



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΟΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εκτέλεση επιφανειακών γεωφυσικών
διασκοπήσεων σε χωματερές – Εφαρμογή στη
χωματερή Π. Γαληνών Ν. Ηρακλείου.**

ΔΟΥΒΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΜΑΝΔΕΛΕΝΑΚΗ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Επιτροπή εποπτείας

Ηλίας Παπαδόπουλος
Δέσποινα Καλησπέρη
Γιώργος Χλούπης

Ιούνιος 2009



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΟΦΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ

Pre-Graduate Thesis

Shallow Geophysical Measurements in Waste Disposal Landfills Application to Landfill of P. Galinon Heraklion County

**Douvas Konstantinos
Mandelenaki Anastasia**

Examining Committee

Ilias Papadopoulos
Despoina Kalisperi
George Hloupis

June 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1.1 ΣΚΟΠΟΣ	6
1.2 ΧΩΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	7
1.3 ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	9
2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ	9
2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	11
2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	14
2.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ	20
2.5.1 Υδροληπτικά έργα - Πηγές – Υδραυλικά φορτία	26
2.5.2 Υδρολογικές συνθήκες	26
2.5.3 Πηγές (source) πιθανής ρύπανσης	26
2.5.4 Μονοπάτια μεταφοράς της πιθανής ρύπανσης (path way)	27
2.5.5 Αποδεκτές της πιθανής ρύπανσης (receptors)	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ	28
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	28
3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	29
3.3 ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΥΠΕΔΑΦΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑ	29
3.3.1 Εισαγωγή	29
4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ	31
4.1 Εισαγωγή	31
4.2 Σχέση Γεωλογίας και Αντίστασης	31
4.3 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος	33
4.4 Φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση	34
4.5 Διατάξεις ηλεκτροδίων	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ	38
5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ	38
5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	39
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	48
6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	48
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49
ABSTRACT	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη που παρουσιάζεται σ' αυτό το βιβλίο εντάσσεται στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας, όπως αυτή καθορίζεται από το πρόγραμμα σπουδών των Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων, (Τ.Ε.Ι.).

Το θέμα που μελετήσαμε στη πτυχιακή που ακολουθεί, αφορά τη **Εκτέλεση επιφανειακών γεωφυσικών διασκοπήσεων σε χωματερές – Εφαρμογή στη χωματερή Π. Γαληνών Ν. Ηρακλείου.**

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκτελέστηκε στα πλαίσια του ερευνητικού έργου, Υποστήριξη Ερευνητικών Ομάδων στα Τεχνολογικά Εκπαιδευτικά Ιδρύματα – ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ (2.6.6, MIS86455) με τίτλο: «Ανάπτυξη σύγχρονων ολοκληρωμένων μεθοδολογιών ελέγχου ρύπανσης σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)» με επιστημονικό υπεύθυνο τον Π. Σουπιό.

Επίσης, να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου κ. Σουπιό Παντελή για την συμβολή του, στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αλλά και για τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Στο πρώτο και δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα γενικά στοιχεία της τοποθεσίας όπου έχει κατασκευαστεί ο χώρος απόθεσης απορριμμάτων του Ηρακλείου – Χωματερή του Φόδελε. Στα επόμενα κεφάλαια (3^ο και 4^ο) γίνεται μια θεωρητική περιγραφή των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης, παρουσιάζεται η διεξαγωγή και τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τέλος, στο 5^ο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

1.1 ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της διπλωματικής είναι η εφαρμογή σύγχρονων γεω-περιβαλλοντικών μεθοδολογιών σε χώρους υγειονομικής ταφής απορριμμάτων (Χ.Υ.Τ.Α.) και χωματερές (χώροι ανεξέλεγκτης απόθεσης απορριμμάτων – Χ.Α.Δ.Α.) για τον εντοπισμό της πιθανής περιβαλλοντικής υποβάθμισης που έχει υποστεί το οικοσύστημα στην περιοχή έρευνας.

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου που προαναφέρθηκε, απο τον Απρίλιο του 2004 έχουν εκτελεστεί περισσότερες από 55 διατομές γεωφυσικών διασκοπήσεων, που περιλαμβάνουν ρηχές ηλεκτρομαγνητικές μετρήσεις (EM31), γεωηλεκτρικές τομογραφίες δισδιάστατης κατανομής αντιστάσεων (ERT), σεισμικά διάθλασης (RS), σεισμικά σε γεωτρήσεις (CS), μαγνητικές διασκοπήσεις (MM) και μετρήσεις διηλεκτρικής φασματοσκοπίας (DS).

Στη παρούσα εργασία θα γίνει μια απόπειρα εφαρμογής της μεθόδου γεωηλεκτρικής τομογραφίας σε σύνθετα περιβάλλοντα όπως αυτό μιας χωματερής στην οποία εμφανίζονται υψηλά αγωγιμα στρώματα ενώ η απόθεση εκτελείται σε στενές και βαθύς λεκάνες.

1.1 ABSTRACT

The aim of this pre-graduate thesis is the application of modern environmental methodologies in places where urban trashes are being held, to locate possible environmental damage at the ecosystem of the area.

During this project, since April 2004, 55 geophysical tomographies have been conducted, constituting shallow electromagnetic measurements (EM31), electric tomographies (ERT), seismic refraction (SRT), borehole seismic (CS), magnetic soundings (MM) and dielectric spectroscopy measurements (DS).

In this study we will try to apply electric tomography in complex environments like this of a trash place where highly conductive layers exist, while trash is being held in narrow and deep basins.

1.2 ΧΩΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Ως περιοχή έρευνας επιλέχθηκε η χωματερή των Πέρα Γαλήνων στο Ηράκλειο που είναι περιοχή απόθεσης των απορριμμάτων του Ηρακλείου. Στο χώρο αυτό αποτίθονται οικοδομικά υλικά, αστικά και οικιστικά λύματα καθώς και απόβλητα νοσοκομείων.

Η χωματερή εξυπηρετεί τη πόλη του Ηρακλείου όπως επίσης και όλους τους δήμους που βρίσκονται περιμετρικά του Ηρακλείου και κυρίως δυτικότερα αυτού και προς την περιοχή του Φόδελε.

Η περιοχή έρευνας καλύπτει μια έκταση περί τα 0.08 Km² και βρίσκεται 20 Km δυτικά του Ηρακλείου στο κεντρικό τμήμα της Κρήτης. Επίσης, απέχει 1400 μέτρα από τις βόρειες ακτές του Κρητικού Πελάγους, απέχει 2300 μέτρα από το χωριό του Φόδελε και η είσοδος στο χώρο έρευνας απέχει λιγότερο από 120 μέτρα από την εθνική οδό (βόρειο οδικό άξονα της Κρήτης) που συνδέει τη Δυτική με την Ανατολική Κρήτη.

Ο χώρος απόθεσης των απορριμμάτων βρίσκεται εντός του ρέματος Φλέγα το οποίο έχει Β-Δ διεύθυνση ενώ ορειοθετείται από υψηλές οροσειρές με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ.

1.3 ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- Μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων του έργου «Αποκατάσταση ΧΔΑ στους Πέρα Γαλήνους του Δ. Γαζίου»
- Ενιαίος σύνδεσμος Διαχείρισης Απορριμμάτων Κρήτης (Ε.Σ.Δ.Α.Κ.) ΧΔΑ Πέρα Γαλήνων - Γεωτεχνική Μελέτη
- Electromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers-Geonics Limited
- Υδρογεωλογική μελέτη ευρύτερης περιοχής Φόδελε –Σισών (ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ 1990)
- Μελέτη προέγκριση χωροθέτησης κεντρικής μονάδας διαχείρισης απορριμμάτων (ΟΑΝΑΚ 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η χωματερή του Φόδελε αποτελεί το χώρο απόθεσης των απορριμμάτων του Ν. Ηρακλείου. Στο χώρο αυτό αποτίθονται οικοδομικά υλικά, αστικά και οικιστικά λύματα καθώς και απόβλητα νοσοκομείων.

Η χωματερή εξυπηρετεί τη πόλη του Ηρακλείου όπως επίσης και όλους τους δήμους που βρίσκονται περιμετρικά του Ηρακλείου και κυρίως δυτικότερα αυτού και προς την περιοχή του Φόδελε.

2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

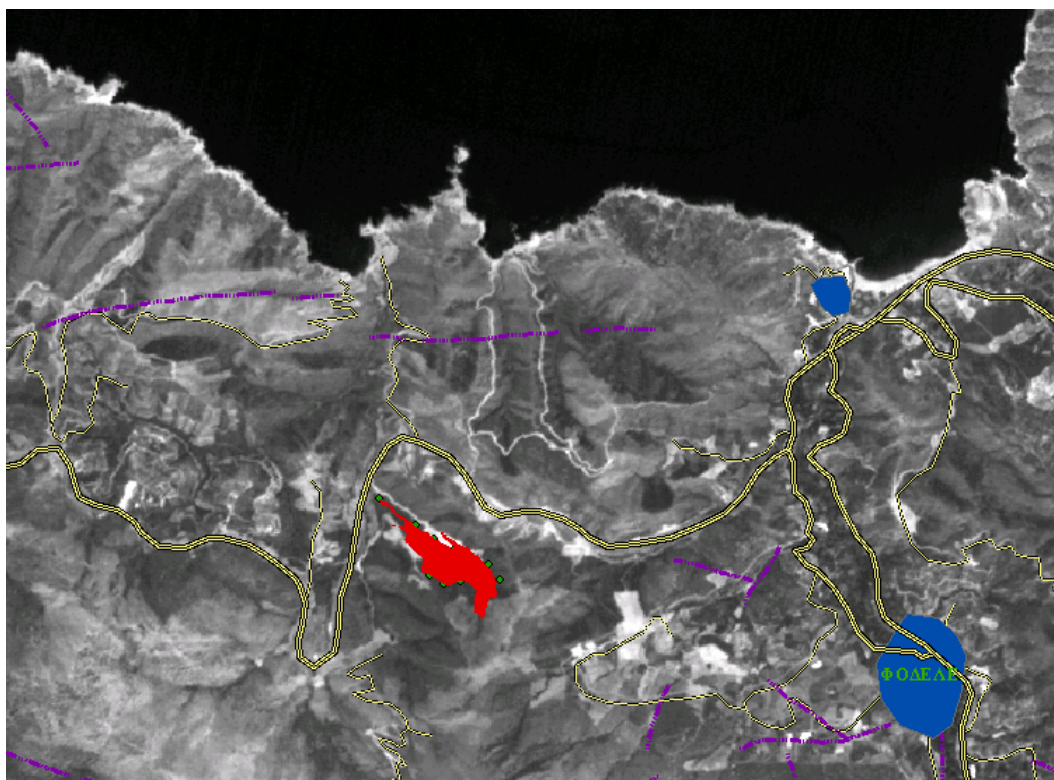
Η περιοχή έρευνας καλύπτει μια έκταση περί τα 0.08 Km² και βρίσκεται 20 Km δυτικά του Ηρακλείου στο κεντρικό τμήμα της Κρήτης. Επίσης, απέχει 1400 μέτρα από τις βόρειες ακτές του Κρητικού Πελάγους, απέχει 2300 μέτρα από το χωριό του Φόδελε και η είσοδος στο χώρο έρευνας απέχει λιγότερο από 120 μέτρα από την εθνική οδό (βόρειο οδικό άξονα της Κρήτης) που συνδέει τη Δυτική με την Ανατολική Κρήτη.

Ο χώρος απόθεσης των απορριμμάτων βρίσκεται ανατολικότερα του ρέματος Φλέγα το οποίο έχει Β-Δ διεύθυνση ενώ ορειοθετείται από υψηλές οροσειρές με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η θέση απόθεσης βρίσκεται σε απόσταση μικρότερη των 300 μέτρων από το μετόχι Γαλήνων ενώ βρίσκεται σχεδόν στα όρια των νομών Ρεθύμνης και Ηρακλείου.

Στη περιοχή έρευνας εντοπίστηκαν περισσότερες από 15 υδρογεωτρήσεις που εξυπηρετούν αρδευτικές και υδρευτικές ανάγκες ενώ από τα τοπογραφικά διαγράμματα της περιοχής έρευνας, εντοπίστηκαν περί τις 5 επιφανειακές εμφανίσεις νερού (πηγές) που παρουσιάζουν μόνιμη ροή.



Σχήμα 2.1. Απόσπασμα του πολιτικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής έρευνας κλίμακας 1/50.000.



Σχήμα 2.2. Ορθοφωτογραφία της ευρύτερης περιοχής έρευνας στην οποία έχουν αποτυπωθεί ο χώρος έρευνας, τα χωριά που βρίσκονται στην εγγύτητα της περιοχής έρευνας και τα ρήγματα (τεκτονικά στοιχεία) που εντοπίστηκαν στην περιοχή.

2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ

Η προ-νεογενής γεωλογική δομή της Κρήτης μπορεί να περιγράψει σαν μια διάταξη τεσσάρων διαδοχικά επωθημένων τεκτονικών καλυμμάτων ενώ όλη αυτή η αλληλουχία είναι επωθημένη πάνω σε μια παρά-αυτόχθονη Ζώνη. Η διάταξη αυτή είναι συνολικού πάχους περίπου 6.5 km και έχει ακολούθως τοπικά καλυφθεί από Νεογενείς και Τριτογενείς αποθέσεις. Η παρά-αυτόχθονη Ζώνη της βάσης ονομάζεται **Ζώνη Πλακωδών Ασβεστόλιθων** ενώ η τεκτονικά υπερκείμενη αυτής αλληλουχία αποτελείται από κάτω προς τα πάνω, από την **Φυλλιτική –Χαλαζιτική Σειρά**, την **Ζώνη της Τρίπολης**, την **Ζώνη της Πίνδου** και την **Ζώνη των Οφιολίθων – Οφιολιθικού Melange**. Κάθε μια από τις ενότητες αυτές έχει διακεκριμένη λιθολογική δομή και τεκτονική ιστορία που αντανακλά το συγκεκριμένο τεκτονικό περιβάλλον γέννησης καθώς και την μετέπειτα εξελικτική της πορεία.

Η διαδοχική επίπλευση των τεκτονικών αυτών καλυμμάτων έγινε από το τέλος του Ηώκαιανου έως την αρχή του Μειόκαινου λόγω της από Β προς Ν συμπίεσης. Η τεκτονική αυτή διεργασία προκάλεσε έντονη πτυχωσιγενή παραμόρφωση και κατακερματισμό λόγω των a-b και a-c διαθλάσεων των πτυχώσεων. Κατά το μέσον όμως του Μειόκαινου στην περιοχή εφαρμόστηκε ένα εφελκυστικό τεκτονικό καθεστώς με διεύθυνση Β-Ν που ισχύει μέχρι σήμερα λόγω της έναρξης της υποβύθισης στην Ελληνική αύλακα που αναπτύσσεται τοξοειδώς κατά μήκους του νοτίου και δυτικού περιθωρίου του νησιού, με κλίση ΒΑ. Αποτέλεσμα της τεκτονικής αυτής ήταν η δημιουργία ρηγμάτων με διευθύνσεις κυρίως Β-Ν και Α-Δ καθώς και ο σχηματισμός τεκτονικών κεράτων –horsts- και βυθισμάτων –grabens- με κατακόρυφες μετακινήσεις που φτάνουν τα 5-7 km. Γεωφυσικές διασκοπίσεις έχουν δείξει ότι το πάχος του φλοιού στην περιοχή της Κρήτης είναι της τάξης των 30-32 km. Στα τεκτονικά βυθίσματα που δημιουργήθηκαν αποτεθήκαν ακολούθως **Νεογενή** και **Τεταρτογενή** ιζήματα όπως μάργες, άργιλοι, ψαμμίτες, ασβεστόλιθοι, εβαπορίτες, άμμοι, κροκαλοπαγή

Αλπική τεκτονική

Για πάρα πολλά χρόνια η τεχνική εξέλιξη της Κρήτης και του νότιου Αιγαίου γενικότερα, θεωρούνται ως το αποτέλεσμα της τελικής αλπικής, συμπιεστικής τεκτονικής και του μεταγενέστερου νεοτεκτονικού εφελκυσμού (Φυτρολάκης 1980, Angelier et al.

1982, Bonneau 1984, Hall et al. 1984). Το πιο αποδεκτό μοντέλο προτείνει την διαδοχική ανάπτυξη ζωνών υποβάθμισης, οι οποίες συνεχώς μετατοπίζονταν προς τις εξωτερικότερες περιοχές του ελληνικού χώρου. Όμως, η αναγνώριση της διαδικασίας έκτασης ηπειρωτικού φλοιού ως κύριας συνιστώσας κατά την τεκτονική εξέλιξη των Κυκλάδων (Lister et al. 1984, Avigad & Garfunkel 1991), και της Κρήτης (Kilias et al. 1993, Fassoulas et al. 1994), τροποποίησε τις μέχρι τότε απόψεις για την γεωλογική εξέλιξη του νότιου Αιγαίου.

Η παλαιότερη παραμόρφωση των πετρωμάτων της Κρήτης παρατηρείται στα ανώτερα καλύμματα. Τα πετρώματα του καλύμματος των Αστερουσίων δέχθηκαν στο Άνω Κρητιδικό την επίδραση μιας μεταμόρφωσης υψηλής θερμοκρασίας που έλαβε χώρα κατά την διάρκεια μιας λέπτυνσης του φλοιού (Hall 1987) καθώς η ίδια μεταμόρφωση εμφανίζεται σε ανάλογα πετρώματα στην περιοχή των Κυκλάδων και της Μικράς Ασίας (Μάζα του Μεντερέ, Reinecke et al. 1982), το κάλυμμα των Αστερουσίων μπορεί να αποτελεί τμήμα ενός μεγάλου ηπειρωτικού τεμάχους που εκτάθηκε και λεπτύνθηκε κατά το Άνω Κρητιδικό (Φυτρολάκης 1980, Kilias et al. 1993 Fassoulas 1999). Επιπλέον, η υψηλής πίεσης/ χαμηλής θερμοκρασίας μεταμόρφωση των πετρωμάτων του Πρέβελη θα πρέπει να συνδέεται με μια διαδικασία υποβύθισης πλακών, που έλαβε χώρα είτε κατά το Άνω Ιουρασικό (Seidel et al. 1977), είτε στο Ηώκαινο (Kilias et al. 1993, Fassoulas 1999).

Στο τέλος Ηωκαίνου με αρχές Ολιγοκαίνου, ένα κύριο τεκτονικό γεγονός επηρέασε όλα τα ανώτερα καλύμματα (Fassoulas 1999), προκαλώντας την επώθηση προς τα δυτικά των καλυμμάτων και το σχηματισμό του Τεκτονικού *mélange*. Η τεκτονική αυτή διαδικασία πιθανόν σχετίζεται με μια απόσπαση και διαφυγή προς τα νοτιοδυτικά, πετρωμάτων υψηλής πίεσης (ενότητα του Πρέβελη;), κρυσταλλοσχιστωδών και οφιολίθων, από το χώρο των Κυκλάδων προς την περιοχή της Κρήτης, καθώς οι δυο περιοχές συνδέονται γεωλογικά και τεκτονικά μεταξύ τους (Fassoulas 1999).

Στο άνω Ολιγόκαινο, η φορά της τοποθέτησης των καλυμμάτων στράφηκε προς τα νότια. Οι παρατηρήσεις υπαίθρου έδειξαν ότι η μεταβολή της φοράς τοποθέτησης των καλυμμάτων δεν είναι σταδιακή (Fassoulas 1999), αντιθέτως ήταν απότομη και πιθανόν σχετίζεται με την αλλαγή που συνέβη στο Ολιγόκαινο στη σχετική ανάμεσα στην Αφρική και στην Ευρασία (Dercourt et al. 1986). Η καλυμματική τεκτονική του Ολιγοκαίνου επηρέασε όλα τα καλύμματα της Κρήτης προκαλώντας την υποβύθιση και μεταμόρφωση των κατωτέρων καλυμμάτων και την επανατοποθέτηση, με ανάστροφα ρήγματα, των ανωτέρων καλυμμάτων.

Στην αρχή του Μειόκαινου, τα πετρώματα της Κρήτης επηρεάστηκαν από μια βορρά νότου ηπειρωτική έκταση, ως αντιστάθμισμα στην προηγούμενη πάχυνση του φλοιού

(Kilias et al. 1993, Fassoulas et al. 1994, Φασσουλάς 1995). Η έκταση αυτή δημιούργησε κανονικά, προς τον βορρά και τον νότο, ρήγματα απόσπασης, και προκάλεσε την κατάρρευση του οικοδομήματος των καλυμμάτων της Κρήτης και τον σχηματισμό των πρώτων συντεκτονικών λεκανών. Τα ρήγματα απόσπασης διευκόλυναν την απομάκρυνση τουλάχιστον 10 km φλοιού που βρισκόταν ανάμεσα στα ανώτερα και κατώτερα καλύμματα, προκαλώντας ταυτόχρονα την τεκτονική ανύψωση και εκταφή τους.

Η ανύψωση των κατωτέρων καλυμμάτων στην δυτική Κρήτη ήταν πολύ γρήγορη και ολοκληρώθηκε στο χρονικό διάστημα 24 με 15 εκατ. χρόνια από σήμερα (Thompson et al. 1998), ενώ στην κεντρική Κρήτη ήταν πιο αργή, επιτρέποντας έτσι την ανάπτυξη μιας μεταμόρφωσης πολύ χαμηλού βαθμού (Kilias et al. 19994, Fassoulas et al. 1994, Φασσουλάς 1995). Η έκταση του Μειόκαινου συνεπώς οδήγησε στην επανατοποθέτηση όλων των καλυμμάτων της Κρήτης και την απολέπτυνση (boudinage) όλων των πετρωμάτων που βρίσκονται πάνω από το κάλυμμα των Πλακωδών ασβεστόλιθων.

Τα ανώτερα μεταμορφωμένα καλύμματα δεν επηρεάστηκαν ουσιαστικά από την πλαστική παραμόρφωση του Ολιγοκαίνου- Μειοκαίνου, αφού σύμφωνα με παρατηρήσεις πυρηνικών σχάσεων σε απατίτη (Thompson et al. 1998) τα πετρώματα αυτά βρίσκονταν από το Ηώκαινο, σχεδόν σε επιφανειακές συνθήκες.

Μετά- αλπική τεκτονική

Κατά την διάρκεια του Νεογενούς η Κρήτη επηρεάστηκε κυρίως από εφελκυστική-εκτατική με πιθανά διαλείμματα συμπιεστικών φάσεων. Η γεωλογική εξέλιξη της Κρήτης από το Μειόκαινο μέχρι σήμερα από αποτέλεσμα δύο κύριων γεωδυναμικών διεργασιών: της συνεχούς σύγκλισης των πλακών της Αφρικής και Ευρασίας με την ταυτόχρονη οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και της τεκτονικής διαφυγής προς τα νοτιοδυτικά της μικροπλάκας της Ανατολίας.

Πρόσφατες τεκτονικές μελέτες στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης (ten Veen & Meijer 1999 Fassoulas 2000) έδειξαν ότι από το μέσο Μειόκαινο μέχρι σήμερα, η τεκτονική εξέλιξη της Κρήτης ήταν αποτέλεσμα διαδοχικών εφελκυστικών περιόδων που δημιούργησαν τουλάχιστον τρεις γενεές ρηγμάτων. Η πρώτη γενεά αποτελείται από ρήγματα με διεύθυνση ανατολής – δύσης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των ρηγμάτων αυτών συνέβη κατά την διάρκεια του μέσο/ άνω Μειόκαινου με αρχές Μεσηνίου, ως αποτέλεσμα της οπισθοχώρησης προς τα νότια της ζώνης υποβύθισης. Αυτό το βορρά- νότου εφελκυστικό πεδίο των τάσεων δημιούργησε και τις πρώτες λεκάνες της Κρήτης στην διεύθυνση ανατολής- δύσης.

Στο τέλος του Μεσσηνίου, η έναρξη της ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος της βόρειας Ανατολίας και η απαγομένη τεκτονική διαφυγή της πλάκας της Ανατολίας (Westaway 1994) προκάλεσαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στο πεδίο των τάσεων στην Κρήτη. Κατά την διάρκεια του τέλους Μεσσηνίου με μέσο Πλειοκαίνου, δημιουργήθηκαν τα δεύτερης γενεάς ρήγματα με διεύθυνση βορρά- νότου , τα οποία προκάλεσαν σημαντική ανύψωση ορισμένων περιοχών και ταυτόχρονα την δημιουργία των λεκανών του Ηρακλείου της Ιεράπετρας και του Καστελίου Χανίων . Τα ρήγματα αυτά είναι αποτέλεσμα της έκτασης παράλληλα στην διεύθυνση του τόξου, που προκάλεσε η διαφυγή προς τα νοτιοδυτικά της πλάκας της Ανατολίας (Fassoulas 2000).

Στο τέλος του Πλειόκαινου, η σταθεροποίηση του πεδίου των τάσεων στην Κρήτη που δημιούργησε το σημερινό, ενεργό γεωδυναμικό καθεστώς (δηλαδή η οπισθοχώρηση της ζώνης υποβύθισης και η διαφυγή της Ανατολίας), προκάλεσε τα ρήγματα της τρίτης γενεάς. Αυτά αναπτύχθηκαν κάθετα μεταξύ τους, λόγω του ότι οι εφελκυστικοί άξονες του πεδίου των τάσεων βρίσκονται οριζόντιοι και με το ίδιο μέγεθος (Σχήμα 9c). Εξαιτίας των ρηγμάτων αυτών δημιουργήθηκαν νέες λεκάνες με διεύθυνση βορειοανατολική- νοτιοδυτική και βορειοδυτική- νοτιοανατολική, ενώ ταυτόχρονα συνεχίστηκε με μεγάλους ρυθμούς η τεκτονική ανύψωση ορισμένων περιοχών. Η σημερινή τοπογραφία και το ανάγλυφο της Κρήτης διαμορφώθηκαν από την δράση πολλών, μεγάλης κλίμακας, ρηγμάτων της τρίτης γενεάς , με ορισμένα από αυτά να είναι ακόμα ενεργά.

Από το τέλος του Μειόκαινου, η τεκτονική ανύψωση ολόκληρης σχεδόν της Κρήτης ενίσχυσε την καρστική αποσάθρωση των αθρακικών πετρωμάτων σχηματίζοντας πολλά φαράγγια, σπηλιές και οροπέδια, καθώς επίσης και άλλες εντυπωσιακές καρστικές δομές .

2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Στο παρόν κεφαλαίο απεικονίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του γεωλογικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος του ΧΔΑ στους Πέρα Γαληνούς και εξετάζονται ποιοτικά οι μελλοντικές επιδράσεις που θα έχει η παρουσία του χώρου στο περιβάλλον αυτό. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν έγιναν επιτόπιες γεωλογικές εργασίες σ'αυτή την φάση της μελέτης αλλά αξιολογήθηκαν στοιχεία που υπήρχαν από προγενέστερες μελέτες τόσο στην συγκεκριμένη περιοχή του ΧΔΑ όσο και στην ευρύτερη περιοχή του Φόδελε.

Έγιναν επιτόπιες επισκέψεις από γεωλόγους για να διαπιστωθούν οι γεωλογικές λεπτομέρειες που παρουσιάζονται στην περιοχή του χώρου.

Ο σχηματισμός Φόδελε όπως και εκείνος των Σισσών αποτελούνται κυρίως από ασβεστόλιθους, δολομίτες, μάρμαρα, χαλαζίτες και κροκαλοπαγή. Γεωτεκτονικά τοποθετούνται είτε στην αυτόχθονη σειρά της Κρήτης (ΥΔΡΟΕΡΕΥΝΑ 1990) είτε περιγράφονται σαν μεγάλου μεγέθους φακοί που βρίσκονται μέσα στην ενότητα Φυλλιτών Χαλαζιτών (ΟΑΝΑΚ 2001). Στην περιοχή οι σχηματισμοί Φόδελε και Σισσών βρίσκονται ανεστραμμένοι πάνω στην ενότητα των Πλακωδών Ασβεστόλιθων.

Ο σχηματισμός Φόδελε χωρίζεται σε ανώτερα στρωματά Φόδελε και κατώτερα στρωματά Φόδελε με διαφορετικά lithολογικά χαρακτηριστικά. Τα ανώτερα στρωματά Φόδελε αποτελούνται από δολομίτες και ασβεστόλιθους συνολικού πάχους 500m και τα κατώτερα στρώματα Φόδελε από δολομίτες, ασβεστόλιθους, φυλλίτες και χαλαζίτες συνολικού πάχους 400m (ΟΑΝΑΚ 2001).

Ο εξεταζόμενος ΧΔΑ βρίσκεται σε περιοχή που δομείται από το ημιμεταμορφωμένο σύστημα των Σχιστόλιθων – Φυλλιτών – Χαλαζιτών, που από υδρογεωλογική άποψη θεωρείται από τους πλέον στεγανούς γεωλογικούς σχηματισμούς και επομένως προσφέρεται για την κατάλληλη λειτουργία του ΧΥΤΑ, όσο αφορά την συγκράτηση των διασταλλαγμάτων του από την κατείσδυση στον υποκείμενο εκμεταλλεύόμενο καρστικό υδροφόρο της ευρύτερης περιοχής.

Η παρατήρηση αυτή συμφωνεί και με το πρακτικό της επιτροπής ελέγχου της καταλληλότητας του χώρου ως προς τις γεωλογικές –υδρογεωλογικές συνθήκες το οποίο αναφέρει:

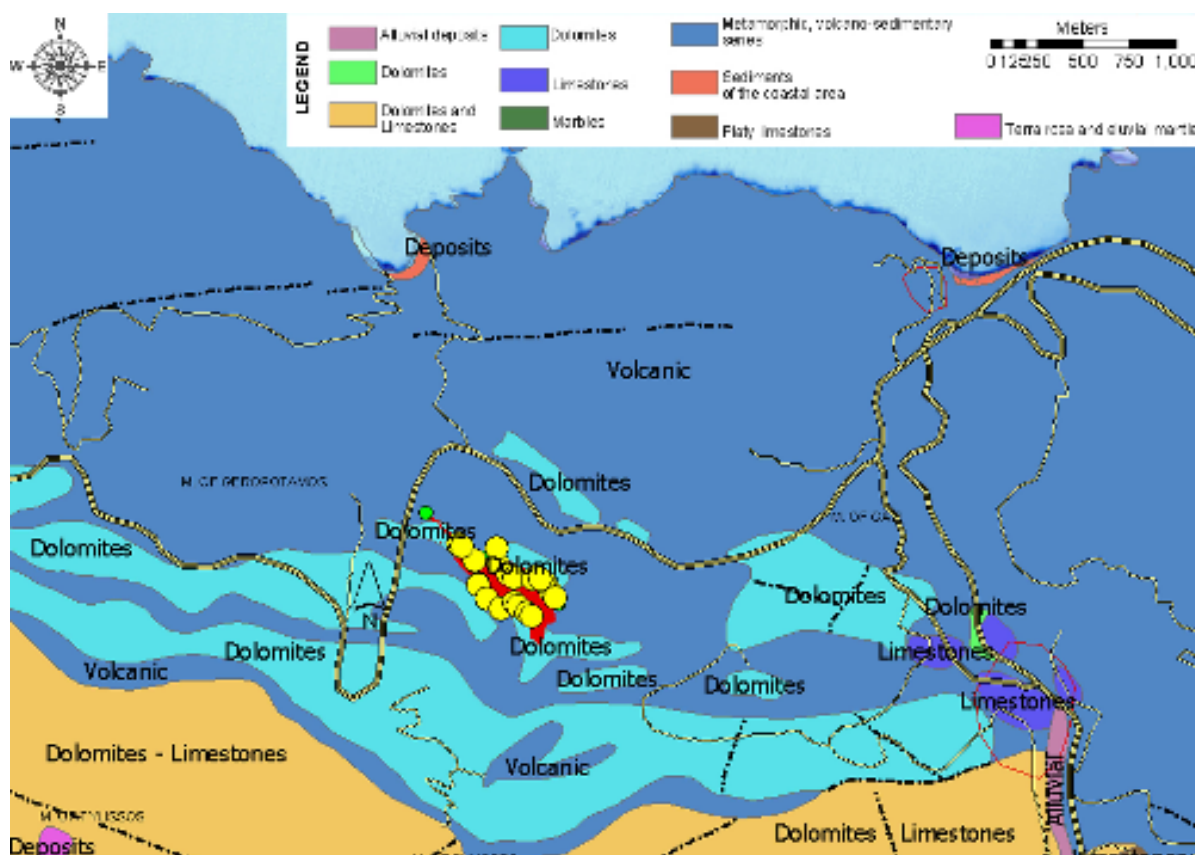
Η γεωλογική εκτίμηση που έγινε για ολόκληρη την περιοχή (600 στρ) δεν ανταποκρίνεται και στην περιοχή των 180 στρεμμάτων που χρησιμοποιούνται στην φάση αυτή της αποκατάστασης και της δημιουργίας νέου κυττάρου.

Στα κτήρια καταλληλότητας που τεθήκαν για το χώρο και συγκεκριμένα στο υποκτήριο 1^α (ακόρεστη ζώνη) που είχε βαθμολογηθεί με 9 αφού ο γεωλογικός σχηματισμός είναι αργιλικόι σχιστόλιθοι και φυλλίτες.

Το υποκρητήριο 1β (υδροπερατότητα) για την κατηγορία αυτή του υλικού θα έπρεπε να βαθμολογηθεί με 10. Παρατηρήθηκε από την επιτροπή ότι πλησίον του χώρου υπάρχει ρήγμα και επομένως θα έπρεπε να ενταχθεί στην κατηγορία των ρωγματομένων κρυσταλλικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων με βαθμολογία 5. Όμως εκτιμήθηκε τελικά ότι το ρήγμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε ένα βαθμό, όχι όμως ότι ο ΧΥΤΑ βρίσκεται πάνω σε αυτό και τέθηκε τελικά ο βαθμός 6.



Σχήμα 2.3. Γεωλογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής ενδιαφέροντος.



Σχήμα 2.4. Γεωλογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

Η περιοχή όπου εμφανίζονται τα στρωματά Φόδελε έχει υποστεί παραμόρφωση με άξονες πτυχώσεων Α-Δ και τουλάχιστον μια προηγούμενη με άξονες Β-Ν. Ο τεκτονισμός επίσης εμφανίζεται με την μορφή ρηγμάτων που διατρέχουν την περιοχή σε κυρίες διευθύνσεις Α-Δ και Β-Ν. Ο γεωλογικός χάρτης (ΟΑΝΑΚ 2002) δείχνει ότι τα ανατολικά της περιοχής ΧΥΤΑ τέμνονται δυο ρήγματα με διευθύνσεις Β-Ν και ΝΔ-ΒΑ. Τα ρήγματα αποτελούν μια παράμετρο αφού μπορεί να δημιουργήσουν τοπικά ζώνες υδροπερατότητας και να μεταβάλλουν τις υδρογεωλογικές συνθήκες.

Η γεωλογική δομή του τμήματος των Ταλέων Ορέων που αποτελεί το υπόβαθρο του προτεινομένου χώρου των Πέρα Γαληνών και αποτελείται από τους ακόλουθους σχηματισμούς:

Η Ζώνη της Τρίπολης εμφανίζεται στο νότιο τμήμα της περιοχής μελέτης και αντιπροσωπεύεται από τα κατωτέρα μέλη της στρωματογραφικής ακολουθίας δηλαδή από άστρωτους έως παχυστρωματωδείς ασβεστόλιθους και στρωματολιθικούς δολομίτες Μέσο-Άνω-Τριαδικής έως Μέσο-Κρητιδικής ηλικίας. Οι λιθότυποι του σχηματισμού κυμαίνονται από καθαρούς ασβεστόλιθους έως καθαρούς δολομίτες. Η Ζώνη έχει υποστεί δυο φάσεις παραμόρφωσης η πρώτη με άξονες πτυχώσεων Β-Ν και η δεύτερη με άξονες Α-Δ. Προς βορρά ο σχηματισμός οριοθετείται ρηξιγενώς από τους στρωματολιθικούς δολομίτες της Ενότητας των Πλακωδών Ασβεστόλιθων καθώς και τους στρωματογραφικά υπερκειμένους σχηματισμούς της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς. Τα ανθρακικά μέλη ζώνης αυτής είναι κατακερματισμένα με τοπικά έντονη καρστικοποίηση όπου το καρστ είναι πληρωμένο με ερυθρή άργιλλο, γεγονός που επιδρά στην υψηλή περατότητα της.

Η Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά (PQ) που καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, είναι ένα πολυγενετικό mélange που αποτελείται από ένα συνονθύλευμα διαφορετικών λιθότυπων Πέρμο-Τριαδικής ηλικίας με διαφορετικές μεταμορφωτικές-παραμορφωτικές ιστορίες. Κυρίως απαρτίζεται από φυλλίτες, και χαλαζίτες αλλά περιλαμβάνει φακοειδή διάφορων μεγεθών από ασβεστόλιθους, μαράματα, χαλαζίτες ή αμφιβολίτες-μεταβασάλτες. Τα φακοειδή αυτά βόρεια στην περιοχή των Ταλέων Όρεων φτάνουν τεραστία μεγέθη όπως τα μάρμαρα του Βασιλικού και οι ασβεστόλιθοι της Φόδελε. Οι αποκαλούμενοι ασβεστόλιθοι της Φόδελε αποτελούνται από μια ποικιλία ανθρακικών κυρίως σχηματισμών που ψευδοστρωματογραφικά έχουν υποδιαιρεθεί ως εξής (Epting, Kudrass, Leppig & Schafer, 1972; Hall & Audley Charles, 1983):

- Δολομίτες – μάρμαρα – χαλαζίτες πάχους 500m (ανώτερα στρώματα Σισών).
Σχηματισμός στο σύνολο του υδατοπερατός.

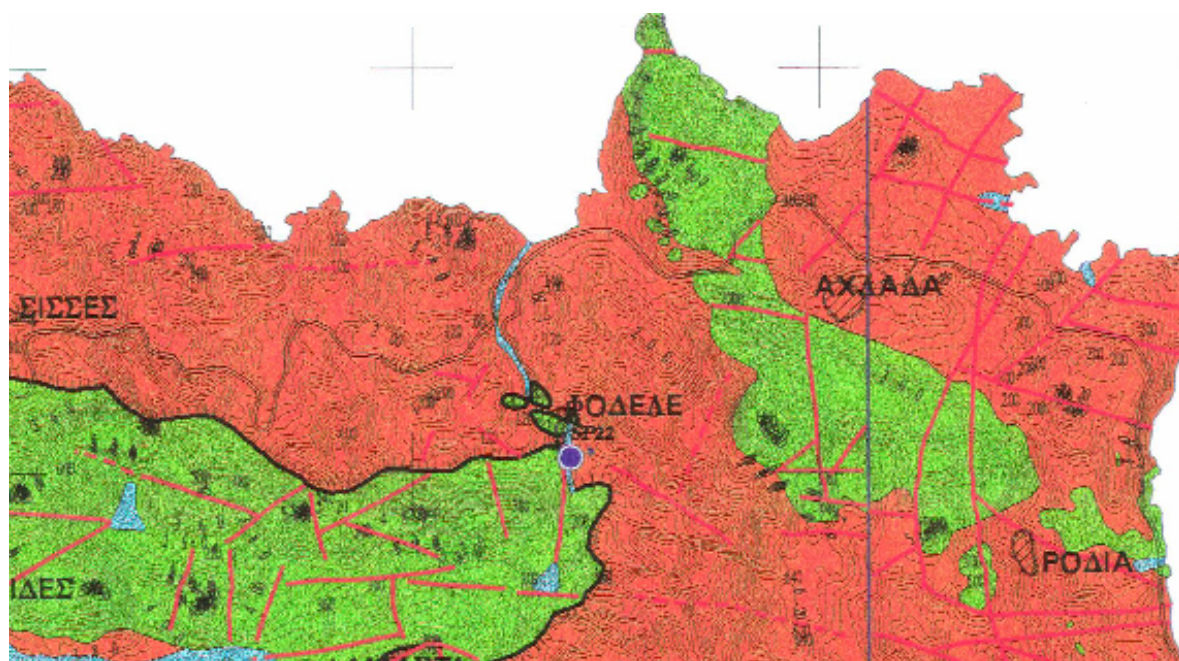
- Δολομιτικό κροκαλοπαγές πάχους 100m (κατώτερα στρώματα Σισών).
Σχηματισμός με σημαντική υδατοπερατότητα.
- Δολομίτες – ασβεστόλιθοι πάχους 500m (ανώτερα στρώματα Φόδελε).
Σχηματισμός με υψηλή υδατοπερατότητα.
- Δολομίτες – ασβεστόλιθοι – φυλλίτες – χαλαζίτες πάχους 400m (κατώτερα στρώματα Φόδελε). Σχηματισμός στο σύνολο του υδατοπερατός.

Η σειρά έχει υποστεί παραμόρφωση με άξονες πτυχώσεων Α – Δ και τουλάχιστον μια προηγούμενη φάση με άξονες Β – Ν.

Η **Ζώνη των Πλακωδών Ασβεστολίθων (Plk)** απαντάται στο κεντρικό της περιοχής μελέτης, βόρεια των οικισμών Δαμάστα και Αστρινό (Σχήματα 2.5) και αποτελείται στο βόρειο ήμισυ της εμφάνισης από Άνω – Τριαδικούς στρωματολιθικούς δολομίτες χαμηλής έως μέτριας υδατοπερατότητας, πάχους 1100m που μεταπίπτουν προς τα πάνω (στο νότιο ήμισυ της εμφάνισης) σε άστρωτα ή παχυστρωματώδη λευκά μάρμαρα πάχους 1500m και υψηλής υδατοπερατότητας (Σειρά Παντοκράτορα). Η ενότητα έχει υποστεί μία φάση τεκτονικής παραμόρφωσης, με άξονες πτυχώσεων Α – Δ.

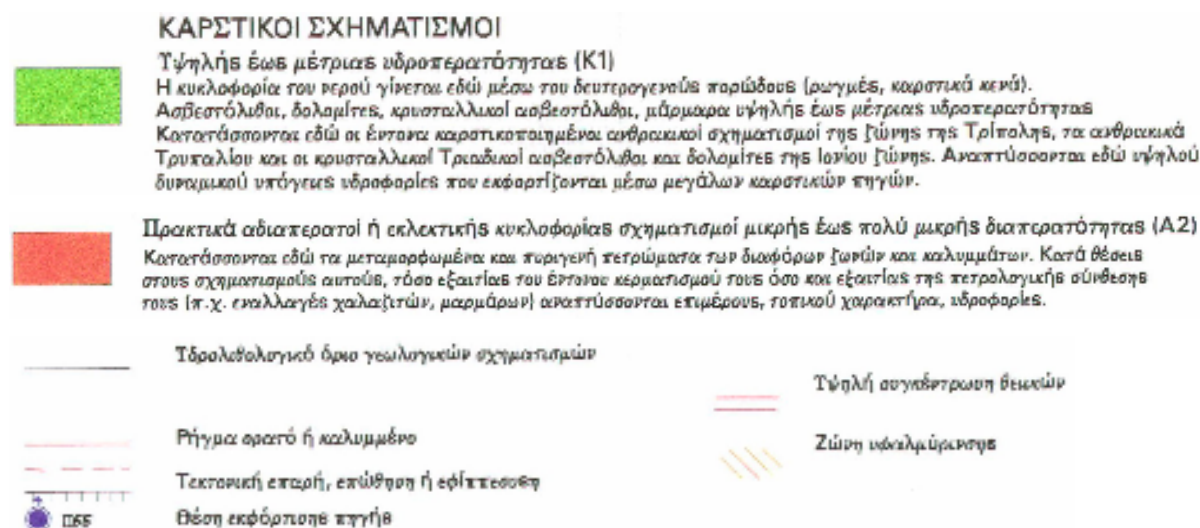


Σχήμα 2.5. Γεωλογική τομή N-B περιοχής Ταλέων Όρεων Ανθρακικά της Τρίπολης, μάρμαρα Ζ. Πλακωδών Ασβεστόλιθων, στρωματολιθικοί δολομίτες Πλακωδών Ασβεστόλιθων και Φυλλίτες –Χαλαζίτες.



Σχήμα 2.6. Υδρολιθολογικός χάρτης της περιοχής έρευνας.

Από το απόσπασμα του χάρτη που παρουσιάζεται στο σχήμα (2.6, 2.7), φαίνεται με βάση την υδρολιθολογία, ότι η περιοχή δομείται α) από καρστικούς σχηματισμούς υψηλής έως μέτριας υδροπερατότητας με την κυκλοφορία του νερού να εκτελείται διαμέσου του δευτερογενούς πορώδους και β) από πρακτικά αδιαπέρατους σχηματισμούς μικρής έως πολύ μικρής διαπερατότητας αποτελούμενοι από εναλλαγές χαλαζιτών, μαρμάρων και φυλλιτών.



Σχήμα 2.7. Υπόμνημα των υδρολιθολογικών ενοτήτων που συναντώνται στην περιοχή ενδιαφέροντος, καθώς και περιγραφή των γραμμικών στοιχείων που απεικονίζονται στο απόσπασμα του χάρτη.

2.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

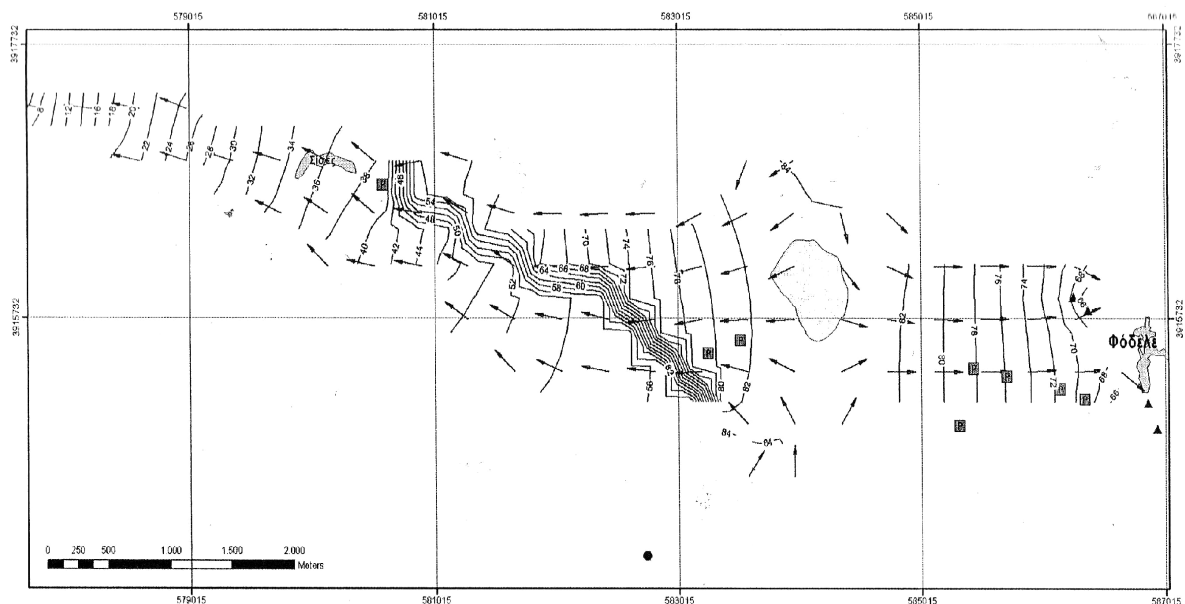
Τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή Φόδελε – Πέρα Γαληνών εντός του Σχηματισμού δολομιτών – ασβεστόλιθων (ανώτερα στρώματα Φόδελε-Σχήμα 2.9 και 2.10). Οι κυριότερες πηγές που εκφορτίζουν από το σχηματισμό αυτό καθώς και τα κατώτερα στρώματα Φόδελε και Παναγιάς (απολ.υψόμετρο +40), Σκοτεινής (απολ.υψόμετρο +34), Κεφαλόβρυση (απολ.υψόμετρο +47) και Βρυσών (απολ.υψόμετρο +50).

Από επεξεργασία των παραπάνω δεδομένων συνάγεται ότι η κυριότερη υδροφορία της περιοχής φιλοξενείται στα ανώτερα στρώματα Φόδελε (\pm κατώτερα στρώματα Φόδελε) και εκφορτίζει εν μέρει στις πηγές της Φόδελε ενώ μεταγγίζεται προς τα δυτικά και νότια στους ανθρακικούς σχηματισμούς της Ζώνης των Πλακωδών ασβεστόλιθων.

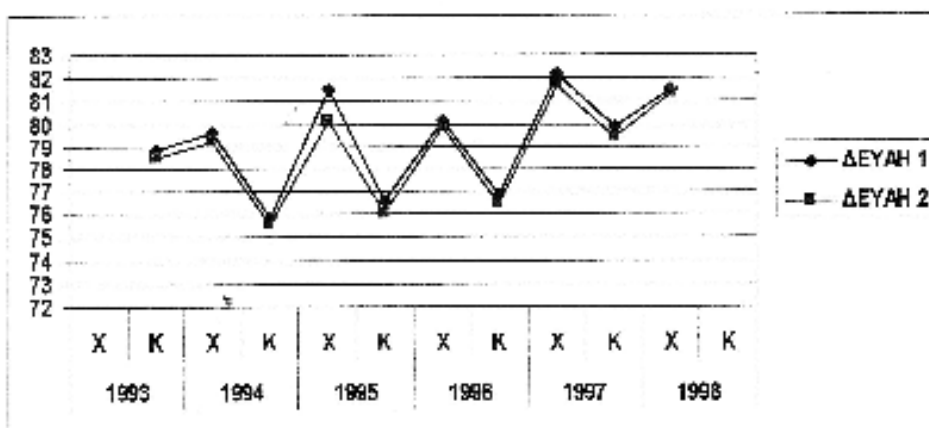
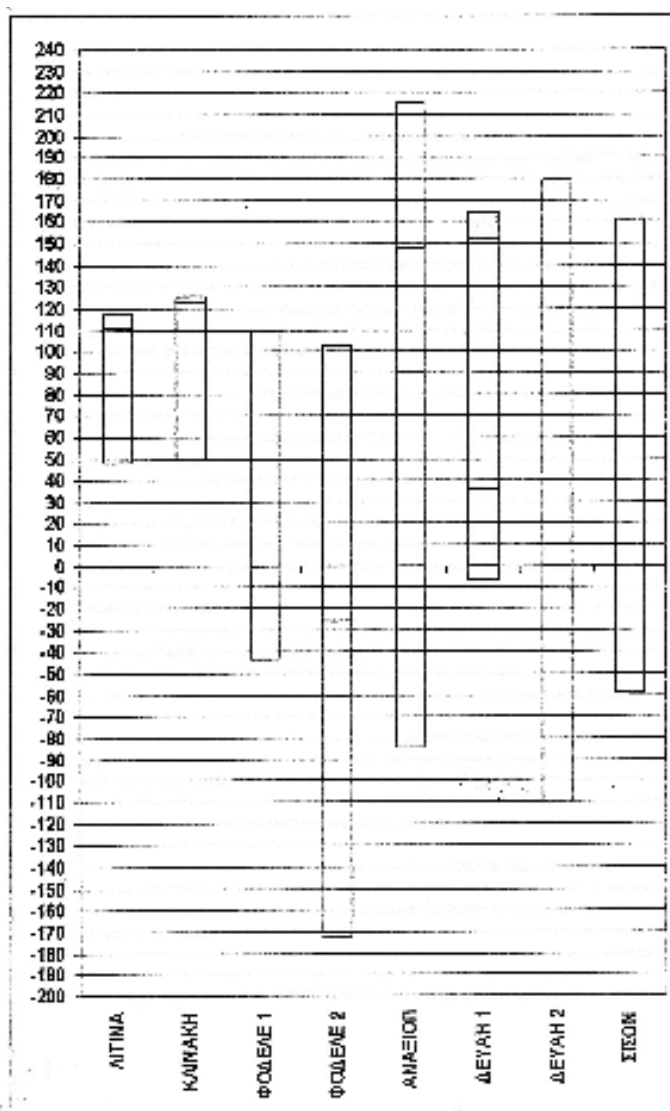
Στην περιοχή Μάραθου – Δαμάστας εντός των ανθρακικών σχηματισμών της Ζώνης των Πλακωδών ασβεστόλιθων έχουν ανορυχθεί οι γεωτρήσεις MAP 1, ΔΑΜ 1 και ΔΑΜ 2 (Σχήμα 2.10) που έχουν διατρήσει τον σχηματισμό μαρμάρων των Πλακωδών Ασβεστόλιθων και είχαν απόλυτες υδροστατικές στάθμες κατά την περίοδο της ανόρυξης +34.6, +51.3 και +64.6 αντίστοιχα και παροχές που υπερβαίνουν τα 25 m³/h. Τα μεγέθη αυτά υποδηκνύουν υδραυλική κλίση στην περιοχή από δυτικά προς ανατολικά. Οι σημαντικές διαφοροποιήσεις υδροστατικής στάθμης μεταξύ των σχηματισμών αυτών και των στρωμάτων της Φόδελε από βορρά ενδεχομένως υποδηλώνουν άλματα υδραυλικού φορτίου λόγω ρηξιγενούς διαμερισματοποίησης του υδροφόρου αυτού συστήματος.

Η δομή του πεδίου ροής του υδροφόρου συστήματος της Φόδελε όπως προκύπτει από στατιστική παρεμβολή (kriging) των υδραυλικών φορτίων των γεωτρήσεων καθώς και του υψομέτρου εκφόρτισης των πηγών απεικονίζονται στο Σχήμα (2.10) που υποδηλώνει την ύπαρξη υπόγειου υδροκρίτη στην περιοχή των γεωτρήσεων των Πέρα Γαληνών με διευθύνσεις υπόγειας ροής που κατευθύνονται από την περιοχή αυτή προς ανατολικά (πηγές Φόδελε) και δυτικά (περιοχή Σισών). Ροή προς βορρά και νότο δεν υφίσταται λόγω της ύπαρξης των στεγανών σχηματισμών της Φυλλιτικής – Χαλαζιτικής Σειράς.(Εικόνα 5.2)

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η εποχική διακύμανση της υδροστατικής στάθμης των γεωτρήσεων δεν υπερβαίνει τα 5m (Σχήματα 2.9 και 2.10)



Σχήμα 2.8. Αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ισοδυναμικές καμπύλες υδραυλικού φορτίου και διεύθυνσης υπόγειας ροής υπό συνθήκες ισορροπίας στο υδροσύστημα «ασβεστόλιθων της Φόδελε» για ένα μέσο υδρολογικά έτος (συνθήκες προ – εκμετάλλευσης). Με κίτρινο χρώμα συμβολίζεται ο ΧΥΤΑ των Πέρα Γαληνών



Σχήμα 2.9 Τομές γεωτρήσεων στην περιοχή Φώδελε

Σχήμα 2.10 Διακύμανση υδροστατικής στάθμης γεωτρήσεων ΔΕΥΑΗ (Πέρα Γαλήνων)

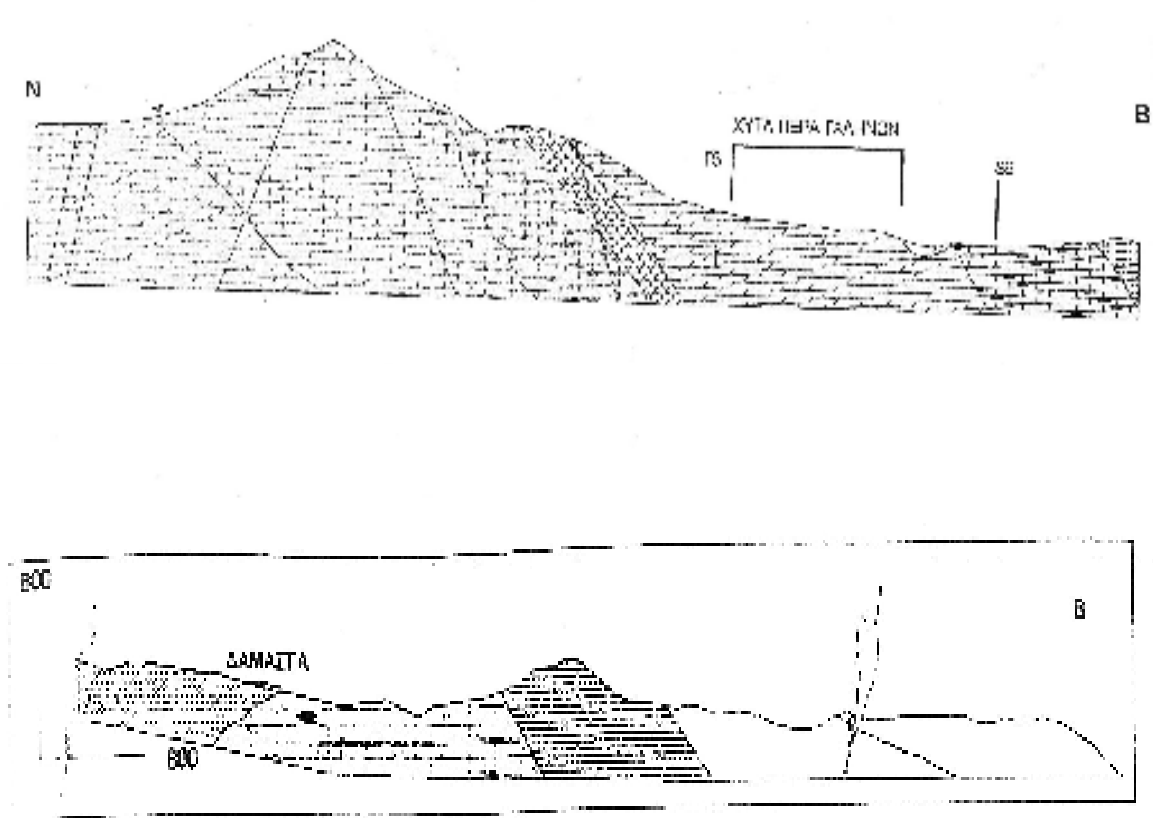
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ			ΝΟΜΟΣ : ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ										
Δ/ΝΣΗ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ			ΠΕΡΙΟΧΗ : ΦΟΔΕΛΕ										
ΤΜΗΜΑ ΕΓΓ. ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ			ΠΗΓΗ : ΠΑΝΑΓΙΑ ΣΚΟΤΕΙΝΗ - ΚΕΦΑΛΟΒΡΥΣΗ										
ΜΕΣΗ ΠΑΡΟΧΗ ΜΗΝΑ ΣΕ L/Sec.													
ΥΔΡ.ΕΤΟΣ	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕ.	ΔΕΚ.	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΙ.	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	Μ.ΕΤΟΥΣ
1968-69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	87.0	61.0	57.0	-
1969-70	47.0	60.5	76.0	77.2	76.0	74.0	69.7	61.5	39.4	33.0	38.9	36.2	57.5
1970-71	26.0	26.0	26.0	27.0	33.5	40.5	48.0	54.0	57.0	54.7	45.0	37.5	39.6
1971-72	38.0	39.0	49.0	107.0	216.0	163.0	137.0	139.0	90.0	54.0	47.0	47.0	93.8
1972-73	47.0	64.0	144.0	314.0	339.0	300.0	283.0	123.0	61.0	38.0	33.0	29.0	147.9
1973-74	37.0	41.0	44.0	56.0	87.0	122.0	117.0	93.0	62.0	37.0	36.0	39.0	64.3
1974-75	40.0	41.0	40.0	50.0	96.0	123.0	114.0	95.0	53.0	26.0	19.0	15.0	59.3
1975-76	20.0	39.0	43.0	57.0	83.0	113.0	135.0	144.0	144.0	140.0	95.0	91.0	92.0
1976-77	85.0	90.0	115.0	139.0	150.0	149.0	145.0	131.0	109.0	91.0	79.0	71.0	112.8
1977-78	72.0	90.0	139.0	230.0	280.0	248.0	203.0	198.0	191.0	148.0	102.0	72.0	164.4
1978-79	59.0	61.0	67.0	85.0	99.0	109.0	125.0	127.0	109.0	92.0	76.0	62.0	89.3
1979-80													
1980-81	31.0	42.0	54.0	58.0	95.0	157.0	201.0	170.0	134.0	92.0	44.0	42.0	93.3
1981-82	50.0	38.0	49.0	81.0	84.0	96.0	173.0	275.0	238.0	139.0	88.0	62.0	114.4
1982-83	51.0	48.0	65.0	80.0	113.0	121.0	152.0	154.0	96.0	56.0	47.0	44.0	85.6
1983-84	42.0	36.0	86.0	152.0	177.0	196.0	181.0	154.0	113.0	84.0	57.0	43.0	110.1
1984-85	54.0	61.0	84.0	108.0	211.0	219.0	228.0	218.0	172.0	86.0	63.0	61.0	130.4
1985-86	57.0	72.0	73.0	94.0	166.0	308.0	208.0	134.0	109.0	64.0	59.0	58.0	116.8
1986-87	59.0	87.0	92.0	811.0	1555	825.0	733.0	395.0	540.0	142.0	105.0	96.0	453.3
1987-88	92.0	82.0	104.0	117.0	126.0	122.0	129.0	151.0	108.0	51.0	30.0	31.0	95.3
1988-89	31.8	69.8	196.9	158.2	119.4	102.1	161.2	124.7	58.9	47.0	47.2	44.3	96.8
1989-90	40.0	66.3	64.6	75.5	131.0	234.0	164.7	117.5	105.0	77.0	60.5	54.1	99.2
1990-91	42.0	56.7	71.4	112.5	368.4	387.9	174.2	123.2	95.0	64.5	47.4	38.0	131.8
1991-92	49.2	56.4	57.6	74.2	125.2	160.9	264.0	215.5	133.6	73.8	53.8	48.9	109.4
1992-93	43.6	43.0	57.4	64.9	80.1	109.7	119.0	110.8	96.6	52.3	42.2	40.5	71.7
1993-94	30.9	32.5	46.1	71.0	115.8	176.4	150.0	130.0	70.9	56.0	54.0	49.3	81.9
1994-95	44.6	72.1	76.7	128.1	173.7	163.8	143.1	120.4	82.2	48.4	47.6	43.6	95.4
1995-96	42.1	50.5	62.6	83.1	171.2	330.6	568.5	332.3	104.0	75.3	64.1	60.4	162.1
1996-97	62.5	58.6	67.7	109.6	257.8	628.7	752.7	338.4	224.9	152.5	89.8	72.4	234.6
1997-98	75.0	64.8	76.6	87.7	96.8	111.9	107.0	154.2	91.2	63.5	54.2	47.2	85.8
1998-99	46.9	53.6	55.4	59.1	78.9	134.1	215.1	245.7	116.0	61.1	58.2	53.3	98.1
Μ.Ο	48.8	56.6	75.3	126.5	196.7	207.8	213.8	166.5	124.3	76.2	58.1	51.5	116.8

Σχήμα 2.11. Πίνακας των μηνιαίων παροχών ανά έτος από το 1968 – 1999 στη περιοχή του Φόδελε από την πηγή Παναγιά Σκοτεινή – Κεφαλόβρυση.

Είναι συνεπώς απαραίτητη η λήψη κάθε δυνατού μέτρου για την προστασία του υδατορεύματος κατάντη του χώρου από κάθε ενδεχομένη ρύπανση προερχομένη από τον προτεινόμενο χώρο, που έχει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην παράχθια ζώνη του υδατορεύματος, τον παράκτιο αρχαιολογικό χώρο των Πέρα Γαληνών αλλά και την υπόγεια υδροφορία Φόδελε – Σισών.

Υδρογεωλογικά, γενικά ο σχηματισμός Φόδελε θεωρείται υδοπερατός. Τα ανώτερα στρωματά λόγω της λιθολογικής τους σύστασης (ασβεστόλιθοι, δολομίτες) θεωρούνται πιο πέρατα από τα κατωτέρα.

Γεωφυσικές διασκοπίσεις που έγιναν κατά την διάρκεια της υδρογεωλογικής μελέτης της ευρύτερης περιοχής του Φόδελε έδειξαν υδροφορία στα κατωτέρα στρώματα του Φόδελε που σε βάθος έδινε τη θέση της σε θαλασσινό νερό.



Σχήμα 2.13 και 2.14. Γεωλογική τομή της περιοχής έρευνας.

Γεωλογική τομή N-B περιοχής Ταλέων Ορέων Ανθρακικά της Τρίπολης, μάρμαρα Z. Πλακωδών Ασβεστόλιθων, στρωματολιθικοί δολομίτες Z. Πλακωδών Ασβεστόλιθων, ασβεστόλιθοι Φόδελε και Φυλλίτες – Χαλαζίτες.

2.5.1 Υδροληπτικά έργα - Πηγές – Υδραυλικά φορτία

Στην ευρύτερη περιοχή έχουν αποδελτιωθεί 10 γεωτρήσεις και 4 πηγές. Επτά από αυτές βρίσκονται στα ανώτερα στρωματά Φόδελε στην ευρύτερη περιοχή. Η κοντινότερη βρίσκεται σε απόσταση περίπου 500m από το χώρο διάθεσης απορριμμάτων.

Η υδροφορία του σχηματισμού αυτού εν μέρει φορτίζεται στις πηγές Φόδελε (ΟΑΝΑΚ 2002). Η στάθμη των υπογείων νερών μετά το πέρας της ανόρυξης των γεωτρήσεων στα ανώτερα στρωματά Φόδελε κυμαινόταν από 70-80 m από την επιφάνεια του εδάφους. Η υδροφορία στα ανώτερα στρωματά Φόδελε θεωρείται η κυριότερη στην περιοχή και εκτιμάται ότι μεταγγίζεται νοτιά και δυτικά προ της Ζώνη των Πλακωδών Ασβ/θων.

Οι εκτιμώμενες υδραυλικές κλίσεις συμφωνά με την μελέτη του ΟΑΝΑΚ (2002) κάτω από το ΧΥΤΑ είναι προς Δ-ΒΔ προς την περιοχή Φόδελε και τις πηγές και τα υδροληπτικά έργα που βρίσκονται σε αυτή την περιοχή.

2.5.2 Υδρολογικές συνθήκες

Συμφωνά με την μελέτη του ΟΑΝΑΚ (2002) ο μετεωρολογικός σταθμός του Ηρακλείου θεωρείται αντιπροσωπευτικός για την εκτίμηση του ύψους βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης. Η μέση ετησία θερμοκρασία είναι 18.7 °C και η μέση ετησία βροχόπτωση είναι 485.5 mm.

Η θέση βρίσκεται στην υδρογεωλογική λεκάνη του ρέματος Φλέγα. Η υδρολογική λεκάνη αναπτύσσεται προς τα ΒΔ βόρεια του Δημοτικού Διαμερίσματος των Σισσών. Η υδρολογική λεκάνη αναπτύσσεται πάνω στα στρωματά Φόδελε και την ενότητα των Φυλλιτών χαλαζιτών προς τα Βόρεια.

2.5.3 Πηγές (source) πιθανής ρύπανσης

Οι πιθανές πηγές επιβάρυνσης του γεωλογικού και υδρογεωλογικού περιβάλλοντος είναι τα στραγγίσματα από το ΧΔΑ ιδιαίτερα επειδή ο χώρος δεν είναι στεγανοποιημένος και δεν υπάρχει σύστημα επεξεργασίας τους. Δίνονται τα αποτελέσματα χημικών

αναλύσεων από κατά το δυνατόν αντιπροσωπευτικά δείγματα στραγγισμάτων από το χώρο. Παρουσιάζονται επίσης τα έργα που προτείνονται για την συλλογή και επεξεργασία των στραγγισμάτων, που στόχο έχουν την εξάλειψη της ρύπανσης του περιβάλλοντος από την ανεξέλεγκτη διαφυγή τους (επιφανειακή και στο υπέδαφος).

2.5.4 Μονοπάτια μεταφοράς της πιθανής ρύπανσης (path way)

Αν διαφύγει ένας ρύπος από το ΧΔΑ τότε υπάρχουν τα εξής μονοπάτια μεταφοράς του:

- Κατεισδύει στην ακόρεστη ζώνη των υποκείμενων περατών σχηματισμών του Φόδελε. Σ' αυτό το τμήμα υφίσταται τις διεργασίες απορρόφησης από το πέτρωμα, προσρόφησης σε αυτό, διάσπασης και αποικοδόμησης.
- Στην συνέχεια εισέρχεται στον υδροφόρο ορίζοντα όπου εκτός από τις ανωτέρω διεργασίες υφίσταται διάλυση, μοριακή διάχυση και μηχανική ανάμιξη λόγω της κίνησης του νερού.

Αν ο ρύπος εισέλθει στο υδρογραφικό δίκτυο τότε:

- Είτε εισέρχεται στους περατούς σχηματισμούς Φόδελε μέσω της υδραυλικής επικοινωνίας του υδρογραφικού δικτύου με τους σχηματισμούς.
- Είτε μέσω του υδρογραφικού δικτύου καταλήγει στα κατάντη και τελικά στην θάλασσα. Οι διεργασίες που συμβαίνουν σ' αυτό το πιθανό σκέλος της κίνησης ενός υποθετικού ρύπου είναι διάλυση, μοριακή διάχυση και μηχανική ανάμιξη.

2.5.5 Αποδεκτές της πιθανής ρύπανσης (receptors)

Ως αποδεκτές της ρύπανσης οι οποίοι χρίζουν προστασίας θεωρούνται:

- Η ελεύθερη επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα όπου συμφωνά με την κοινοτική οδηγία 80/68/ΕΕ απαγορεύεται η είσοδος στο υδατικό περιβάλλον ή ύπαρξη ουσιών και στοιχείων που περιέχονται στην Λίστα I της οδηγίας.
- Οι υπάρχουσες υδρευτικές γεωτρήσεις και πηγές, όπου τα χημικά χαρακτηριστικά του νερού θα πρέπει να βρίσκονται μέσα στα όρια ποσιμότητας.
- Η θάλασσα, όπου πάλι η χημική σύσταση του νερού δεν επιτρέπεται να ξεπερνάει ορισμένα όρια συμφωνά με την ισχύουσα νομοθεσία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η γεωφυσική ως επιστήμη χρησιμοποιείται για τη μέτρηση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους χωρίς την απαραίτητη εκτέλεση γεωτρήσεων. Η ανάπτυξη και χρηματοδότηση αυτής της έρευνας ξεκίνησε από τις εταιρίες πετρελαίων και εκμετάλλευσης μεταλλείων.

Η εφαρμογή των γνωστών γεωφυσικών μεθόδων και η ανάπτυξη και εξέλιξη νέων γεωφυσικών τεχνολογιών οδήγησε στη δυνατότητα λήψης όλων των διαθέσιμων πληροφοριών που αφορούν το υπέδαφος χωρίς την απαραίτητη διάτρηση αυτού λόγω του αυξημένου κόστους.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις εκτελούνται τόσο στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε γεωτρήσεις, σε θέσεις μεταλλείων και εντός στοών όσο και εναέρια εξαρτώμενες πάντα της κλίμακας του προβλήματος που ζητείται να λυθεί. Στην περίπτωση κατά την οποία το ζητούμενο είναι ο εντοπισμός υπόγειων υδατικών πόρων και η μόλυνση (contamination) υπόγειων υδροφορέων, εκτελούνται μετρήσεις στην επιφάνεια και μέσα σε γεωτρήσεις.

Για την επιτυχής εκτέλεση των γεωφυσικών μετρήσεων και την επίλυση του προβλήματος, απαιτείται η πλευρική και κατακόρυφη διαφοροποίηση των σχηματισμών ως προς τις φυσικές τους ιδιότητες. Εντοπισμός μιας ασυνέχειας-διαφοροποίησης στις φυσικές ιδιότητες κατά την διάρκεια των μετρήσεων, συνεπάγεται με τον εντοπισμό διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών ή τεκτονικών ασυνεχειών. Φυσικά το παραπάνω δεν είναι ισχύει σε όλες τις περιπτώσεις, δεδομένου ότι διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί μπορούν και έχουν παρόμοιες έως ίδιες φυσικές ιδιότητες.

Οι επιφανειακές μέθοδοι γεωφυσικών διασκοπήσεων συνήθως οδηγούν στη γενικότερη γνώση των φυσικών ιδιοτήτων του υπεδάφους. Για την λεπτομερέστερη μελέτη των ιδιοτήτων του υπεδάφους απαιτείται η εκτέλεση των μετρήσεων μέσα στις γεωτρήσεις ή ακόμα και σε δείγματα τα οποία ελήφθησαν από πυρήνες γεωτρήσεων.

3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι γεωφυσικές μέθοδοι κάνουν χρήση διαφόρων φυσικών ιδιοτήτων που σχετίζονται με εδάφη και πετρώματα. Οι κύριες φυσικές ιδιότητες και οι μέθοδοι που σχετίζονται με αυτές παρουσιάζονται στο Πίνακα 2.

Πίνακας 2

Φυσικές Ιδιότητες	Γεωφυσικές Μέθοδοι
Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Αντίστασης / Αγωγιμότητας
Ηλεκτρομαγνητισμός	Αντίστασης / Αγωγιμότητας
Ταχύτητα σεισμικών κυμάτων	Σεισμικές
Πυκνότητα	Βαρυτικές
Μαγνητισμός	Μαγνητικές
Ραδιενεργά στοιχεία	Ραδιομετρικές
Διηλεκτρική σταθερά	Υπεδάφιο ραντάρ

3.3 ΕΦΑΡΜΟΖΟΜΕΝΕΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΗΝ ΥΠΕΛΑΦΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑ

3.3.1 Εισαγωγή

Η εφαρμογή των γεωφυσικών μεθόδων διασκόπησης στηρίζεται στην ικανότητα αυτών να εντοπίζουν ανομοιογένειες που προκαλούνται στις γεωφυσικές παραμέτρους του εδάφους. Οι μέθοδοι αυτές, χωρίζονται στις ενεργητικές, όπου κάποιο σήμα εισάγεται στο έδαφος, για παράδειγμα ηλεκτρικό ρεύμα ή ηλεκτρομαγνητικό κύμα, και λαμβάνεται η απόκριση στην επιφάνεια του εδάφους, και στις παθητικές οι οποίες στηρίζονται στην μέτρηση φυσικών υπαρχόντων πεδίων, όπως για παράδειγμα η μέτρηση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ένας κλίβανος. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι ηλεκτρομαγνητικές, σεισμικές και ηλεκτρικές μέθοδοι, ενώ στην δεύτερη οι μαγνητικές και βαρυτικές.

Οι γεωφυσικές διασκοπήσεις συχνά προηγούνται οποιασδήποτε τεχνικής παρέμβασης σε χώρους ανοικοδόμησης διότι οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται, είναι μη καταστρεπτικές για το χώρο. Επίσης, είναι πιο οικονομικές στην εφαρμογή τους από τη διεξαγωγή μιας έρευνας βασισμένης σε γεωτρήσεις που δίνουν ούτως η άλλως μόνο μονοδιάσταση ερμηνεία. Έτσι, οι γεωφυσικές μέθοδοι διασκόπησης χρησιμοποιούνται ως το αρχικό εργαλείο στην έρευνα μιας περιοχής, ενώ μετρήσεις λίγων ημερών ή εβδομάδων, είναι δυνατόν να καθοδηγούν την μετέπειτα έρευνα για πολύ μεγάλο χρονικό διάστημα.

4. ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

4.1 Εισαγωγή

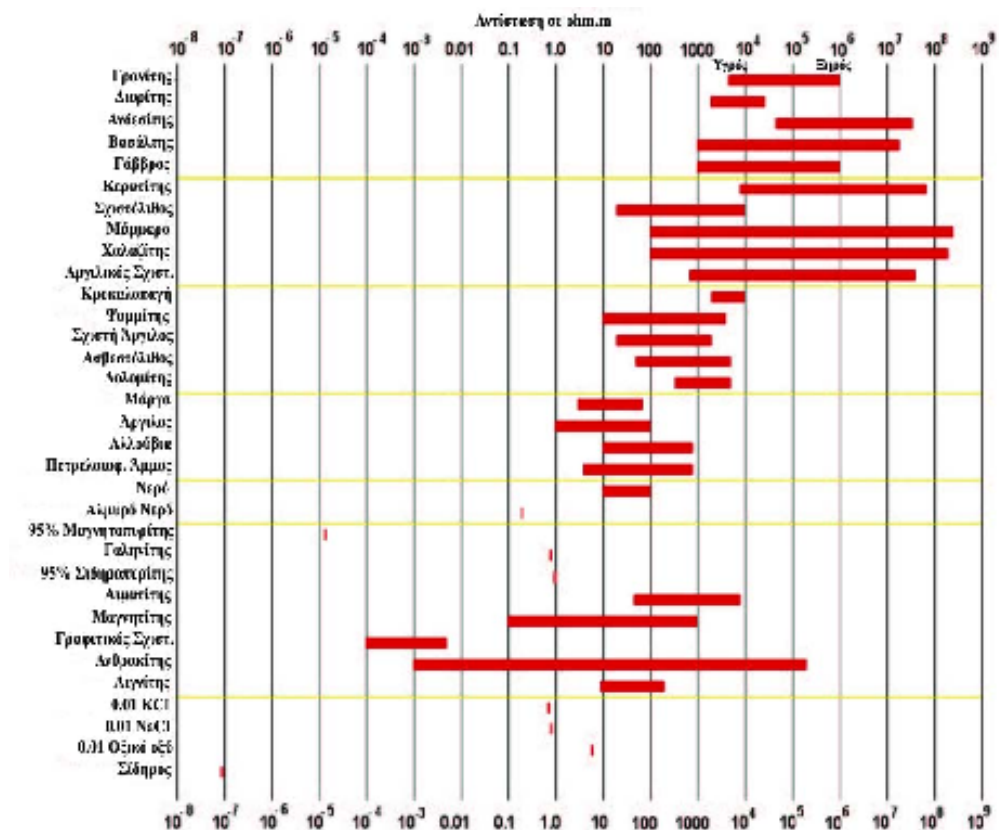
Με την εφαρμογή των ηλεκτρικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, με μετρήσεις ηλεκτρικών ποσοτήτων στην επιφάνεια της Γης. Ηλεκτρικό ρεύμα εισάγεται στο έδαφος και η ποσότητα που μετράμε είναι η ηλεκτρική τάση. Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού αντικατοπτρίζει την δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει μέσα στο υπέδαφος, δίνοντας έτσι μια ένδειξη για την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Η ηλεκτρική αντίσταση είναι η ποσότητα που παρουσιάζει περισσότερο ενδιαφέρον και της οποίας επιδιώκεται ο καθορισμός και η μελέτη της κατανομής των τιμών της μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της Γης.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως, στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία και στην Τεχνική Γεωλογία. Μία από τις σπουδαιότερες ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης, είναι η μέθοδος της ειδικής αντίστασης, της οποίας η χρήση στην αρχαιομετρία θα αναπτυχθεί σε αυτή την εργασία.

4.2 Σχέση Γεωλογίας και Αντίστασης

Εφόσον τελικός σκοπός είναι να αποκτηθεί η γεωλογική εικόνα της υπό έρευνα περιοχής από την κατανομή της αντίστασης, είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν κάποιες χαρακτηριστικές τιμές της αντίστασης για τα διάφορα είδη πετρωμάτων. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών του υπεδάφους κατά κύριο λόγο εξαρτάται από την ηλεκτρολυτική αγωγιμότητα. Το ρεύμα διαδίδεται μέσω των ιόντων που είναι διαλυμένα στο νερό το οποίο βρίσκεται στους πόρους και τις ρωγμές των γεωλογικών σχηματισμών. Η αντίσταση του εδάφους εξαρτάται και από πολλές παραμέτρους όπως είναι η ορυκτολογική σύσταση, το πορώδες, η θερμοκρασία καθώς και η γεωλογική ηλικία του πετρώματος.

Το σχήμα (8), δίνει τις τιμές της αντίστασης διάφορων πετρωμάτων και χημικών στοιχείων (Keller and Frischknecht 1966, Daniels and Alberty 1966, Telford et al. 1990).



Σχήμα 4.2.1. Αντίσταση διάφορων πετρωμάτων και ορυκτών (Keller and Frischknecht 1966).

Τα μεταμορφωμένα και τα πυριγενή πετρώματα έχουν υψηλές τιμές αντίστασης. Η αντίσταση αυτών των πετρωμάτων εξαρτάται από το βαθμό ρωγμάτωσής τους και από το ποσοστό του νερού που περιέχουν στους πόρους τους. Τα ιζηματογενή πετρώματα, τα οποία είναι συνήθως περισσότερο πορώδη και περιέχουν υψηλότερο ποσοστό νερού, έχουν χαμηλότερες αντιστάσεις. Η αντίσταση του νερού ποικίλει από 10 έως 100 Ohm-m, πράγμα που εξαρτάται από την περιεκτικότητά του σε διαλυμένα άλατα. Η εξίσωση η οποία περιγράφει τη σχέση μεταξύ της ειδικής αντίστασης, ρ ενός πετρώματος και του πορώδους, ϕ αυτού, είναι

$$\rho = a \rho_w \phi^{-m} \tag{4.1}$$

όπου, ρ_w είναι η ειδική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους του πετρώματος, ϕ είναι ο λόγος του όγκου των πόρων προς τον ολικό όγκο του πετρώματος (πορώδες) και a και m σταθερές (Keller and Frischknecht 1966). Για τα περισσότερα πετρώματα τα a και m είναι περίπου 1 και 2 αντίστοιχα. Η σχέση (4.1) είναι γνωστή ως νόμος του Archie και δείχνει ότι η ειδική αντίσταση αυξάνει όταν ελαττώνεται το πορώδες του πετρώματος.

Λόγω του ότι οι τιμές της ειδικής αντίστασης εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες που μεταβάλλονται εύκολα, οι διακυμάνσεις των τιμών της έχουν μεγάλο εύρος ακόμη και για τους ίδιους γεωλογικούς σχηματισμούς. Είναι όμως πιθανό δύο διαφορετικοί γεωλογικοί σχηματισμοί να έχουν παρόμοιες τιμές ειδικής αντίστασης. Επομένως ασφαλής είναι η σχετική σύγκριση των ειδικών αντιστάσεων στην ίδια περιοχή. Για τους παραπάνω λόγους, είναι απαραίτητο, η ερμηνεία των μετρήσεων να γίνεται με προσοχή και για τη λήψη ασφαλών συμπερασμάτων για τη λιθολογία, θα πρέπει να συνυπολογίζονται όλες οι υπάρχουσες πληροφορίες για την κάθε περιοχή (γεωλογικοί χάρτες, γεωτρήσεις κ.α.)

4.3 Ροή ηλεκτρικού ρεύματος

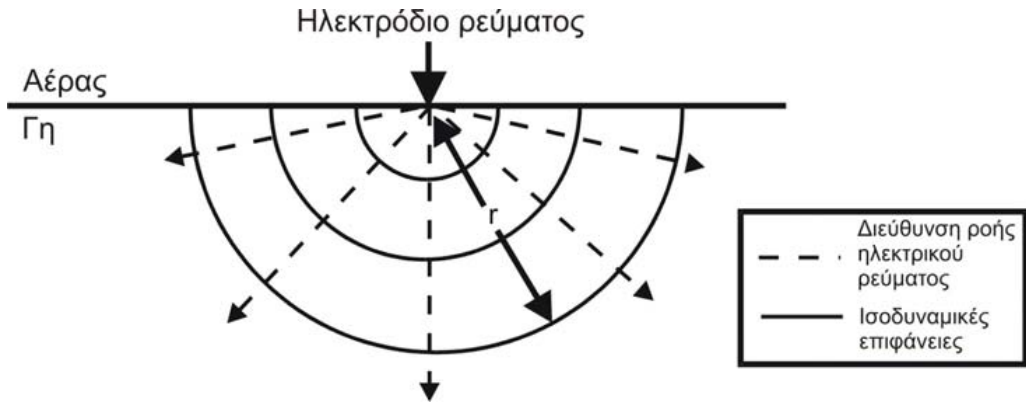
Ο νόμος του Ohm είναι ο βασικός νόμος που χρησιμοποιείται για τη ροή του ρεύματος στο έδαφος. Αυτός εκφράζεται από τη σχέση

$$J = \sigma E \quad (4.2)$$

όπου, J είναι η πυκνότητα του ρεύματος, σ η αγωγιμότητα και E η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Συνήθως χρησιμοποιείται η ποσότητα της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης η οποία είναι ισοδύναμη με το αντίστροφο της αγωγιμότητας.

Στην απλή περίπτωση, όπου το έδαφος είναι ομογενές και ισότροπο, το ρεύμα που εισέρχεται σε αυτό μέσω μιας σημειακής πηγής (ηλεκτροδίου), ρέει ακτινικά διερχόμενο από ένα ημισφαίριο εμβαδού $S = 2\pi r^2$, όπου, r η απόσταση της περιφέρειας του ημισφαιρίου από το σημείο εισαγωγής του ρεύματος. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες έχουν σχήμα ημισφαιρίου και οι γραμμές του ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες (σχήμα 9). Σε αυτή την περίπτωση το δυναμικό δίνεται από τη σχέση

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (4.3)$$

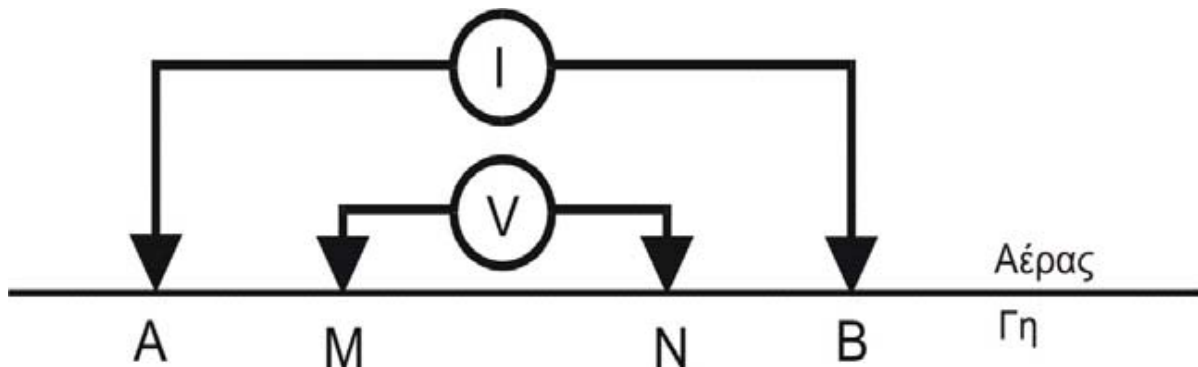


Σχήμα 4.3.1. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες και η διεύθυνση του ηλεκτρικού ρεύματος για μια σημειακή πηγή

4.4 Φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση

Στην πράξη χρειάζονται τέσσερα ηλεκτρόδια για να γίνει μέτρηση της ειδικής αντίστασης ενός ημιχώρου. Τα δύο από αυτά χρησιμεύουν στην εισαγωγή και κυκλοφορία του ρεύματος και τα ονομάζουμε A και B, ενώ με τη βοήθεια των δύο άλλων μετράμε τη διαφορά δυναμικού στα αντίστοιχα σημεία και τα ονομάζουμε M και N. Έστω r1 απόσταση του M από το θετικό ηλεκτρόδιο A, r2 από το αρνητικό B και r3 και r4 οι αντίστοιχες αποστάσεις του N από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος (σχήμα 10). Επομένως από την σχέση (4.3), η διαφορά δυναμικού μεταξύ των A και B για έναν ομογενή ημιχώρο και για μια διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων, είναι

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right) \tag{4.4}$$



Σχήμα 4.4.1. Διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων.

Επομένως, η ειδική αντίσταση του ημιχώρου μπορεί να βρεθεί από τη σχέση

$$\rho = k \frac{A'}{I}, \quad (4.5)$$

όπου, k είναι ο παράγοντας μέσα στην αγκύλη της σχέσης (4.4), ο οποίος λέγεται γεωμετρικός παράγοντας και εξαρτάται από την διάταξη των τεσσάρων ηλεκτροδίων. Στην περίπτωση ομογενούς και ισότροπου εδάφους και για οποιαδήποτε διάταξη ηλεκτροδίων, όταν ο γεωμετρικός παράγοντας πολλαπλασιάζεται με την μετρούμενη αντίσταση, το αποτέλεσμα είναι η πραγματική αντίσταση του εδάφους.

Στην περίπτωση μη ομογενούς και ισότροπου χώρου, η σχέση (4.5), ορίζει μία παράμετρο που ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση του ημιχώρου, ρ_a . Η παράμετρος αυτή εισάγεται για να ληφθεί υπόψη η γεωμετρία της μέτρησης, οι θέσεις δηλαδή των ηλεκτροδίων. Η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση δεν είναι η πραγματική αντίσταση του υπεδάφους, αλλά μια φαινόμενη τιμή η οποία είναι η αντίσταση που θα είχε το έδαφος εάν ήταν γεωηλεκτρικά ομογενές. Όπως προαναφέρθηκε, η τιμή αυτή ταυτίζεται με την πραγματική αντίσταση όταν πρόκειται για ομογενή γη.

Στην πράξη η φαινόμενη αντίσταση ρ_a , αποτελεί ένα είδος μέσου όρου των ηλεκτρικών αντιστάσεων του ανομοιογενούς υπεδάφους. Άρα δεν δίνει ακριβώς την πραγματική αλλά μια “παραμορφωμένη” εικόνα της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους. Για αυτόν τον λόγο η απευθείας χρήση των μετρήσεων φαινόμενης αντίστασης για την εξαγωγή συμπερασμάτων είναι παρακινδυνευμένη. Η πραγματική αντίσταση μπορεί να βρεθεί μόνο μετά από κατάλληλη επεξεργασία. Ο καθορισμός της πραγματικής αντίστασης από τις τιμές της φαινόμενης αντίστασης είναι η λύση του αντίστροφου προβλήματος, για το οποίο θα γίνει λόγος παρακάτω.

4.5 Διατάξεις ηλεκτροδίων

Υπάρχουν πολλοί τρόποι με τους οποίους τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια του ρεύματος και του δυναμικού κατά την χρήση της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Σε αυτό το σημείο θα περιγραφούν οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες διατάξεις.

Διάταξη Πόλου-πόλου. Η απλούστερη διάταξη είναι αυτή όπου ένα από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος, B , και ένα από τα ηλεκτρόδια του δυναμικού, N , είναι τοποθετημένα σε πολύ μεγάλη απόσταση από τα άλλα δύο (A , M), έτσι ώστε να μπορέσει να θεωρηθεί ότι βρίσκονται στο άπειρο (σχήμα 11Αε). Επομένως από τη σχέση (4.4), η φαινόμενη ειδική αντίσταση θα είναι

$$\rho_a = 2\pi \frac{\Delta V}{I} \quad (4.6)$$

Εάν τα δύο απομακρυσμένα ηλεκτρόδια τα τοποθετήσουμε κοντά μεταξύ τους, τότε προκύπτει η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου (twin probe) (σχήμα 11Αστ), και η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = 2\pi \frac{ab}{a+b} \frac{\Delta V}{I}, \quad (4.7)$$

όπου, a και b είναι οι αποστάσεις μεταξύ των A, M και B, N ηλεκτροδίων αντίστοιχα. Στην περίπτωση όπου $AM = BN = a$, η σχέση (4.7) γίνεται

$$\rho_a = \pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (4.8)$$

Διάταξη Πόλου-διπόλου. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N , βρίσκονται ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος, A, B , ένα από τα οποία τοποθετείται στο άπειρο (σχήμα 11Αδ). Η φαινόμενη αντίσταση δίνεται από τη σχέση

$$\rho_a = 2\pi \frac{ab}{b-a} \frac{\Delta V}{I} \quad (4.9)$$

Όταν η απόσταση b είναι πολλαπλάσια της απόστασης a ($b = na$), τότε η σχέση (4.9) γίνεται

$$\rho_a = 2\pi n(n+1) a \frac{\Delta V}{I} \quad (4.10)$$

Διάταξη Wenner. Σε αυτή τη διάταξη τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N , τοποθετούνται ανάμεσα από τα ηλεκτρόδια του ρεύματος A, B (σχήμα 11Αα). Οι αποστάσεις των τεσσάρων ηλεκτροδίων είναι ίσες (a), επομένως από τη σχέση (4.4) προκύπτει ότι

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (4.11)$$

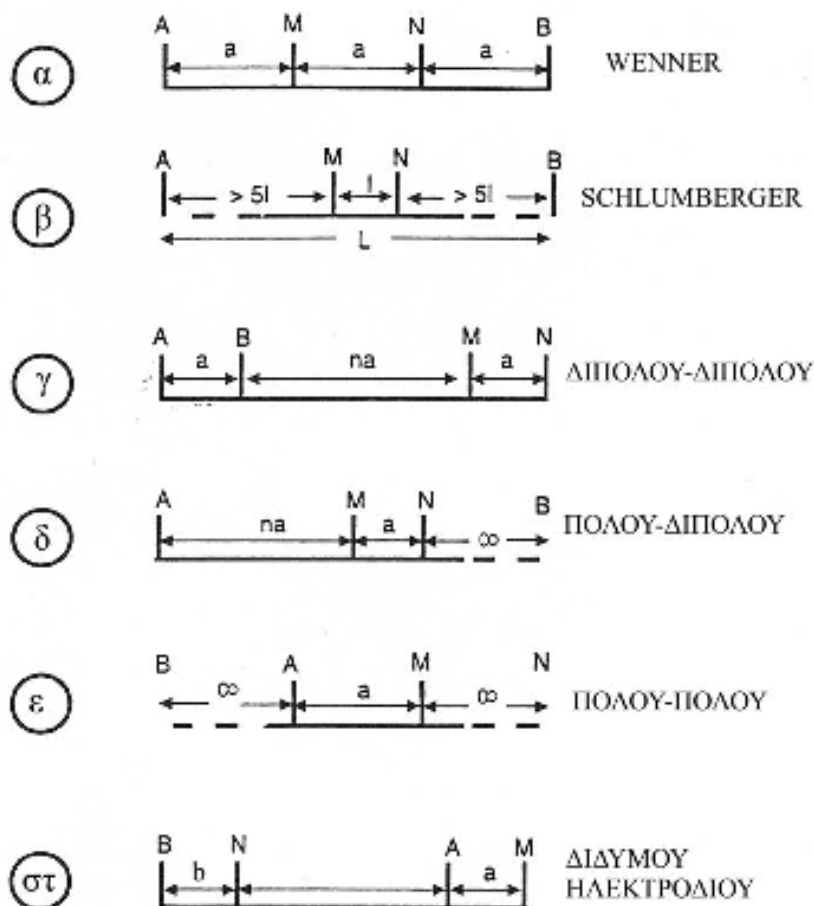
Διάταξη Schlumberger. Τα M και N ηλεκτρόδια βρίσκονται πάλι ανάμεσα στα A, B με τη διαφορά ότι τοποθετούνται συμμετρικά ως προς ένα κέντρο O . Η απόσταση μεταξύ των A, B είναι L και η απόσταση μεταξύ των M, N είναι l . Ισχύει ότι $L \gg l$ (σχήμα 11Αβ). Σε αυτή την περίπτωση η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \frac{\Delta V}{I} \quad (4.12)$$

Διάταξη Διπόλου-διπόλου. Στη διάταξη αυτή, το δίπολο του ρεύματος (ηλεκτρόδια A, B) βρίσκεται σε απόσταση na από το δίπολο του δυναμικού (ηλεκτρόδια M, N), ενώ η

απόσταση των A, B και M, N είναι ίση με a , όπως φαίνεται στο σχήμα (11Αγ). Η φαινόμενη ειδική αντίσταση είναι

$$\rho_a = -\pi n a (n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{I} \quad (4.13)$$



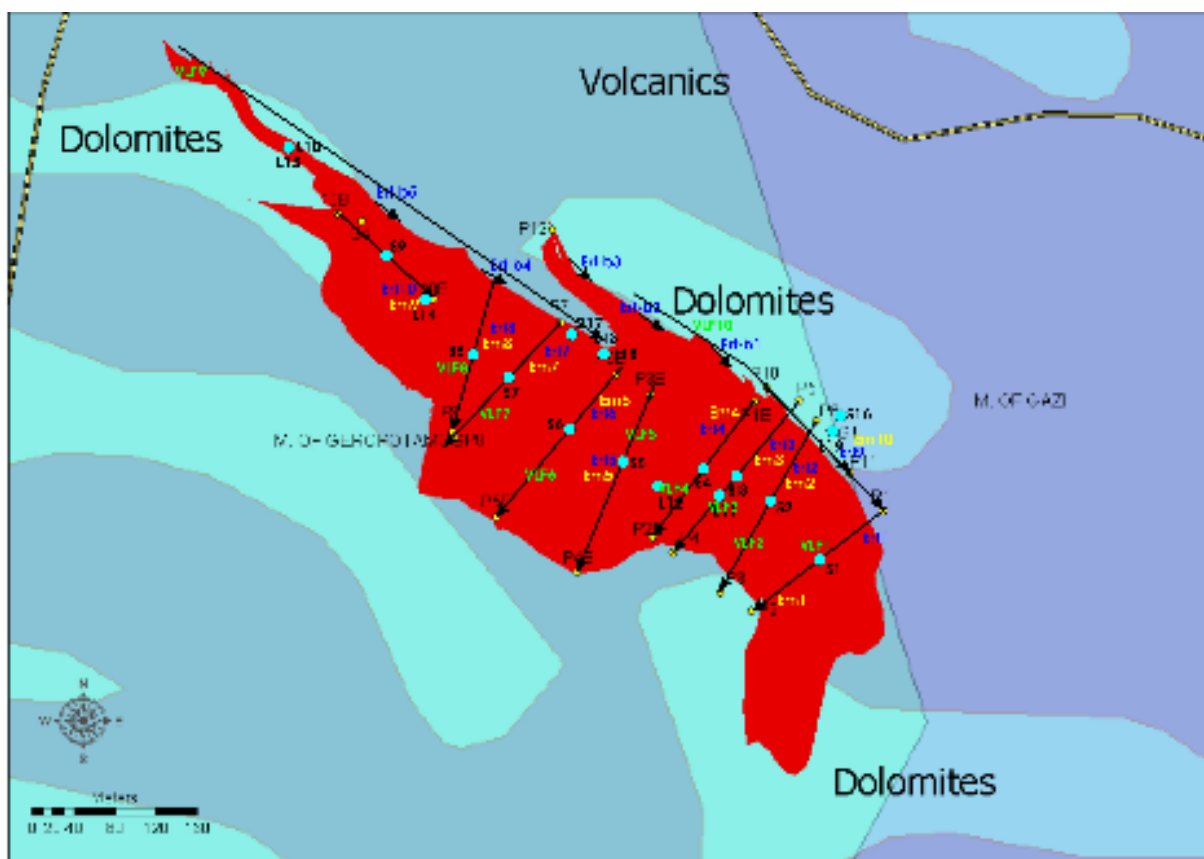
Σχήμα 4.5.1. Διάφορες διατάξεις: (α) Wenner (β) Schlumberger (γ) διπόλου-διπόλου (δ) πόλου-διπόλου (ε) πόλου-πόλου (στ) διδύμου ηλεκτροδίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

5.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Κατά μήκος των διατομών εκτελέστηκαν 10 γεωηλεκτρικές διασκοπήσεις εντός του χώρου απόθεσης και 5 διατομές στο υπόβαθρο της περιοχής έρευνας με σκοπό τον προσδιορισμό της απόκρισης των σχηματισμών (σχήμα 5.1).

Οι οδεύσεις πραγματοποιήθηκαν με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, ενώ οι οδεύσεις 9 και 10 πραγματοποιήθηκαν σε κάθετες οδεύσεις με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Σκοπός της διεύθυνσης των οδεύσεων, των αποστάσεων αυτών και τις θέσεις πραγματοποίησής των είναι η πληρέστερη κάλυψη του χώρου.



Σχήμα 5.1. Παρουσίαση του χώρου έρευνας όπου με κόκκινο χρώμα φαίνεται ο υπό μελέτη χώρος έρευνας, με μαύρα βέλη παρουσιάζονται οι διεύθυνσεις και η φορά εκτέλεσης των γεωφυσικών διασκοπήσεων.

Οι μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκαν με το όργανο IRIS Instrument, Syscal Jr. Switch 48 channels, το χρονικό διάστημα 10 Μαΐου 2004 – 22 Ιουνίου 2004. Στις μετρήσεις υπαίθρου συμμετείχαν οι σπουδαστές, Πάνος Γεωργακόπουλος, Γιώργος Σπηλιωτόπουλος, Παρασκευή Σεφέρου και Αναστασία Μανδελενάκη.

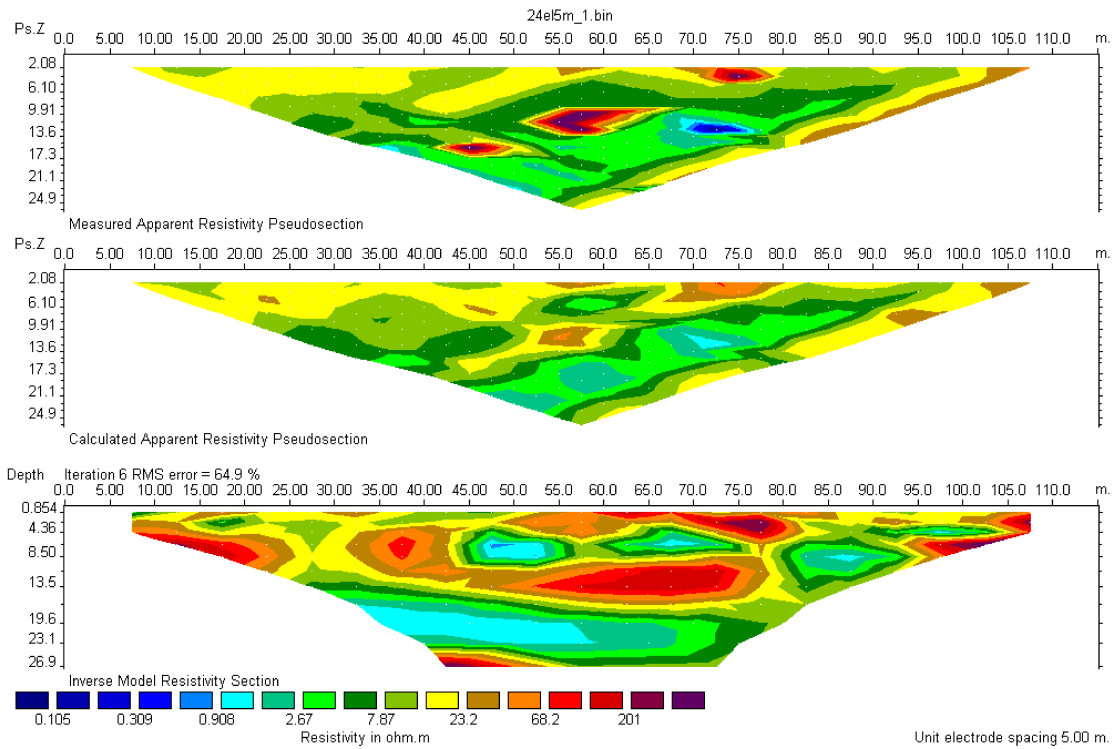
Οι μετρήσεις λήφθηκαν ανά 5 μέτρα και κατά μήκος των διατομών των άλλων γεωφυσικών διασκοπήσεων. Σημαντικό πρόβλημα στην εκτέλεση των συγκεκριμένων γεωφυσικών διασκοπήσεων είναι η παρουσία μεταλλικών αντικειμένων στη περιοχή έρευνας όπως επίσης και ο εντοπισμός θέσεων στις οποίες υπάρχει αυξημένο ποσό διασταλαζόντων το οποίο δρά ως αγωγήμη μάζα.

5.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

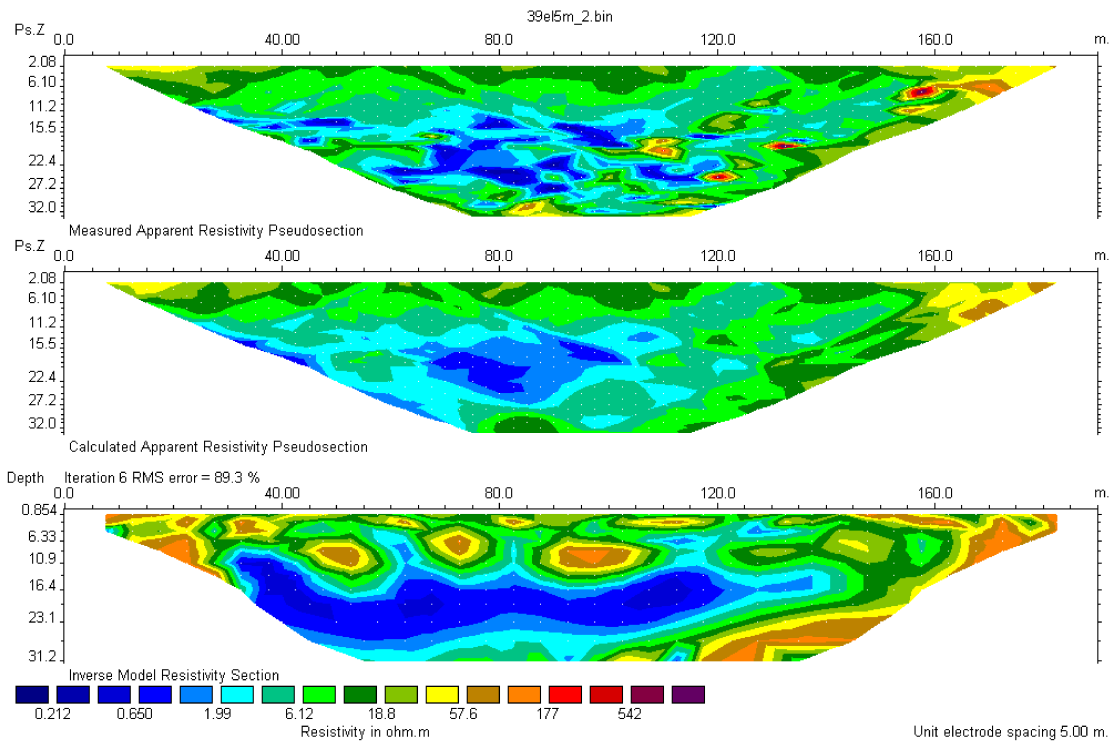
Οι μετρήσεις που ελήφθησαν στη συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα Res2DInv και άρχισε η επεξεργασία των μετρήσεων.

Στη συνέχεια τα δεδομένα εισάγονται στο γραφικό περιβάλλον (σχήμα 5.3.1 και 5.3.16) για την μεταφορά και απεικόνιση των δεδομένων. Στο περιβάλλον αυτό δίνεται η δυνατότητα για φιλτράρισμα των δεδομένων, αποκοπή κάποιων ακραίων τιμών και κάλυψη του λευκού θορύβου.

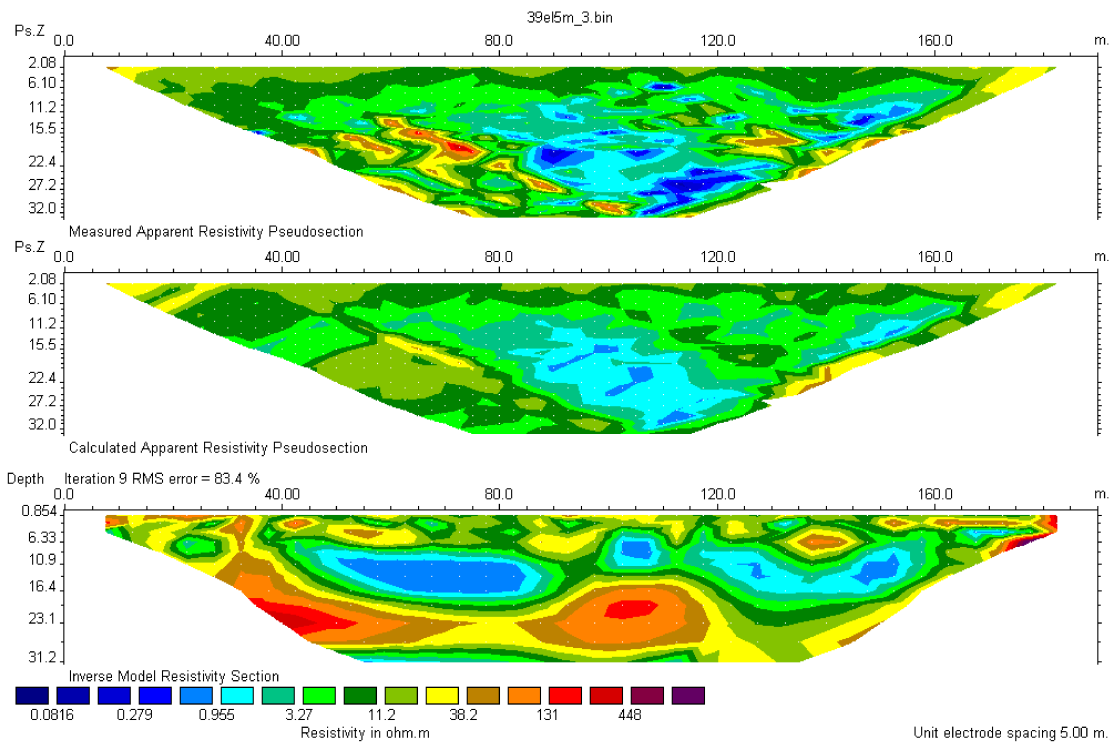
5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ



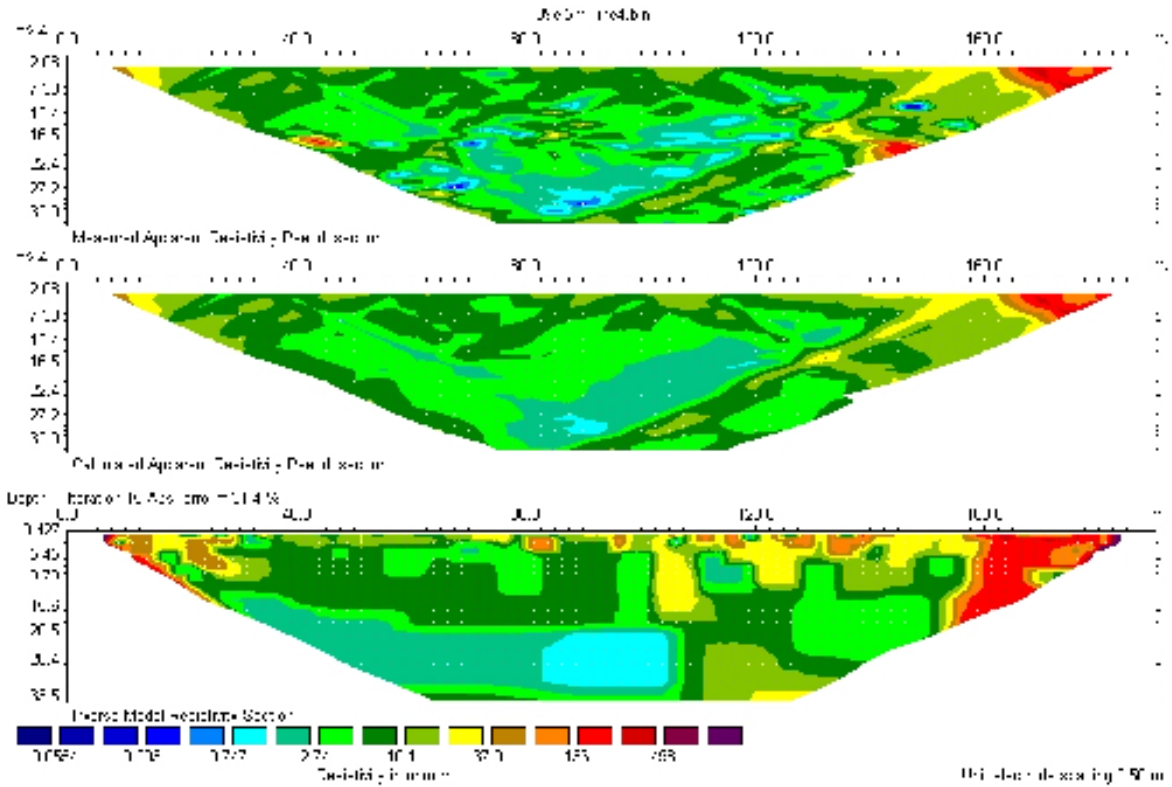
Σχήμα 5.3.1. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 1.



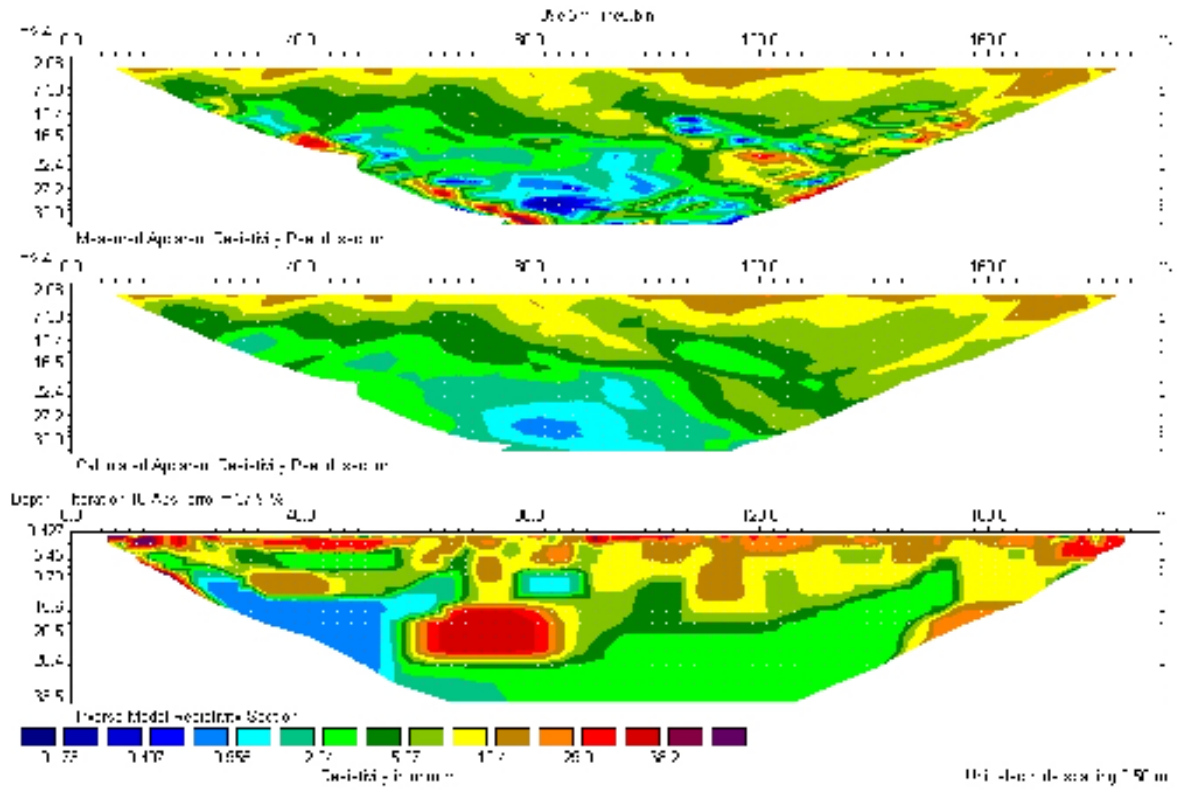
Σχήμα 5.3.2. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 2.



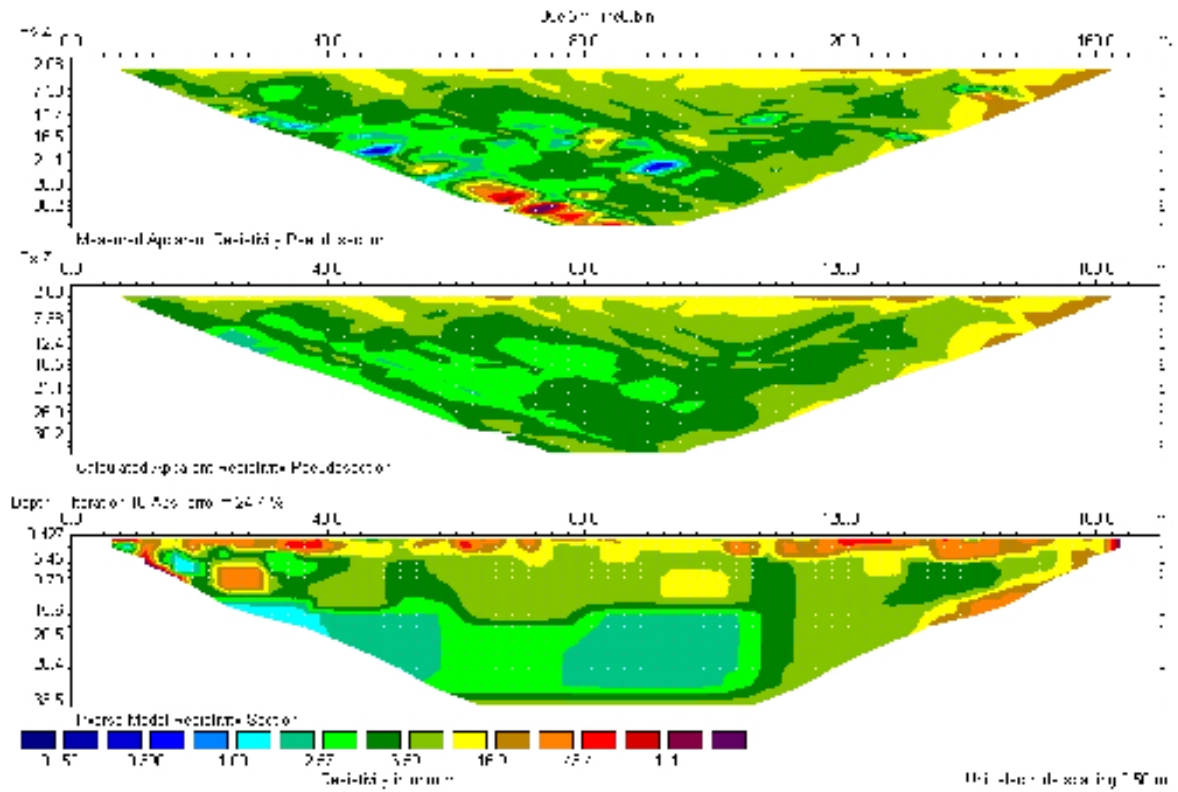
Σχήμα 5.3.3. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 3.



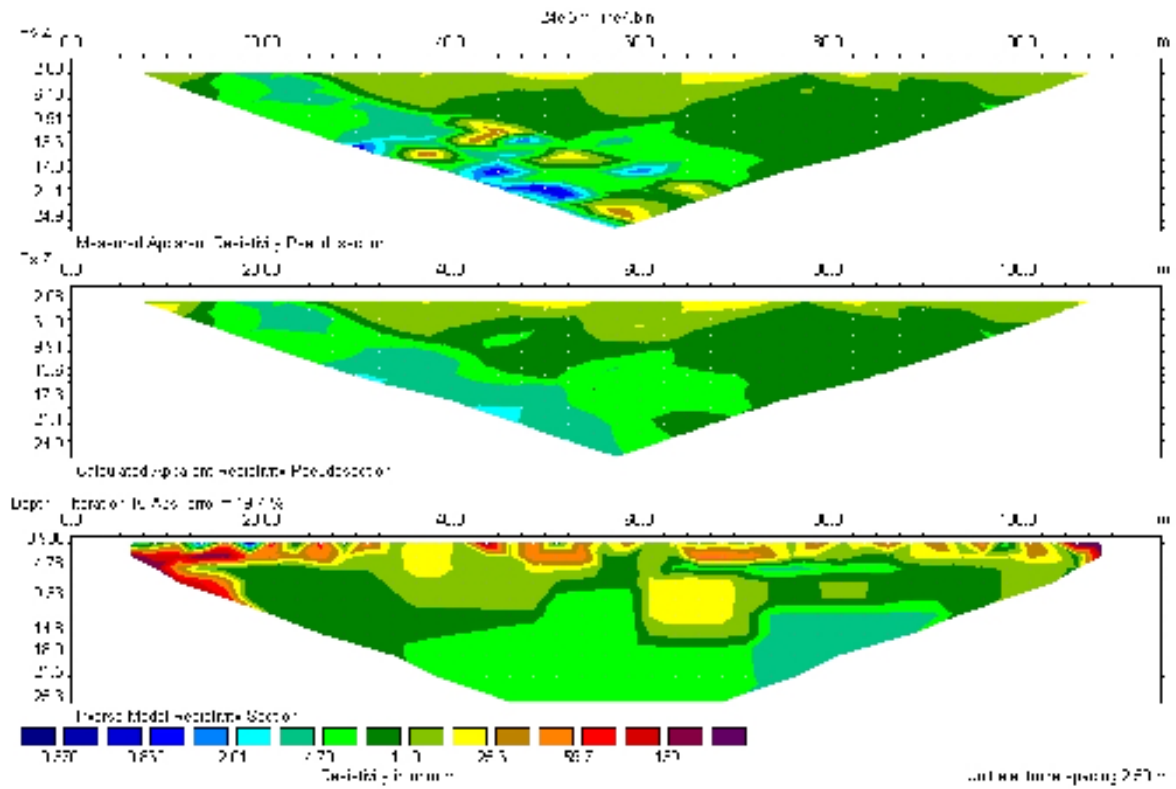
Σχήμα 5.3.4. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 4.



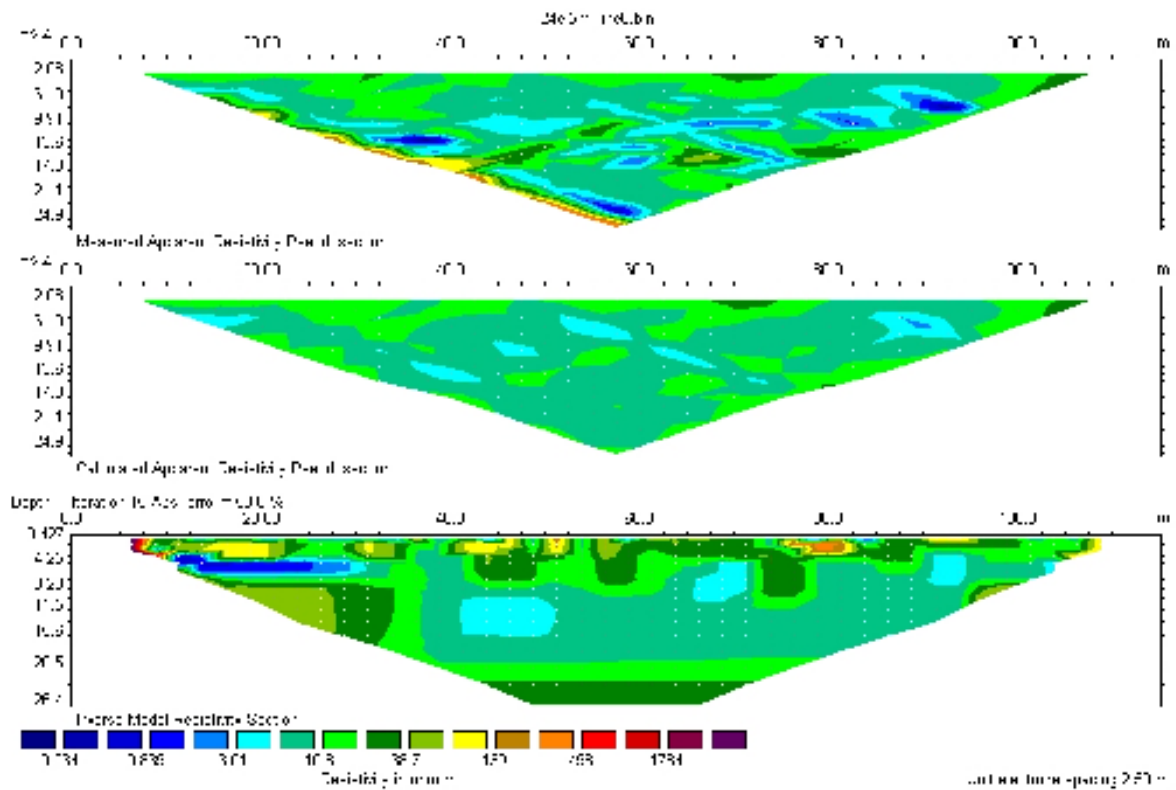
Σχήμα 5.3.5. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 5.



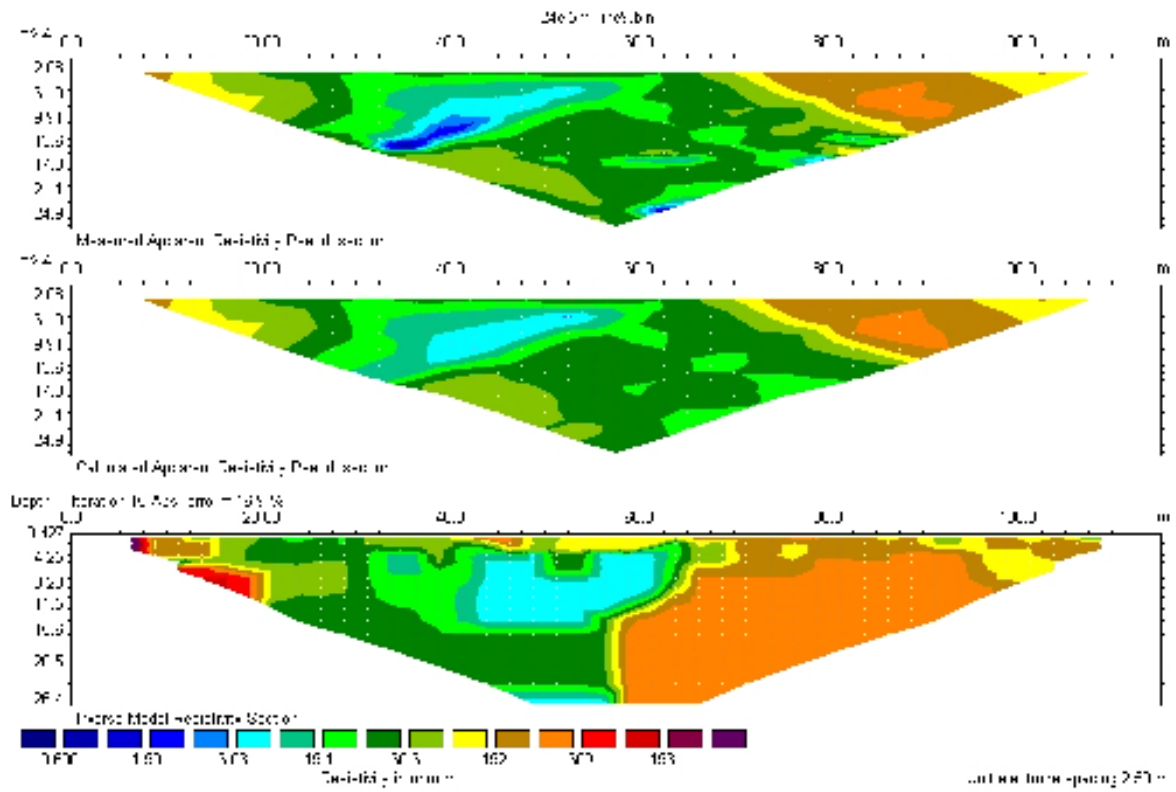
Σχήμα 5.3.6. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 6.



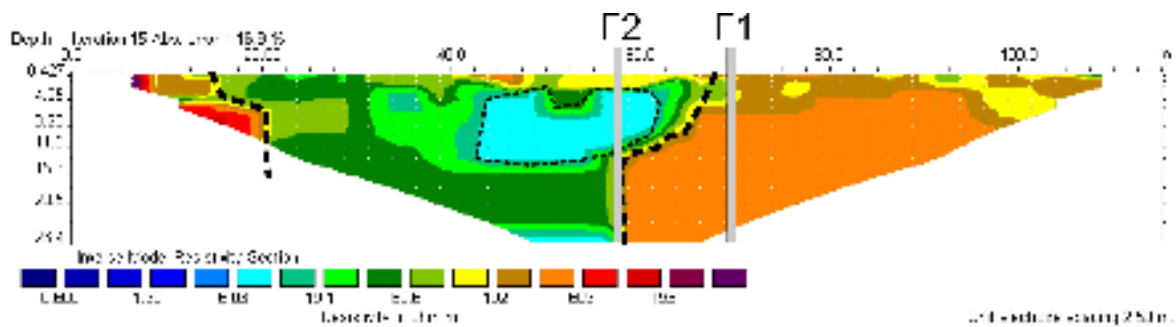
Σχήμα 5.3.7. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 7.



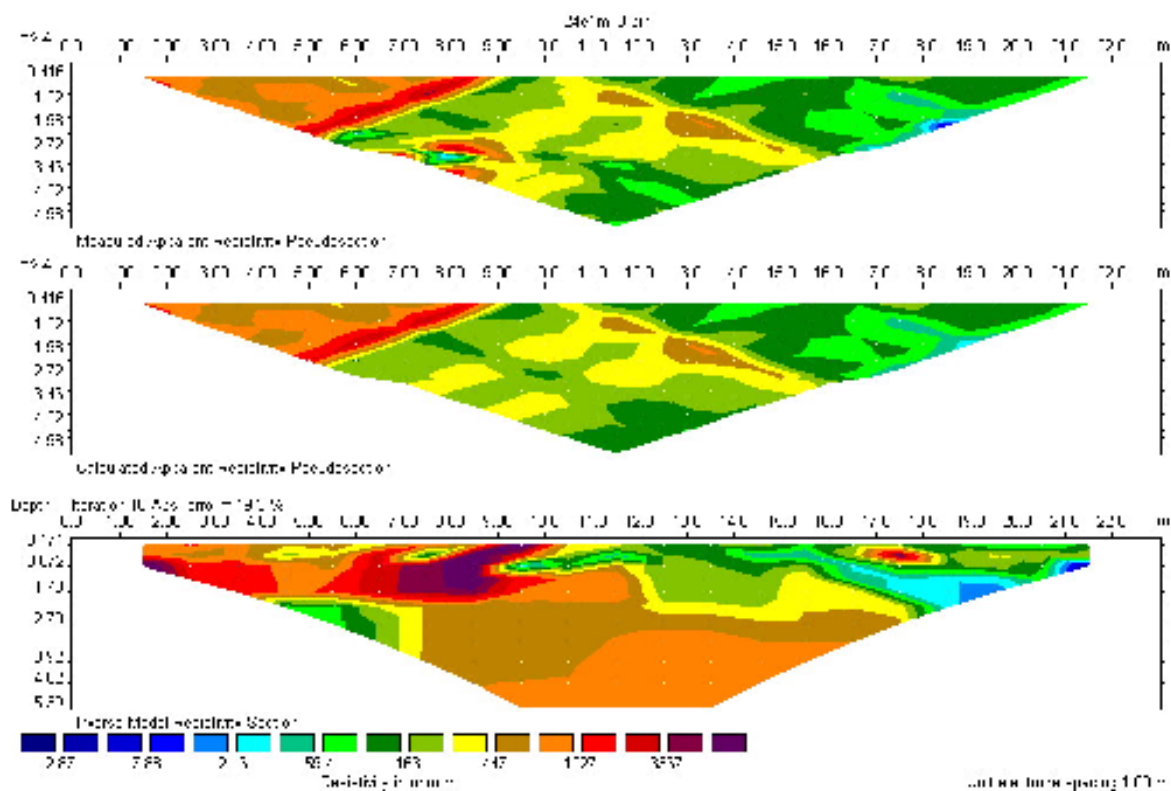
Σχήμα 5.3.8. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 8.



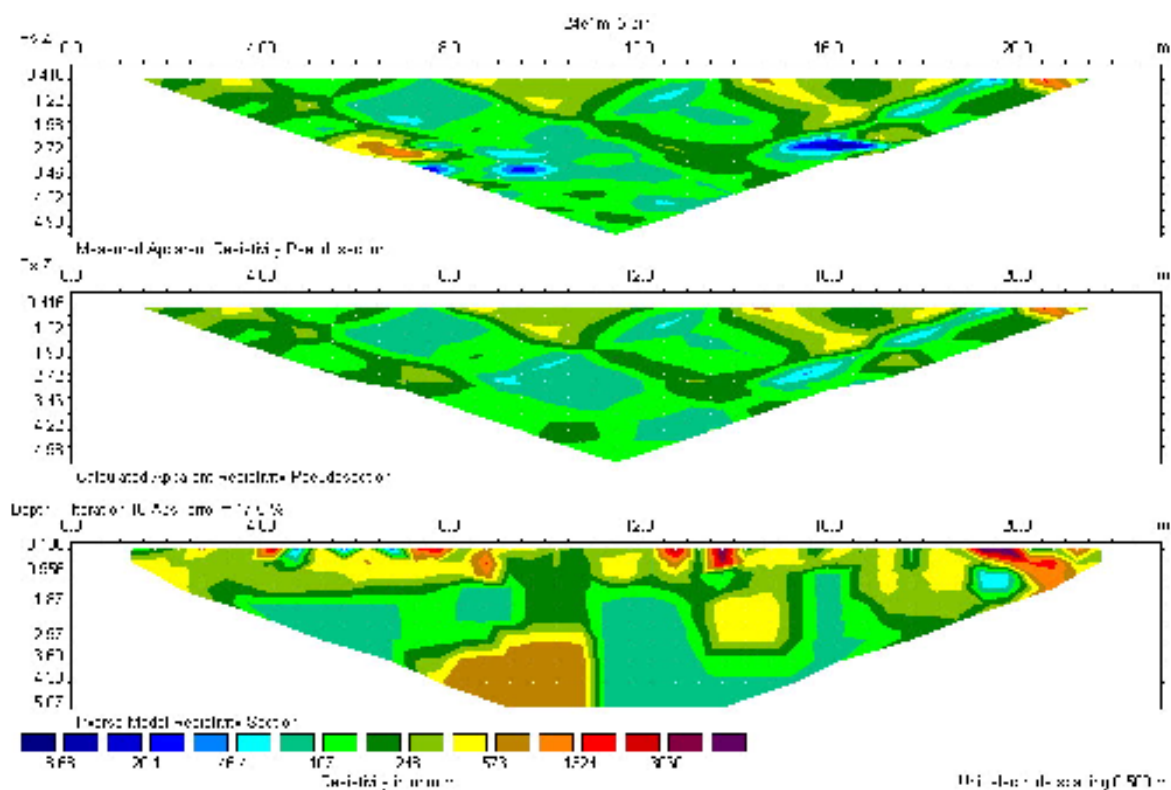
Σχήμα 5.3.9. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 9.



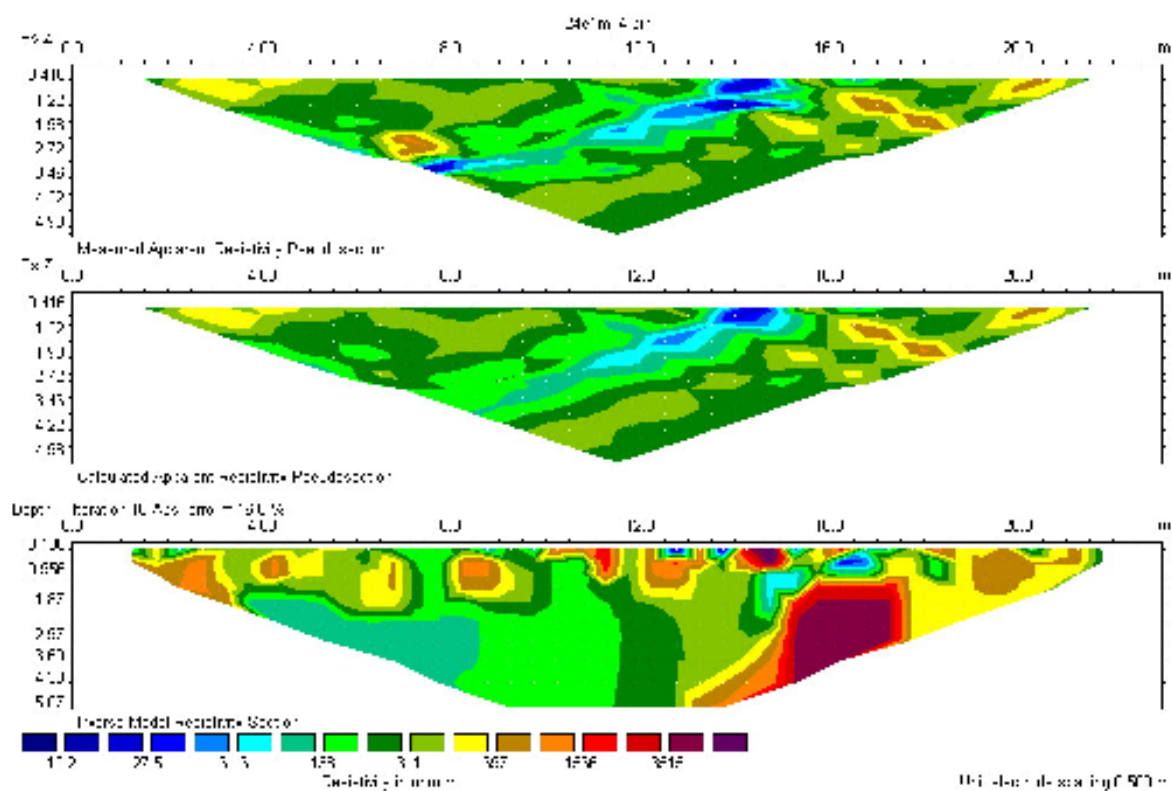
Σχήμα 5.3.10. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 9. Στο σχήμα φαίνονται οι σχετικές θέσεις των γεωτρήσεων.



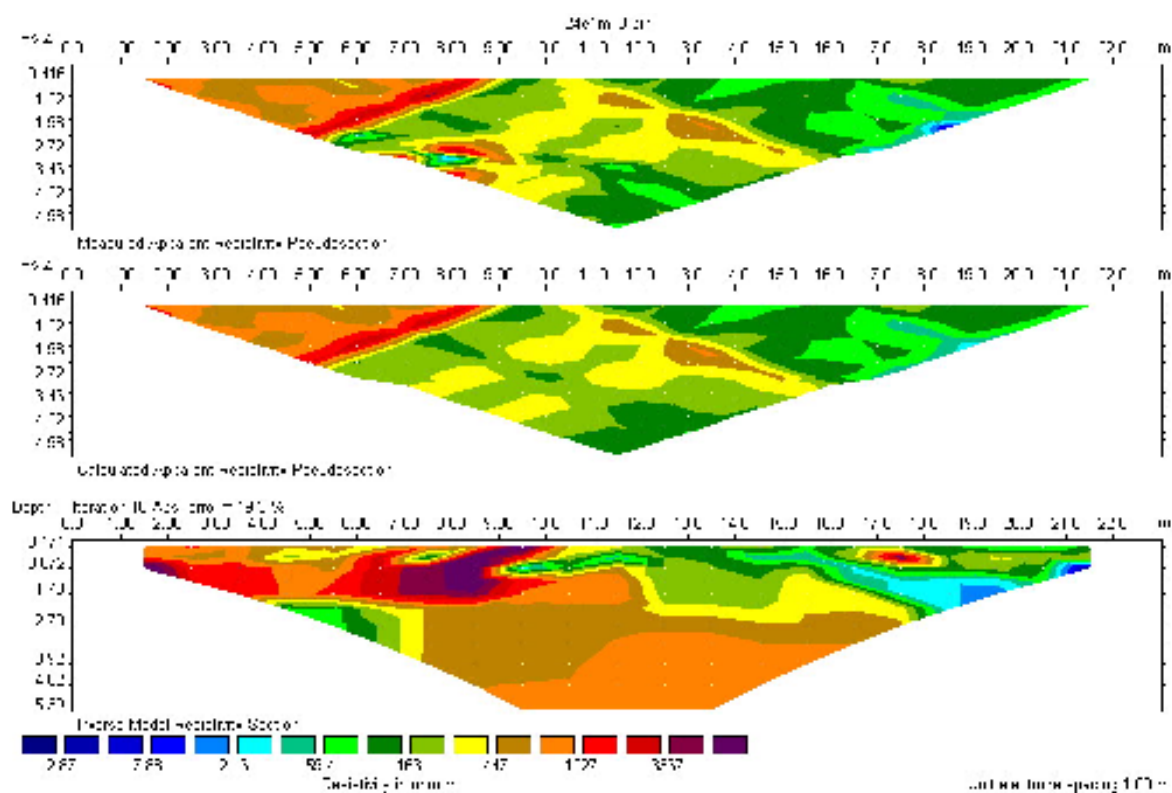
Σχήμα 5.3.11. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 10.



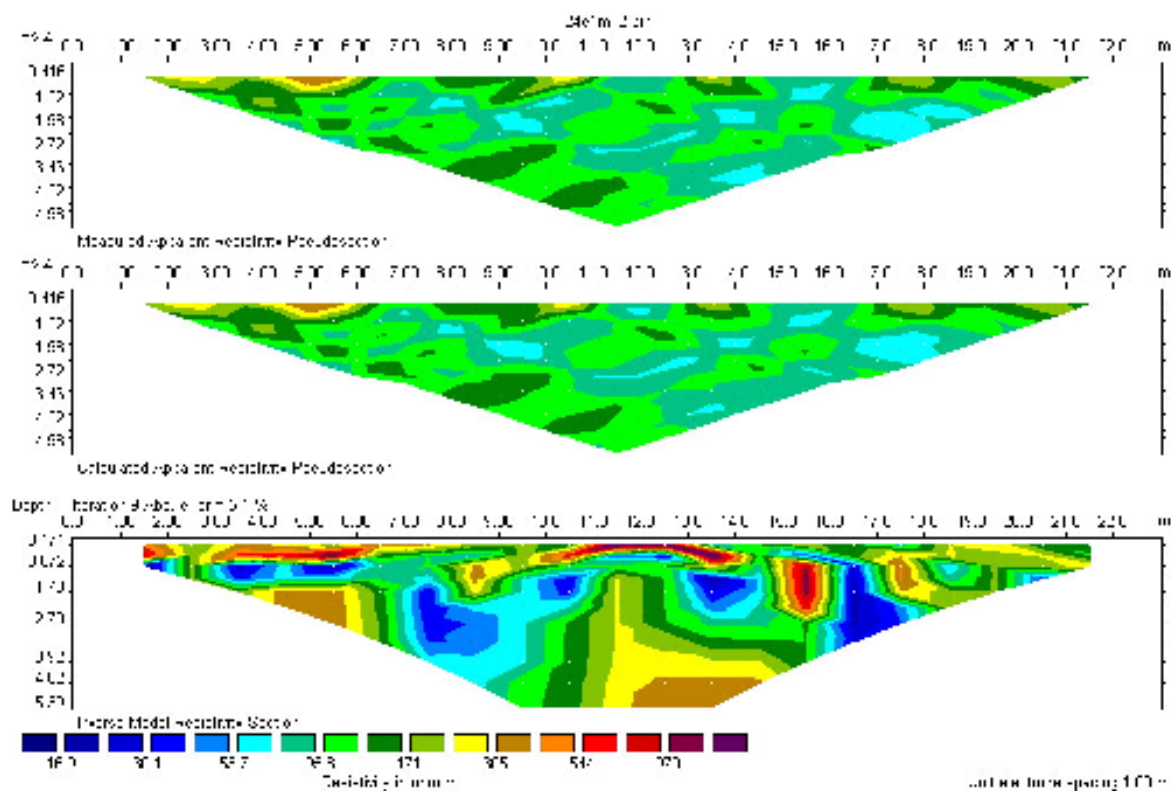
Σχήμα 5.3.12. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 11.



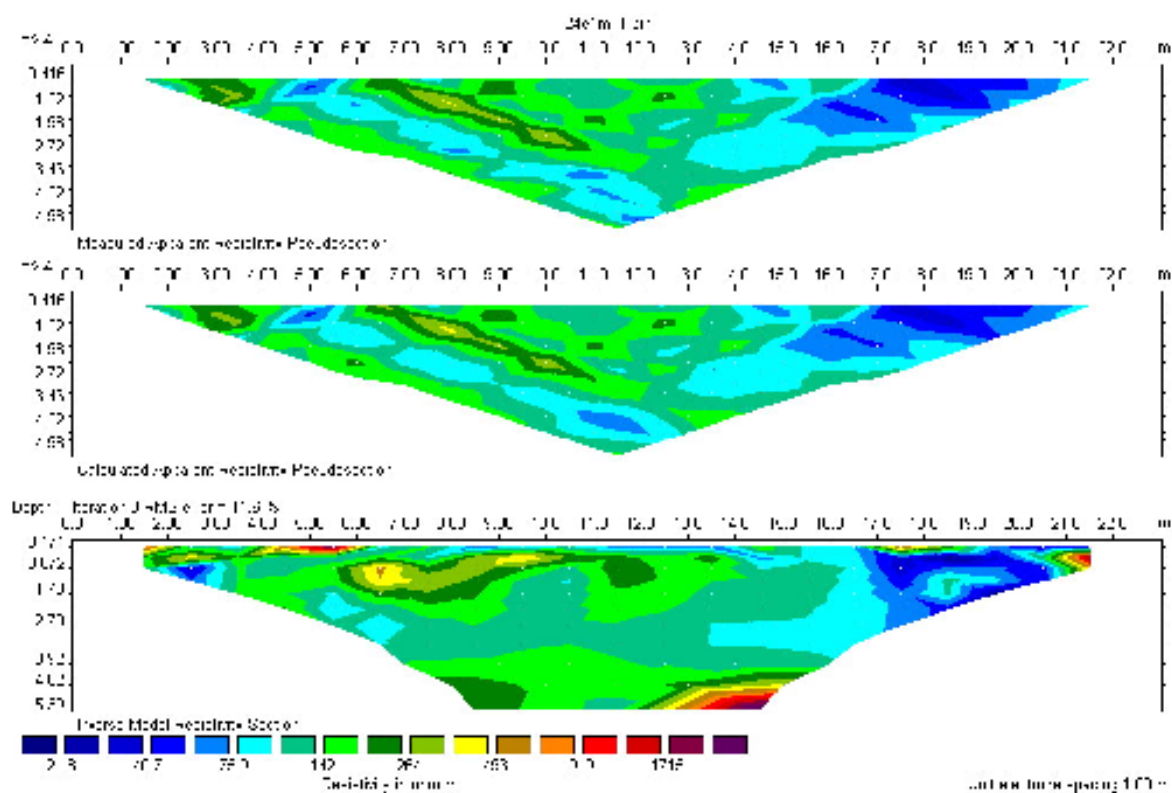
Σχήμα 5.3.13. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 12.



Σχήμα 5.3.14. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 13.



Σχήμα 5.3.15. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 14.



Σχήμα 5.3.16. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 15.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ερμηνεία των διατομών που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και με βάση τη συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τις υπόλοιπες μετρήσεις, προκύπτει ότι,

1. Η μέθοδος ERT μπορεί με ασφάλεια να εφαρμοστεί σε περιοχές στις οποίες υπάρχει θόρυβος περιβάλλοντος.
2. Η μέθοδος ERT μπορεί να εφαρμοστεί με ασφάλεια σε θέσεις όπου υπάρχει απόθεση μεταλλικών αντικειμένων που εισάγουν θόρυβο κατά την εκτέλεση των μετρήσεων.
3. Η μέθοδος ERT μπορεί να αναγνωρίσει την παρουσία ρηχών αγωγίμων ζωνών όπως θέσεις συγκέντρωσης διασταλαζόντων όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
4. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την εφαρμογή της μεθόδου ERT σε περιοχές όπως οι χωματερές στις οποίες υπάρχουν περιορισμοί όπως αυτοί που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα συμπεράσματα, πρέπει να συναξιολογούνται με άλλες γεωφυσικές και περιβαλλοντικές μετρήσεις έτσι ώστε να επιβεβαιώνουν τα υπολογιζόμενα αποτελέσματα.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ **Εφημερίς της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας.1986**, Τεύχος Δεύτερο, Αριθμός φύλλου 29.
- ✓ **Παπαζάχος Β. Κ., 1986**. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική. Εκδόσεις ΖΗΤΗ,1986.
- ✓ **Σουπιός Π. Μάστερ (MSc)**.
- ✓ **Σουπιός Π. Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών της Γεωλογίας**. Αντιστροφή των χρόνων άφιξης σε σεισμική τομογραφία μεταξύ γεωτρήσεων.
- ✓ **Σουπιός Π.** Σημειώσεις Τεχνολογίας Εντοπισμού Υδάτινων Πόρων.
- ✓ **Kearey, P., Brooks, M.** Introduction to Geophysical Exploration, Oxford-London-Boston, Blackwell Scientific Publication, 1984.
- ✓ **Wyllie.M.R.J., de WITTE, A.J., WARREN, J.E., 1958**, On the streaming potential problem in well logging : Trans. A.I.M.E., 213, 409-417.
- ✓ **Wong, J., N. Bregman, G. West and P. Hurley, 1987**. Crosshole seismic scanning and tomography. The Leading Edge, (1): 36-41.
- ✓ **Williams, M. C., Van L. Leighton, Antony A. Vassiliou, Henry Tan and Tamas Nemeth, V. Dale Cox, Don L. Howlett, 1997**. Crosswell Seismic Imaging: A technology whose time has come?. The Leading Edge, 16 (3): 285-291.
- ✓ **Wu, R. and Toksoz, M. N., 1987**. Diffraction tomography and multisource holography applied to seismic imaging: Geophysics, 52, 11-25.
- ✓ **White, J. E., 1983**. Underground sound: Application of seismic waves: Elsevier.
- ✓ **Dobrin, M. B. 1951**. Dispersion in seismic waves. Geophysics. 16: 63-80.
- ✓ **W. M. Telford, L.P. Geldart, R.E. Sheriff, Applied Geophysics, 2nd edition**, Cambridge University Press, 1990.
- ✓ **Tatham, R. H. and M. D. McCormack, 1991**. Multicomponent Seismology in Petroleum Exploration. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- ✓ **Justice, J. H., Vassiliou, A.A., Mathisen, M. E., Singh, S., Cunningham, P. S. and Hutt, P. R., 1992**, Acoustic tomography in reservoir surveillance, in Sheriff, R. E., Ed., Reservoir geophysics: Soc. Expl. Geophysics, Investigations in Geophysics 7, 321-334.

- ✓ **Scott, J.H., and Markiewich, R. D., 1990**, Dips and chips-PC programs for analyzing seismic refraction data : Proceedings, SAGEEP 1990, Golden, Colorado, 175-200.
- ✓ **Sheriff, R. E. and Geldart, L. P., 1995**. Exploration Seismology. Cambridge University Press.
- ✓ **Scales, J. A. and Smith, M. L., 1994**, Introductory Geophysical Inverse Theory, Samizdat Press, 1994.
- ✓ **Statton, C. T., Auld, B., Fritz, A., 1978**. In situ seismic shear wave velocity measurements and proposed procedure. A.S.T.M. 1978, Dynamic Geotechnical Testing, pp. 56-65.
- ✓ **Rutledge, J. T., 1989**. Interwell seismic surveying workshop: An overview. The Leading Edge, 8(6): 38-40.
- ✓ **Raymond, W. C., Warrick R. E. and Bennett M. J., 1978**, Seismic velocities of San Francisco bayshore sediments. Earthquake Engineering and Soil Dynamics, June 19-21, 1978, Pasadena, CA.
- ✓ **Rector, J., S. Lazaratos, Harris J. M. and Van Schaack, M., 1995**. High-resolution crosswell imaging of a west Texas carbonate reservoir: Part 3-Wavefield separation of reflections, Geophysics, 60, 692-701.
- ✓ **Lines, L. R., 1991**, Applications of tomography to borehole and reflection seismology, The Leading Edge, 10, 11, 11-17.
- ✓ **Lines, L. R., Miller, M., Tan, H., Chambers, R. and Treitel, S., 1993**, Integrated interpretation of borehole and borehole and crosswell data from a west Texas field: The Leading Edge, 12, 12, 13-16.
- ✓ **Labo, J. 1987**. A Practical Introduction to Borehole Geophysics. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists.
- ✓ **Lo, T., Inderwieswn, P. L., Howlett, D. L., Melton, D. R., Livingston, N. D., Paulsson, B. N. P. and Fairborn, J. W., 1990**. McKittrick crosswell seismology project: Part II. Tomographic processing and interpretation. 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophysics, Expanded Abstracts, 30-33.
- ✓ **Lee, D. S., Verinoca M. Stevenson, Phill F. Johnston and C. E. Mullen, 1995**. time – lapse crosswell seismic tomography to characterize flow structure in the reservoir during the thermal stimulation, Geophysics, vol. 60, No. 3 p. 660-666.

- ✓ **Peterson, J. E., Bjorn, N. P. Paulsson and Thomas V. McEvelly., 1985,** Applications of algebraic reconstruction techniques to crosshole seismic data. *Geophysics*, 50, 1566-1580.
- ✓ **Pratt, R. G. and Gouly, N. R., 1991,** Combining wave-equation imaging with travelttime tomography to form high resolution images from crosshole data: *Geophysics*, 56, 208-225.
- ✓ **Eaton, G. P., and Watkins, J. S., 1970,** The use of seismic refraction and gravity methods in hydrogeological investigation, p. 544-568 in Morley, L. W., ed., *Mining and Groundwater Geophysics*, 1976, Geol. Survey Canada, Economic Geol. Rept. 26,722 p.
- ✓ **Press, F. and R. Siever, 1978.** *Earth*, 2nd ed. San Francisco: W. H. Freeman.
- ✓ **Mathisen, M. E., Vassiliou, A. A., Cunningham, P. S., Shaw, J., Justice, J. H. and Guinzy, N. J., 1995,** Time-lapse crosswell seismic tomogram interpretation: Implications for heavy oil reservoir characterization, thermal recovery process monitoring and tomographic imaging technology: *Geophysics*, 60, 631-650.
- ✓ **McLamore, R.T.** "Potential Use of Liquid Explosives to Increase Rates in Solution Mining." *Solution Min Symp, Proc, 103rd AIME Annu MEET, Dallas, Tex, Feb 25-27 1974* p 44-55.
- ✓ **Morris, C. F., Little, T. M. and Letton, W. 1985.** *Soc. Petr. Eng. 59th Ann. Fall Tech. Conf.*, pape SPE 13285.
- ✓ **Medlin, W. L. and Alhilali, K. A., 1990,** Shear wave porosity logging in sands: 65th Ann. Tech. Conf., *Soc. Pert. Eng. SPE Paper 20558*, 283-293.
- ✓ **Meredith, J. A., 1990,** Numeric and analytical modeling of downhole seismic sources: The near and far field: Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- ✓ **Howell, B. 1959.** *Introduction to Geophysics.* New York: McGraw – Hill.
- ✓ **Harris, J. M., 1987,** Diffraction tomography with arrays of discrete sources and receivers: *IEEE Trans. Geosci. And Remote Sensing, Vol GE-25, 4, 448-455.*
- ✓ **Aki, K., and Lee, W.H.K., 1976** Determination of three-dimensional velocity anomalies under a seismic array using first P arrival times from local earthquakes: 1. A homogeneous initial model. *J. Geophysics. Res.*, 81, 4381-4399.
- ✓ **Aki, K., Cristofferson, A. and Husebye, E., 1977,** Determination of the three dimensional seismic structure of the lithosphere. *J. Geophysics. Res.*, 82, 277-292.

- ✓ **Chen, S. T., Zimmerman, L. J. and Tugnait, J. K., 1990.** Subsurface imaging using reversed vertical seismic profiling and crosshole tomographic methods, *Geophysics*, 55, 1478-1487.
- ✓ **Van Schaack, M., Harris, J. M., Rector, J. W. and Lazaratos, S., 1995.** High-resolution crosswell imaging of a west Texas carbonate reservoir: Part 2-Wavefield modelling and analysis, *Geophysics*, 60, 682-691.
- ✓ **Ivansson, S., 1986.** Crosshole transmission tomography, in *Seismic Tomography with Applications in Global Seismology and Exploration Geophysics*, edited by G. Nolet, D. Reidel Publishing Company.
- ✓ **Ivansson, S., 1986.** Seismic borehole tomography – Theory and computational methods, *Proc. IEEE* 74, 328-338.
- ✓ **Inderwiesen, P. I. and Lo, T., 1990,** Cross-hole seismic tomographic imaging of reservoir inhomogeneities in the Midway Sunset Field, California: 60th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophysics, Expanded Abstracts, 22-25.