών των κατιόντων και των ανιόντων αντίστοιχα. Για την σωστή χρησιμοποίηση της παραπάνω σχέσης θα πρέπει οι τιμές των κατιόντων και των ανιόντων, που μετριοούνται σε mg/lit, να μετασχηματιστούν σε meq/lit (ή mval/lit). Οι αντιστοιχίες των τιμών mg/lit και meq/lit των ιόντων της χημικής ανάλυσης φαίνονται παρακάτω.

1 meq K	=	39,1	mg/lit
>> Na	=	22,991	>>
>> Ca	=	20,4	>>
>> Mg	=	12,16	>>
>> Cl	=	35,457	>>
>> SO ₄	=	48,033	>>
>> NO ₃	=	62,008	>>
>> HCO ₃	=	61,019	>>

Με βάση την παραπάνω σχέση αλλά και τις τιμές αντιστοιχίας από τον παραπάνω πίνακα υπολογίστηκαν τα σχετικά σφάλματα των χημικών αναλύσεων κάθε δείγματος. Έτσι για την πηγή Πρώτο Νερό το σφάλμα βρέθηκε -1,17%, για το Αγίασμα Αρχαγγέλου 0,67%, για τον Λάκκο Νευροκόπι (2) -3,03%, για τη Μάννα Νερού -9,7% και για τον Λάκκο Νευροκόπι (1) -16,4%. Το μείον υποδηλώνει ότι η ποσότητα των ανιόντων είναι μεγαλύτερη από αυτή των κατιόντων.

Όπως λοιπόν προκύπτει από τα προαναφερόμενα οι χημικές αναλύσεις των δειγμάτων Πρώτο Νερό, Αγίασμα Αρχαγγέλου, Λάκκος Νευροκόπι (2) είναι εξαιρετικά αξιόπιστες διότι το υπολογισθέν σχετικό σφάλμα είναι πολύ μικρό. Αντίθετα το μεγάλο σφάλμα που παρουσιάζεται στη Μάννα Νερού και στο Λάκκο Νευροκόπι (1)

οφείλεται στην επίδραση των οξύνισης. Σ' αυτά τα δείγματα η περιεκτικότητα του χλωρίου είναι μικρότερη από αυτή που έχει υπολογιστεί.

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στα δείγματα νερού των πηγών.

ΧΗΜΙΚΕΣ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΠΗΓΩΝ						
		ΠΡΩΤΟ ΝΕΡΟ	ΑΓΙΑΣΜΑ ΑΡΧΑΓΓΕΛΟΥ	ΜΑΝΑ ΝΕΡΟΥ	ΛΑΚΚΟΣ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙ (1)	ΛΑΚΚΟΣ ΝΕΥΡΟΚΟΠΙ (2)
Κατιόντα (mg/lit)	Ca ²⁺	134,00	86,00	10,00	42,00	36,00
	Mg ²⁺	20,80	28,10	35,40	18,30	170,10
	K ¹⁺	4,00	13,20	4,40	3,10	3,70
	Na ¹⁺	154,00	62,00	51,00	208,00	231,00
Ανιόντα (mg/lit)	HCO ₃ ¹⁻	323,30	268,40	115,90	128,10	103,70
	NO ₃ ¹⁻	2,20	108,20	0,88	4,40	2,64
	SO ₄ ²⁻	45,00	41,00	26,00	32,00	28,00
	Cl ¹⁻	329,00	90,00	160,00	530,00	420,00
Ολική σκληρότητα (dH)		23,40	18,40	9,50	10,30	8,90
Αγωγιμότητα μS/cm		828	912	407	441	399
PH		7,18	7,57	7,35	6,93	7,05

3.3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα ακόλουθα συμπεράσματα στηρίχτηκαν στην διεξαγωγή της υδρογεωλογικής έρευνας, στην συλλογή στοιχείων που αφορούσαν τα κατακρημνίσματα αλλά και στη χρήση νομογραμμάτων που αποσκοπούσαν στην προσεγγιστική εύρεση της τάξης μεγέθους της διαπερατότητας τόσο των βραχώδων όσο και κοκκώδων σχηματισμών. Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι τα διαγράμματα που παρατίθενται στην έρευνα δεν είναι τωρινά αλλά αφορούν παλιότερες χρονολογικές περιόδους, ενώ και η χρήση των νομογραμμάτων δεν θα μπορούσε να γίνει με την μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς η διεξαγωγή της έρευνας δεν περιελάμβανε ούτε κοκκομετρικές αναλύσεις των κοκκώδων σχηματισμών, ούτε μετρήσεις ανοίγματος και συχνότητας των διακλάσεων στους ρωγμώδεις.

Από τα διαγράμματα των κατακρημνισμάτων είναι φανερό η έλλειψη κατακρημνισμάτων κατά τους θερινούς μήνες (Μάϊος - Σεπτέμβριος). Η περιοχή έρευνας χαρακτηρίζεται από το έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο και τις μεγάλες κλίσεις του εδάφους, την πυκνή βλάστηση και το πυκνό υδρογραφικό δίκτυο. Τα παραπάνω σε συνδυασμό με την εμφάνιση σχεδόν αδιαπέρατων σχηματισμών (γνεύσιοι, σχιστόλιθοι, οφιόλιθοι) αλλά και την επίδραση των κλιματικών συνθηκών είναι

προφανές ότι υποβοηθούν την επιφανειακή απορροή αλλά και την εξατμισοδιαπνοή σε βάρος της κατείσδυσης.

Όσον αφορά τους προσχωσιγενείς σχηματισμούς, με την βοήθεια του νομογράμματος του σχήματος 3.3.9, εκτιμάται ότι η θέση με τη μεγαλύτερη πιθανότητα υδροφορίας αποτελεί ο Λάκκος Πηγαδίου, ο οποίος συνίσταται από ποταμοχειμάρριες αποθέσεις. Η ζώνη έντονης αποσάθρωσης και κατακερματισμού που έχει πιθανόν δημιουργηθεί από το μεγάλο ρήγμα διεύθυνσης ΒΔ - ΝΑ δεν αποτελεί σημείο έντονου ενδιαφέροντος.

Από τους ρωγμώδεις σχηματισμούς πρακτικό και άμεσο ενδιαφέρον για πιθανή υδροφορία, από όλες τις εμφανίσεις των πετρωμάτων στην περιοχή, αποτελούν μόνο τα μάρμαρα όπως αυτό αναλύθηκε με λεπτομέρεια στην παράγραφο 3.3.2.2.

Σύμφωνα με τα προλεχθέντα γίνεται αντιληπτό ότι ο συνδυασμός που προκύπτει από τα στοιχεία του υδρολογικού ισοζυγίου με τα είδη των πετρολογικών σχηματισμών της περιοχής καθιστούν όχι και τόσο ευνοϊκές τις συνθήκες για την δημιουργία υπόγειων ταμιευτήρων νερού.

3.4. ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

3.4.1. ΜΕΘΟΔΟΣ VLF ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΑ

3.4.1.1.1 ΑΡΧΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ - ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΕΠΑΓΩΓΗ ΝΟΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ

Το φαινόμενο της επαγωγής είναι η εμφάνιση ηλεκτρικού πεδίου σε ένα αγωγό (π.χ αγωγός σε σχήμα πλαισίου) όταν μέσα από τον αγωγό περνάει μεταβαλλόμενη μαγνητική ροή. Κατά συνέπεια ο αγωγός αυτός μπορεί να παίζει ρόλο πηγής ηλεκτρικού ρεύματος με ορισμένη ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) από επαγωγή. Ο Faraday ανακάλυψε πρώτος τη σχέση ανάμεσα στην ΗΕΔ από επαγωγή (αποτέλεσμα) και στη μεταβολή της μαγνητικής ροής που περνάει μέσα από τον αγωγό (αίτιο) και διατύπωσε τον νόμο της επαγωγής ως εξής:

<<Οποτεδήποτε συμβαίνει μεταβολή στη μαγνητική ροή που περνάει από ένα κύκλωμα - αγωγό τότε στο κύκλωμα - αγωγό εμφανίζεται μία ΗΕΔ από επαγωγή της οποίας το μέτρο είναι ίσο με το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής $\Delta\Phi/\Delta t$ που περνάει από το κύκλωμα-αγωγό>>.

$$E_{\text{επ}} = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Το αρνητικό πρόσημο δικαιολογείται από τον κανόνα του Lenz και καθορίζει την πολικότητα της ΗΕΔ.

(Η σχέση αυτή δίνει γενικά την μέση τιμή της ΗΕΔ από επαγωγή στο χρονικό διάστημα Δt).

Όταν το κύκλωμα στο οποίο μεταβάλλεται η μαγνητική ροή είναι κλειστό και δεν περιλαμβάνει άλλες πηγές ηλεκτρικού ρεύματος τότε η ΗΕΔ από επαγωγή θα προκαλέσει σ'αυτό επαγωγικό ρεύμα του οποίου η ένταση δίνεται από τον νόμο του ΟΗΜ και είναι

$$I_{\text{επ}} = \frac{E_{\text{επ}}}{R_{\text{ολ}}} \quad \text{ή} \quad I_{\text{επ}} = - \frac{\Delta\Phi}{R_{\text{ολ}} \Delta t}$$

Όπου $R_{\text{ολ}}$ είναι η ολική αντίσταση του κυκλώματος.

Το αρνητικό πρόσημο καθορίζει τη φορά του επαγωγικού ρεύματος.

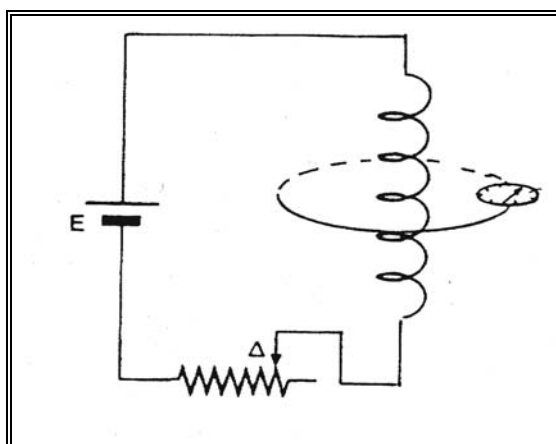
3.4.1.1.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΠΑΓΩΓΗΣ ΣΕ ΑΚΙΝΗΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΜΕΣΑ ΣΕ ΧΡΟΝΙΚΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ.

Θεωρούμε κλειστό αγωγό που περιβάλλει το πηνίο του σχήματος 3.4.1. Μετακινώντας τον δρομέα δ παρατηρούμε ότι από το γαλβανόμετρο Γ διέρχεται ρεύμα η ένταση του οποίου είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταβολής $\Delta I/\Delta t$ της έντασης του ρεύματος του πηνίου. Επειδή η μεταβολή ΔI της έντασης του ρεύματος στο πηνίο προκαλεί ανάλογη μεταβολή ΔB του μέτρου της μαγνητικής επαγωγής του μαγνητικού πεδίου του πηνίου και κατά συνέπεια μεταβολή της $\Delta\Phi$ που διέρχεται από τον κυκλικό αγωγό συμπεραίνουμε ότι όταν μεταβάλλεται η μαγνητική ροή που διέρχεται από ακίνητο πλαίσιο, τότε αναπτύσσεται σ'αυτό ΗΕΔ από επαγωγή που δίνεται από τον γνωστό νόμο του Faraday δηλαδή:

$$E_{\text{επ}} = - \Delta\Phi/\Delta t$$

Στην περίπτωση που κλειστός αγωγός βρίσκεται μέσα ή γύρω από χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, είναι φανερό ότι το μαγνητικό πεδίο δεν ασκεί καμία δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού. ($F_L = Buq = 0$, διότι $u=0$). Το ηλεκτρικό ρεύμα που πειραματικά παρατηρούμε στον κλειστό αγωγό προϋποθέτει την άσκηση δύναμης στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του αγωγού. Επειδή η δύναμη αυτή δεν οφείλεται στο μαγνητικό πεδίο, θα οφείλεται αναγκαστικά σε ηλεκτρικό πεδίο που υπάρχει στην περιοχή του αγωγού και δημιουργείται από το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο.

Άρα: <<Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο>>.



Σχήμα 3.4.1

Σημείωση: Το ηλεκτρικό πεδίο υπάρχει και είναι αποτέλεσμα του μεταβαλλόμενου μαγνητικού πεδίου. Το μόνο πρόβλημα είναι ότι η ύπαρξη του πεδίου δεν προβλέπεται από την κλασική φυσική. Το ίδιο συμβαίνει και με το μαγνητικό πεδίο γύρω από το ρευματοφόρο αγωγό

Το ηλεκτρικό αυτό πεδίο είναι μη συντηρητικό και οι δυναμικές γραμμές του είναι ομόκεντροι κύκλοι που έχουν το επίπεδο τους κάθετο στις δυναμικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου και το κέντρο τους πάνω στον άξονα συμμετρίας του μαγνητικού πεδίου. Εκτείνονται τόσο μέσα στον χώρο που υπάρχει μαγνητικό πεδίο όσο και πολύ πέρα από τον χώρο αυτόν.

Το μέτρο της έντασης του πεδίου είναι $E = -\Delta\Phi/2\pi r\Delta t$ έχει διεύθυνση τη διεύθυνση της εφαπτομένης της δυναμικής γραμμής που περνάει από το σημείο αυτό και τη φορά της δυναμικής γραμμής (δηλαδή τη φορά του επαγωγικού ρεύματος που διαρρέει έναν υποθετικό κυκλικό αγωγό που ταυτίζεται με τη δυναμική γραμμή).

NOMΟΣ AMPERE

Ο δεύτερος βασικός νόμος του ηλεκτρομαγνητισμού ο οποίος και εξηγεί την παρουσία δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου από αγωγό που διαρρέετε από μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο είναι ο νόμος του AMPERE σύμφωνα με τον οποίο:

<<Όταν ένας χώρος διαρρέετε από ηλεκτρικό ρεύμα παράγεται μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι ανάλογη του ολικού ρεύματος που διαρρέει τον χώρο και έχει διεύθυνση κάθετη προς την διεύθυνση ροής του ρεύματος>>.

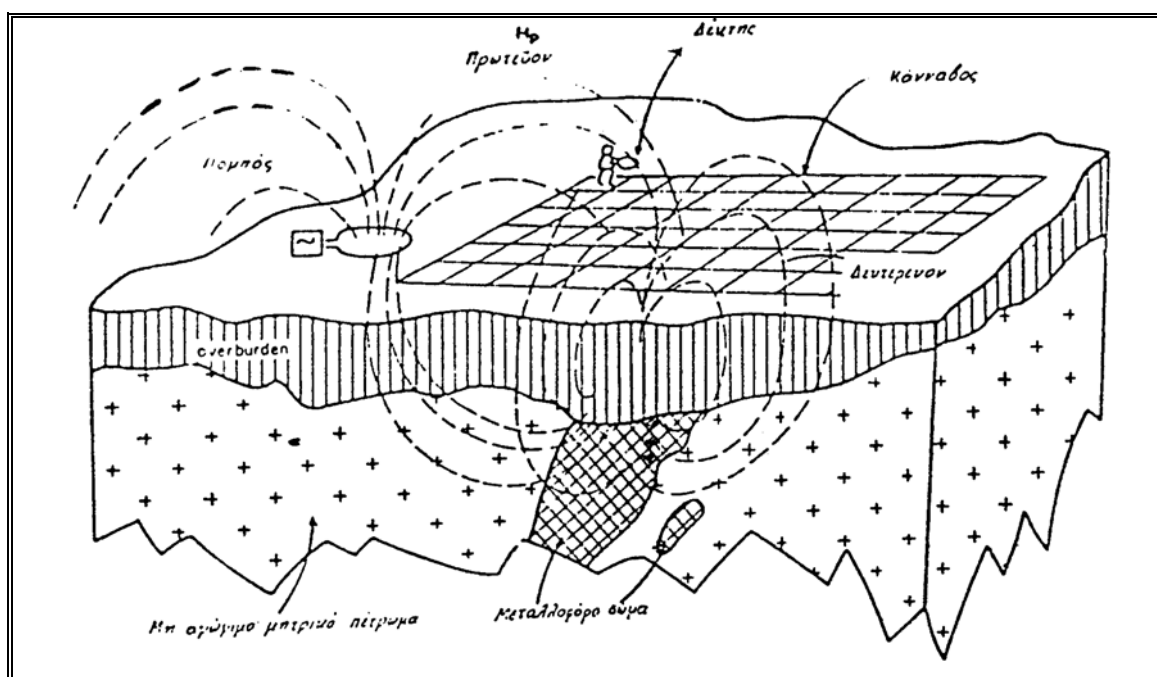
Οι νόμοι Faraday και Ampere εκφράζονται ποσοτικά από τις ακόλουθες σχέσεις του Maxwell. Ο νόμος του Faraday από την σχέση: $\nabla \times E = -\partial B/\partial t$ όπου B η μαγνητική επαγωγή (σε Tesla), t ο χρόνος και E η ένταση του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου (σε V/m).

Αντίστοιχα ο νόμος του Ampere εκφράζεται από την εξής σχέση: $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \partial \mathbf{D} / \partial t$ όπου $\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{H}$ για ομογενές και ισότοπο μέσο και ϵ είναι η διηλεκτρική σταθερά του μέσου. Το $\mathbf{J}$ είναι η πυκνότητα του ρεύματος.

3.4.1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ

Εάν ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο παράγεται στην επιφάνεια του εδάφους κύματα του πεδίου αυτού διεισδύουν στο υπέδαφος και διαρρέουν τυχών υπόγειους αγωγούς. Σύμφωνα με τους νόμους της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αυτά τα κύματα γεννούν δευτερεύοντα ηλεκτρομαγνητικά πεδία τα οποία μαζί με το αρχικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο συνιστούν το ολικό πεδίο που μπορεί να καταγραφεί στην επιφάνεια.

Το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται από τα επαγωγικά ρεύματα είναι της αυτής συχνότητας αλλά όχι πάντα της αυτής φάσης με το πρωτεύον πεδίο. Το σύνθετο μαγνητικό πεδίο (πρωτεύον και δευτερεύον) ανιχνεύεται και μετράται με δέκτη που είναι συνήθως διάταξη πηνίου. Η παρουσία αγώγιμης ζώνης γίνεται αντιληπτή με τη σύγκριση του μετρούμενου πεδίου ως προς το υπολογιζόμενο πεδίο το οποίο θα μετριάτανε σε περίπτωση μη ύπαρξης αγωγού. Το πεδίο αυτό λέγεται πεδίο ελεύθερου χώρου (σχήμα 3.4.2).



Σχήμα 3.4.2: Δημιουργία δευτερογενούς πεδίου λόγω μεταλλοφορίας.

3.4.1.3 ΙΣΤΟΡΙΑ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΠΟΜΠΩΝ VLF

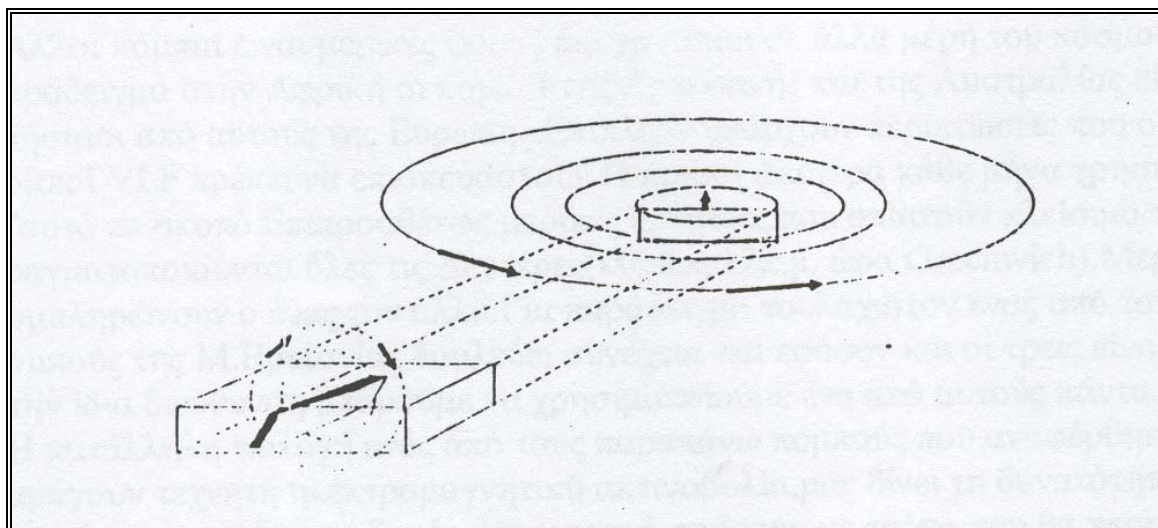
Τα αρχικά VLF σημαίνουν Very Low Frequency (πολύ χαμηλή συχνότητα). Η εκπομπή στο φάσμα πολύ χαμηλών συχνοτήτων (3-30kHz) πρωτοχρησιμοποιήθηκε στα 1910-1912. Η εξέλιξη συνεχίστηκε κατά τον 1^ο Παγκόσμιο Πόλεμο και η μέθοδος εξαπλώθηκε για μεγάλης εμβέλειας επικοινωνίες. Μεγάλες αυτοκρατορίες της εποχής χρησιμοποίησαν τη μέθοδο για τη διατήρηση της επαφής με τις μακρινές αποικίες τους. Για παράδειγμα, στη Γαλλία η επικοινωνία μεταξύ Παρισιού και Σαίγκον

γινόταν στο φάσμα VLF. Μεταξύ 1^{ου} και 2^{ου} Παγκόσμιου Πολέμου η χρήση των VLF άρχισε να μειώνεται λόγω της γρήγορης ανάπτυξης της μικρού κύματος τεχνολογίας. Ωστόσο διατήρησαν τη μεγάλη τους αξιοπιστία. Μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο χρησιμοποιήθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς και κυρίως για την επικοινωνία και την εύρεση του στίγματος των υποβρυχίων των υποβρυχίων.

3.4.1.4 ΠΟΜΠΟΙ VLF

Οι πομποί VLF που είναι σε λειτουργία βρίσκονται διασκορπισμένοι σε διάφορα σημεία ανά τον κόσμο. Αυτοί που βρίσκονται στη Β.Ευρώπη και στην Αμερική είναι σημαντικοί για μας. Στον ελληνικό χώρο χρησιμοποιούνται οι σταθμοί GBP (UK) συχνότητας 16kHz και UMS (Moscow) συχνότητας 17.1kHz. Ένας πομπός VLF αποτελείται από ένα κατακόρυφο καλώδιο πολλών εκατοντάδων μέτρων μακρύ το οποίο εκπέμπει ένα πολύ ισχυρό σήμα (300-1000kW). Το πεδίο που εκπέμπεται από μία τέτοια κεραία είναι οριζόντιο και οι μαγνητικές γραμμές (τις οποίες χρησιμοποιούμε) αποτελούν ομόκεντρους κύκλους που εκπέμπονται από τον πομπό.

Η εικόνα 3.4.3 δείχνει ένα απλό σχηματικό διάγραμμα το οποίο παρουσιάζει τόσο το πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα όσο και ένα επαγωγικό πεδίο που δημιουργείται από μία ρηξιγενή ζώνη.



Σχήμα 3.4.3: Επαγωγικό πεδίο που δημιουργείται από ρηξιγενή ζώνη.

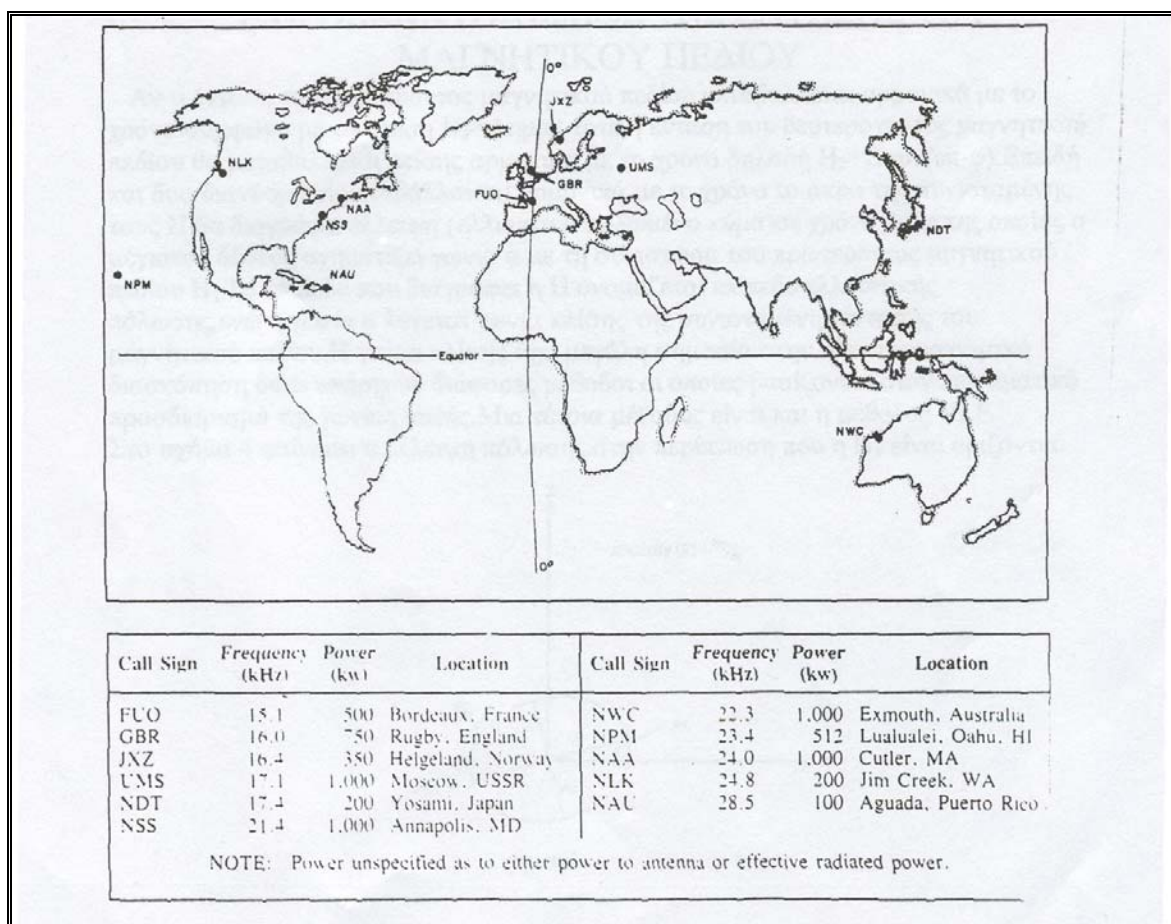
Στον χάρτη του σχήματος 3.4.4 φαίνονται που βρίσκονται οι σημαντικότεροι πομποί στον κόσμο.

Άλλοι πομποί είναι μερικές φορές πιο χρήσιμοι σε άλλα μέρη του κόσμου. Για παράδειγμα στην Αφρική οι πομποί της Αργεντινής και της Αυστραλίας είναι πιο χρήσιμοι από αυτούς της Ευρώπης. Επιπλέον υπάρχουν περιπτώσεις που ορισμένοι πομποί VLF πρέπει να επισκευαστούν. Η πρώτη Δευτέρα κάθε μήνα χρησιμοποιείται γι'αυτό το σκοπό. Επιπροσθέτως μερικές εργασίες που απαιτούν κλείσιμο του πομπού πραγματοποιούνται όλες τις Δευτέρες (κυρίως 12π.μ. ώρα Greenwich). Μερικοί πομποί συμπληρώνουν ο ένας τον άλλο. Για παράδειγμα τουλάχιστον ένας από τους τρεις πομπούς της Μ.Βρετανίας δουλεύει συνέχεια και εφόσον και οι τρεις είναι περίπου στην ίδια διεύθυνση μπορούμε να χρησιμοποιούμε ένα από αυτούς πάντα.

Η κατάλληλη επιλογή ενός από τους παραπάνω πομπούς που αναφέρθηκαν, οι οποίοι παράγουν τεχνητή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, μας δίνει τη δυνατότητα να εντοπίσουμε υπεδάφειες δομές που μας ενδιαφέρουν, με τρόπο που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Η συχνότητα εκπομπής του σήματος είναι 15-30kHz.

Δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα που αναδύονται από τη χρησιμοποίηση των υπαρχόντων πομπών για γεωφυσικές έρευνες είναι:

- 1) Ο δέκτης VLF είναι τόσο βολικός και εύχρηστος όσο ένα φορητό ράδιο.
- 2) Δεν είναι απαραίτητη η ύπαρξη ενός πομπού μέσα στο σύστημα μέτρησης.



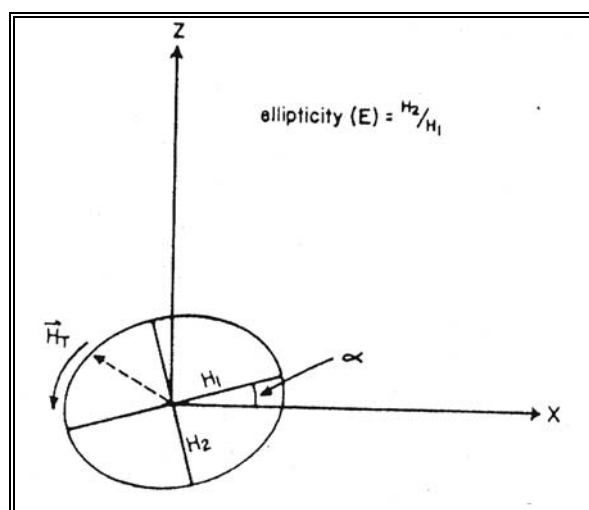
Σχήμα 3.4.4: Θέσεις των κυριότερων πομπών ανά τον κόσμο και συχνότητες εκπομπής τους.

3.4.1.5 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ

Αν η ένταση του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου μεταβάλλεται αρμονικά με το χρόνο σύμφωνα με τη σχέση $H_1 = A \sin \omega t$ τότε η ένταση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου θα μεταβάλλεται επίσης αρμονικά με το χρόνο δηλαδή $H_2 = B \sin(\omega t - \phi)$. Επειδή και τα δυο διανύσματα μεταβάλλονται αρμονικά με το χρόνο το άκρο της συνισταμένης τους H θα διαγράφει έλλειψη (ελλειπτικά πολωμένο κύμα) σε χρόνο $2\pi/\omega$ της οποίας ο μέγιστος άξονας σχηματίζει γωνία α με τη συνιστώσα του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου H_1 . Το επίπεδο που διαγράφει η H ονομάζεται επίπεδο ελλειπτικής πόλωσης, ενώ η γωνία α λέγεται γωνία κλίσης της συνισταμένης έντασης του μαγνητικού πεδίου. Η γωνία κλίσης έχει μεγάλη σημασία στην

ηλεκτρομαγνητική διασκόπηση διότι υπάρχουν διάφορες μέθοδοι οι οποίες βασίζονται στον πειραματικό προσδιορισμό της γωνίας αυτής. Μια τέτοια μέθοδος είναι και η μέθοδος VLF (μέθοδος μέτρησης της γωνίας κλίσης).

Στο σχήμα 3.4.5 φαίνεται η έλλειψη πόλωσης. στην περίπτωση που η H_1 είναι οριζόντια.



Σχήμα 3.4.5: Έλλειψη πόλωσης όταν H_1 είναι οριζόντια.

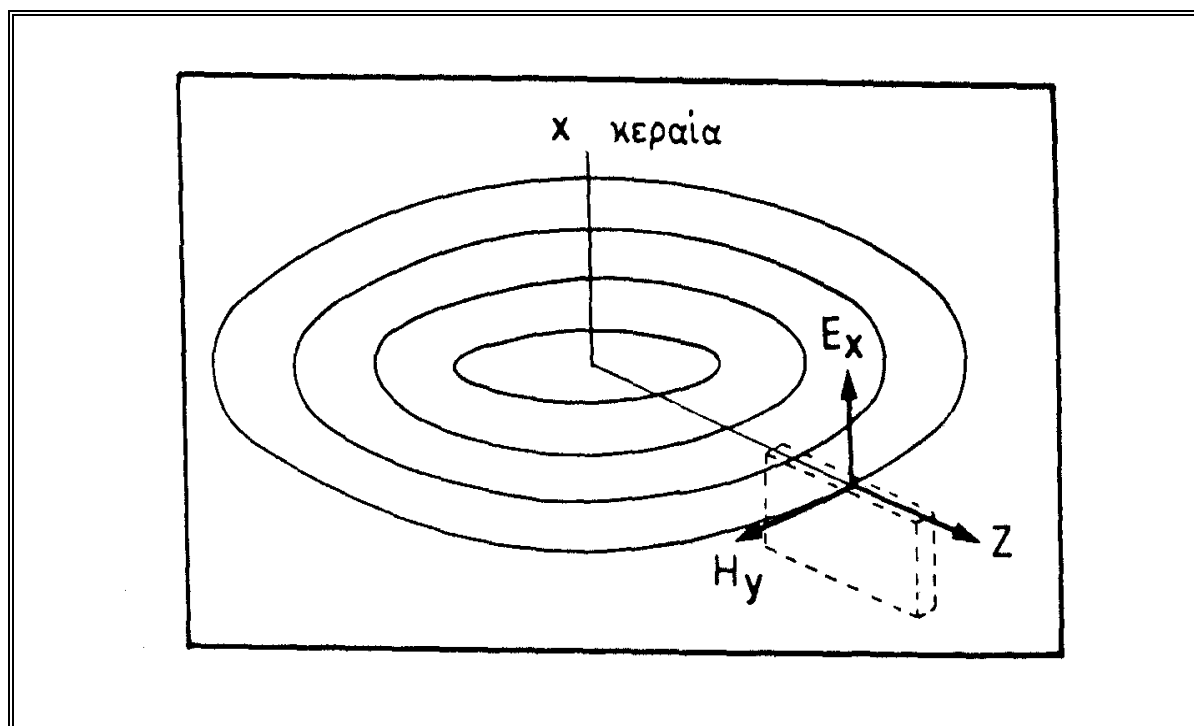
3.4.1.6 ΔΕΚΤΗΣ VLF

Ο δέκτης VLF είναι ένα μικρών διαστάσεων εύχρηστο όργανο που αποτελείται από δύο κάθετα μεταξύ τους πηνία τα οποία συντονίζονται στις συχνότητες των πομπών. Η χρήση των πηνίων γίνεται με τον ακόλουθο τρόπο.

Αφού σε μεγάλες αποστάσεις από τον πομπό το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο είναι οριζόντιο και η ένταση του μαγνητικού πεδίου βρίσκεται στο επίπεδο αυτό και είναι κάθετη προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, ενώ η ένταση του ηλεκτρικού κύματος είναι κατακόρυφη με κατάλληλη χρήση του συστήματος των πηνίων είναι δυνατόν να καθορίσουμε τη διεύθυνση του πομπού και να μετρήσουμε τη γωνία κλίσης του συνολικού κύματος σε διάφορα σημεία στην επιφάνεια της γης.

Το πηνίο που βρίσκεται σε οριζόντια θέση περιστρεφόμενο 360° γύρω από κατακόρυφο άξονα καθορίζει τη διεύθυνση του πομπού όταν ελαχιστοποιηθεί το σήμα του. Το κατακόρυφο πηνίο περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα ο οποίος έχει τη διεύθυνση του πομπού έως ότου μηδενιστεί το σήμα του. Στη θέση αυτή μετρείται η γωνία κλίσης.

Στο σχήμα 3.4.6 φαίνεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα που παράγεται από μια κεραία όπου η μαγνητική συνιστώσα H_y βρίσκεται στο επίπεδο διάδοσης του πρωτεύοντος πεδίου και η ηλεκτρική συνιστώσα E_x είναι κατακόρυφη παράλληλα προς την κεραία παραγωγής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ο άξονας Z που δείχνει την διεύθυνση διάδοσης του κύματος και οι συνιστώσες H_y , E_x σχηματίζουν ένα τρισσορθογώνιο σύστημα. Το επίπεδο ZΨ λέγεται επίπεδο κύματος ενώ το επίπεδο XZ ονομάζεται επίπεδο πόλωσης.



Σχήμα 3.4.6: Παραγωγή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από μία κεραία.

3.4.1.7 ABEM WADI

Μια τέτοια συσκευή που διαθέτει το σύστημα των πηνίων που αναφέρθηκε είναι το WADI το οποίο κατασκευάστηκε από τη Σουηδική εταιρεία ABEM το 1987 και σχεδιάστηκε αποκλειστικά για μετρήσεις VLF. Αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

- ♦ Μία κεραία
- ♦ Έναν υπολογιστή
- ♦ Μία μονάδα επεξεργασίας αναλογικού σήματος

Η κεραία αποτελείται από δύο ράβδους των 15cm οι οποίες είναι τυλιγμένες με σύρμα. Η μία κεραία είναι ευαίσθητη στην οριζόντια συνιστώσα και η άλλη στην κατακόρυφη συνιστώσα του πεδίου. Εξαιτίας ενός κλισιμέτρου (ακρίβεια 0.2°) που είναι ενσωματωμένο στην κεραία επιτρέπει στον χρήστη να μην οριζοντιώνει την κεραία ακριβώς. Το κλισίμετρο δίνει την δυνατότητα στο όργανο να διορθώνει τα σφάλματα της οριζοντίωσης μαθηματικά. Στο σχήμα 3.4.7 φαίνεται η κεραία της συσκευής.

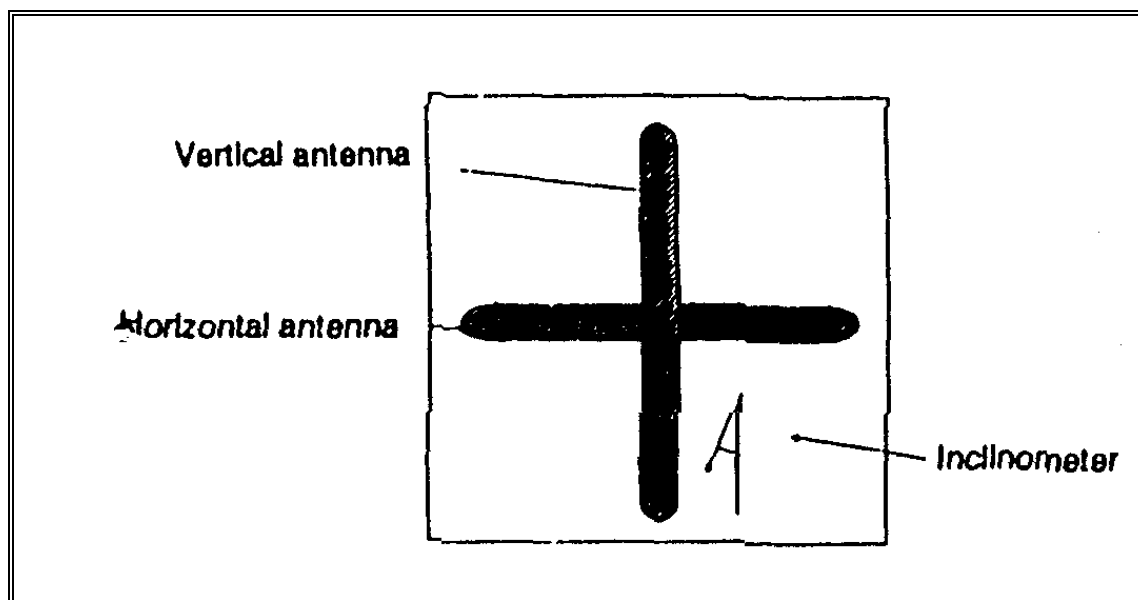
3.4.1.8.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΜΕΤΡΑΕΙ ΤΟ WADI

Το όργανο καταγράφει την αναλογία της ισχύς (εκφρασμένη ως ποσοστό) της κάθετης και της οριζόντιας συνιστώσας στην επιφάνεια του εδάφους. Εφόσον το αρχικό πεδίο που προκαλείται από τον πομπό είναι οριζόντιο είναι προφανές ότι μία κανονική καταγραφή θα είναι μηδέν. Επίσης η καταγραφή θα είναι μηδέν στην περίπτωση οριζόντιου στρώματος με χαμηλή αντίσταση. Με τη μέθοδο VLF αντί των

όρων γωνία κλίσης και ελλειπτικότητα χρησιμοποιούνται το πραγματικό και το φανταστικό μέρος αντίστοιχα.

γωνία κλίσης $\alpha \rightarrow$ πραγματικό μέρος της έντασης του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου.

ελλειπτικότητα $\rightarrow$ φανταστικό μέρος της έντασης του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου.



Σχήμα 3.4.7: Σχηματική παράσταση της κεραίας του οργάνου VLF.

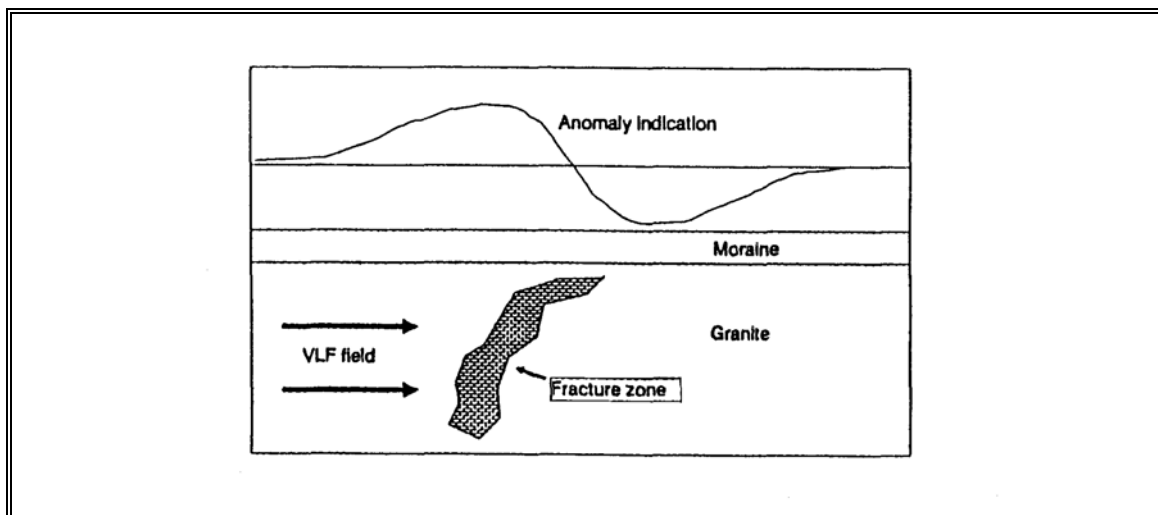
3.4.1.8.2 ΠΩΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΜΙΑ ΑΝΩΜΑΛΙΑ

Το όργανο έχει σχεδιαστεί ώστε η ανωμαλία του πραγματικού μέρους να μοιάζει με αυτή του σχήματος 3.4.8. Αυτό σημαίνει ότι η θετική ανωμαλία φαίνεται στο αριστερό μέρος της υπεδάφιας δομής και η αρνητική στα δεξιά της. Σε μία απλή περίπτωση όπως φαίνεται στο σχήμα είναι εύκολο να εντοπιστεί η ζώνη διάρρηξης. Σε πιο πολλές περιπτώσεις όπου εμπλέκονται πολλές υπεδάφιας δομές είναι δύσκολο να καθοριστεί η θέση κάθε δομής ξεχωριστά ακόμα και για επαγγελματίες γεωφυσικούς. Στο σχήμα φαίνεται πως μία υδροφόρος ρηξιγενής ζώνη δημιουργεί ένα δευτερογενές πεδίο που προκαλεί την αντίστοιχη ανωμαλία. Ένα ακόμα παράδειγμα παραθέτεται στο σχήμα 3.4.9.

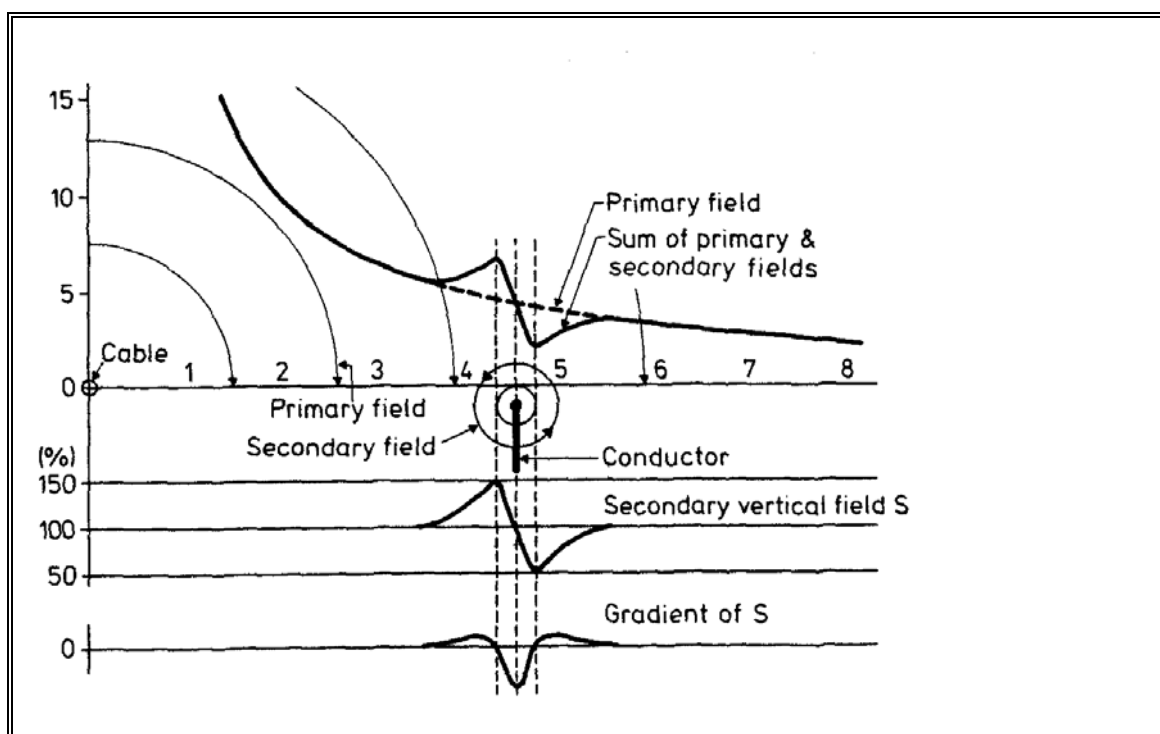
Γενικά οι ανωμαλίες που καταγράφονται από τη συσκευή οφείλονται σε ρηξιγενείς ζώνες. Μία ρηξιγενής ζώνη πρέπει να έχει συγκεκριμένο μέγεθος για να αποκαλυφθεί με τη μέθοδο VLF. Στην πράξη αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχει περίπου 50m μήκος και να βρίσκεται σε βάθος τουλάχιστον 10m. Από την άλλη ένας όγκος 1m^3 επαρκεί.

Όταν το πεδίο που εκπέμπεται από τον πομπό πέσει σε ένα στρώμα που έχει μικρή ηλεκτρική αντίσταση δευτερεύοντα ρεύματα δημιουργούνται στο στρώμα. Αυτά τα ρεύματα δημιουργούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο που αντιτίθεται στο πρωτεύον. Μόνο ένα στρώμα που έχει χαμηλή ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να δημιουργήσει ένα δευτερογενές πεδίο.

Η μέθοδος VLF χρησιμοποιείται για την αποκάλυψη απότομων δομών με μικρή αντίσταση κάνοντας οδεύσεις εγκάρσια στην διεύθυνση των δομών.



Σχήμα 3.4.8: Μία τυπική ένδειξη ανωμαλίας (γνήσια δεδομένα).



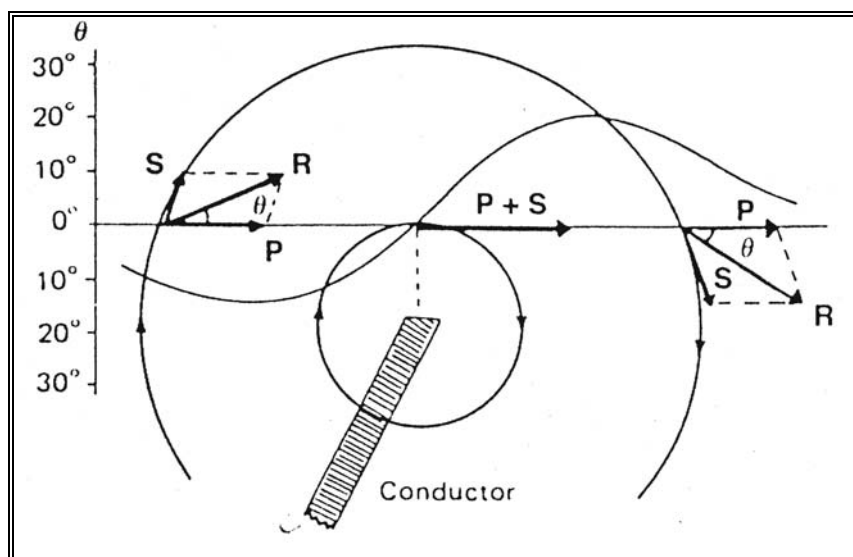
Σχήμα 3.4.9: Ανωμαλία που δημιουργείται από μία ρηξιγενή ζώνη.

3.4.1.8.3 ΔΙΑΤΑΡΑΧΕΣ

Οι ανωμαλίες μπορεί να οφείλονται σε πολλά αίτια εκτός από γεωλογικές δομές. Καλώδια, μεταλλικοί σωλήνες, ηλεκτρικοί φράχτες μπορούν να προκαλέσουν πολύ ισχυρές ανωμαλίες. Θα πρέπει να αποφεύγονται τέτοιου είδους διαταραχές. Αν είναι δυνατόν θα πρέπει η έρευνα να γίνεται κατά μήκος προφίλ τα οποία είναι παράλληλα προς τα αίτια διαταραχών.

3.4.1.8.4 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗ ΜΕΘΟΔΟ VLF

Οι μετρήσεις VLF είναι πολύ ευαίσθητες στην τοπογραφία. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα φτάνει σε μία κεκλιμένη επιφάνεια εδάφους μέρος της ενέργειας του κύματος ανακλάται και το ανακλώμενο μαγνητικό πεδίο έχει μία οριζόντια και μία κατακόρυφη συνιστώσα οι οποίες δεν είναι στην ίδια φάση με το πρωτεύον πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο πολώνεται και η ανωμαλία του πραγματικού μέρους ακόμα και αν η γη είναι ομογενής. Η μορφή της καταγραφής μοιάζει με αυτήν του σχήματος 3.4.10.



Σχήμα 3.4.10: Καταγραφή που οφείλεται στην επίδραση της τοπογραφίας.

Η πιθανή επίδραση της τοπογραφίας πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν πριν μία ανωμαλία καταλογιστεί ότι οφείλεται σε μία ρηξιγενή ζώνη.

Ο Eberle (1981) έχει φτιάξει ένα διάγραμμα το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η ανωμαλία λόγω τοπογραφίας (Σχήμα 3.4.11). Το διάγραμμα σχεδιάστηκε από τον Eberle, ο οποίος ανέλυσε μαθηματικά το πρόβλημα. Το διάγραμμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της γωνίας κλίσης α και της ελλειπτικότητας που οφείλονται στην τοπογραφία. Πριν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η γωνία α που σχηματίζει το δευτερεύον κύμα με την μορφολογία. Η γωνία αυτή βρίσκεται από την σχέση $\tan \alpha = (\cot \beta' \sin \xi_2) / \sin \xi_1$, όπου β' είναι η κλίση της επιφάνειας του εδάφους κατά μήκος της τομής στο σημείο μέτρησης, ξ_1 είναι η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση του διερχόμενου μαγνητικού κύματος με την μορφολογία και ξ_2 είναι η γωνία μεταξύ της τομής και κλίσης του εδάφους.

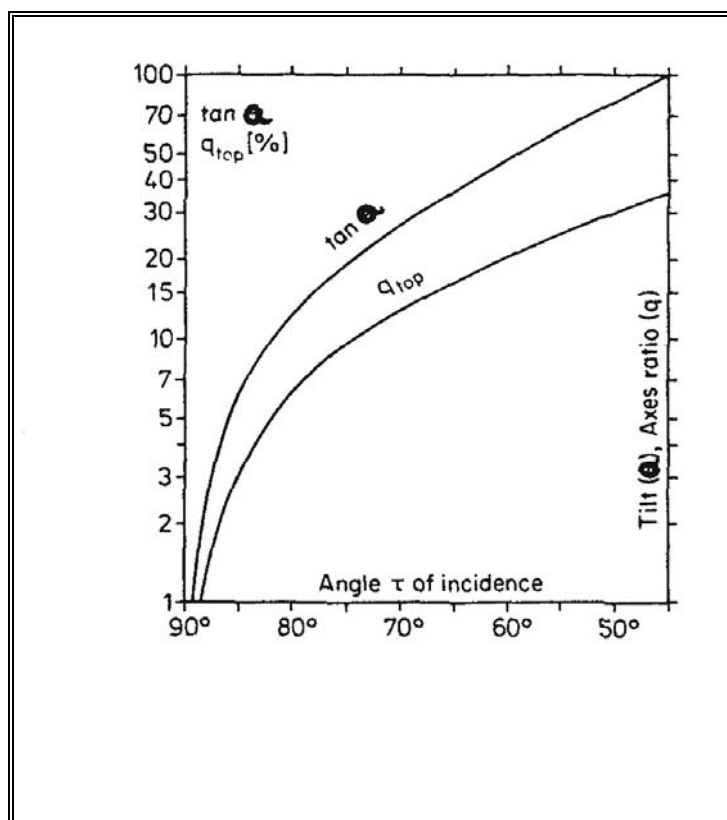
3.4.1.8.5 ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ

Τα δεδομένα που λαμβάνονται με το VLF μπορούν να ερμηνευτούν πιο εύκολα φιλτράροντάς τα. Τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται και καθιστούν ευκολότερη την ερμηνεία είναι τα φίλτρα Fraser.

Αυτό το φίλτρο εκφράζεται με τη παρακάτω μαθηματική εξίσωση.

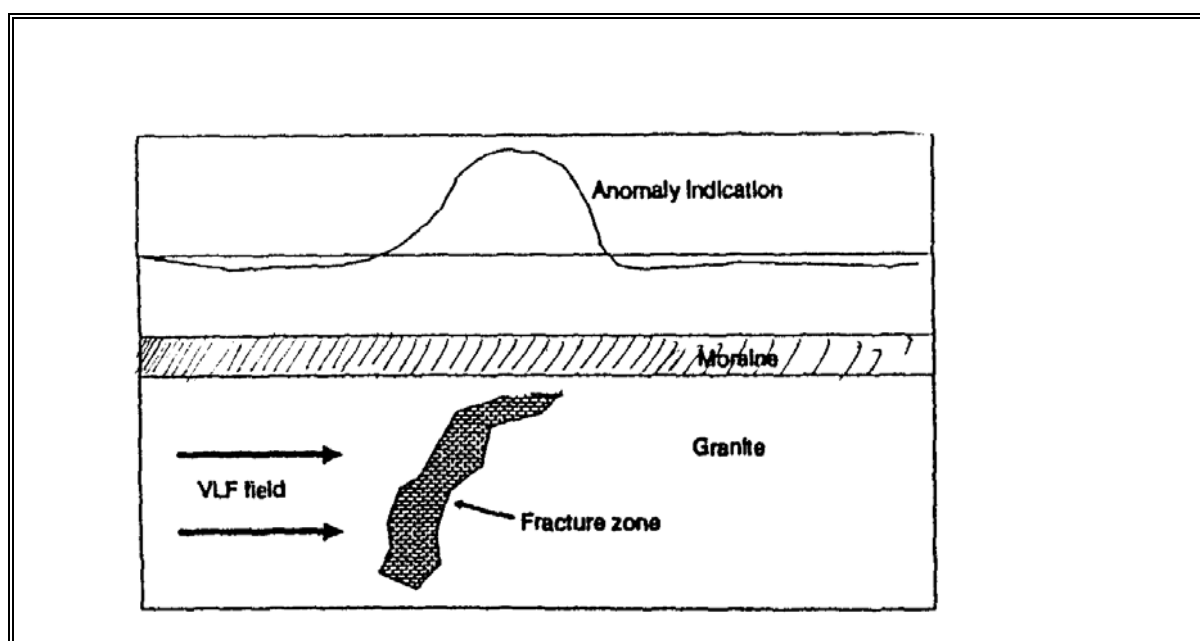
$$F_0 = -0,102H_{-3} + 0,089H_{-2} - 0,561H_{-1} + 0H_0 + 0,561H_1 - 0,059H_2 + 1,102H_3$$

Όπου H_{-3} έως H_3 είναι τα αρχικά δεδομένα.



Σχήμα 3.4.11: Διάγραμμα υπολογισμού της ανωμαλίας λόγω τοπογραφίας.

Στο σχήμα 3.4.12 δίνεται η ανωμαλία έπειτα από το φιλτράρισμα των γνήσιων δεδομένων της που οφείλεται στη ρηξιγένη δομή του σχήματος 3.4.8.



Σχήμα 3.4.12: Γνήσια δεδομένα που έχουν φιλτραριστεί με το φίλτρο Fraser.

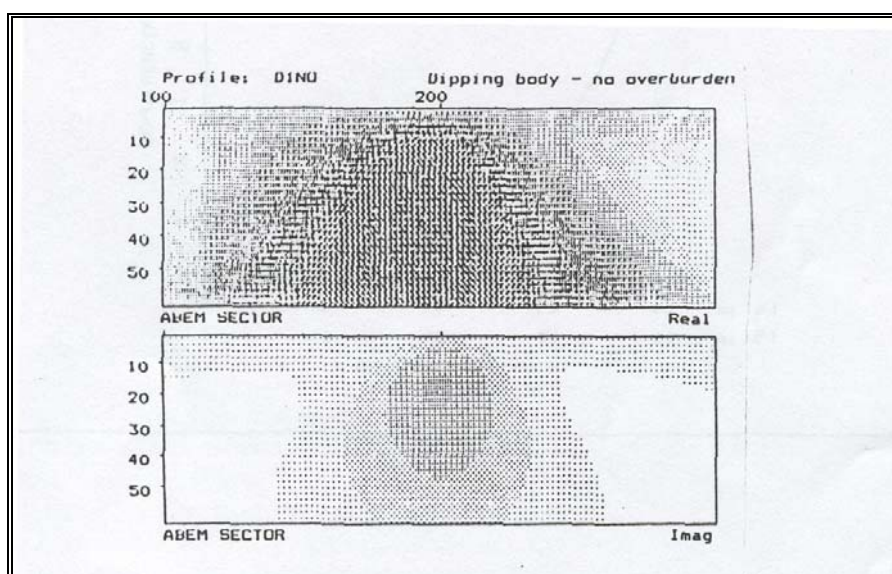
Οι συντελεστές των φίλτρων μετακινούνται κατά μήκος του προφίλ από σημείο σε σημείο και οι παραπάνω πολλαπλασιασμοί και προσθέσεις όπως φαίνονται στην παραπάνω σχέση πραγματοποιούνται για κάθε σημείο. Σ' αυτό το τύπο η απόσταση μεταξύ των σημείων H_0 , H_1 , H_2 επιλέγεται αυθαίρετα. Οποιαδήποτε πληροφορία για κάποιο συγκεκριμένο βάθος μπορεί να αποκτηθεί επιλέγοντας μία κατάλληλη απόσταση μεταξύ των σημείων.

Η φιλτραρισμένη καμπύλη μπορεί να θεωρηθεί μια αναπαραστάση των δευτερογενών ρευμάτων στο έδαφος. Πιο συγκεκριμένα το φιλτράρισμα περιλαμβάνει έναν αλγόριθμο που μετατρέπει τις πολύπλοκες ανωμαλίες με τέτοιο τρόπο ώστε να ερμηνεύονται καλύτερα. Μία σύγκριση μεταξύ των πραγματικών και των φιλτραρισμένων δεδομένων δείχνει ότι μετά το φιλτράρισμα είναι πιο εύκολο να εντοπιστεί η ρηξιγενής ζώνη αφού το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι να παρατηρηθεί το ψηλότερο σημείο της καμπύλης. Η κορυφή βρίσκεται πάνω από τη ρηξιγενή ζώνη.

Ένα προφίλ το οποίο έχει αποθηκευτεί στο όργανο μπορεί να φιλτραριστεί σε διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ των σημείων. Αυτό σημαίνει ότι ισοδύναμη πυκνότητα ρεύματος μπορεί να υπολογιστεί για διαφορετικά βάθη. Το μόνο που χρειάζεται να γίνει είναι να αλλαχθεί η απόσταση μεταξύ των σημείων. Το αποτέλεσμα είναι να εμφανιστούν οι ανωμαλίες για διαφορετικά βάθη χωρίς να ξαναγίνουν οι μετρήσεις κατά μήκος της τομής.

3.4.1.8.6 ΕΓΚΑΡΣΙΕΣ ΤΟΜΕΣ

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων που δίνουν τους συντελεστές του φίλτρου μπορούν να επιλεγούν αυθαίρετα. Αν βαθμιαία αυξηθεί η απόσταση από 2 σε 60m μπορούν να αποκτηθούν πληροφορίες προοδευτικά για μεγαλύτερα βάθη. Ένας τρόπος για να παρασταθούν τα φιλτραρισμένα δεδομένα είναι σε διάγραμμα με αποχρώσεις του γκρι. Η διαβάθμιση του γκρι δίνει μία καθαρή εικόνα για την πυκνότητα του ρεύματος στο έδαφος. Το μαύρο και το άσπρο δείχνουν την υψηλή και την χαμηλή αντίσταση αντίστοιχα, όπως στο σχήμα 3.4.13.



Σχήμα 3.4.13: Εγκάρσια τομή.

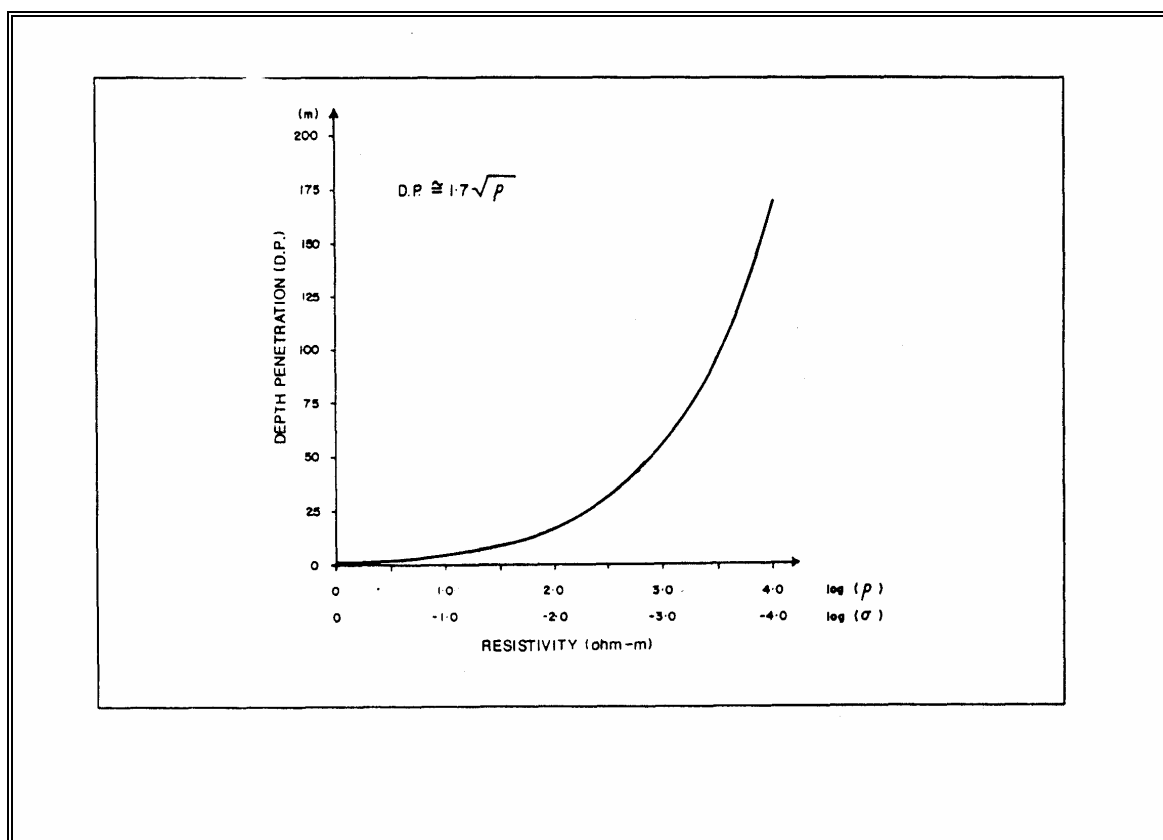
3.4.1.8.7 ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ

Μία αντίσταση της τάξης των 5000Ωm μπορεί να θεωρηθεί άπειρη στις περιπτώσεις που εμφανίζεται. Αυτό σημαίνει ότι ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μπορεί να περάσει το γρανίτη χωρίς αποσβέσεις. Το βάθος διείσδυσης συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα δ και δίνεται από τη σχέση $\delta = 503\sqrt{(\rho/\nu)}$, όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και ν η συχνότητα σε Hz. Διάφορες τιμές της ρ και του δ φαίνονται στον πίνακα 3.4.1.

	ρ (Ωm)	δ (m)
Γρανίτης	> 5000	> 300
Άργιλος	10 - 100	15 - 40
Αλμυρό νερό	1 - 10	4 - 15

Πίνακας 3.4.1: Ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ και βάθος διείσδυσης δ .

Στο σχήμα 3.4.14 φαίνεται η μεταβολή του δ με τη ρ για κάποια συγκεκριμένη τιμή της συχνότητας.



Σχήμα 3.4.14: Μεταβολή του βάθους διείσδυσης δ και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ .

3.4.1.9 ΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

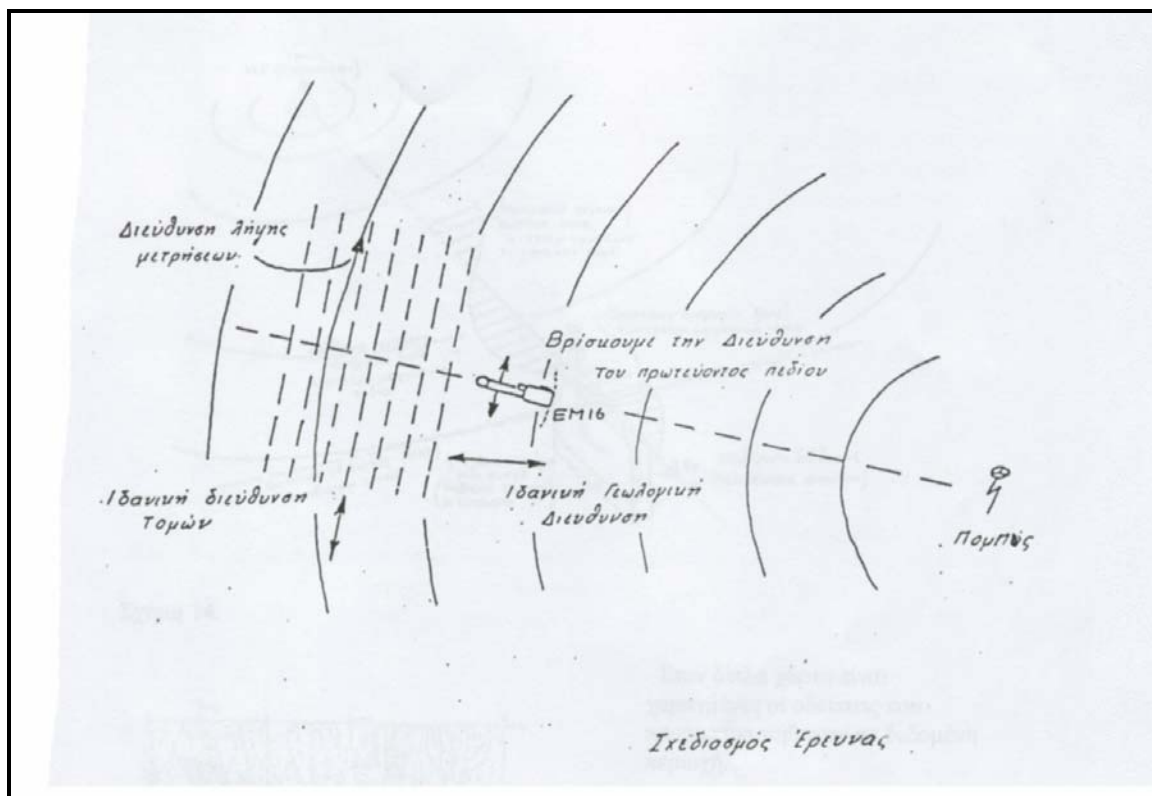
Η μέθοδος VLF αποτελεί μια εξαιρετικά αξιόπιστη μέθοδο στην αποκάλυψη υπεδάφινων δομών. Χρησιμοποιείται για την εύρεση επαφών γεωλογικών σχηματισμών διαφορετικής αγωγιμότητας κατά τη γεωλογική χαρτογράφηση, καθώς επίσης και για τον εντοπισμό μεταλλοφόρων διεισδύσεων. Κυρίως όμως είναι χρήσιμη στο να βρεθούν ρηξιγενείς ζώνες που έχουν σημαντική πιθανότητα υδροφορίας.

Σε μια περιοχή που πρόκειται να διεξαχθεί μια υδρογεωλογική μελέτη χρησιμοποιώντας τη μέθοδο VLF είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστή η γεωλογία της. Η καλή γνώση της γεωλογίας της περιοχής θα δώσει στοιχεία για θέσεις πιθανών ρηξιγενών δομών και για τις διευθύνσεις τους. που σε συνδυασμό με στοιχεία που προκύπτουν από την τοπογραφία (λεκάνες απορροής, υδροκρίτης, κλίση μορφολογίας) την ύπαρξη ρεμάτων, φυσικών πηγών κ.α. θα δώσουν θέσεις και θα καθορίσουν διευθύνσεις στις οποίες ενδείκνυται η πραγματοποίηση οδεύσεων VLF.

Ο τρόπος εργασίας στο ύπαιθρο είναι ο εξής:

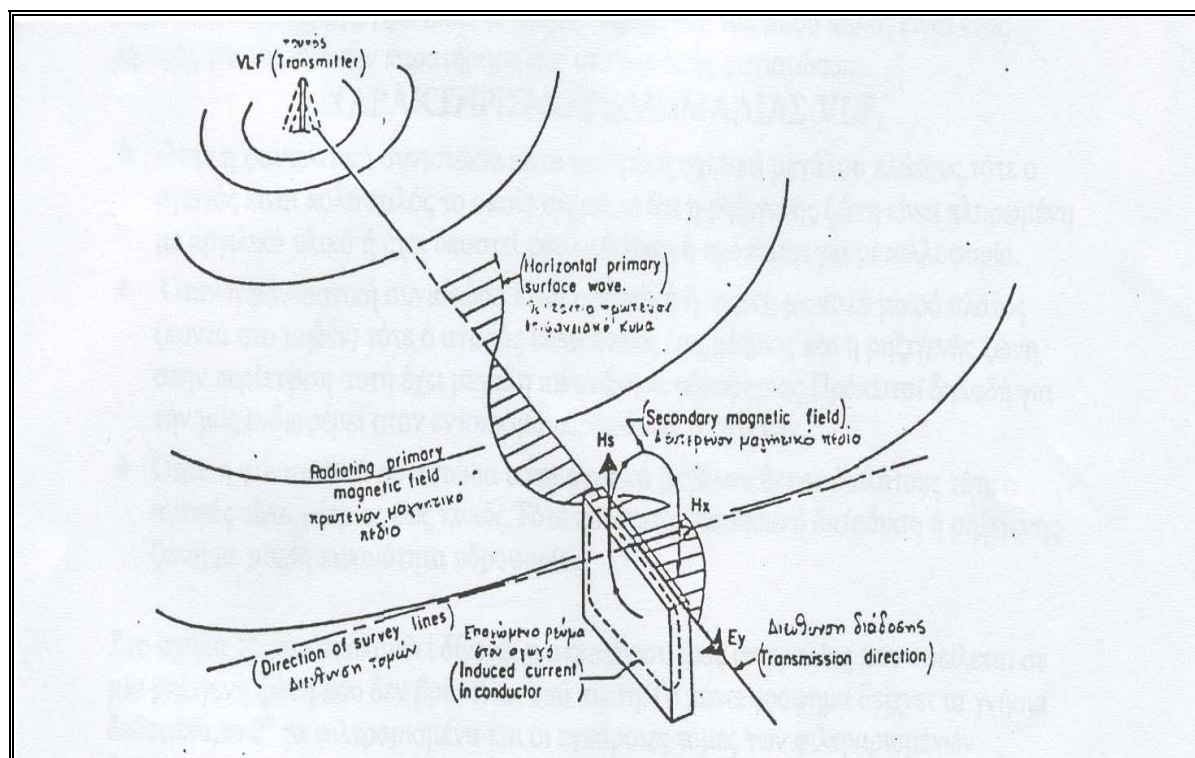
- ♦ Επειδή συνηθίζεται οι ζώνες κατακλάσεων να είναι παράλληλα με χειμάρους και ποτάμια οι οδεύσεις εφόσον είναι δυνατόν θα πρέπει να γίνονται κάθετα στη διεύθυνση οποιονδήποτε τεκτονικών δομών.
- ♦ Αφού επιλεχθούν τα προφίλ (και έτσι οι διευθύνσεις μετρήσεων) πρέπει να επιλεχθεί ο κατάλληλος πομπός. Όπως εξηγήθηκε στο θεωρητικό μέρος παραπάνω, η διεύθυνση προς τον πομπό πρέπει να είναι σχεδόν κάθετη ($\pm 20^0$) προς το προφίλ που θα διατρεχθεί.
- ♦ Οι μετρήσεις θα πρέπει να παίρνονται σε σταθερή διεύθυνση με όσο το δυνατό μικρότερο βήμα μέτρησης (προτείνεται 5-10m).
- ♦ Εάν δεν είναι καλά γνωστή η περιοχή όπου είναι να πραγματοποιηθούν οι μετρήσεις, θα πρέπει να διατρεχθούν τα προφίλ προς δύο κατευθύνσεις.
- ♦ Κατά την εργασία στο ύπαιθρο προκύπτουν αρκετές δυσκολίες. Μεγάλου μήκους προφίλ (τουλάχιστον 150m) είναι απαραίτητα για την πληρέστερη εξέταση της περιοχής. Απότομα ανάγλυφα δυσχεραίνουν την πραγματοποίηση τέτοιων προφίλ. Η κλίση της μορφολογίας πρέπει να ληφθεί υπ'όψιν όπως θεωρητικά έχει αναφερθεί.
- ♦ Η βλάστηση δυσκολεύει την πραγματοποίηση μετρήσεων σε σταθερή διεύθυνση.
- ♦ Η πραγματοποίηση προφίλ κοντά σε θάλασσα είναι καλύτερο να αποφεύγεται.
- ♦ Η χρήση μετροταινίας για τη διατήρηση σταθερού βήματος μετρήσεων προτείνεται.
- ♦ Ο χειριστής του οργάνου θα πρέπει να αποφεύγει την χρήση μεταλλικών συσκευών που είναι επηρεάσουν τη γνησιότητα των καταγραφών.
- ♦ Προτείνεται η πραγματοποίηση παράλληλων προφίλ για την αποκάλυψη μιας δομής στον ευρύτερο χώρο.

Στο σχήμα 3.4.15 δίδεται ο σχεδιασμός έρευνας VLF



Σχήμα 3.4.15: Σχεδιασμός έρευνας VLF.

Στο σχήμα 3.4.16 για τον συγκεκριμένο σχεδιασμό έρευνας απεικονίζεται η διάδοση του πρωτεύοντος και η δημιουργία του δευτερεύοντος πεδίου από έναν αγωγό.



Σχήμα 3.4.16: Πρωτεύον και δημιουργία δευτερεύοντος πεδίου από ένα αγωγό.

3.4.1.10 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

Η ερμηνεία και τα γραφήματα που ακολουθούν προέρχονται από πραγματικές μετρήσεις. Παρατίθενται τα γνήσια, τα φιλτραρισμένα δεδομένα καθώς και οι αντίστοιχες εγκάρσιες τομές. Η ερμηνεία θα γίνει με βάση τα φιλτραρισμένα δεδομένα για την ευκολία που παρέχουν στην ερμηνεία τους.

Προϋπόθεση για τον εντοπισμό καλού αγωγού με τη μέθοδο VLF είναι η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή. Όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος της κορυφής τόσο πιο αγωγίμο είναι το σώμα. Η διάκριση του πόσο καλός είναι ένας αγωγός γίνεται από την παρατήρηση της φανταστικής συνιστώσας.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ VLF.

- ◆ Όταν η φανταστική συνιστώσα είναι αρνητική σχετικά μεγάλου πλάτους, τότε ο αγωγός είναι πολύ καλός το οποίο σημαίνει ότι η ρηξιγενής ζώνη είναι πληρωμένη με αργιλικό υλικό ή έχει υποστεί υφαλμύρωση ή πρόκειται για μεταλλοφορία.
- ◆ Όταν η φανταστική συνιστώσα είναι αρνητική ή θετική με πολύ μικρό πλάτος (κοντά στο μηδέν) τότε ο αγωγός είναι καλός έως μέτριος και η ρηξιγενής ζώνη στην περίπτωση αυτή έχει μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. Πρόκειται δηλαδή για την περίπτωση που μας ενδιαφέρει στον εντοπισμό υδροφόρων ρηγμάτων.
- ◆ Όταν η φανταστική συνιστώσα είναι σχετικά μεγάλου θετικού πλάτους τότε ο αγωγός είναι μέτριος έως κακός. Τότε πρόκειται για πιθανή διείσδυση ή ρηξιγενής ζώνη με μικρή πιθανότητα υδροφορίας.

Στο σχήμα 3.4.17 δίνεται η απεικόνιση μιας ανωμαλίας που οφείλεται σε μια ρηξιγενή ζώνη που δεν βρίσκεται υπό πίεση. Το πάνω γράφημα δείχνει τα γνήσια δεδομένα, το 2^ο τα φιλτραρισμένα και οι εγκάρσιες τομές των φιλτραρισμένων δεδομένων (πραγματική και φανταστική συνιστώσα).

Στο σχήμα 3.4.18 φαίνεται μια ζώνη δύο δομών υπό πίεση. Στη φιλτραρισμένη καταγραφή είναι πολύ εύκολο να διακριθούν οι δύο δομές. Η καταγραφή της ανωμαλίας η οποία λαμβάνεται από δύο δομές Δε δίδει το άθροισμα αλλά τη κάθε ανωμαλία χωριστά.

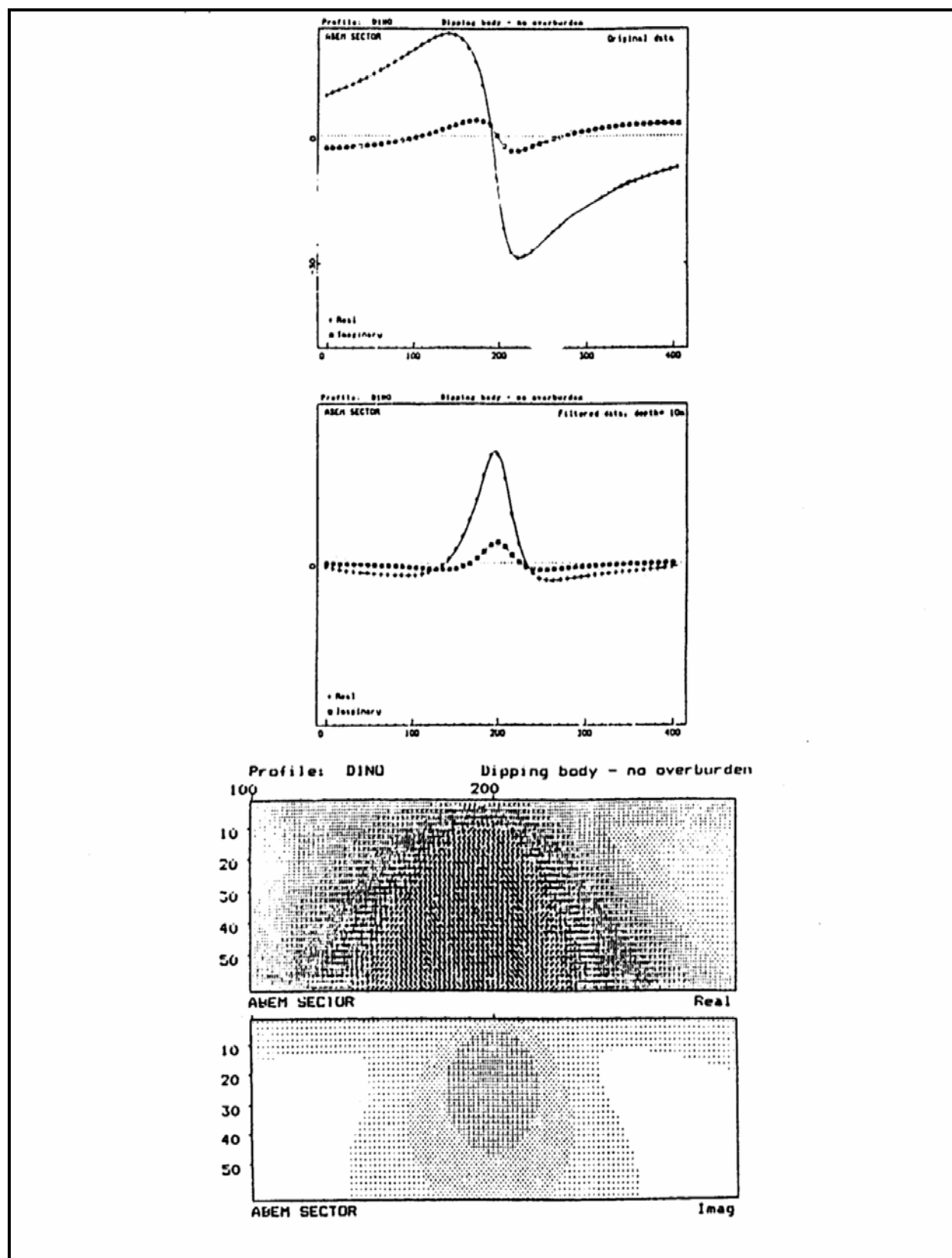
Στο σχήμα 3.4.19 δίνεται μία καταγραφή μιας ρηξιγενής ζώνη. Είναι φανερό ότι το διάγραμμα με τα γνήσια δεδομένα δε βοηθάει σημαντικά στην ερμηνεία του. Το προφίλ ερμηνεύεται πολύ εύκολα από τα φιλτραρισμένα δεδομένα. Εντοπίζονται τρεις ανωμαλίες. Η ανωμαλία έχει προκληθεί από μία υδροφόρο ρηξιγενή ζώνη.

ΚΕΝΤΡΟ-ΒΑΘΟΣ ΣΤΟΧΟΥ

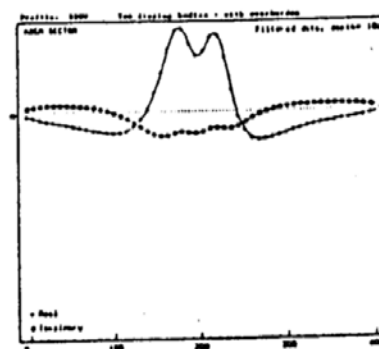
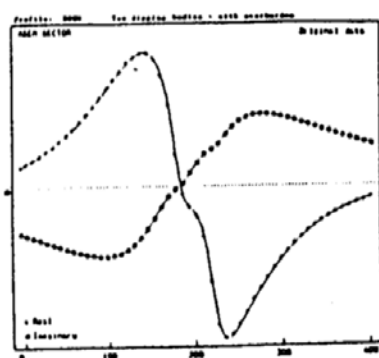
- ◆ Το κέντρο του στόχου βρίσκεται στο σημείο του μέγιστου πλάτους (κορυφή) της πραγματικής συνιστώσας (φιλτραρισμένα δεδομένα).
- ◆ Το βάθος του στόχου είναι περίπου το μισό του μήκους της ανωμαλίας.

ΚΛΙΣΗ ΣΤΟΧΟΥ

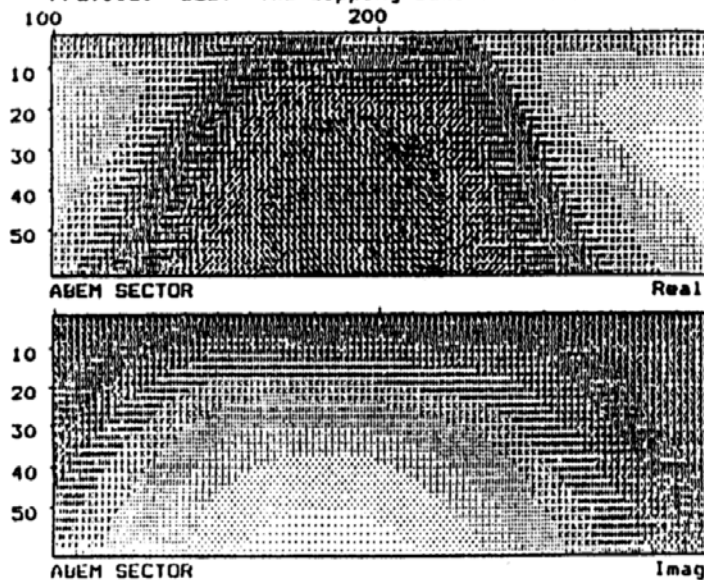
- ◆ Φέρνουμε την κατακόρυφο που περνάει από το κέντρο της ανωμαλίας και η οποία χωρίζει την ανωμαλία σε δύο σκέλη E1, E2 (σχήμα 3.4.120). Ο στόχος έχει κλίση προς το σκέλος που έχει το μεγαλύτερο εμβαδόν.



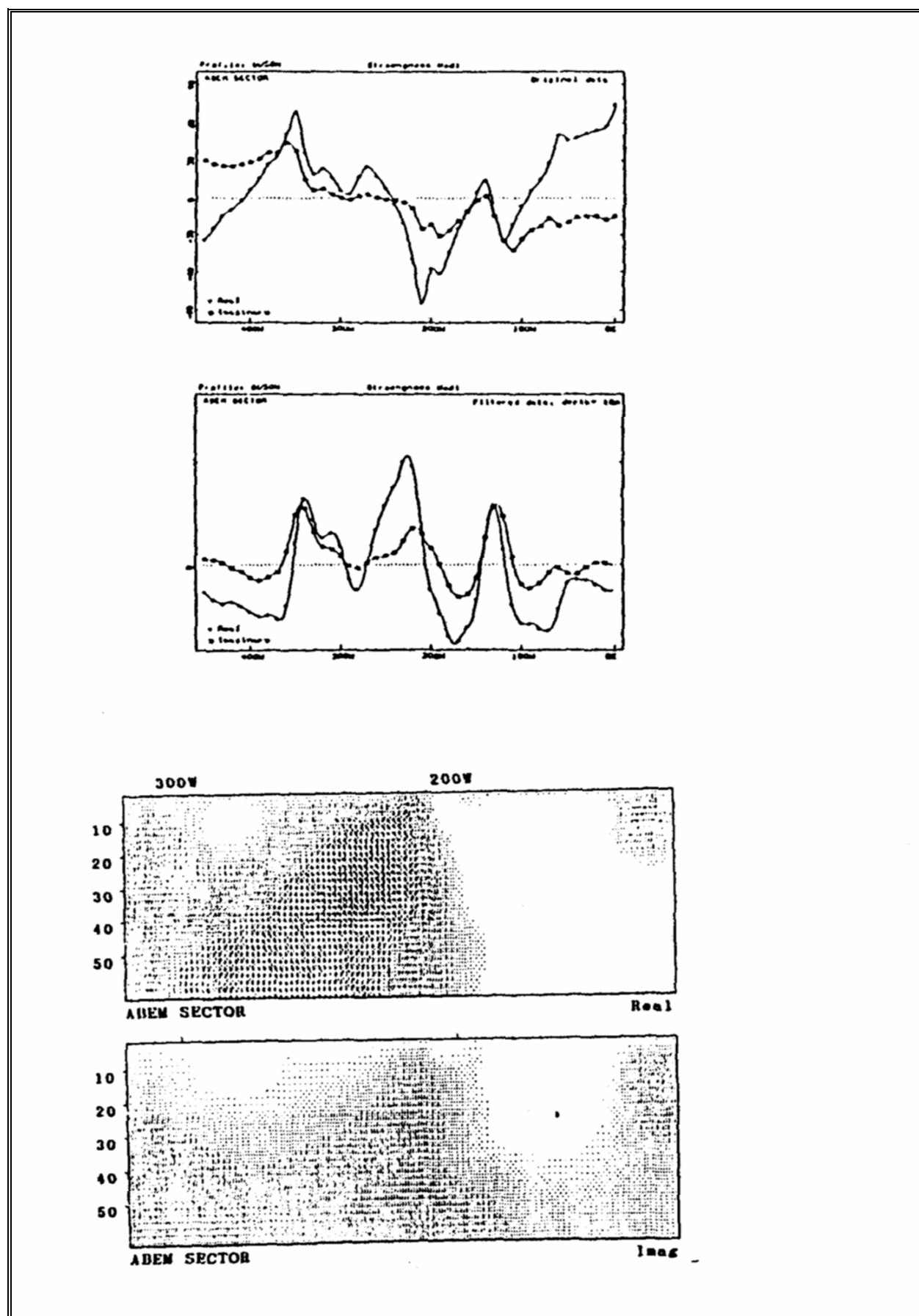
Σχήμα 3.4.17: Ανωμαλία που οφείλεται σε μία ρηξιγενή ζώνη.



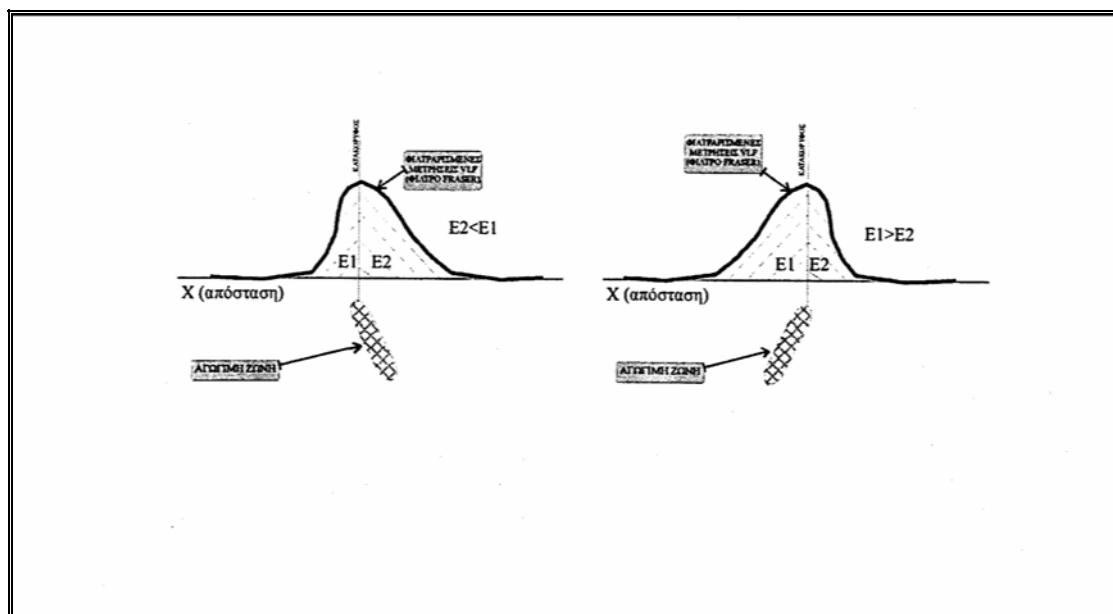
Profile: D20V Two dipping bodies - with overburden



Σχήμα 3.4.18: Ανωμαλία που οφείλεται σε δύο δομές



Σχήμα 3.4.19



Σχήμα 3.4.20: Βάθος και κλίση αγώγιμης ζώνης (π.χ. ρήγμα).

3.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΓΙΑ ΤΗΝ ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αφού έγινε κατανοητή η γεωλογία της περιοχής με την χαρτογράφηση και την αναγνώριση των πετρολογικών σχηματισμών της, καθώς και η τεκτονική της με την μέτρηση διακλάσεων σε όσους σχηματισμούς ήταν αυτό δυνατό και τον εντοπισμό των ρηγμάτων, επακολούθησε η γεωφυσική διασκόπηση.

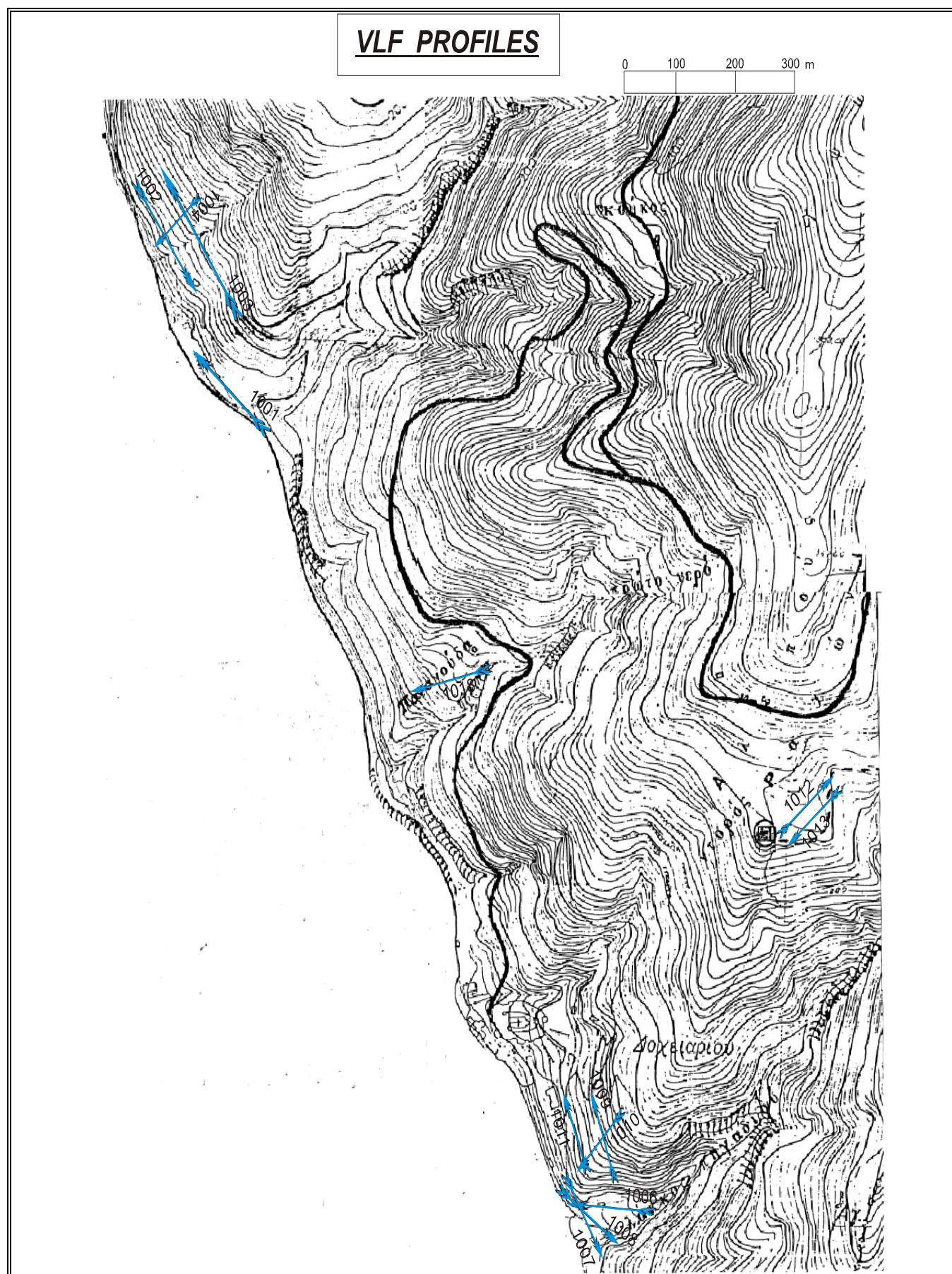
Για τον εντοπισμό των θέσεων στις οποίες θα είχε πρακτικό αποτέλεσμα η πραγματοποίηση οδεύσεων με τη μέθοδο VLF λήφθηκαν υπ' όψιν οι υποκείμενοι σχηματισμοί και το πόσο αυτοί δύναται να αποτελούν ταμιευτήρες νερού. Αυτό για τον λόγο ότι κάθε σχηματισμός, ανάλογα με το πορώδες ή το ρωγμώδες του, θα μπορούσε να αποτελέσει πιθανό υδροφορέα. Έτσι η γεωλογία αποτέλεσε το πρώτο κριτήριο για την επιλογή θέσεων στις οποίες υπήρχε ενδιαφέρον να πραγματοποιηθούν οδεύσεις.

Η τεκτονική στη συνέχεια καθόρισε την διεύθυνση κατά την οποία θα έπρεπε να πραγματοποιηθούν οι οδεύσεις. Από την μέτρηση διακλάσεων και την καταγραφή των ρηγμάτων επιλέχθηκαν διευθύνσεις οδεύσεων οι οποίες να ήταν όσο το δυνατόν κάθετα στην παράταξη πιθανών ρηγμάτων τα οποία προφανώς θα ακολουθούν τη γενικότερη τεκτονική της περιοχής.

Για την πραγματοποίηση των οδεύσεων που θεωρήθηκαν κατάλληλες, έπρεπε να βρεθεί πομπός τέτοιος που να δίνει τη δυνατότητα αξιόπιστων μετρήσεων. Ο πομπός που τηρούσε όλες τις προϋποθέσεις και με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν οι οδεύσεις ήταν αυτός που εκπέμπει στην συχνότητα των 18.3 kHz.

Έγιναν δεκατρείς οδεύσεις με βήμα πέντε μέτρων και μήκος τέτοιο ώστε να είναι αρκετό να ανιχνεύσει μία ανωμαλία. Λόγω του έντονου αναγλύφου το μήκος των οδεύσεων δεν μπορούσε να είναι πάντα το επιθυμητό.

Οι θέσεις και οι διευθύνσεις των οδεύσεων δίνονται στον ακόλουθο χάρτη του σχήματος 3.4.21 και τα αποτελέσματα παρατίθενται στη συνέχεια.



Σχήμα 3.4.21: Χάρτης που φαίνονται οι διευθύνσεις των οδεύσεων VLF.

3.4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Οι οδεύσεις που πραγματοποιήθηκαν μπορούν να ομαδοποιηθούν σε περιοχές έρευνας. Τέσσερις οδεύσεις (1001-1004) έγιναν στην περιοχή Άγιοι Πάντες (περίπου 1300 μέτρα ΒΔ από την μονή). Στο Λάκκο Πηγαδίου, στην έξοδο του ρέματος, και σε ελαιώνες ΝΑ της μονής πραγματοποιήθηκαν έξι οδεύσεις (1006-1011). Στο Ντορό, σε χώρο που βρίσκεται δεξαμενή για την υδροδότηση της μονής, μισό χιλιόμετρο ΒΑ από αυτήν, έγιναν δύο οδεύσεις, η 1012 και η 1013. Τέλος στο ρέμα της Παναγούδας, σε ελαιώνα, έγινε μία οδευση (1018).

Στην συνέχεια παρατίθενται τα αποτελέσματα των οδεύσεων με την μορφή δύο γραφημάτων, όπου το πρώτο αναπαριστά τα γνήσια δεδομένα της πραγματικής (real) και της φανταστικής (imaginary) συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου. Στο δεύτερο γράφημα δίνονται οι φιλτραρισμένες της πραγματικής (real) και της φανταστικής (imaginary) συνιστώσας και από κάτω οι αντίστοιχες εγκάρσιες τομές τους.

3.4.4 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η αξιολόγηση των μετρήσεων θα γίνει με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο το οποίο έχει αναλυθεί στην παράγραφο 3.4.1.10 και θα αναζητηθούν οι αγωγίμες ζώνες (ρήγματα) χρησιμοποιώντας τα φιλτραρισμένα δεδομένα της πραγματικής (real) και της φανταστικής (imaginary) συνιστώσας. Η προϋπόθεση για τον εντοπισμό ρήγματος με πιθανότητα υδροφορίας είναι η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή (με όσο το δυνατόν μεγαλύτερο πλάτος) και η φανταστική συνιστώσα να είναι αρνητική ή θετική με πολύ μικρό πλάτος (κοντά στο μηδέν).

3.4.4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ

Όδευση :1001
Μήκος :110 m
Διεύθυνση :ΝΑ-ΒΔ

Αξιολόγηση :Το πλάτος της πραγματικής συνιστώσας παρατηρείται πολύ μικρό (κοντά στο μηδέν). Το πλάτος φανταστικής συνιστώσας είναι επίσης πολύ μικρό. Τα αποτελέσματα δεν υποδηλώνουν την ύπαρξη υδροφόρων ρηγμάτων.

Όδευση :1002
Μήκος :160 m
Διεύθυνση :ΒΔ- ΝΑ

Αξιολόγηση : Σε απόσταση 60 μέτρων από την αρχή της όδευσης παρατηρείται μία θετική ανωμαλία της πραγματικής συνιστώσας μικρού όμως πλάτους. Για το εύρος αυτής της ανωμαλίας η φανταστική συνιστώσα κυμαίνεται κοντά στο μηδέν. Το μικρό πλάτος της πραγματικής συνιστώσας δεν επαρκεί για την υπόδειξη πιθανού υδροφόρου ρήγματος.

Όδευση :1003
Μήκος :250 m
Διεύθυνση :ΝΑ-ΒΔ

Αξιολόγηση :Στα διαστήματα 45m - 110m και 145m - 190m η πραγματική συνιστώσα είναι θετική με σχετικά μεγάλο πλάτος ενώ η φανταστική συνιστώσα

παίρνει τιμές κοντά στο μηδέν στο εύρος των θετικών ανωμαλιών της πραγματικής συνιστώσας. Στα 93 και στα 175 μέτρα από την αφετηρία της όδευσης εμφανίζονται δύο ρήγματα με παράταξη ΒΑ-ΝΔ και διεύθυνση κλίσης προς προς τα ΝΑ τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας.

Όδευση :1004
Μήκος :70 m
Διεύθυνση :ΒΑ-ΝΔ

Αξιολόγηση : Τόσο η πραγματική όσο και η φανταστική συνιστώσα παίρνουν μικρές τιμές σε όλο το εύρος της όδευσης.

3.4.4.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΑΚΚΟΣ ΠΗΓΑΔΙΟΥ

Όδευση :1006
Μήκος :140 m
Διεύθυνση :Α-Δ

Αξιολόγηση : Η πραγματική και η φανταστική συνιστώσα παρουσιάζουν πολύ ψηλή και οξύληκτη κορυφή στα 122 και 118 μέτρα αντίστοιχα, πράγμα που υποδηλώνει την ύπαρξη εξωγενούς επίδρασης για την δημιουργία τους. Ο εξωγενής παράγοντας πρόκειται για ρευματοφόρο καλώδιο του Ο.Τ.Ε. το οποίο και υπολογίζεται στην αξιολόγηση αυτής της όδευσης. Στο υπόλοιπο τμήμα παρατηρούνται μικρές τιμές των δύο συνιστωσών.

Όδευση :1007
Μήκος :100 m
Διεύθυνση :ΒΔ-ΝΑ

Αξιολόγηση : Η πραγματική συνιστώσα και όταν ακόμα αποκτάει θετικές τιμές είναι πολύ μικρές. Η φανταστική συνιστώσα σε όλο το εύρος της όδευσης παρουσιάζει αρνητικές τιμές μεγάλου πλάτους.

Όδευση :1008
Μήκος :70 m
Διεύθυνση :ΒΔ-ΝΑ

Αξιολόγηση : Η φανταστική συνιστώσα είναι θετική με σχετικά μεγάλο πλάτος. Στο διάστημα αυτό η πραγματική παίρνει αρνητικές τιμές κοντά στο μηδέν.

Όδευση :1009
Μήκος :135 m
Διεύθυνση :ΝΝΑ-ΒΒΔ

Αξιολόγηση : Παρατηρείται μία θετική ανωμαλία της πραγματικής συνιστώσας σχετικά μικρού πλάτους. Διακρίνονται σ'αυτήν δύο μέγιστα τα οποία θα μπορούσαν να υποδηλώσουν την πιθανή ύπαρξη ρηγμάτων. Στο εύρος αυτής της ανωμαλίας η φανταστική συνιστώσα παίρνει θετικές σχετικά όμως μεγάλες τιμές. Από την όχι και τόσο ξεκάθαρη αυτή ανωμαλία στα μήκη 37 και 93 μέτρα εντοπίζονται δύο ρήγματα με παράταξη ΒΑ-ΝΔ και κλίση προς τα ΒΔ και τα ΝΑ αντίστοιχα.

Όδευση :1010
 Μήκος :110 m
 Διεύθυνση :BA-NA

Αξιολόγηση :Στα 15 μέτρα από την αρχή της όδευσης η πραγματική συνιστώσα παίρνει μεγάλη σχετικά τιμή ενώ η φανταστική κυμαίνεται κοντά στο μηδέν. Η καταγραφή στη θέση αυτή είναι πιθανόν να υποδηλώνει διεύθυνσης ΒΔ-NA, κλίσης προς τα ΒΔ με πιθανότητα υδροφορίας. Η σχετικά μικρή κλίση του αναγλύφου δεν καθιστά απαραίτητη την τοπογραφική διόρθωση.

Όδευση :1011
 Μήκος :125 m
 Διεύθυνση :NNA-BBΔ

Αξιολόγηση : Σε όλο το εύρος της όδευσης η φανταστική συνιστώσα κυμαίνεται κοντά στο μηδέν παίρνοντας θετικές και αρνητικές τιμές. Σε απόσταση 25 μέτρων από την αρχή της όδευσης η πραγματική συνιστώσα παίρνει θετική τιμή μεγάλου πλάτους. Στη θέση αυτή η καταγραφή υποδηλώνει την ύπαρξη ρήγματος με παράταξη BA-NA, σχεδόν κατακόρυφο, που κλίνει προς τα NA και έχει μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. Σε μήκος 88 μέτρων από την αφετηρία η πραγματική συνιστώσα παίρνει θετική τιμή σχετικά μεγάλου πλάτους που ίσως να υποδηλώνει την ύπαρξη ρήγματος υδροφόρου με διεύθυνση BA-NA και κλίσης προς τα ΒΔ.

3.4.4.3 ΠΕΡΙΟΧΗ ΝΤΟΡΟΣ

Όδευση :1012
 Μήκος :125 m
 Διεύθυνση :NA-BA

Αξιολόγηση : Όταν η πραγματική συνιστώσα παρουσιάζεται θετική, έχει μικρό πλάτος, ενώ παράλληλα η φανταστική συνιστώσα σ'αυτήν την ανωμαλία εμφανίζει σχετικά μεγάλες θετικές τιμές.

Όδευση :1013
 Μήκος :125 m
 Διεύθυνση :BA-NA

Αξιολόγηση : Εντοπίζεται θετική ανωμαλία της πραγματικής συνιστώσας, σχετικά μεγάλου πλάτους, με δύο μέγιστα, σε αποστάσεις 82 και 112 μέτρων. Οι τιμές της φανταστικής συνιστώσας στο εύρος αυτής της ανωμαλίας είναι τέτοιες που δεν θεωρείται σκόπιμη η περαιτέρω ανάλυση αυτής της καταγραφής.

3.4.4.4 ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΑΝΑΓΟΥΔΑ

Όδευση :1018
 Μήκος :100 m
 Διεύθυνση :BA-NA

Αξιολόγηση :Όταν η πραγματική συνιστώσα έχει θετικές τιμές αυτές είναι σχετικά μικρού πλάτους. Η φανταστική συνιστώσα παρουσιάζεται να έχει σχετικά μεγάλο πλάτος.

3.4.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

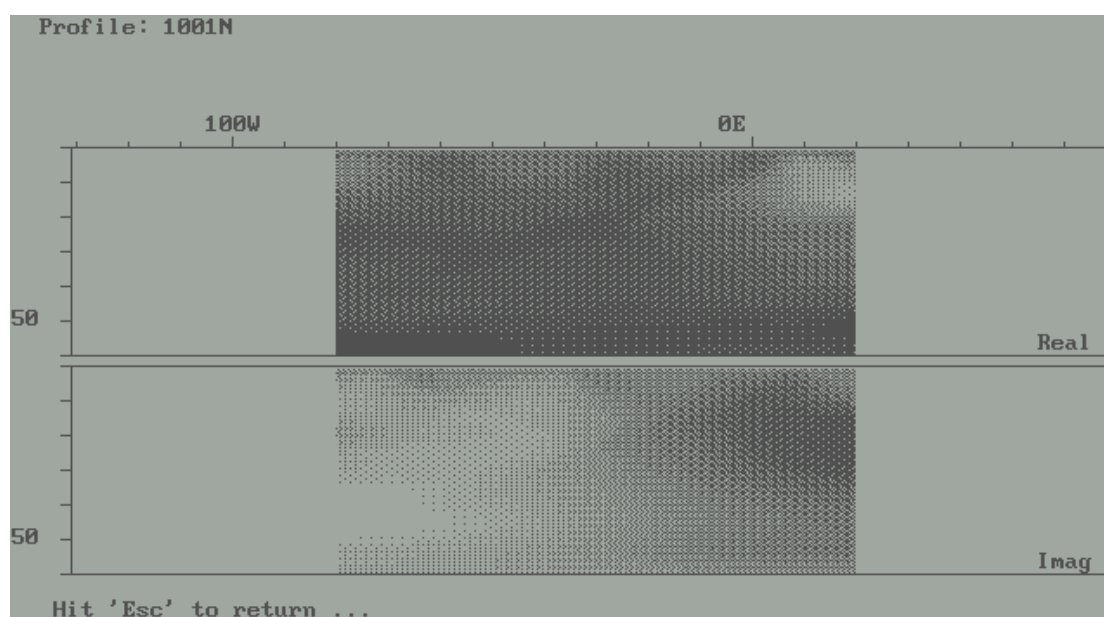
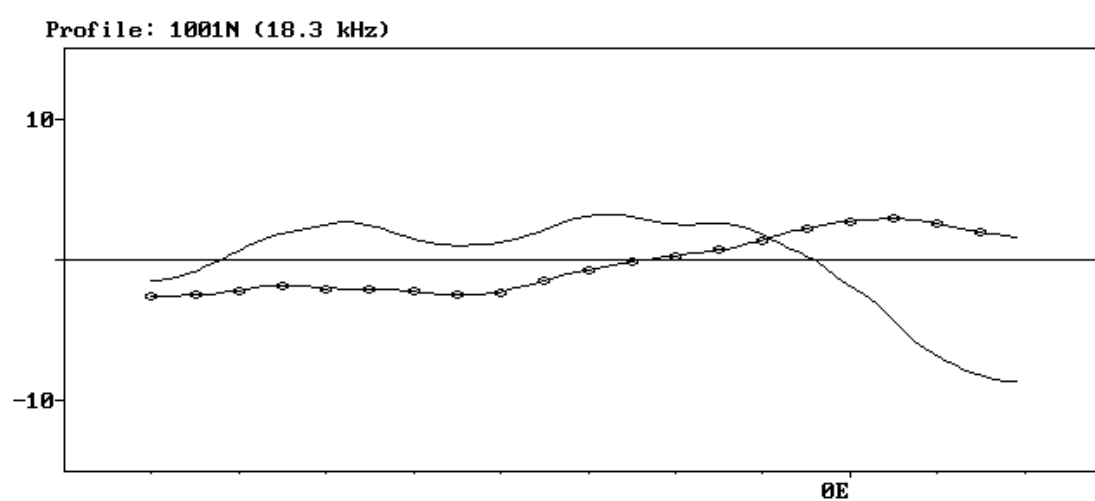
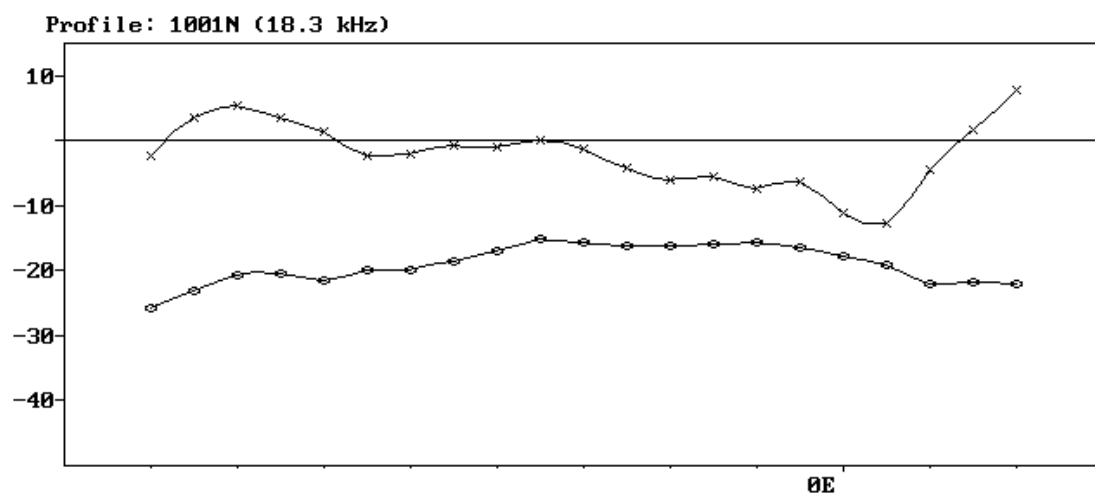
Τα συμπεράσματα τα οποία συνοψίζονται σ'αυτήν την παράγραφο βασίζονται στην αξιολόγηση και στην ερμηνεία των οδεύσεων καθαρά από γεωφυσική σκοπιά.

Από το σύνολο των οδεύσεων που πραγματοποιήθηκαν, ενδιαφέρον για το σκοπό της μελέτης, παρουσιάζουν οι τομές 1003 στην περιοχή Αγίοι Πάντες και 1011 στον ελαιώνα βόρεια του Λάκκου του Πηγαδίου.

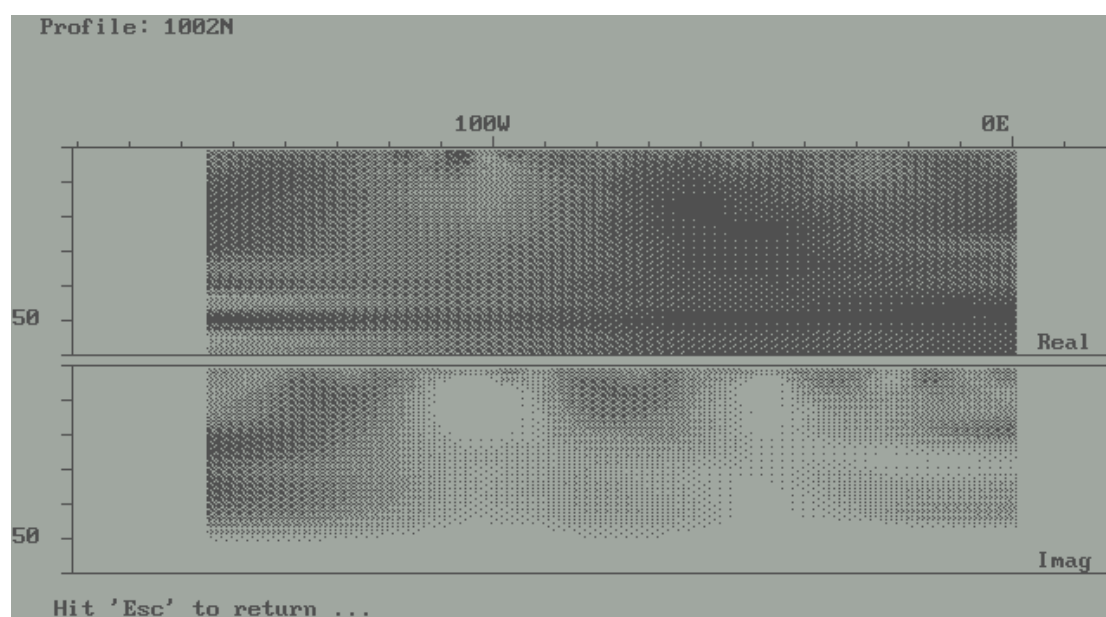
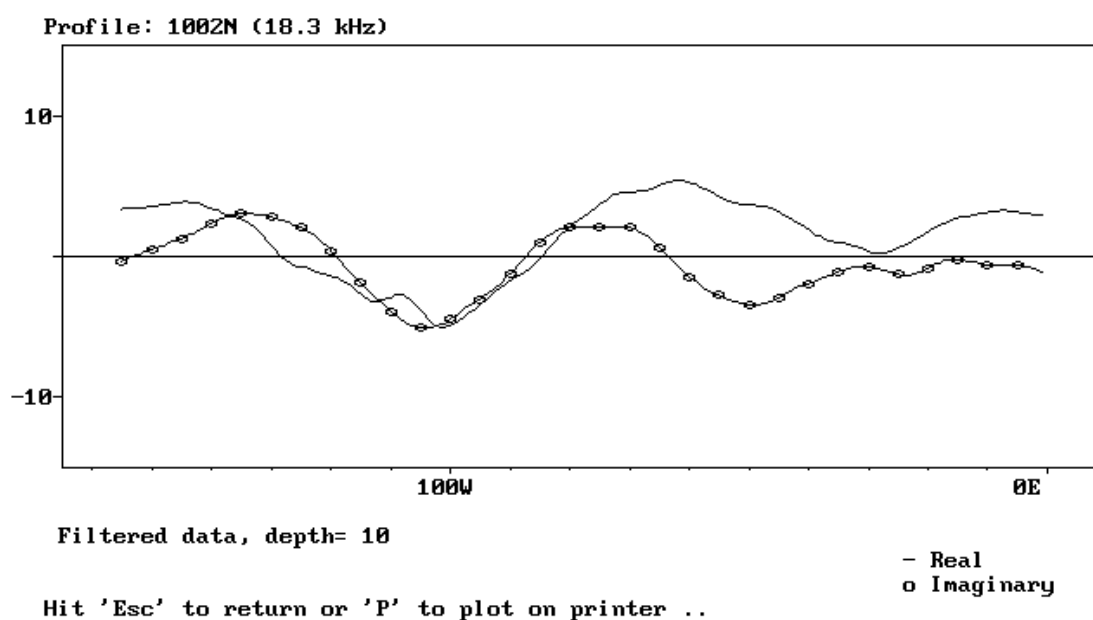
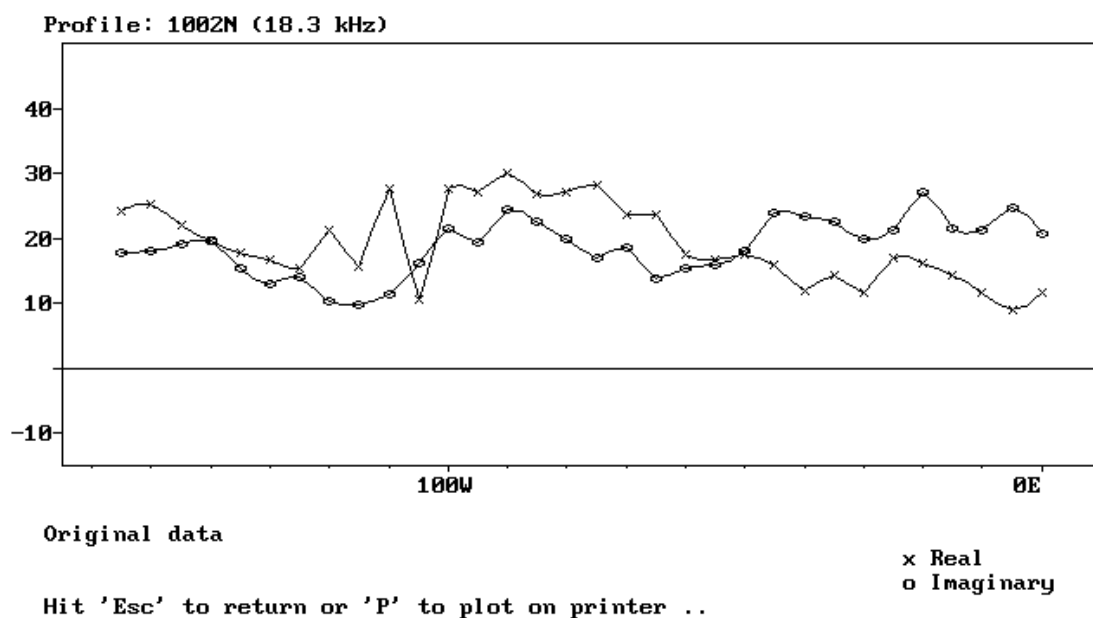
Στην περιοχή Αγίοι Πάντες (όδευση 1003, υψόμετρο 24 μέτρα), σχεδόν παράλληλα στην ακτογραμμή, εντοπίζονται δύο ρήγματα παράταξης ΒΑ-ΝΔ με κλίση προς τα ΝΑ, σε αποστάσεις 93 και 175 μέτρων από την αρχή της όδευσης, με ενδεικτικά βάθη 15 μέτρων και με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας.

Στον ελαιώνα, βόρεια του Λάκκου Πηγαδίου, (όδευση 1011, υψόμετρο 40 μέτρα), εντοπίζεται ρήγμα με παράταξη ΒΑ-ΝΔ, σχεδόν κατακόρυφο, με κλίση προς τα ΝΑ, το οποίο παρουσιάζει πιθανότητα υδροφορίας. Το ρήγμα αυτό εντοπίζεται σε απόσταση 25 μέτρων από την αρχή της όδευσης και το βάθος του ενδεικτικά υπολογίζεται σε 20 μέτρα. Το συμπέρασμα από την ύπαρξη της δεύτερης ανωμαλίας είναι ένα ρήγμα, μικρότερης πιθανότητας υδροφορίας από το προηγούμενο, το οποίο εντοπίζεται στα 88 μέτρα από την αρχή της όδευσης, έχει παράταξη ΒΑ-ΝΔ, κλίνει προς τα ΒΔ και το βάθος στο οποίο βρίσκεται η κορυφή του εκτιμάται στα 10 μέτρα.

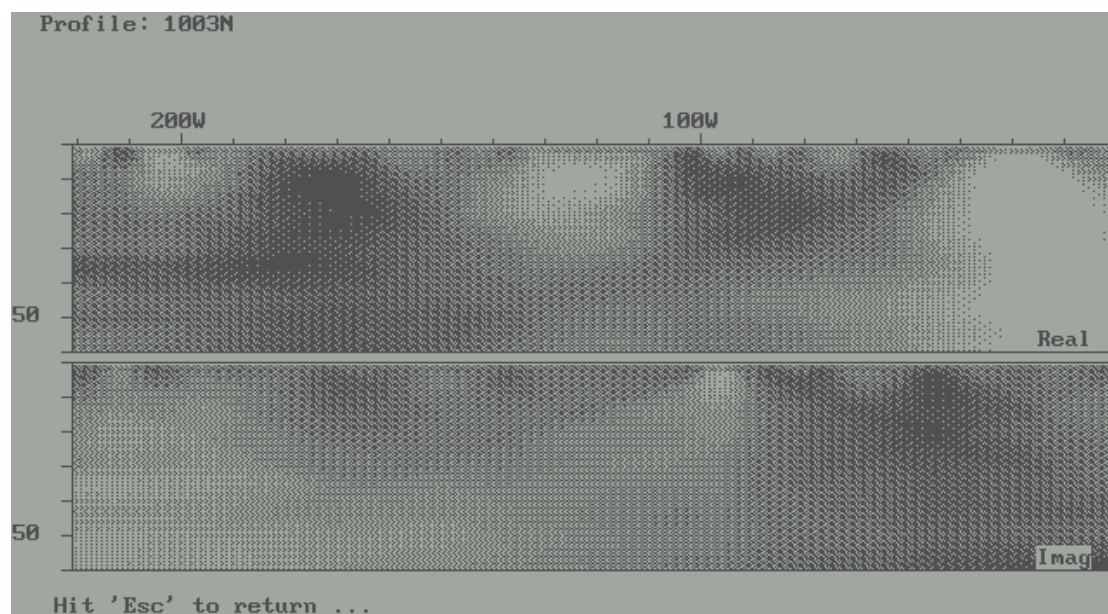
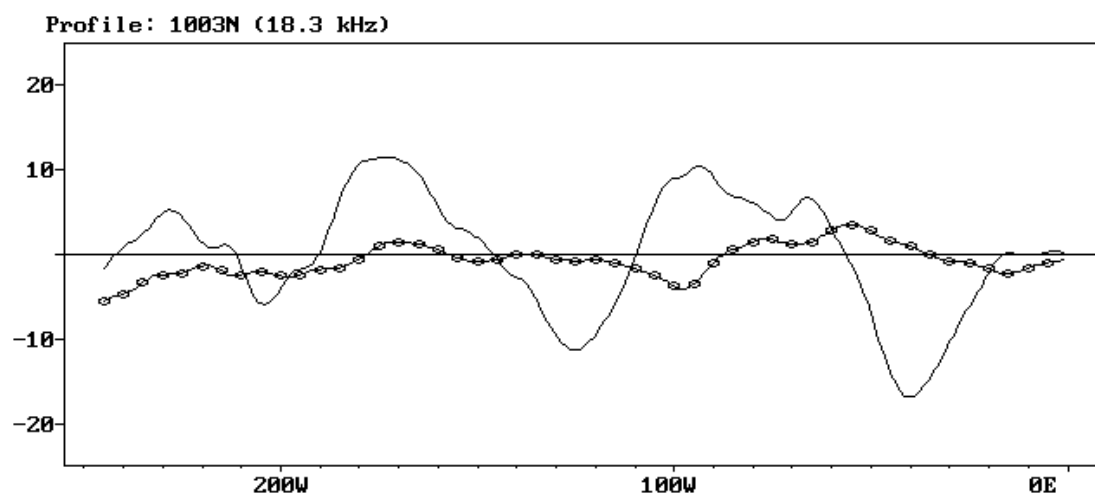
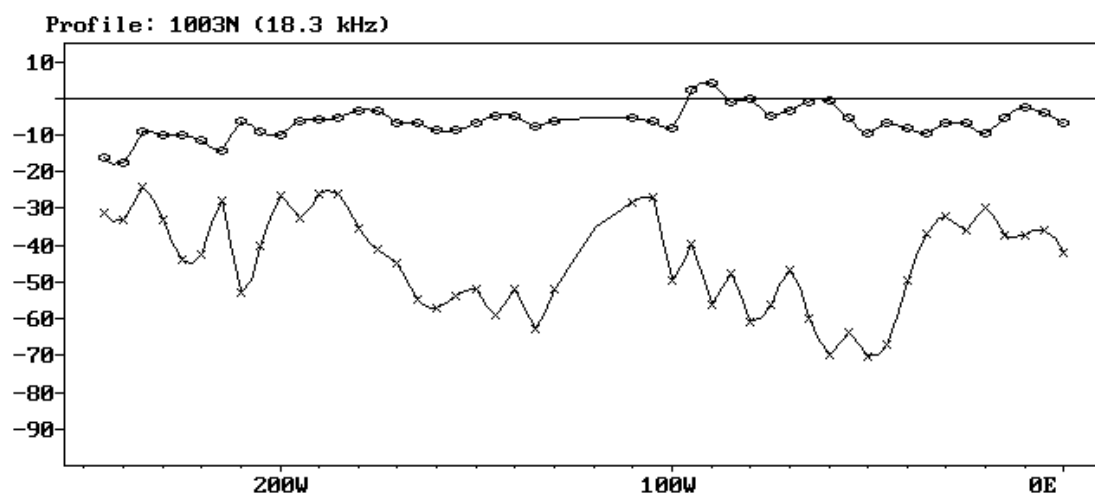
Τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης δίνουν στοιχεία για τον εντοπισμό πιθανών υδροφόρων ρηγμάτων τα οποία σε συνδυασμό με την γεωλογική και υδρογεωλογική έρευνα θα καθορίσουν τις τελικές προτάσεις για την περιοχή έρευνας.



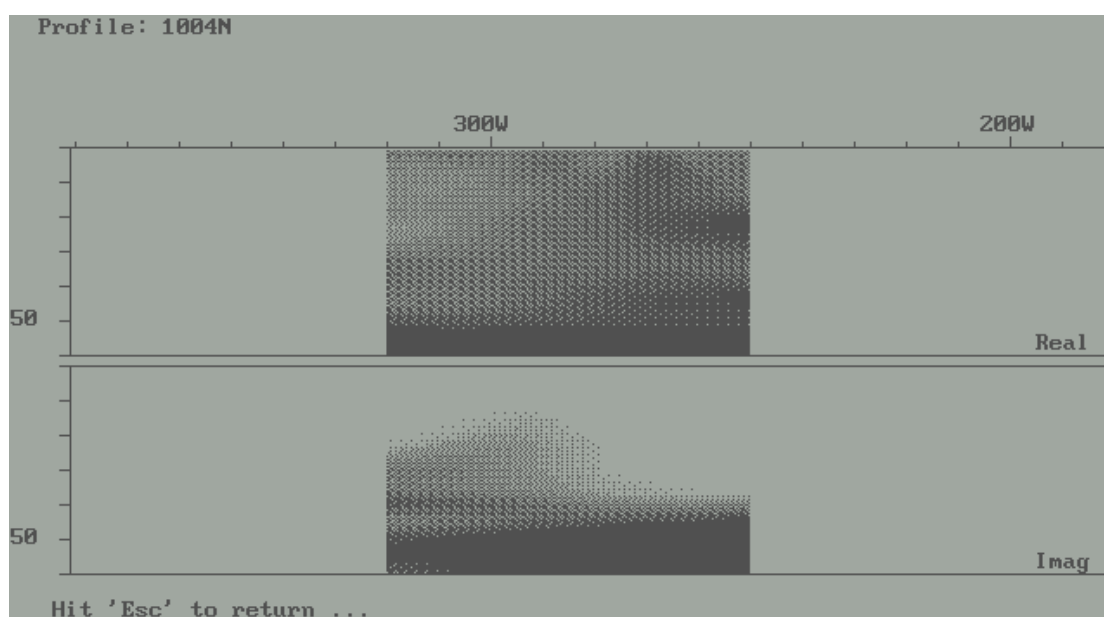
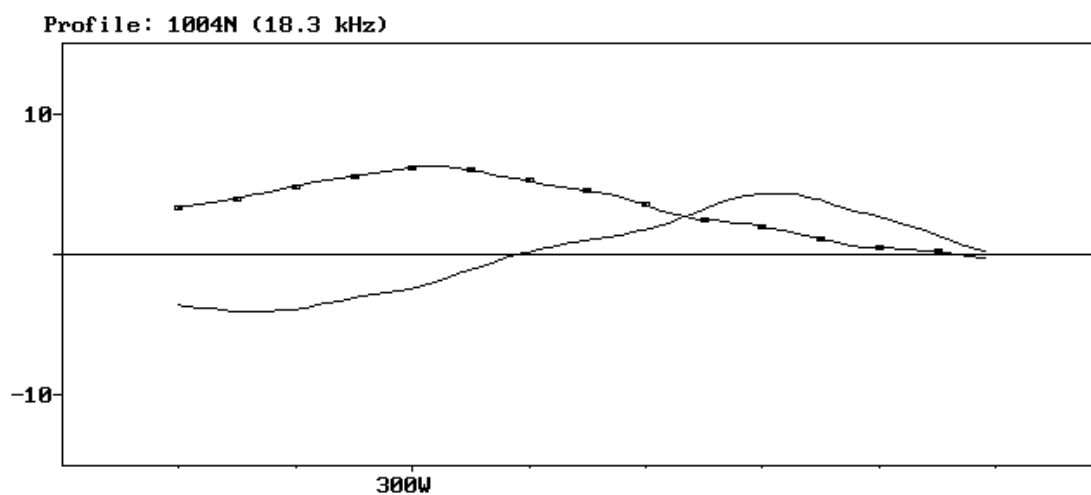
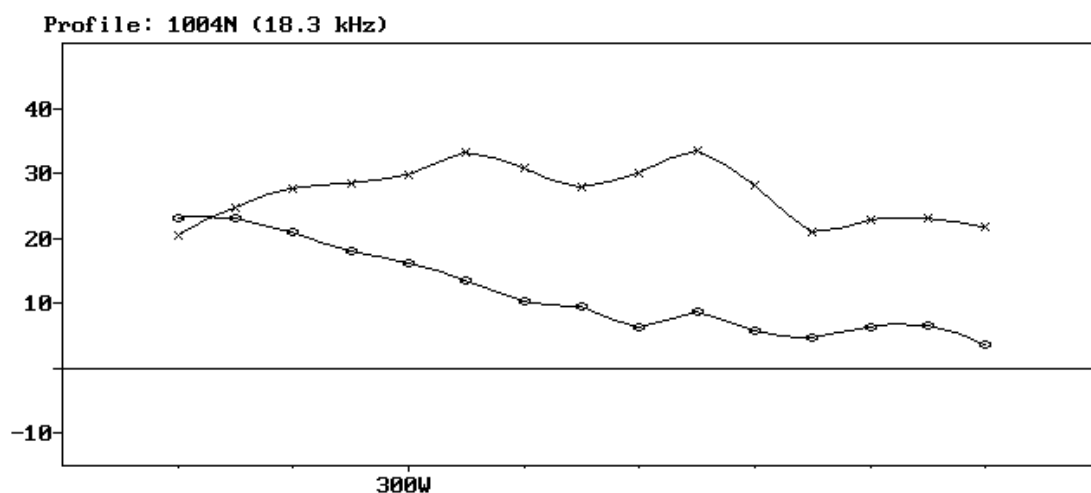
Σχήμα 3.4.22



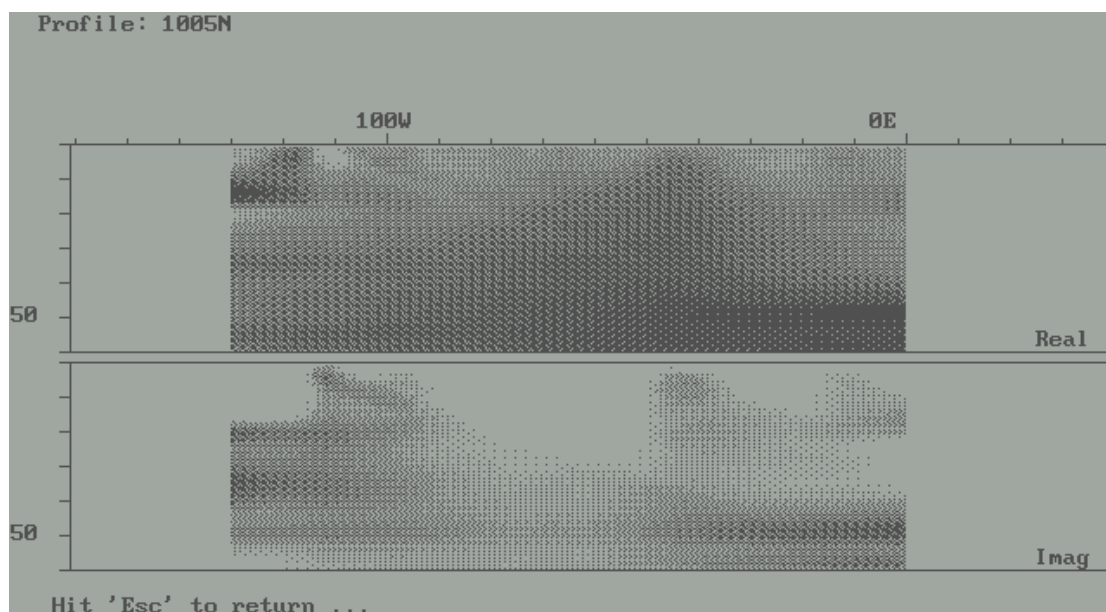
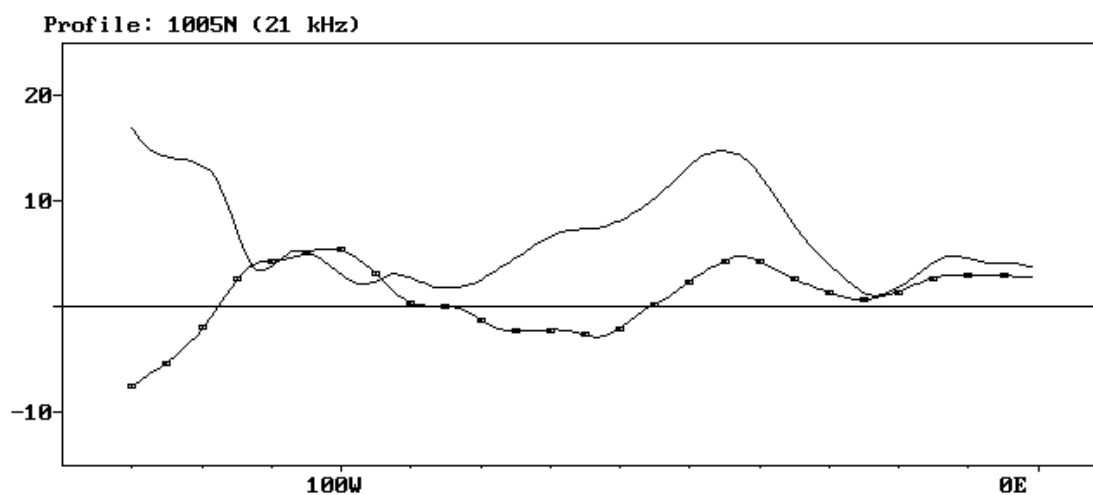
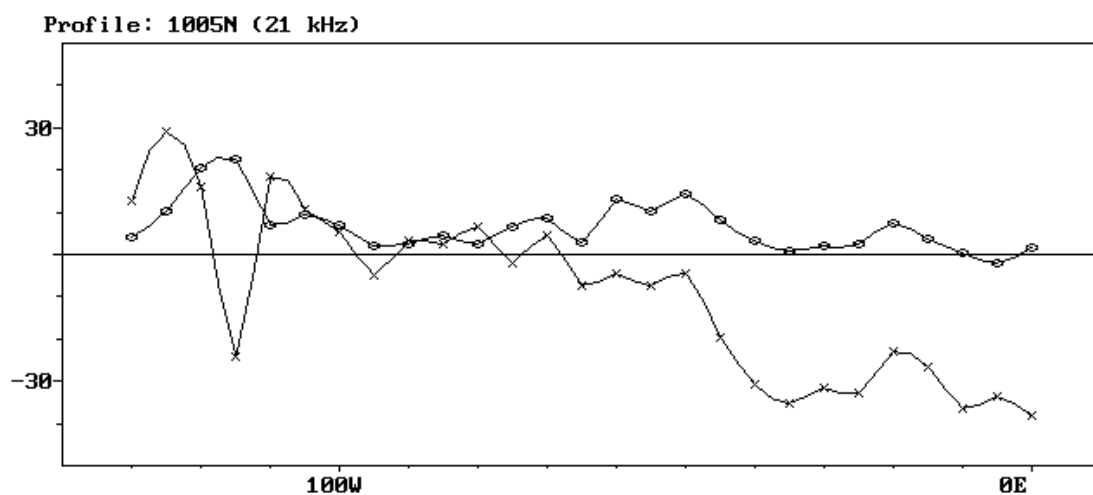
Σχήμα 3.4.23



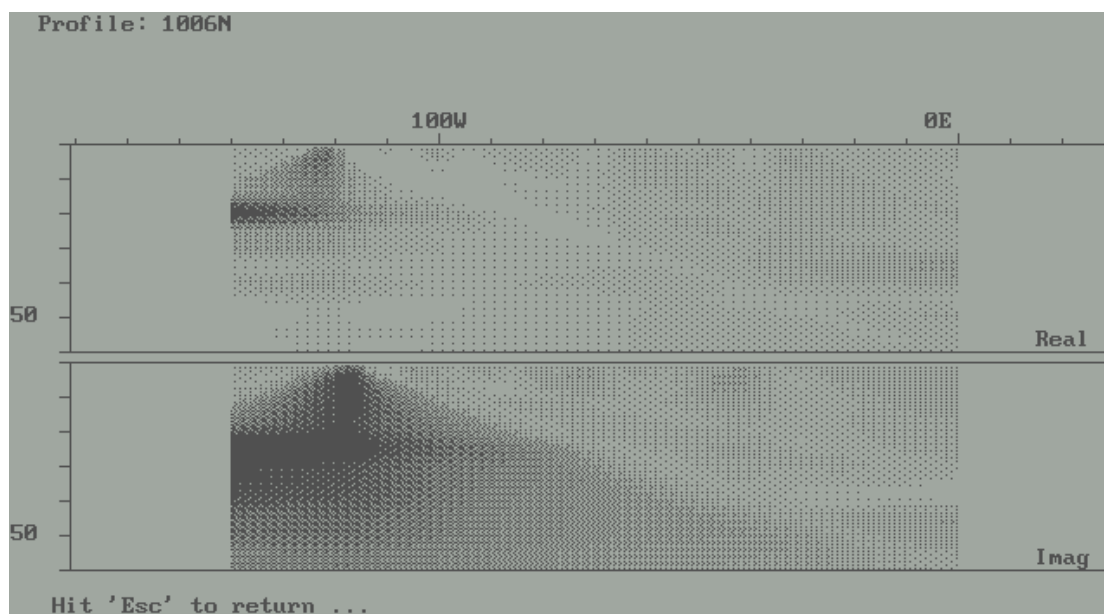
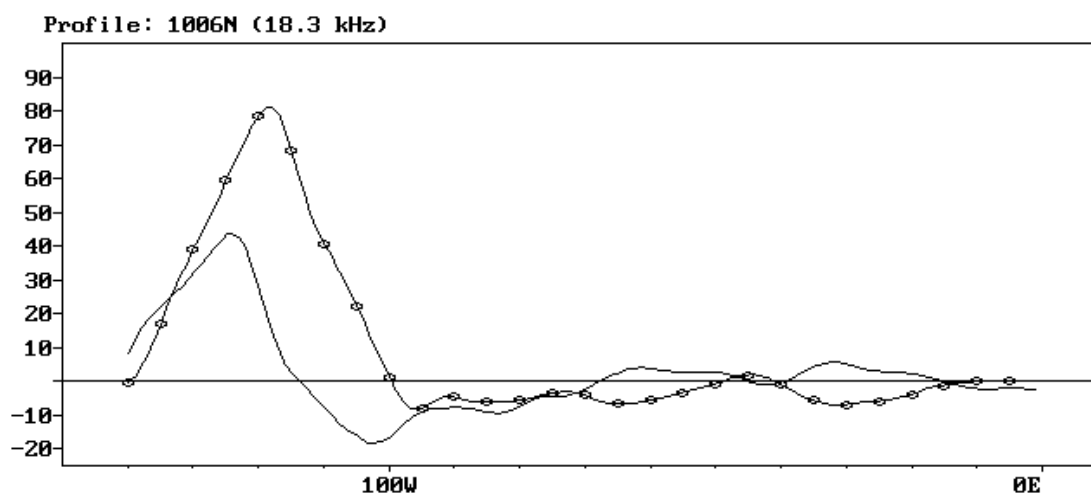
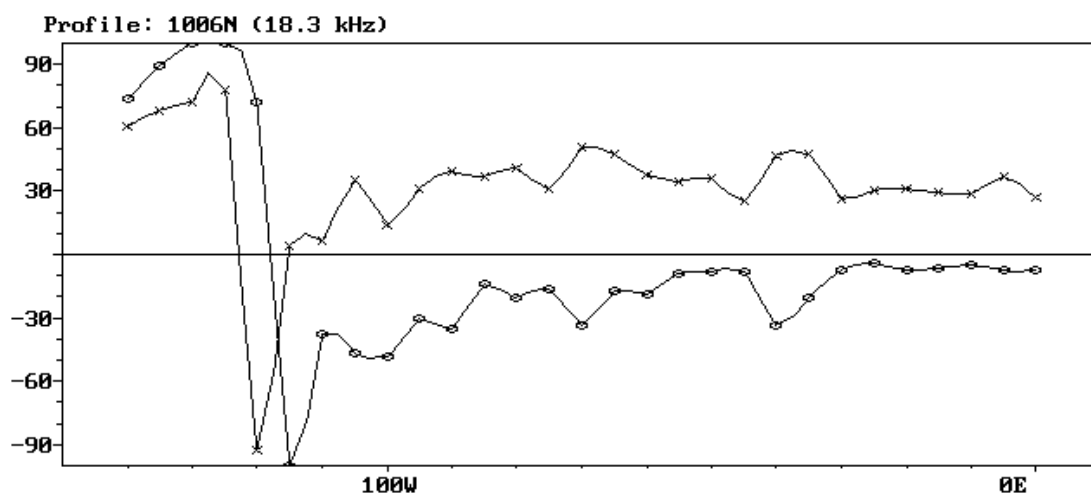
Σχήμα 3.4.24



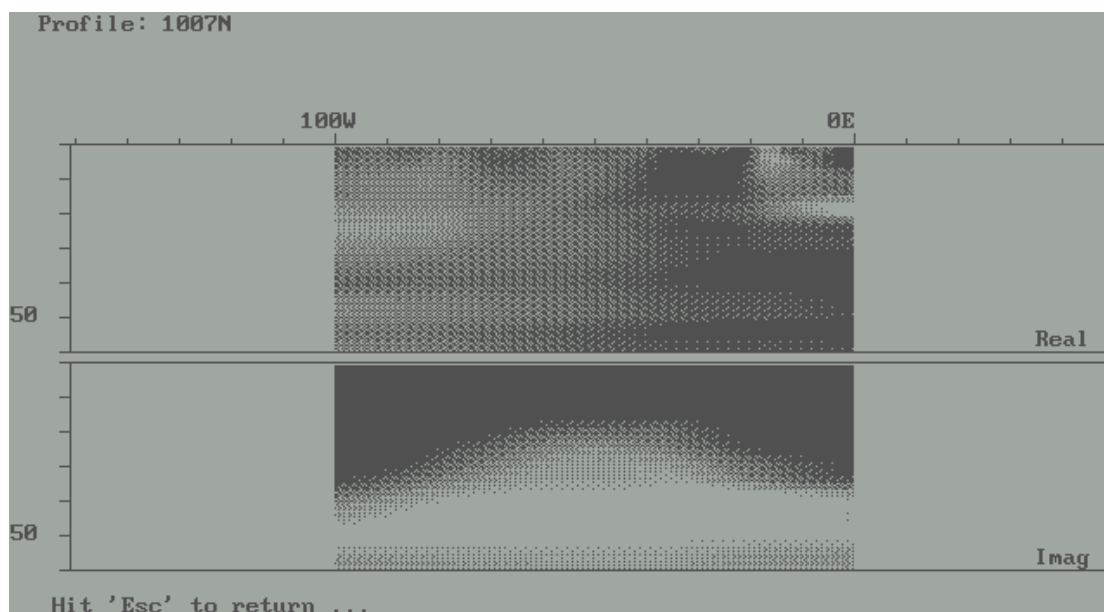
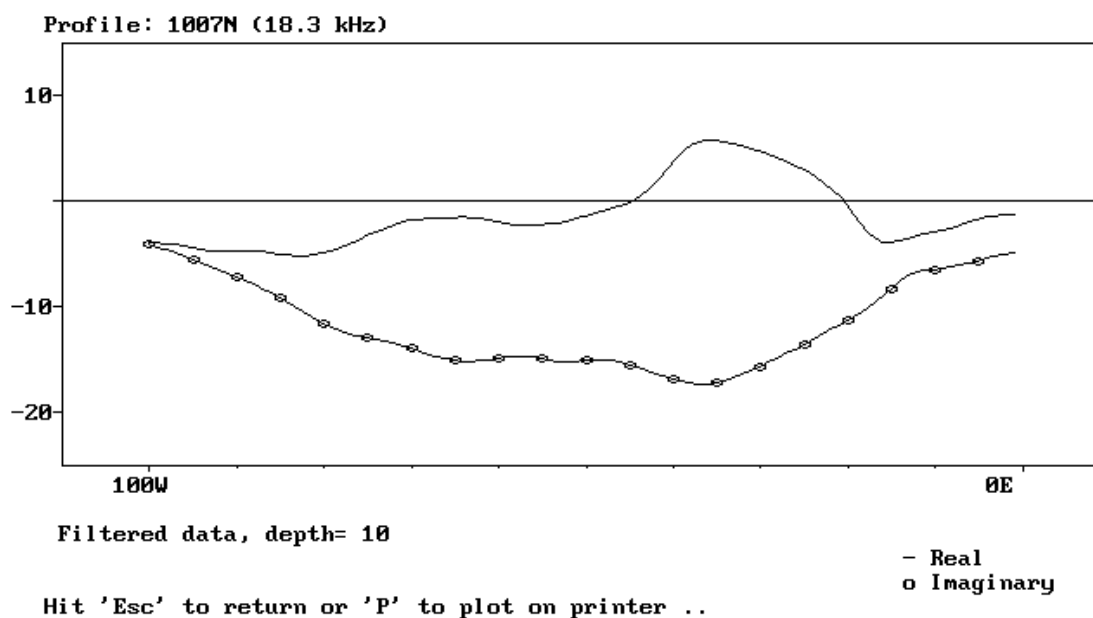
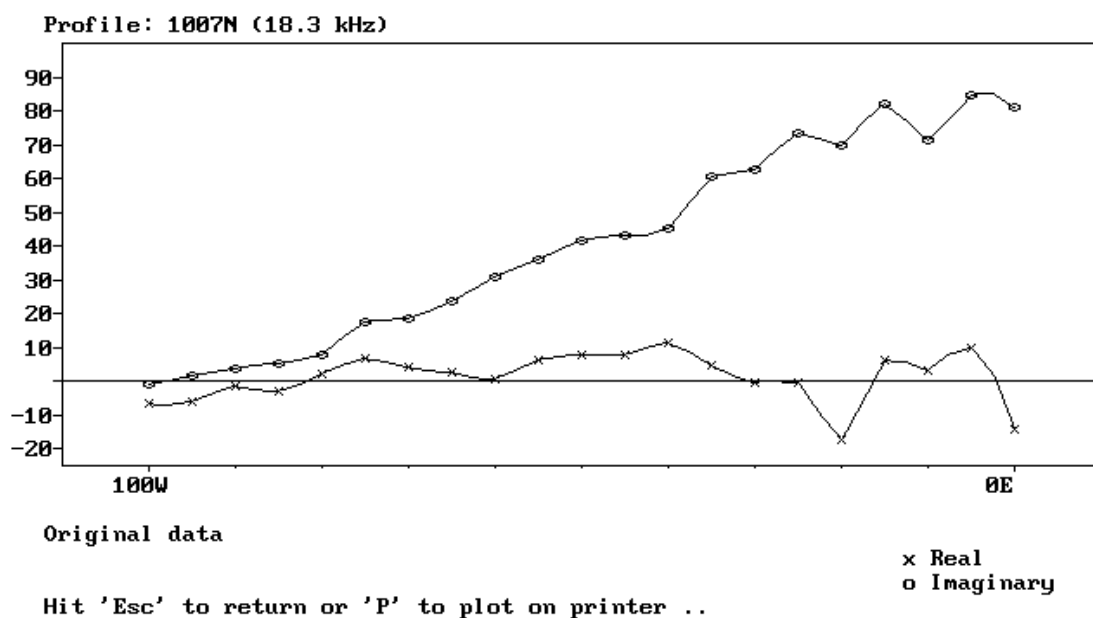
Σχήμα 3.4.25



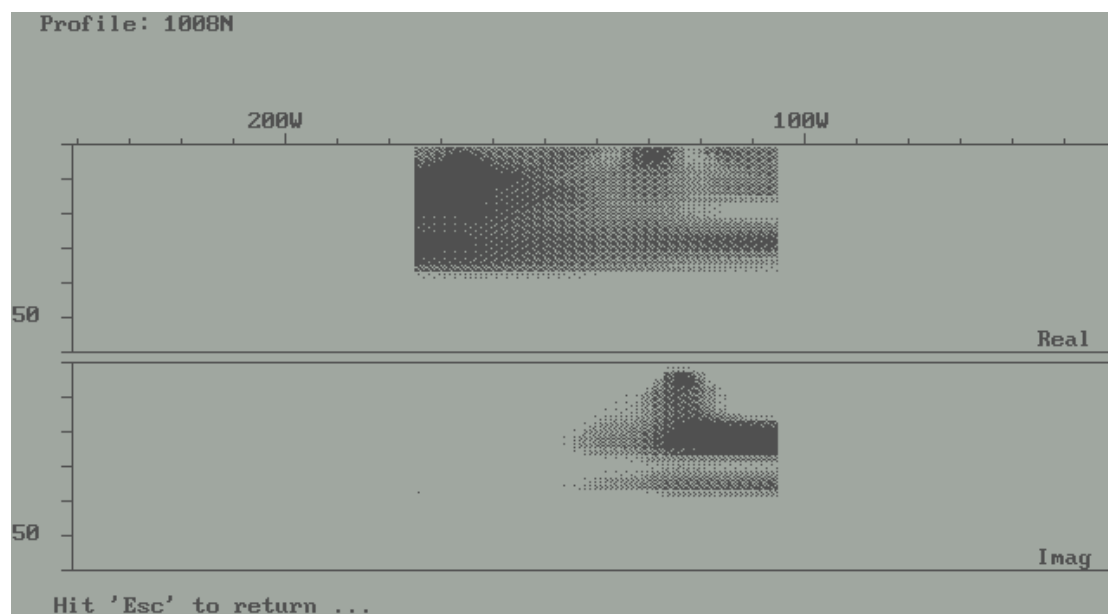
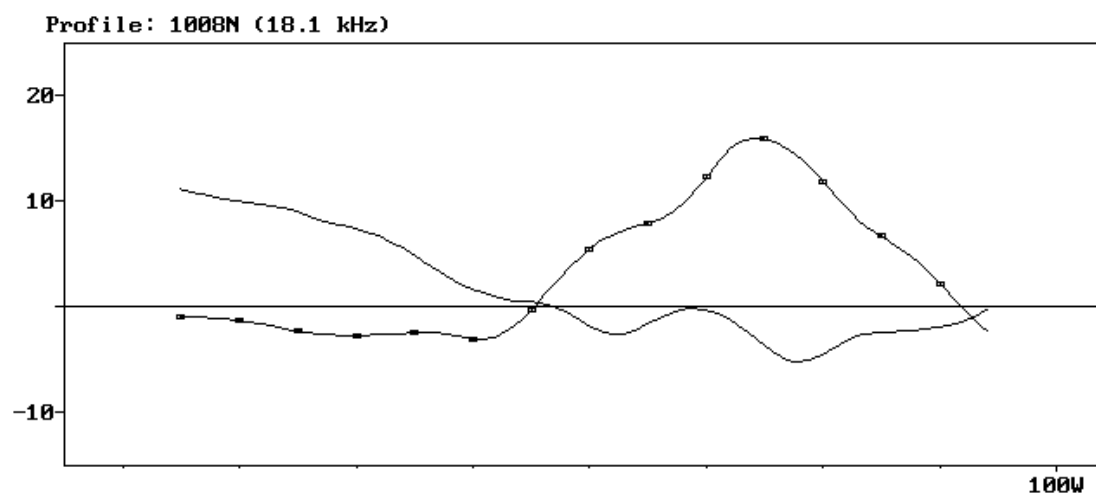
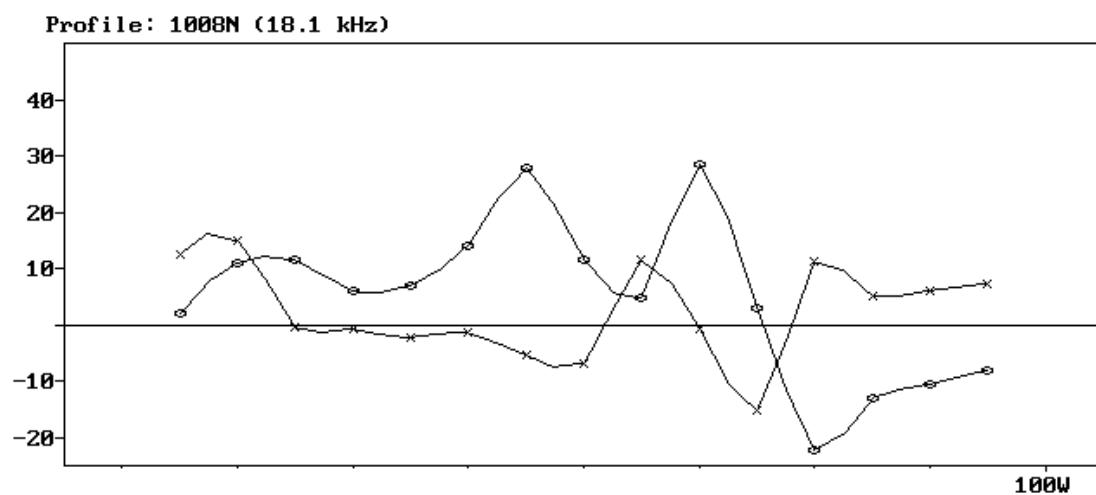
Σχήμα 3.4.26



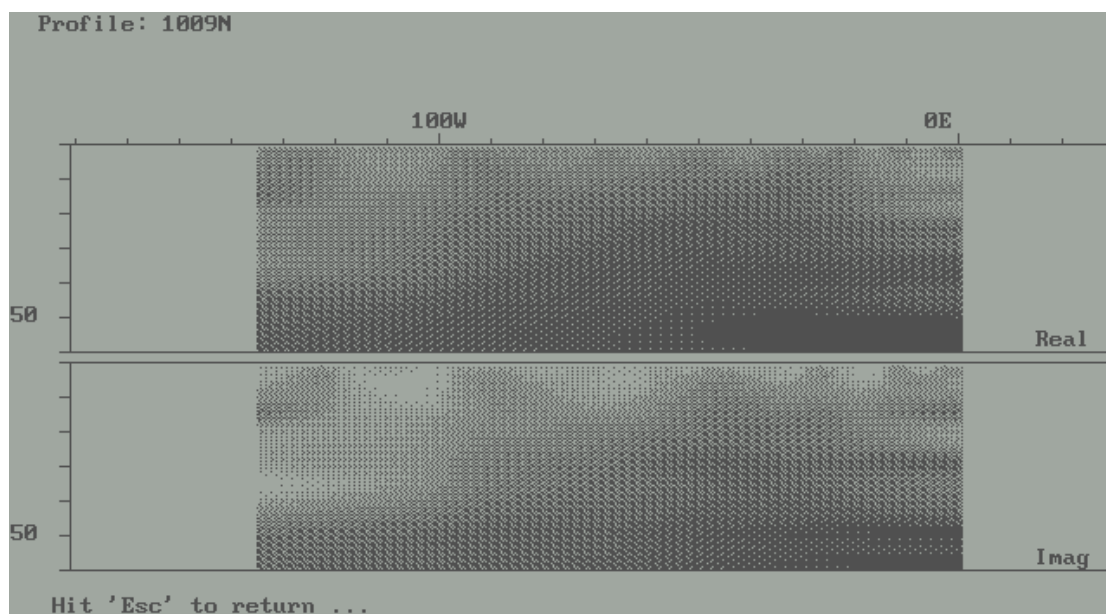
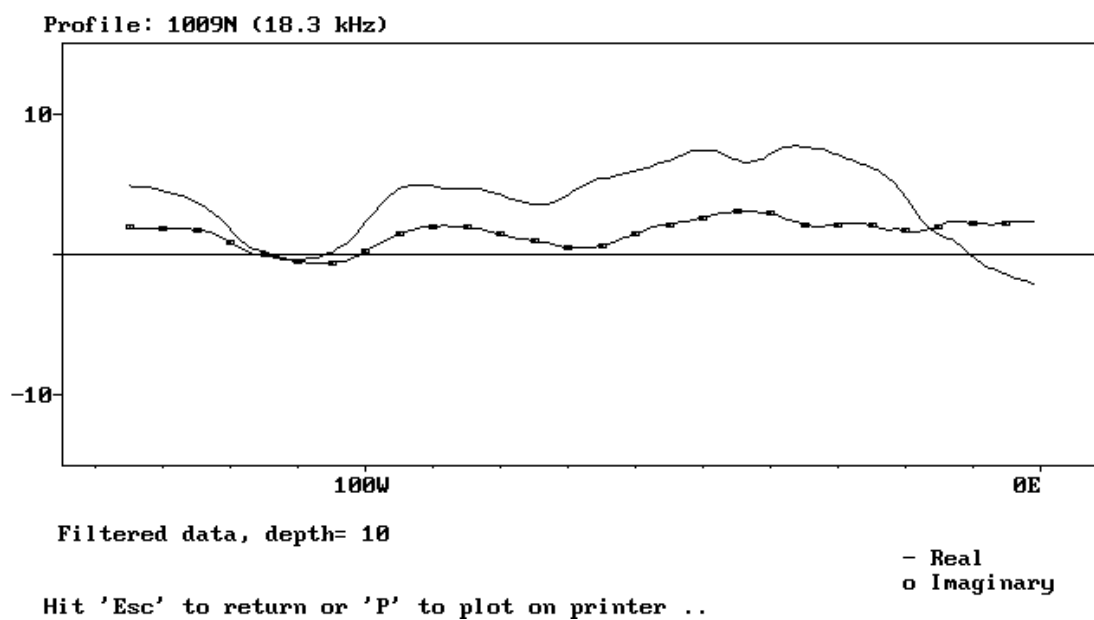
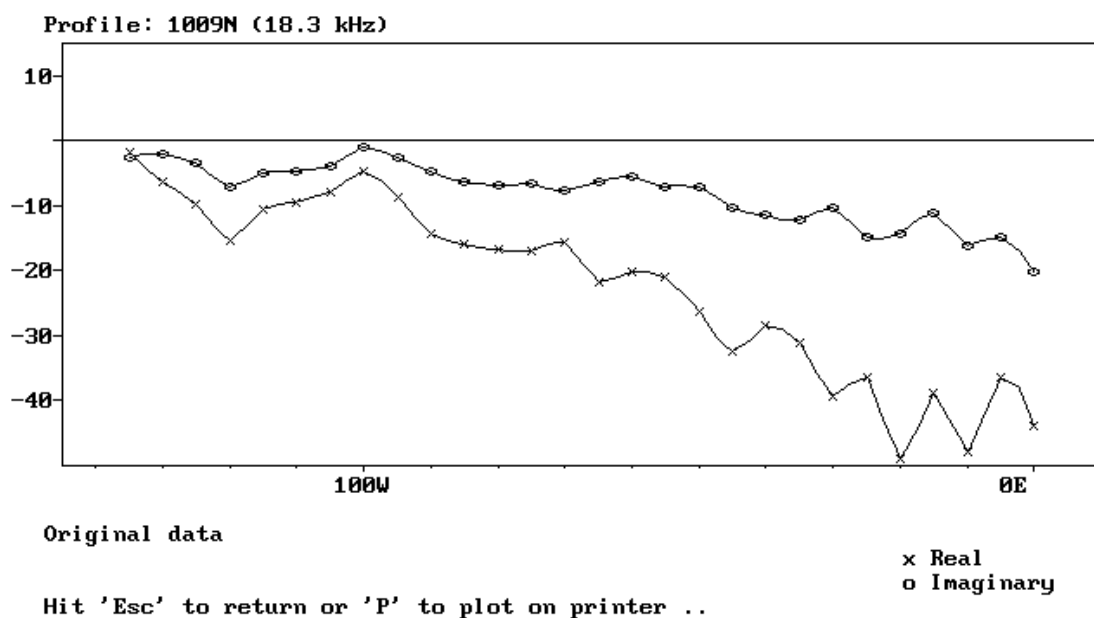
Σχήμα 3.4.27



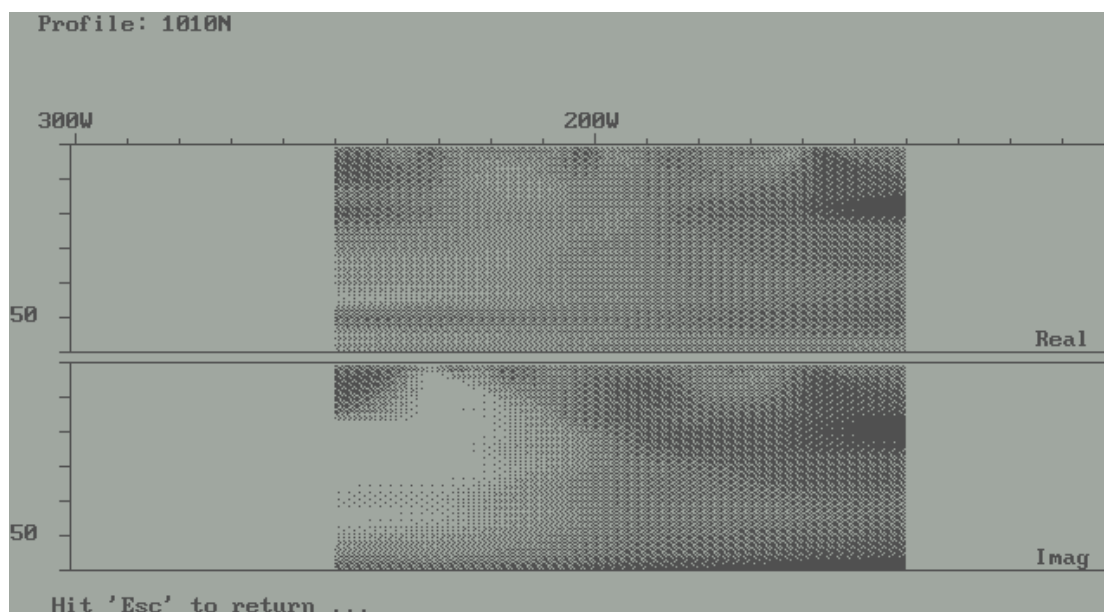
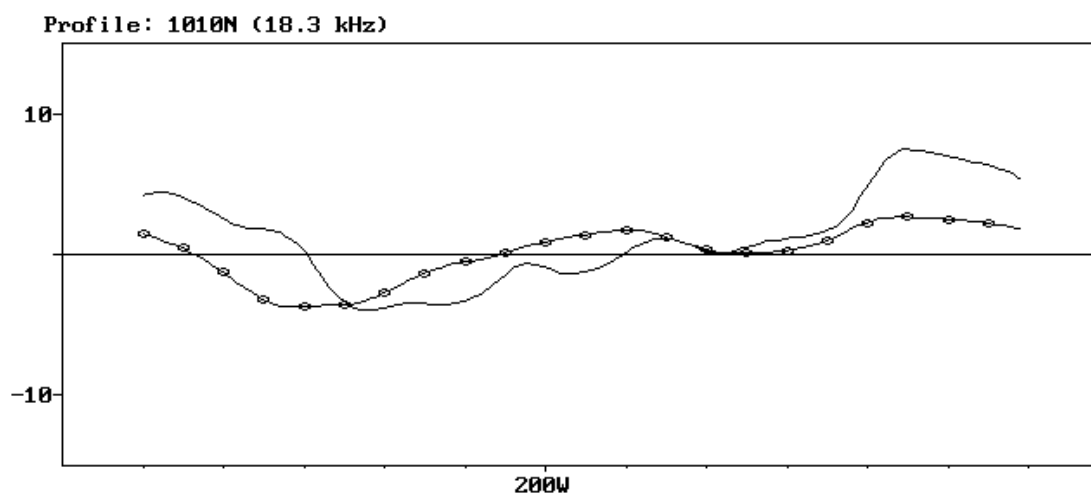
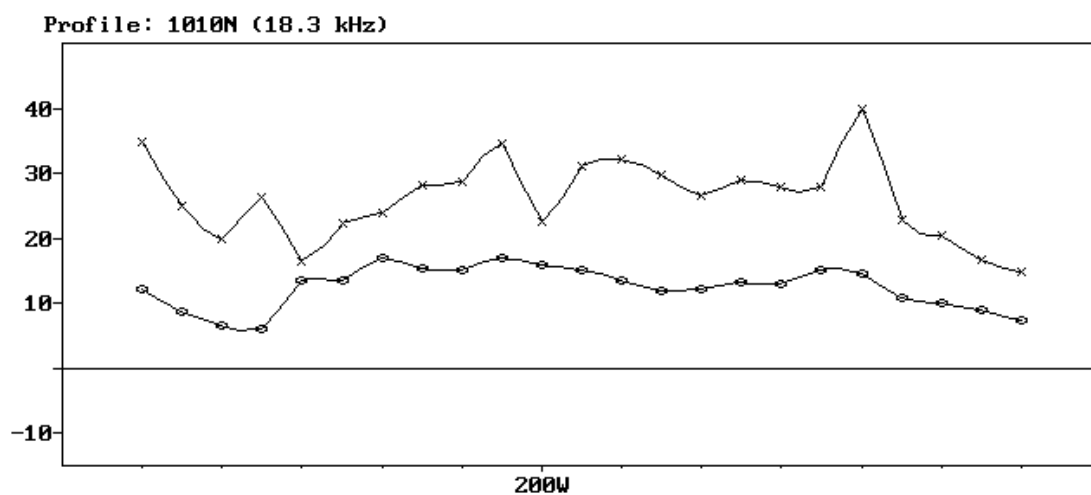
Σχήμα 3.4.28



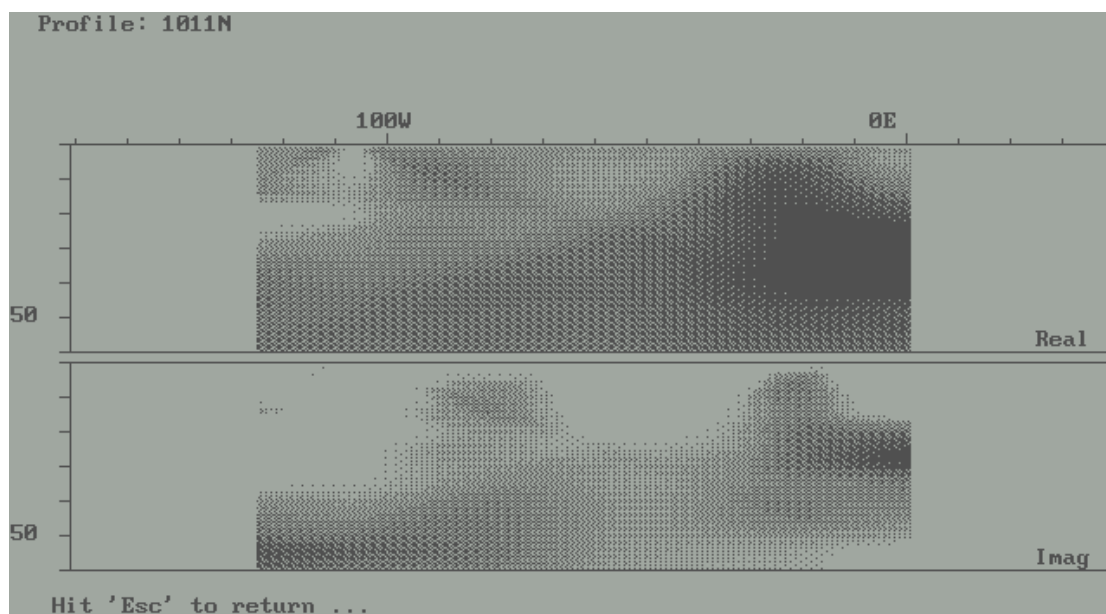
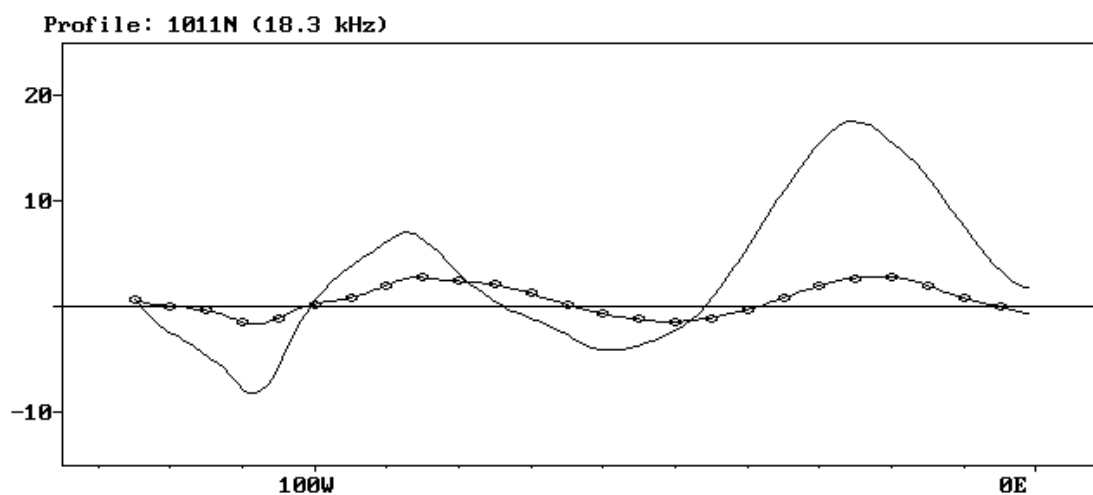
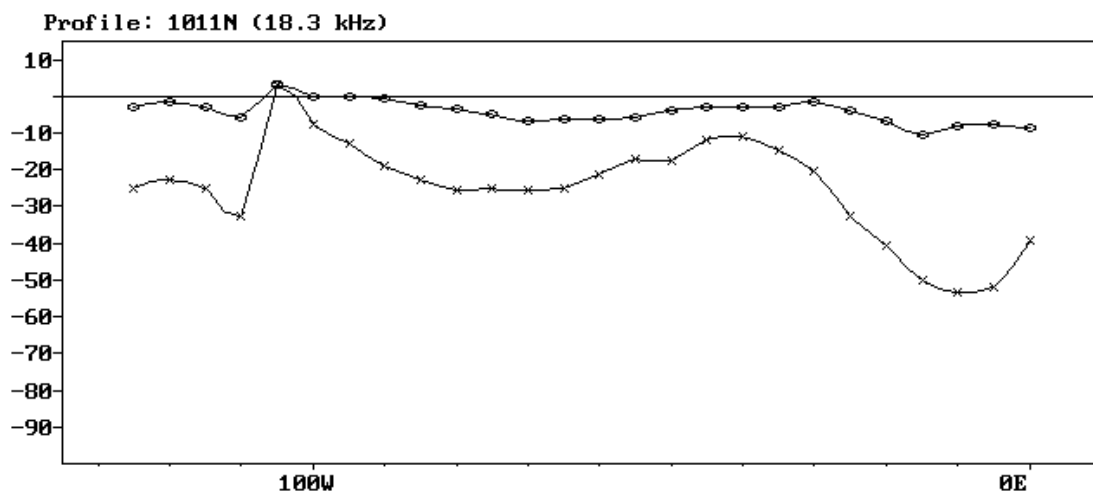
Σχήμα 3.4.29



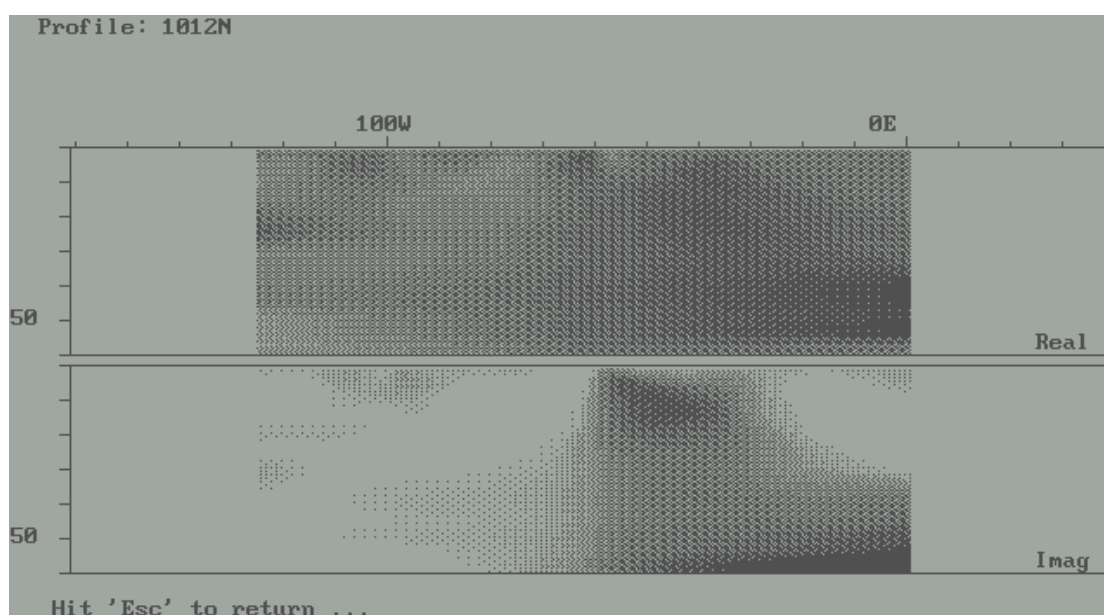
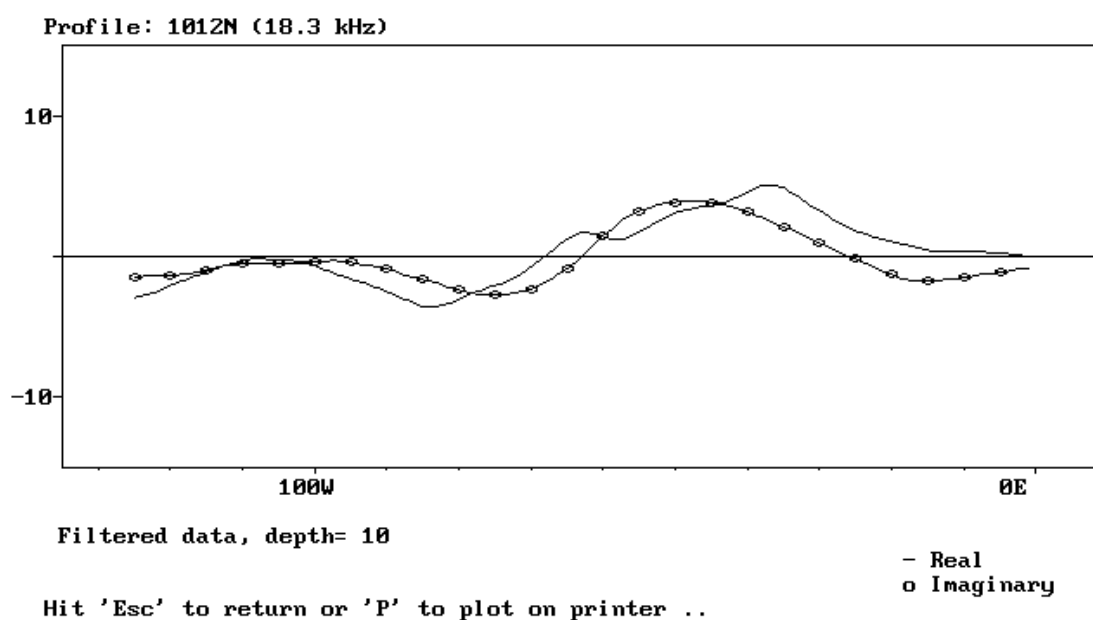
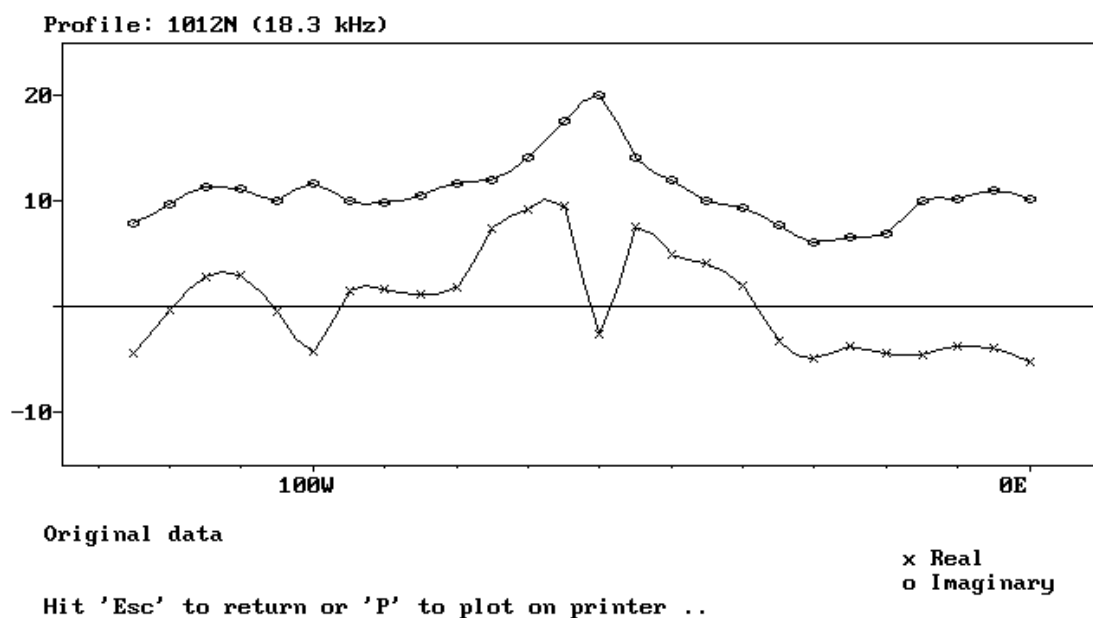
Σχήμα 3.4.30



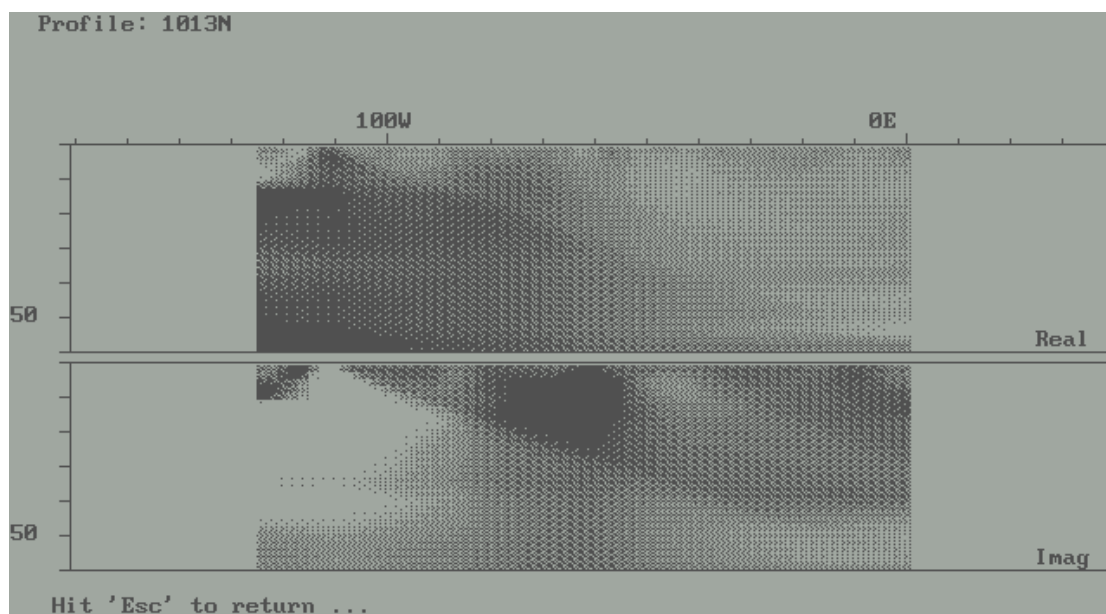
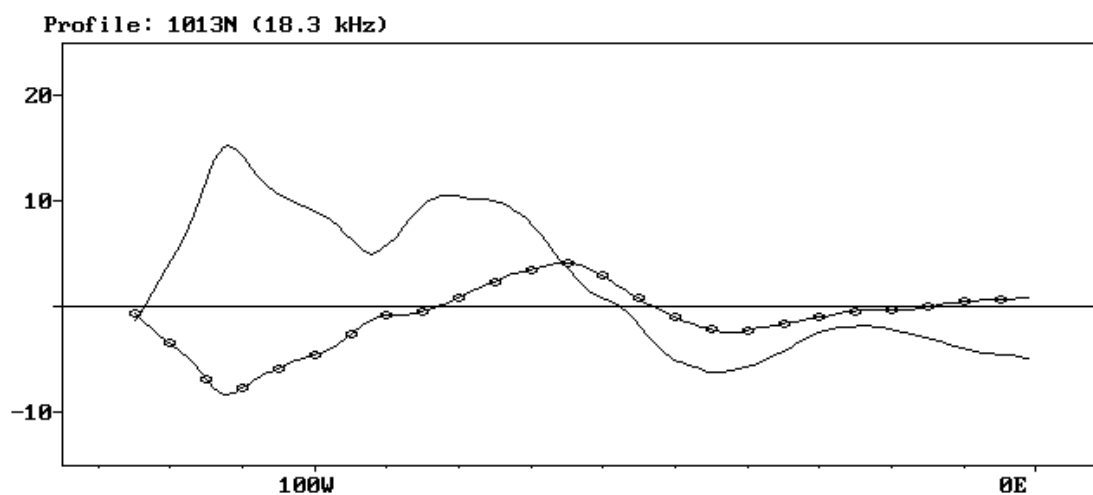
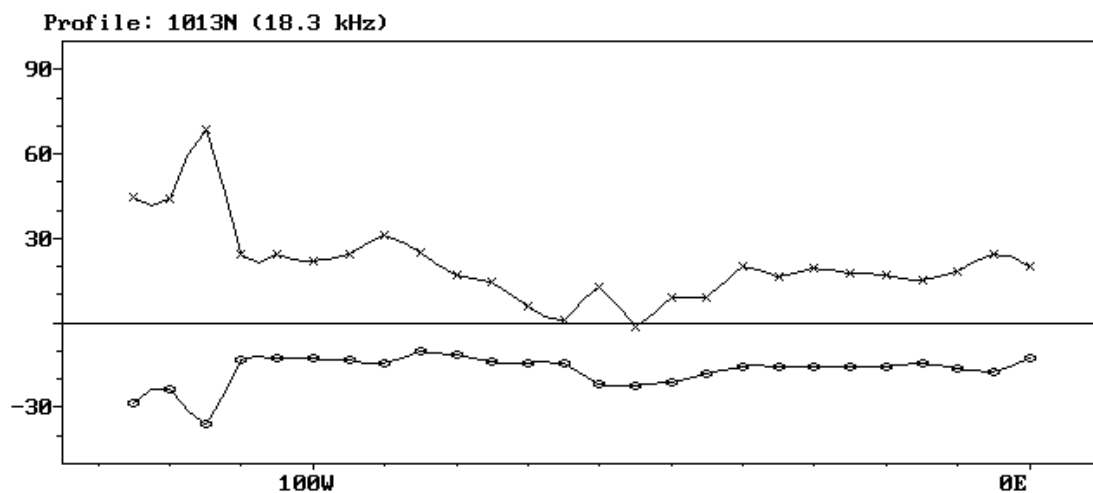
Σχήμα 3.4.31



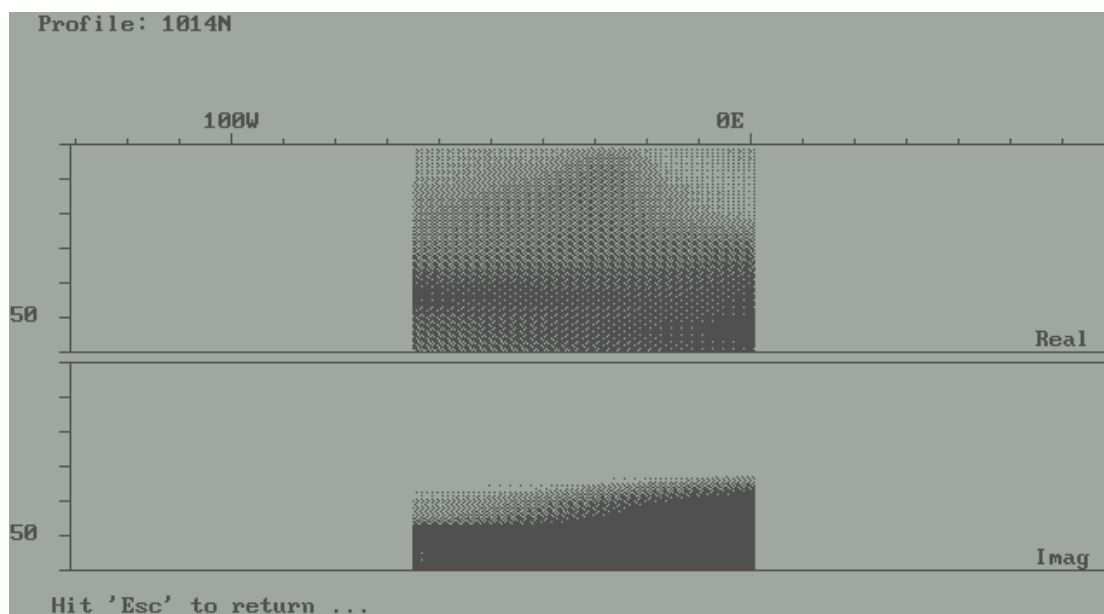
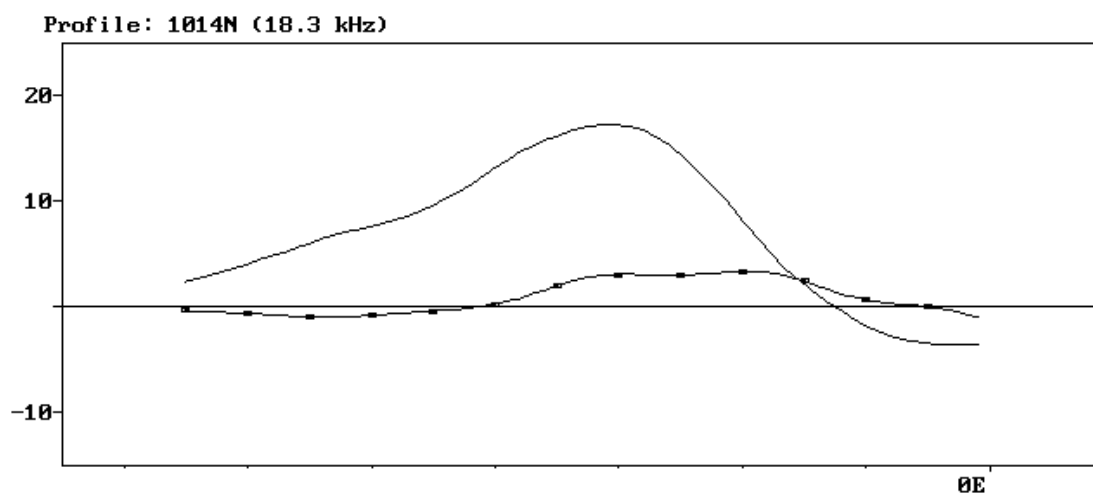
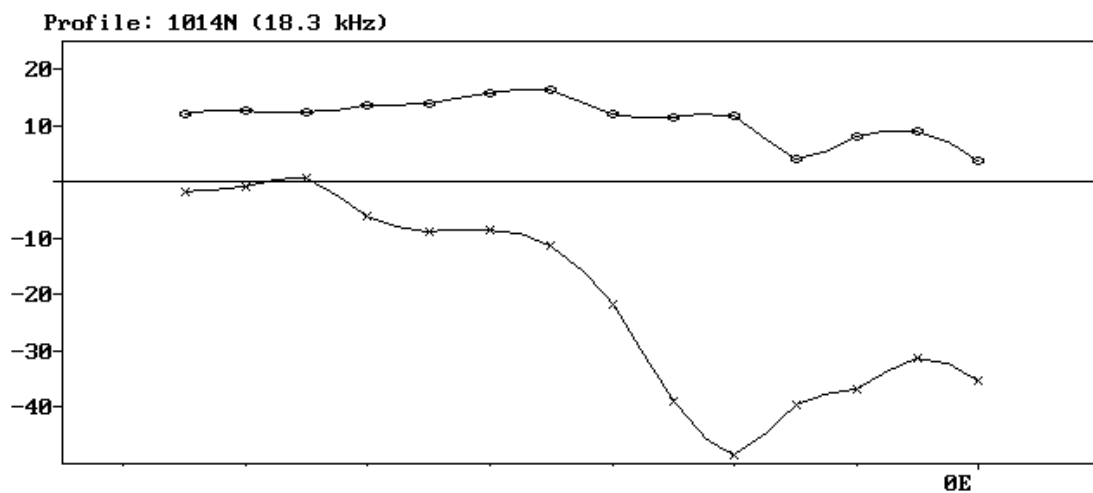
Σχήμα 3.4.32



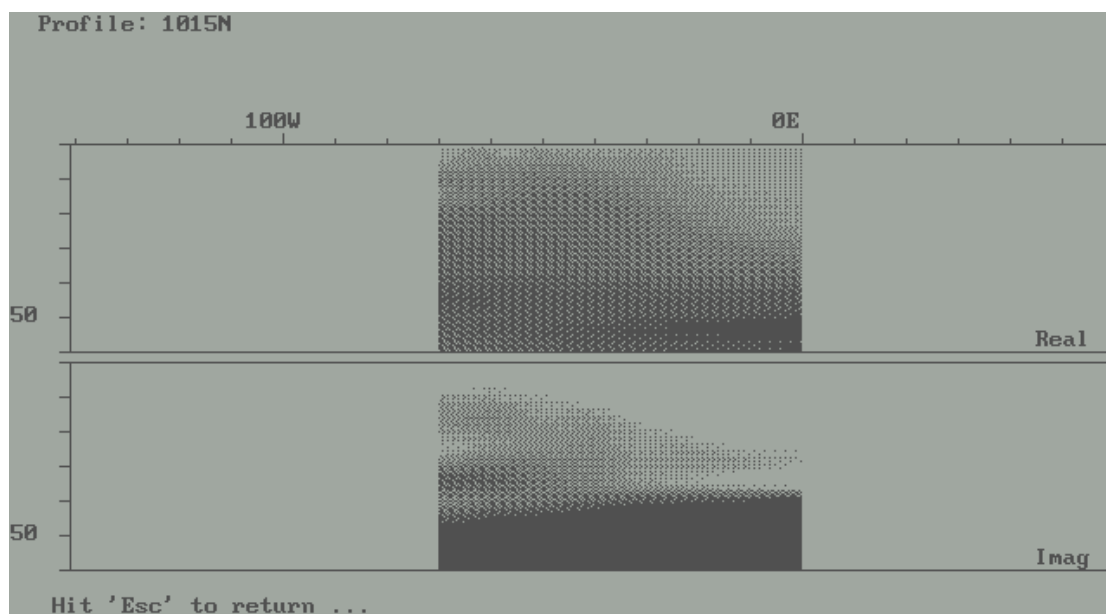
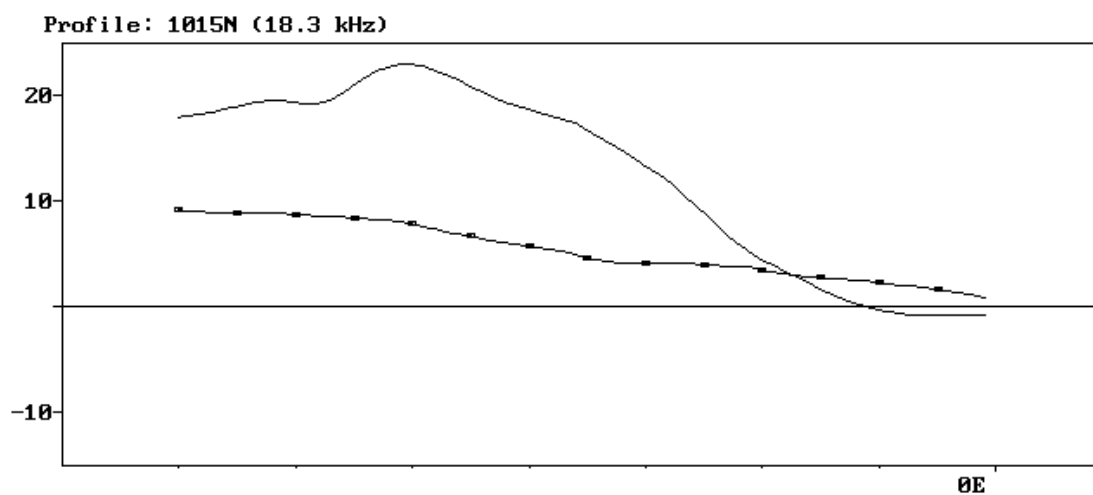
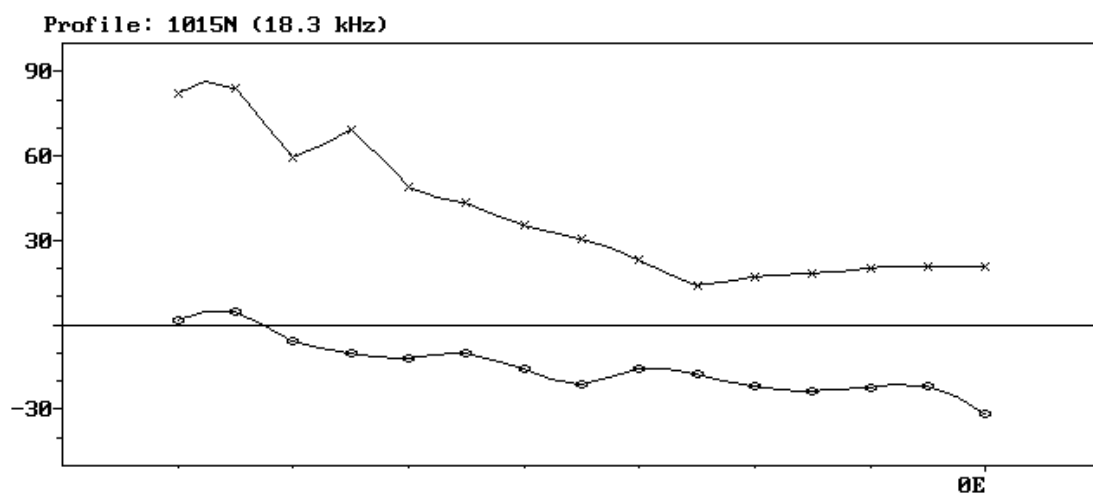
Σχήμα 3.4.33



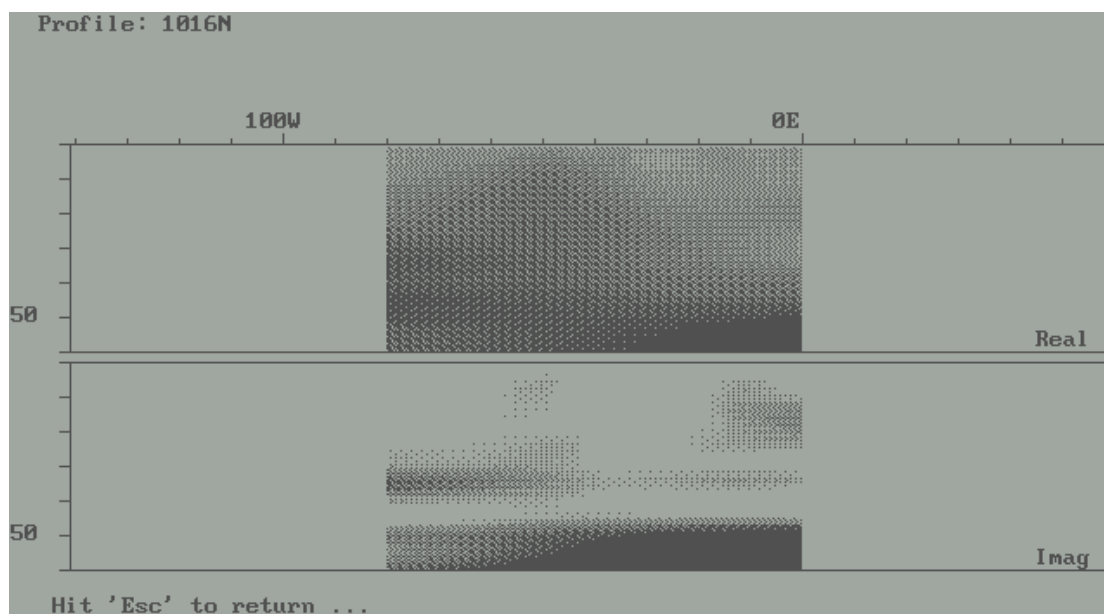
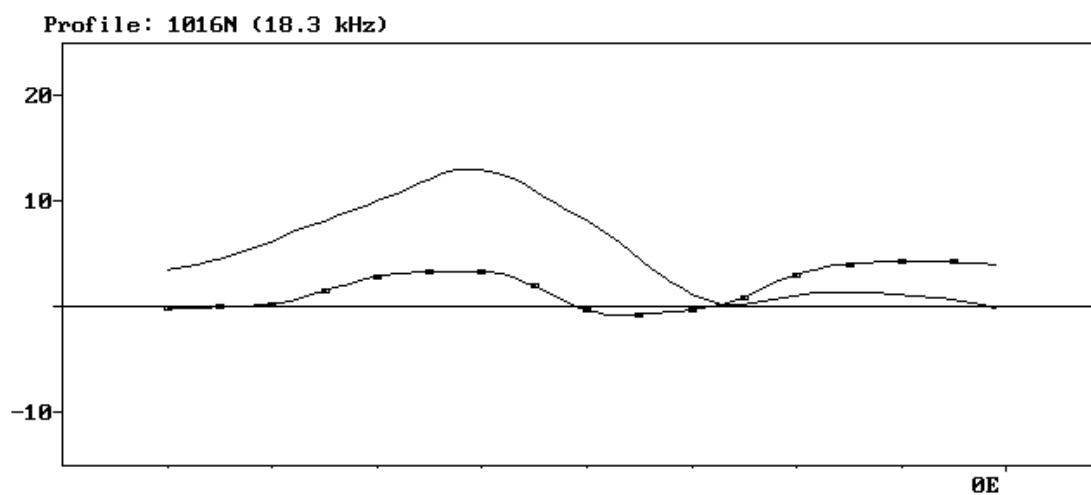
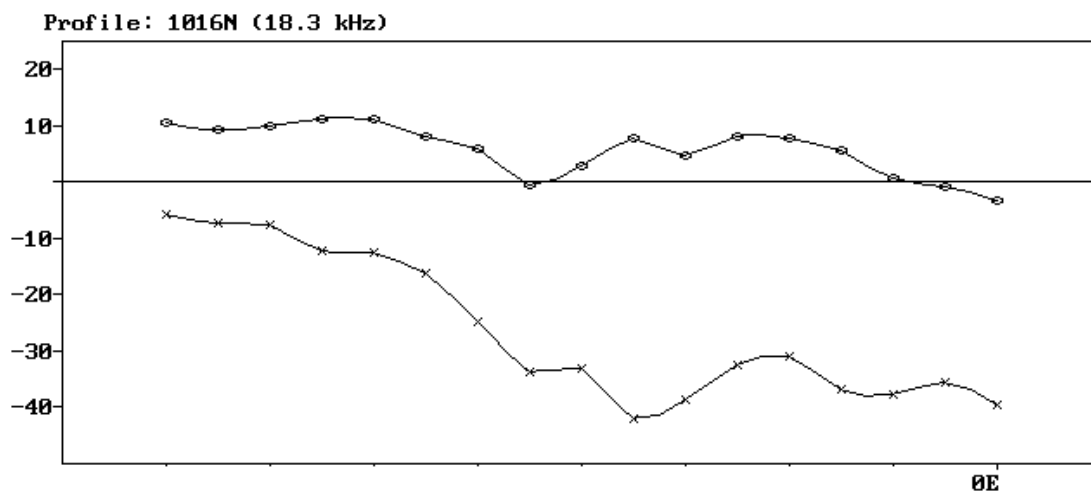
Σχήμα 3.4.34



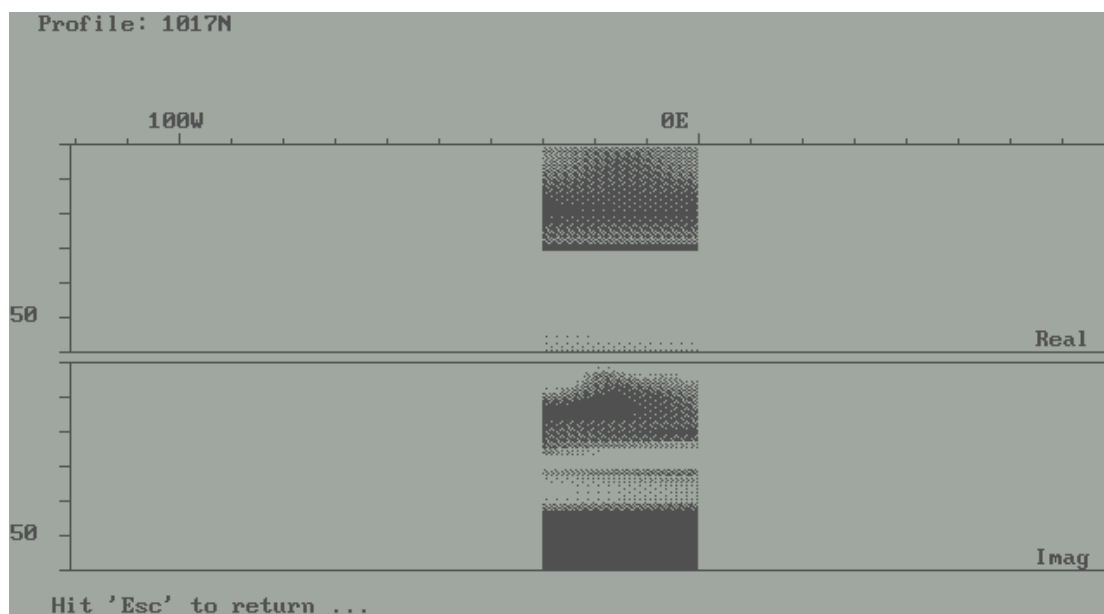
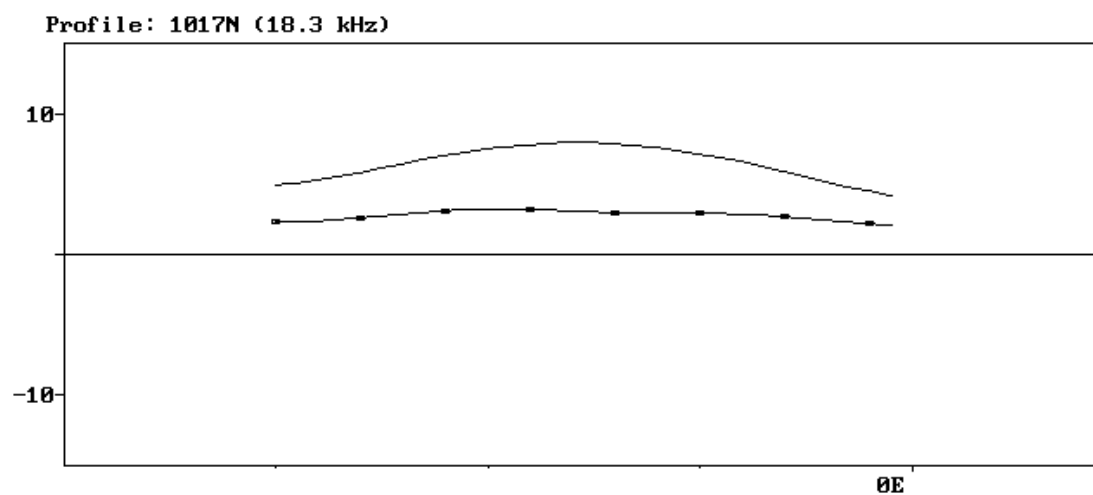
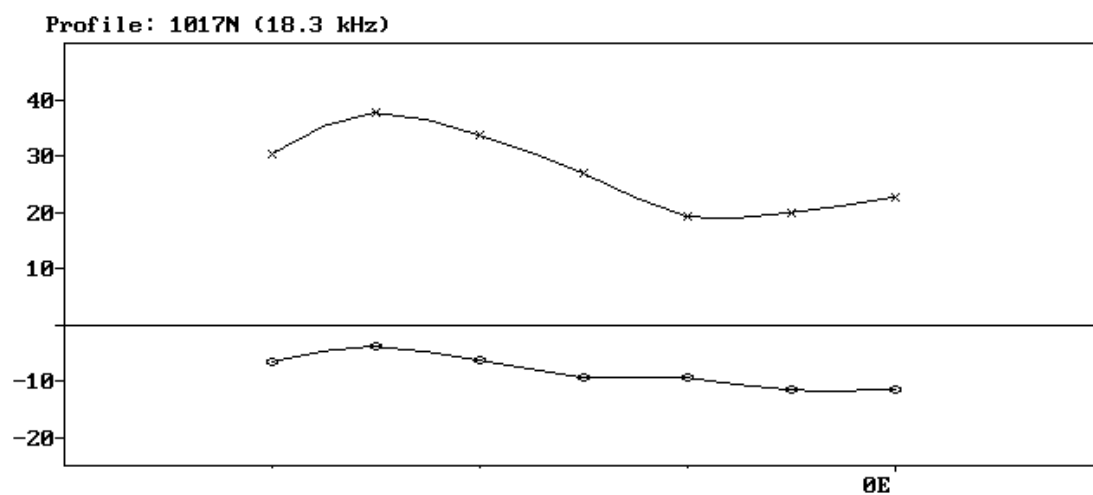
Σχήμα 3.4.35



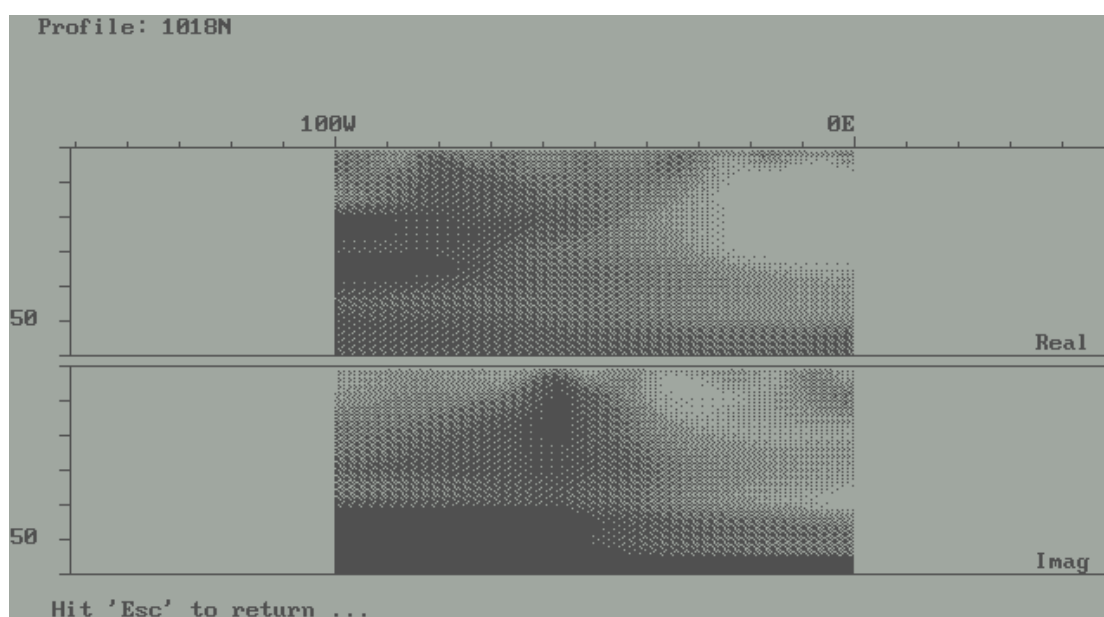
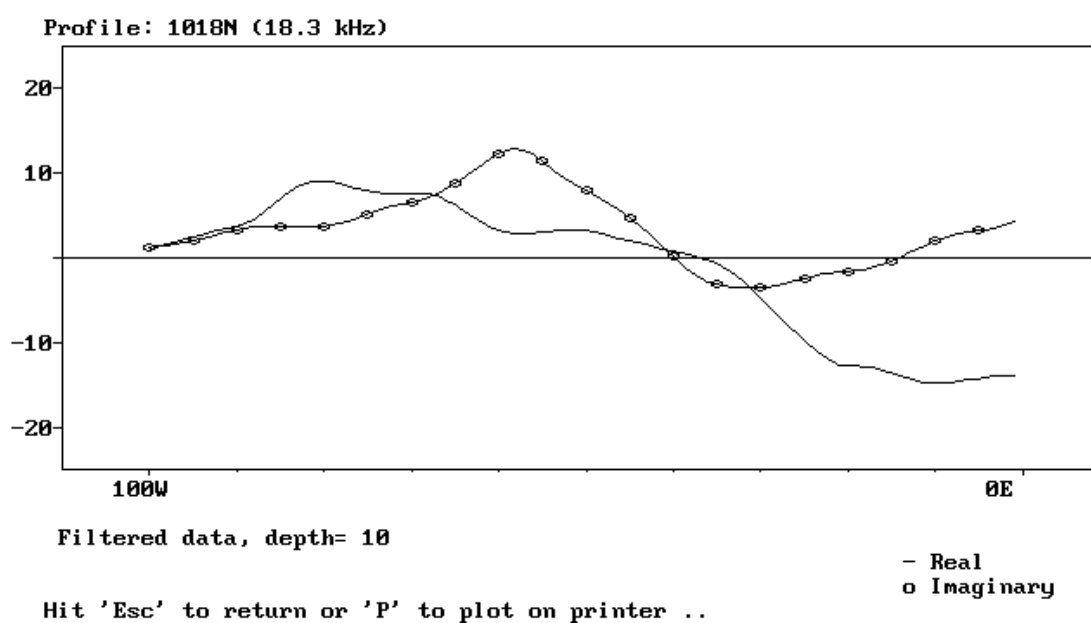
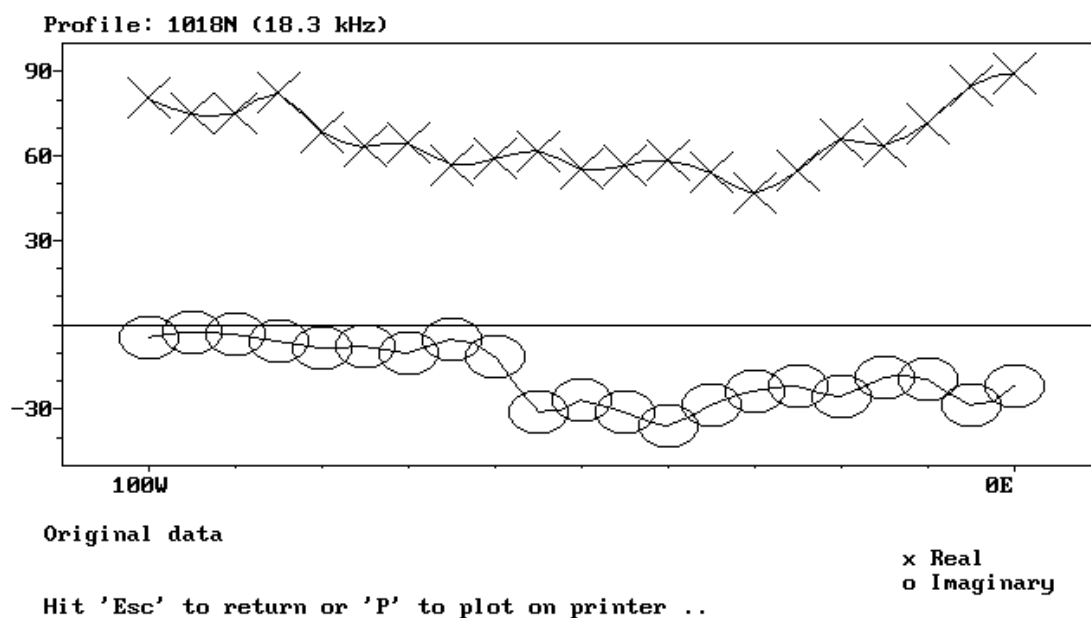
Σχήμα 3.4.36



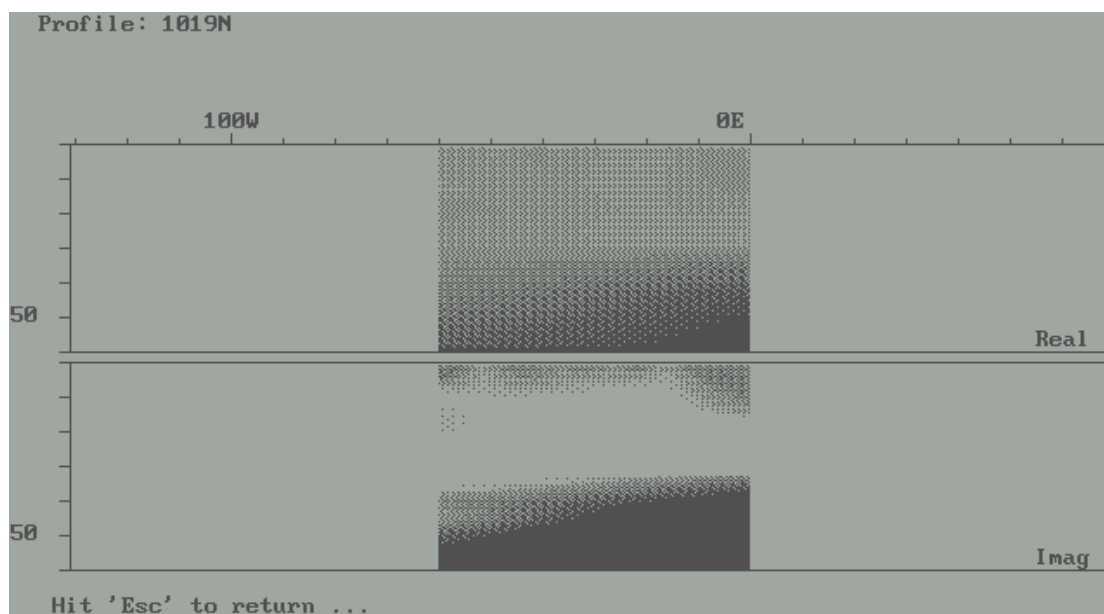
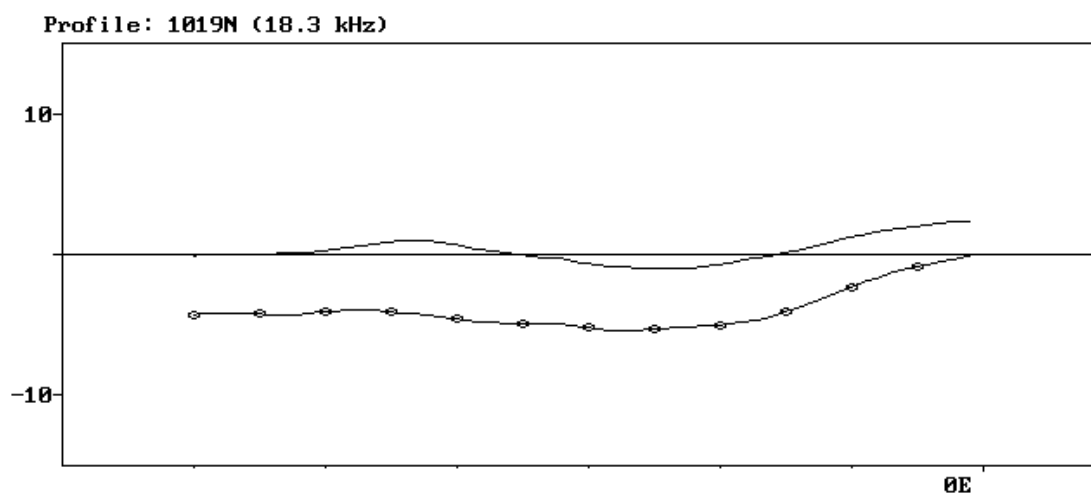
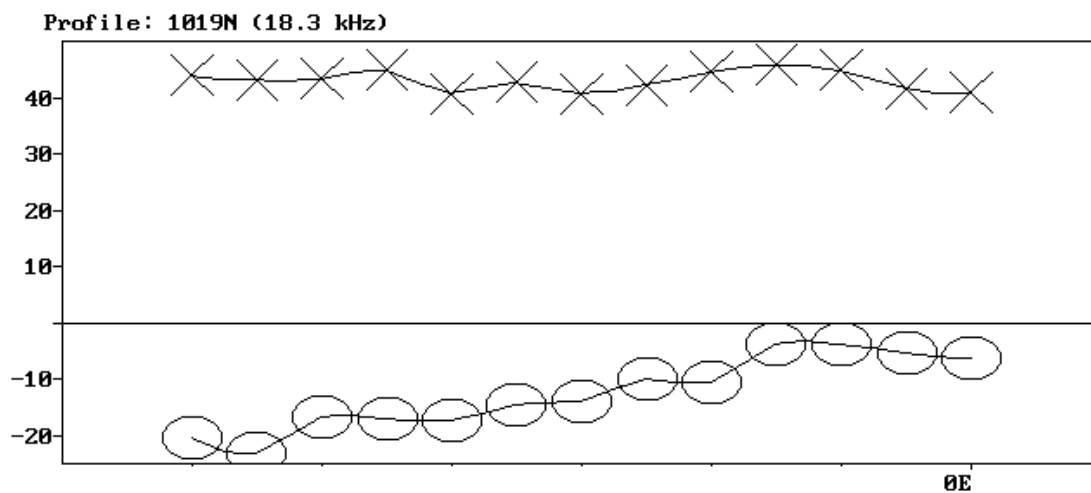
Σχήμα 3.4.37



Σχήμα 3.4.38



Σχήμα 3.4.39



Σχήμα 3.4.40

4. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ

Μετά το πέρας της γεωλογικής και της υδρογεωλογικής έρευνας, την ολοκλήρωση της γεωλογικής χαρτογράφησης, αλλά και από την επεξεργασία των δεδομένων της γεωφυσικής διασκόπησης καθορίστηκαν και προτείνονται με σειρά προτεραιότητας οι ακόλουθες θέσεις για την ανόρυξη γεώτρησης.

A) ΠΕΡΙΟΧΗ ΛΑΚΚΟΣ ΠΗΓΑΔΙΟΥ

Η περιοχή αυτή βρίσκεται ΝΑ της μονής. Πρόκειται για ένα ρέμα στην έξοδο του οποίου βρίσκονται ποταμοχειμάρριες αποθέσεις. Μέσα στο ρέμα αλλά και στην έξοδο αυτού εντοπίζονται μεγάλοι όγκοι φερτών υλικών τα οποία έχουν μεταφερθεί εκεί εξαιτίας της μεγάλης μεταφορικής ικανότητας του ρέματος σε περιόδους πλημμυρών. Από την τομή $\Gamma_1 - \Gamma_2$ (σχήμα 3.2.8) γίνεται αντιληπτό ότι στην περιοχή βρίσκονται τα βασικά - υπερβασικά πετρώματα, τα μάρμαρα και οι χαλαζίτες. Στη θέση ΠΑ 2 (PA 2) απο τις μετρήσεις των διακλάσεων στα μάρμαρα βρέθηκαν δύο συστήματα διακλάσεων, ένα προς τα ΒΑ και ένα άλλο προς τα ΒΔ (σχήμα 3.2.19). Το ρέμα αυτό αποτελεί ένα ρήγμα με διεύθυνση ΒΑ - ΝΔ.

Οι ποταμοχειμάρριες αποθέσεις που βρίσκονται στην έξοδο του ρέματος έχουν μέτρια διαπερατότητα. Τα πετρώματα που παρουσιάζουν πιο έντονο ενδιαφέρον είναι τα μάρμαρα όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 3.3.2.2.

Βόρεια από την έξοδο του ρέματος, στον ελαιώνα, το προφίλ 1011 (σχήμα 3.4.32) "δείχνει" ένα ρήγμα σχεδόν κατακόρυφο με μικρή κλίση προς τα ΝΑ και παράταξης ΒΑ - ΝΔ και έχει πολύ μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. Το ρήγμα αυτό είναι παράλληλο με το ρήγμα του Λάκκου Πηγαδίου.

Η ανόρυξη γεώτρησης προτείνεται στο πλατό που δημιουργείται στην έξοδο του ρέματος. Ο τόπος αυτός είναι εξαιρετικά βολικός καθώς είναι ανοιχτός, ενώ η ύπαρξη του δρόμου διευκολύνει την προσπέλαση στο γεωτρήπανο.

B) ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΙ ΠΑΝΤΕΣ

Η περιοχή Αγίοι Πάντες βρίσκεται περίπου 1300 μέτρα ΒΔ από τη Μονή. Σε αυτό τον χώρο βρίσκονται αγροτεμάχια της μονής με ελαιόδεντρα.

Τα πετρώματα σ' αυτήν τη θέση έχουν καλυφθεί από αλλούβια και προσχωσιγενείς σχηματισμούς. Η γεωλογική χαρτογράφηση και η κατασκευή γεωλογικών τομών (τομή $\Delta_1 - \Delta_2$, σχήμα 3.2.9), έδειξε ότι εμφανίζονται γνευσιακά πετρώματα τα οποία υπέρκεινται των μαρμάρων - ασβεστοπηριτικών. Οι γνεύσιοι είναι πτυχωμένοι και τεκτονισμένοι καθώς παρατηρούνται εναλλαγές των διευθύνσεων και των γωνιών κλίσεων αυτών σε μικρά διαστήματα. Η γενική αξονική διεύθυνση των πτυχών είναι ΒΔ - ΝΑ.

Όσον αφορά τη διαπερατότητα των σχηματισμών, όπως αναλύθηκε στις παραγράφους 3.3.2.1 και 3.3.2.2, δε μπορεί να υπολογιστεί με ακρίβεια. Μπορεί μόνο να δοθεί μία εκτίμηση της τάξης μεγέθους αυτής. Έτσι τόσο τα αλλούβια όσο και οι γνεύσιοι παρουσιάζουν μικρή διαπερατότητα. Επιπροσθέτως στην περιοχή εντοπίζεται και ένα πηγάδι το οποίο είναι λαξεμένο μέσα στο βράχο και παρέχει πόσιμο νερό.

Η γεωφυσική διασκόπηση (τομή 1003, σχήμα 3.4.24) αποκάλυψε την ύπαρξη δύο ρηγμάτων με παράταξη BA - NΔ και κλίση προς τα ΝΑ που παρουσιάζουν μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. Στην τομή 1003, το ρήγμα το οποίο εντοπίζεται 175 μέτρα από την αρχή της όδευσης, αποκαλύπτεται επίσης στην τομή 1002 (Σχ. 3.4.23) η οποία είναι παράλληλη προς την 1003 αλλά αντίθετης φοράς (60 μέτρα από την αρχή της όδευσης).

Η γεώτρηση προτείνεται να διανοιχτεί στο χώρο μεταξύ των οδεύσεων 1002 και 1003 στο ελαιώνα. Το κύριο όμως μειονέκτημα αυτής της θέσης αποτελεί η μη ύπαρξη δρόμου, πράγμα που καθιστά πολύ δύσκολη την προσέγγιση του γεωτρήπανου στην περιοχή. Η εναλλακτική περίπτωση, η γεώτρηση να πραγματοποιηθεί πάνω στο δρόμο που βρίσκεται 900 περίπου μέτρα ανατολικά των Αγίων Πάντων δεν προτείνεται, διότι οι συχνές και τοπικές εναλλαγές των πετρωμάτων εξαιτίας της έντονης τεκτονικής κατά πάσα πιθανότητα δεν θα φέρει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

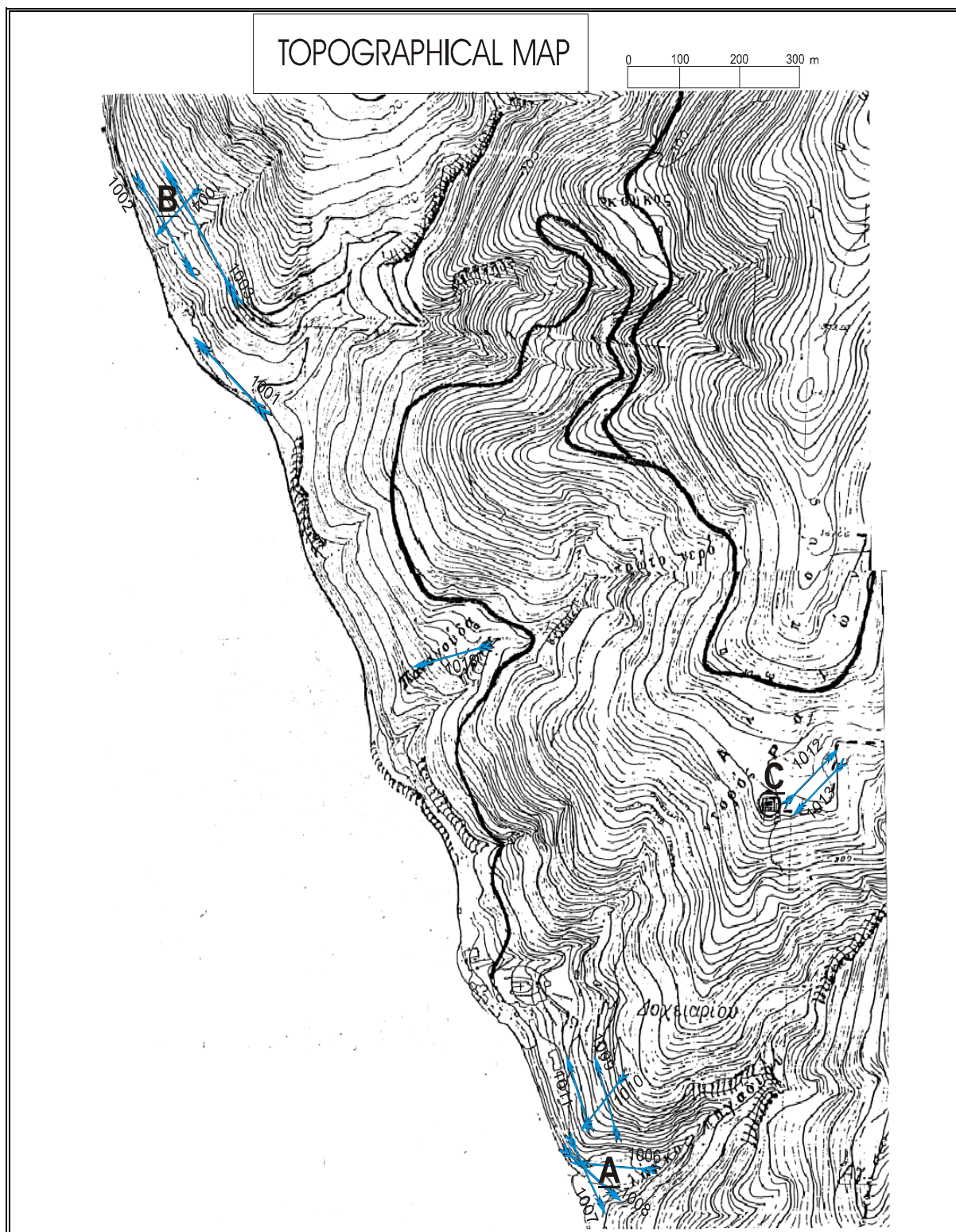
Οι δύο παραπάνω προτεινόμενες θέσεις βρίσκονται δίπλα στη θάλασσα. Γι' αυτό κατά τη διάνοιξη της γεώτρησης θα πρέπει να είμαστε πάρα πολύ προσεχτικοί ούτως ώστε να μην εισχωρήσει το θαλασσινό νερό μέσα στο γλυκό και παρουσιαστούν φαινόμενα υφαλμύρισης (παράγραφος 3.3.1.8.1). Κατά τη διεξαγωγή της γεώτρησης θα πρέπει συνεχώς να μετράται η αγωγιμότητα του νερού και μόλις αυτή αρχίσει να παίρνει πολύ μεγάλες τιμές θα πρέπει να σταματήσει αμέσως η γεώτρηση καθώς αυτό υποδηλώνει ότι αυτή έχει αρχίσει να εισχωρεί κάτω από τη διεπιφάνεια γλυκού - αλμυρού νερού.

Γ) ΠΕΡΙΟΧΗ ΝΤΟΡΟΣ

Βρίσκεται μισό περίπου χιλιόμετρο ΒΑ της Μονής. Είναι ένα πλατό όπου βρίσκεται μία δεξαμενή που χρησιμεύει για την ύδρευση της μονής.

Ουσιαστικά αποτελεί μία ζώνη κατολίσθησης. Η στρωματογραφική διαδοχή των πετρωμάτων φαίνεται στην τομή E₁ - E₂ (Σχήμα 3.2.11). Η περιοχή είναι προσβάσιμη καθώς υπάρχει δρόμος αλλά το μειονέκτημα αυτής της θέσης είναι ότι η γεώτρηση πρέπει να κατέλθει σε βάθος περίπου 200 μέτρα για να συναντήσει μία κορεσμένη ζώνη που θα έχει δημιουργηθεί από τα στραγγίσματα του νερού που κατέρχεται από τα αποσαθρώματα που έχουν δημιουργηθεί λόγω της κατολίσθησης αλλά και τα μάρμαρα τα οποία μπορεί να υδροφορούν. Το μεγάλο βάθος αυτής της γεώτρησης την καθιστά πολύ πιο δαπανηρή σε σχέση με τις δύο πρώτες προτεινόμενες, των οποίων το βάθος θα είναι φυσικά πολύ πιο μικρό.

Οι προτεινόμενες θέσεις Α, Β, C των γεωτρήσεων φαίνονται στον χάρτη του σχήματος 4.1.



Σχήμα 4.1: Τοπογραφικός χάρτης όπου φαίνονται οι προτεινόμενες θέσεις A, B, C των γεωτρήσεων αλλά και οι οδεύσεις των VLF.

4.2 ΥΔΡΟΜΑΣΤΕΥΣΗ ΠΗΓΩΝ

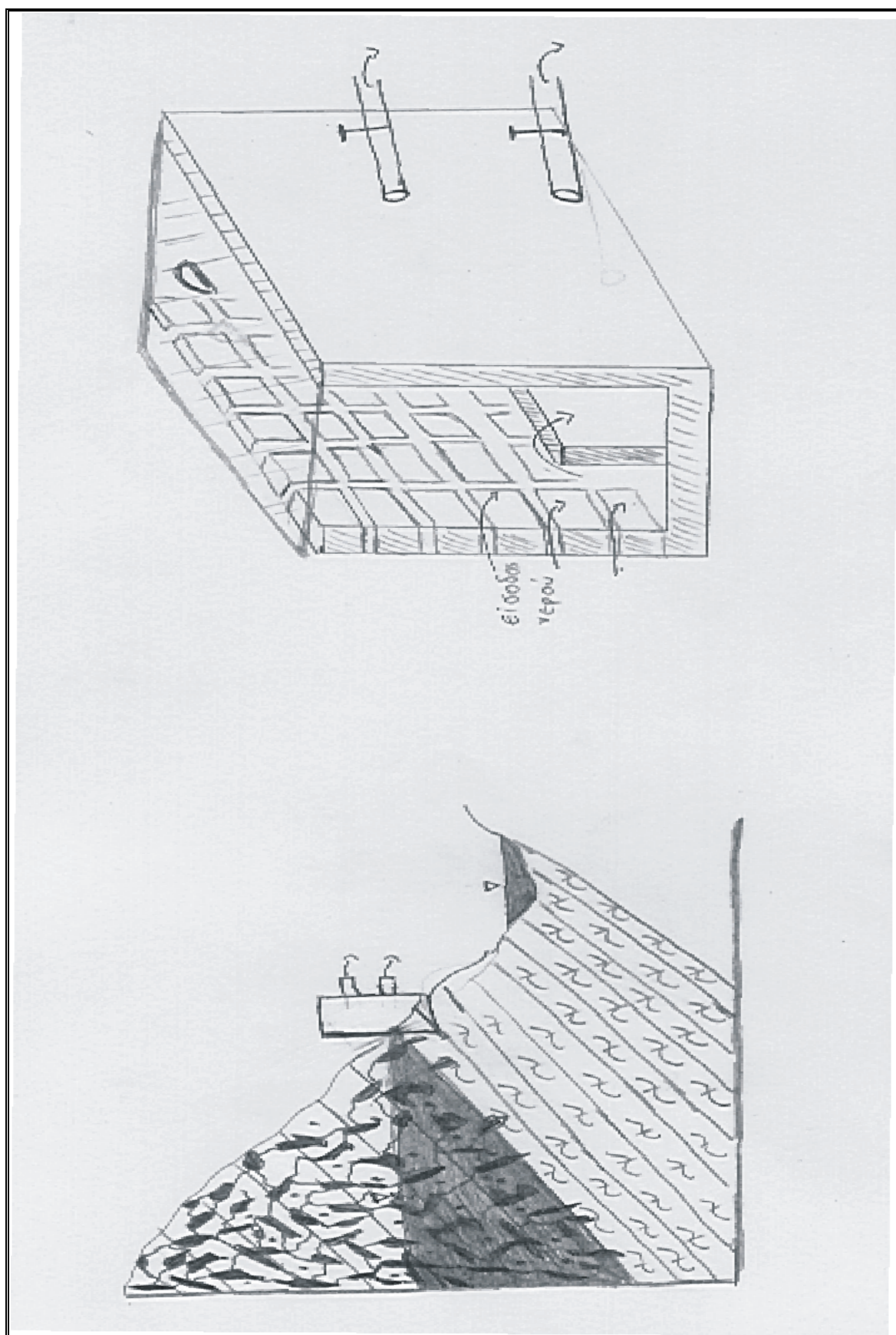
Στο ρέμα του Λάκκου του Νευροκόπου έχουν εντοπιστεί πηγές που εκδηλώνονται σε μέτωπο πηγών. Πρόκειται για πηγές υπερχειλίσσης και το σχηματικό διάγραμμα του μηχανισμού λειτουργίας τους φαίνεται στο σχήμα 3.3.15. Οι πηγές αυτές έχουν μικρή αλλά σταθερή παροχή. Πάρθηκαν δείγματα από δύο τέτοιες πηγές και οι χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν και φαίνονται στον πίνακα της παραγράφου 3.3.3, δείχνουν ότι το νερό που πηγάζει από αυτές είναι πόσιμο.

Το νερό αυτό των πηγών μπορεί να συγκεντρωθεί σε μία θέση, να γίνει δηλαδή υδρομάστευση αυτών, και εν συνεχεία να μεταφερθεί στην Μονή. Σε μία θέση λοιπόν λίγα μέτρα πιο κάτω από το σημείο που αναβλύζει η τελευταία πηγή, καθαρίζεται και κατασκευάζεται μία μικρή δεξαμενή από σκυρόδεμα (μπετόν) ελαφρώς οπλισμένο. Από την πλευρά που έρχεται το νερό των πηγών κατασκευάζεται ξηρά λιθοκατασκευή, η οποία θα επιτρέπει στο νερό να εισέρχεται στη δεξαμενή. Μέσα στη δεξαμενή φτιάχνεται ένα διαχωριστικό τμήμα το οποίο χωρίζει το εσωτερικό της δεξαμενής στα δύο. Το νερό λοιπόν που εισέρχεται στη δεξαμενή πέφτει στο πρώτο τμήμα και ελαττώνεται η ταχύτητά του. Παράλληλα με τον τρόπο αυτόν στον πυθμένα παραμένουν φύλλα, χαλίκια κτλ, δηλαδή παίζει το ρόλο ενός φίλτρου. Εν συνεχεία το νερό που βρίσκεται μέσα στη δεξαμενή υπερχειλίζει τη διαχωριστική επιφάνεια και εισέρχεται στο δεύτερο τμήμα από όπου εξέρχεται μέσω μιας οπής που καταλήγει σε έναν σωλήνα (ή λάστιχο) που βρίσκεται στην άλλη μεριά της δεξαμενής. Μπορεί επίσης να κατασκευαστεί και μία δεύτερη οπή λίγο πιο πάνω από την πρώτη η οποία θα παραλαμβάνει το νερό σε περίπτωση πλημμυρικών παροχών των πηγών. Το νερό θα μεταφέρεται στη Μονή με ελεύθερη ροή μέσω πλαστικών εύκαμπτων αγωγών. Στο πάνω μέρος της δεξαμενής κατασκευάζεται ένα σκέπαστρο από το οποίο θα είναι δυνατός ο καθαρισμός της δεξαμενής.

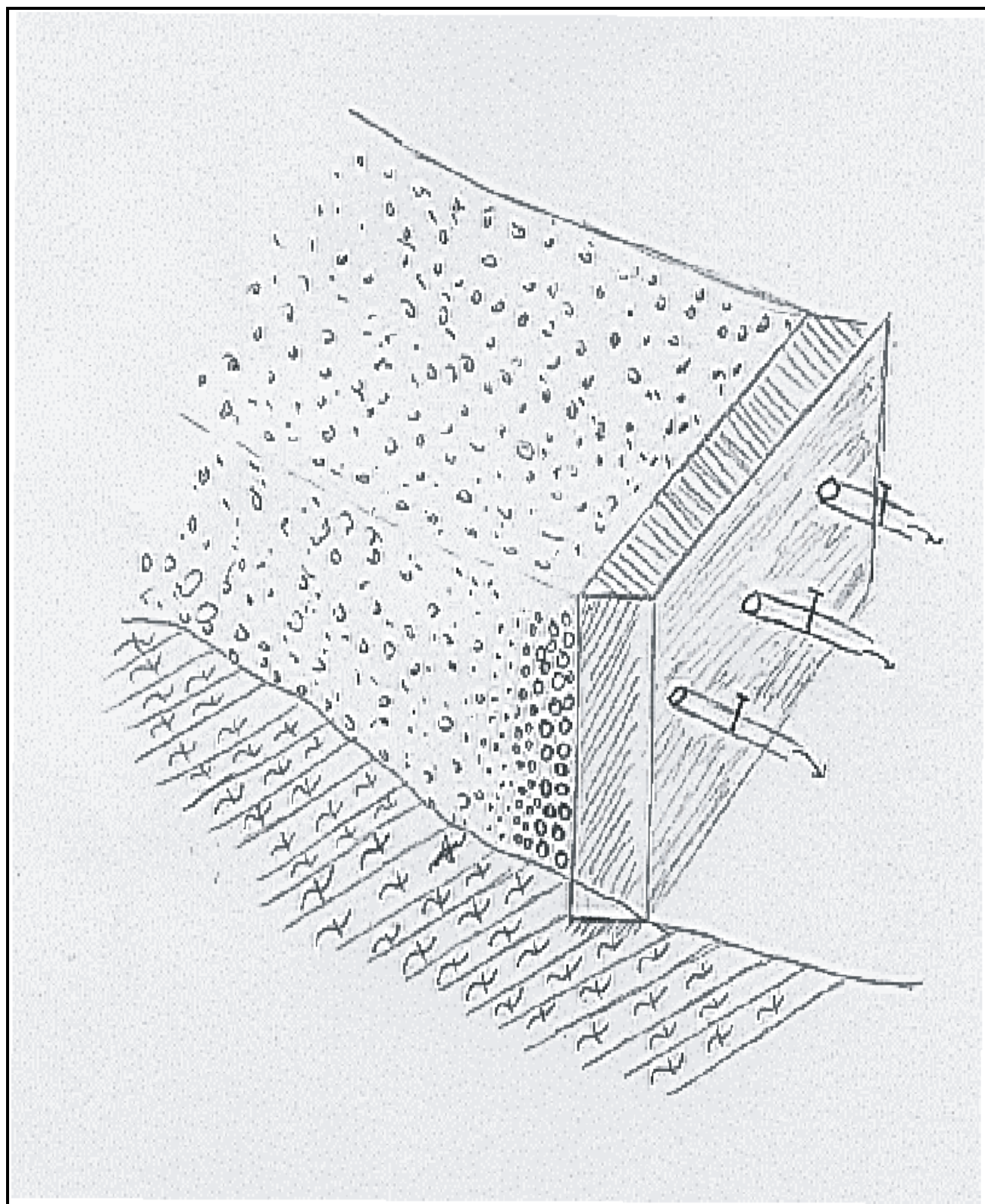
Στο σχήμα 4.2 φαίνεται σε τομή η θέση της κατασκευής κάτω από το σημείο ανάβλυσσης της τελευταίας πηγής. Διακρίνεται επίσης η δεξαμενή σε ένα τρισδιάστατο σκαρίφημα.

Εκτός από το μέτωπο των πηγών, οι οποίες μπορούν να υδρομαστευτούν όπως αναλύθηκε παραπάνω, μέσα στο ρέμα, λίγο πιο κάτω από το σημείο ανάβλυσσης των πηγών, βρίσκεται μία περιοχή που καλύπτεται από αλλουβιακές προσχώσεις. Στη θέση περάτωσης αυτών των ιζημάτων, καθαρίζεται ο τόπος, σκάβεται ένα χαντάκι μικρού βάθους και εκεί θεμελιώνεται ένας τσιμεντένιος τοίχος του οποίου η οροφή θα φτάσει στο ίδιο επίπεδο με το επίπεδο που βρίσκονται οι προσχώσεις. Με τον τρόπο αυτό θα συγκεντρωθεί το νερό το οποίο στραγγίζεται στις προσχώσεις αυτές. Εσωτερικά του τοίχου θα τοποθετηθεί διαβαθμισμένο υλικό το οποίο θα λειτουργεί ως φίλτρο. Εξωτερικά του τοίχου γίνονται οπές και τοποθετούνται σε διάφορα σημεία βρύσες από τις οποίες θα γίνεται η παροχή του νερού. Σε κάθε βρύση μπορεί να συνδεθεί ένας πλαστικός σωλήνας και κατόπιν όλοι αυτοί να ενώνονται σε έναν ενιαίο μέσω του οποίου θα μεταφέρεται το νερό είτε στην δεξαμενή (περιοχή Ντορός) είτε κατευθείαν στην Μονή. Στο σχήμα 4.3 διακρίνεται ένα σκαριφηματικό διάγραμμα των προλεχθέντων.

Με την υδρομάστευση των πηγών στο Λάκκο του Νευροκόπου δύναται να εξοικονομηθεί πόσιμο νερό για τους μοναχούς και αποτελεί έναν άλλον τρόπο επίλυσης του προβλήματος υδροδότησης της Μονής.



Σχήμα 4.2



Σχήμα 4.3

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ABEM Instruction manual: << *Simple, state - of - the art water and mineral prospecting instrument* >>. Issued by ABEM AB, Box 20086, S -161 02 Bromma, Sweden.

ABEM Interpretation Guide: << *Theory, practice and case studies for WADI operators* >>. Issued by ABEM AB, Box 20086, S - 161 02 Bromma, Sweden.

ΒΑΦΕΙΔΗΣ, Π: << *Η τεχνική των υδρογεωτρήσεων* >>, Θεσσαλονίκη.

ΓΚΟΓΚΟΖΗΣ, Δ. (1997): << *Αρδεύοντας την έρημο του βίου με τα νάματα της όντως ζωής* >>. Μια προσέγγιση στη διαχείριση των υδατικών πόρων του Άγιου Όρους. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ. - Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών.

ΔΗΜΟΠΟΥΛΟΣ, Γ.Χ. (1986): << *Τεχνική Γεωλογία, με βασικές έννοιες βραχομηχανικής και γεωλογικές μελέτες τεχνικών έργων* >>, Γιαχούδη - Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.

JAMES, W. L. (1988): << *VLF Interpretation manual* >>.

ΚΑΡΜΗΣ, Π: Γεωφυσικός Msc, << *Ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι* >>.

ΚΑΛΛΕΡΓΗΣ, Γ. (1984): << *Επιχειρησιακή Υδρογεωλογία* >>, Πάτρα.

ΚΙΛΙΑΣ, Α. Α. (1997): << *Εισαγωγή στην Τεκτονική Γεωλογία* >>, Α.Π.Θ, Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, Θεσσαλονίκη.

ΛΑΓΚΑΣ, Γ. , ΒΙΚΕΛΟΥΔΑΣ. , ΤΣΟΜΠΑΝΙΚΟΣ, Δ. (1998): << *Μελέτη καλλιέργειας πηγών και αγωγού μεταφοράς ύδατος για την αντιπυρική προστασία της Ιεράς Μονής* >>. ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΔΑΣΗ Ο.Ε. , Εταιρεία μελετών, Θεσσαλονίκη.

ΜΑΝΟΥΣΑΚΗΣ Γ.Ε. (1993): << *Γενικές εργαστηριακές ασκήσεις Ανόργανης Χημείας* >>. Εκδοτικός Οίκος Α^{ΦΩΝ} Κυριακίδη Α.Ε., Θεσσαλονίκη.

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, Δ.Μ. (1985) : << *Γεωλογία της Ελλάδας* >>, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

ΠΑΠΑΖΑΧΟΣ, Β.Κ. (1996): << *Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική* >>, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

PARASNIS, D.D. (1997): << *Principles of applied Geophysics* >>, London, Chapman and Hall.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ.Χ. (1996): << *Γενική Υδρογεωλογία* >>. Πρώτος τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

ΣΟΥΛΙΟΣ, Γ.Χ. (1996): << *Γενική Υδρογεωλογία* >>. Δεύτερος τόμος, University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ



Φωτ. 1: Το Όρος Άθως.



Φωτ. 2: Η Ιερά μονή Δοχειαρίου όπως φαίνεται από το καράβι.



Φωτ. 3,4: Επαφή μεταξύ ασβεστολίθων από κάτω, που είναι πτυχωμένα όπως φαίνεται στην Φωτ. 3, και βασικών – υπερβασικών πετρωμάτων από πάνω.





Φωτ. 5,6: Ανεστραμμένη πτυχή στους ασβεστόλιθους, κάτι το οποίο υποδηλώνει τον έντονο τεκτονισμό που έχει υποστεί η περιοχή.





Φωτ. 7,8: Γνευσιακά πετρώματα στα οποία μπορεί να παρατηρηθεί η χαρακτηριστική σχιστότητα αλλά και η κλίση τους (Λάκκος του Νευροκόπου).





Φωτ. 9 Γνευσιακά πετρώματα στα οποία μπορεί να παρατηρηθεί η χαρακτηριστική σχιστότητα αλλά και η κλίση τους (Λάκκος του Νευροκόπου).



Φωτ.10: Καλλιέργεια πηγής υπερχείλισης που βγαίνει στους γνεύσιους των φωτογραφιών 7,8,9 (Λάκκος του Νευροκόπου).



Φωτ. 11,12: Βασικά – υπερβασικά πετρώματα της περιοχής έρευνας.





Φωτ. 13,14: Βασικά – υπερβασικά πετρώματα της περιοχής έρευνας στα οποία διακρίνονται κατακόρυφες διακλάσεις.





Φωτ. 15,16: Ασβεστολιθικά πετρώματα της περιοχής έρευνας τα οποία είναι κατακερματισμένα και πτυχωμένα λόγω της τεκτονικής.





Φωτ. 17: Ασβεστολιθικά πετρώματα στα οποία είναι εμφανείς οι μεγάλες κατακόρυφες διακλάσεις αλλά και οι μικρότερες οριζόντιες.



Φωτ. 18: Ασβεστόλιθοι έντονα διακλασμένοι τους οποίους παλιότερα οι μοναχοί τους χρησιμοποιούσαν ως δομικά υλικά (παλιό νταμάρι).



Φωτ. 19: Επαφή μεταξύ ασβεστολίθων πάνω και των βασικών – υπερβασικών πετρωμάτων κάτω. Η επαφή φαίνεται με την μαύρη γραμμή.