

**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ & ΣΕΙΣΜΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ**  
**ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΕΩΝ ΣΕ ΧΩΜΑΤΕΡΕΣ**  
**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΧΩΜΑΤΕΡΗ ΤΩΝ**  
**Π. ΓΑΛΗΝΩΝ - Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ**

**IMPLEMENTATION OF SURFICIAL GEOPHYSICAL**  
**METHODS IN LANDFILLS**

**ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ : Γ. ΣΠΗΛΙΩΤΟΠΟΥΛΟΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Π. ΣΟΥΠΙΟΣ**

**ΧΑΝΙΑ 2005**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	3
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1 ΣΚΟΠΟΣ.....	4
1.2 ΧΩΡΟΣ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	4
1.3 ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	7
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	7
2.2 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	7
2.3 Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ .....	9
2.4 ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	12
2.5 ΥΔΡΟΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΟΥΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ .....	18
2.5.1 Υδροληπτικά έργα - Πηγές – Υδραυλικά φορτία .....	24
2.5.2 Υδρολογικές συνθήκες .....	24
2.5.3 Πηγές (source) πιθανής ρύπανσης.....	24
2.5.4 Μονοπάτια μεταφοράς της πιθανής ρύπανσης (path way) .....	25
2.5.5 Αποδεκτές της πιθανής ρύπανσης (receptors).....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	27
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	27
3.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ .....	28
3.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	28
3.3.1 Θεμελιώδεις Αρχές Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων .....	29
3.3.2 Μέθοδος VLF.....	30
3.3.3 Διάδοση VLF.....	30
3.3.4 Διάδοση VLF κυμάτων .....	31
3.3.5 Ανιχνεύοντας τα πεδία VLF .....	32
3.3.6 Επιδράσεις του μαγνητικού πεδίου .....	33
3.3.7 Επιδράσεις ηλεκτρικού πεδίου .....	34
3.3.8 Όργανα VLF .....	35
3.3.9 Άλλα όργανα VLF.....	36
3.3.10 Προγραμματισμός Ηλεκτρομαγνητικής Έρευνας.....	36

---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ .....	39
4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ .....	39
4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	42
4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ .....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	63
5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	63
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	65
ABSTRACT .....	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ .....	71

## 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.**

Τελειώνοντας, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, για τη στήριξη και το κουράγιο που μου έδωσαν, για να τελειώσω τη σχολή αυτή, η οποία εύχομαι να αλλάξει τη ζωή όλων μας προς το καλύτερο...!

**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 – Χματερή του Φόδελε. Στα επόμενα κεφάλαια ( 3<sup>ο</sup> και 4<sup>ο</sup>) 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<sup>ο</sup> κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Γιώργος Σπηλιωτόπουλος  
Χανιά, Δεκέμβριος 2005

## **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 VLF σε σύνθετα περιβάλλοντα όπως αυτό μιας χωματεράς στην οποία εμφανίζονται υψηλά αγωγιμα στρώματα ενώ η απόθεση εκτελείται σε στενές και βαθύς λεκάνες στις οποίες υπάρχει αυξημένη δυσκολία εντοπισμού σήματος VLF και εφαρμογής του.

## **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 Km<sup>2</sup> 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**

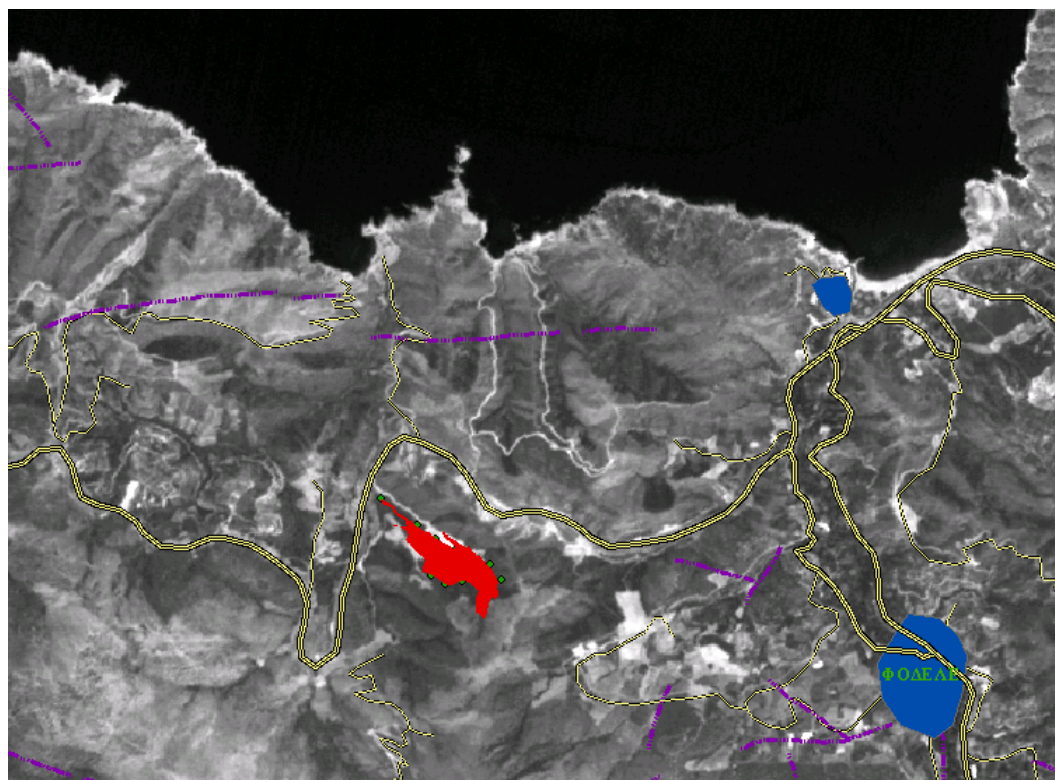
Η περιοχή έρευνας καλύπτει μια έκταση περί τα 0.08 Km<sup>2</sup> και βρίσκεται 20 Km δυτικά του Ηρακλείου στο κεντρικό τμήμα της Κρήτης. Επίσης, απέχει 1400 μέτρα από τις βόρειες ακτές του Κρητικού Πελάγους, απέχει 2300 μέτρα από το χωριό του Φόδελε και η είσοδος στο χώρο έρευνας απέχει λιγότερο από 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 βρόσκονται 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 B-N 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 B-N 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 αποτέθηκαν 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, συμπίεστικής 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:

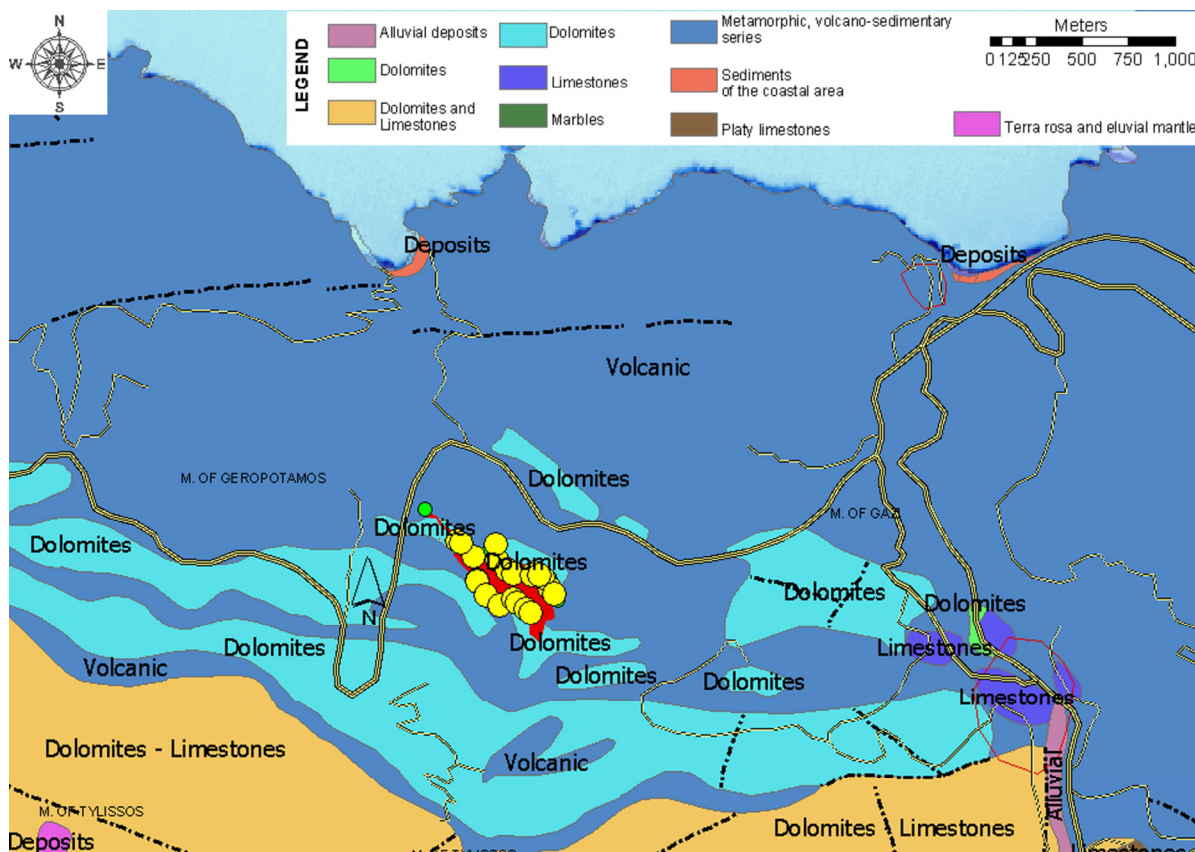
Η γεωλογική εκτίμηση που έγινε για ολόκληρη την περιοχή (600 στρ) δεν ανταποκρίνεται και στην περιοχή των 180 στρεμμάτων που χρησιμοποιούνται στην φάση αυτή της αποκατάστασης και της δημιουργίας νέου κυττάρου.

Στα κτήρια καταλληλότητας που τεθήκαν για το χώρο και συγκεκριμένα στο υποκτήριο 1<sup>α</sup> (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.

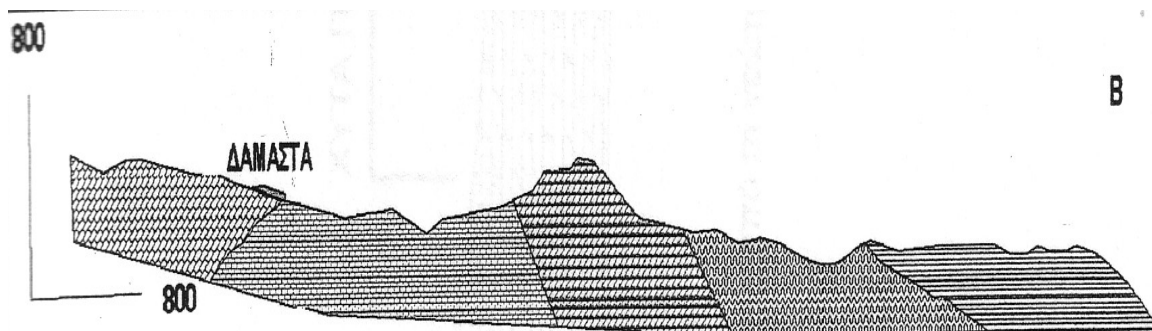
**Η Φυλλιτική Χαλαζιτική Σειρά (PQ)** που καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα της περιοχής μελέτης, είναι ένα πολυγενετικό mélange που αποτελείται από ένα συνονθύλευμα διαφορετικών λιθότυπων Πέρμο-Τριαδικής ηλικίας με διαφορετικές μεταμορφωτικές-παραμορφωτικές ιστορίες. Κυρίως απαρτίζεται από φυλλίτες, και 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.

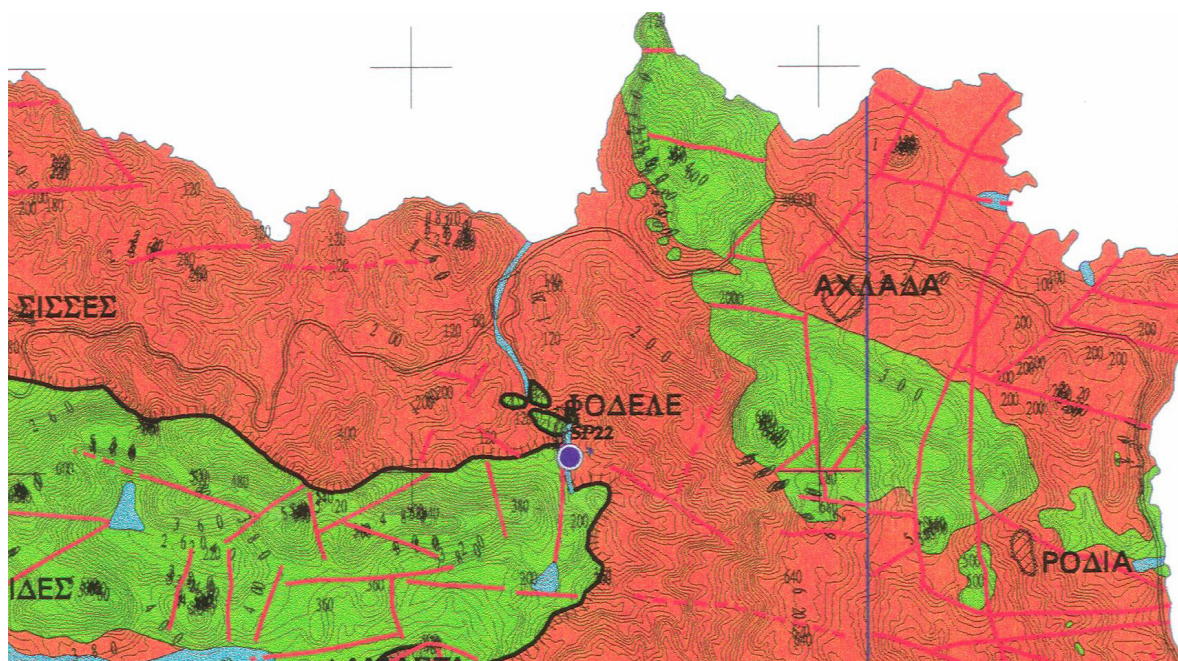
- Δολομιτικό κροκαλοπαγές πάχους 100m (κατώτερα στρώματα Σισών).  
Σχηματισμός με σημαντική υδατοπερατότητα.
- Δολομίτες – ασβεστόλιθοι πάχους 500m (ανώτερα στρώματα Φόδελε).  
Σχηματισμός με υψηλή υδατοπερατότητα.
- Δολομίτες – ασβεστόλιθοι – φυλλίτες – χαλαζίτες πάχους 400m (κατώτερα στρώματα Φόδελε).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

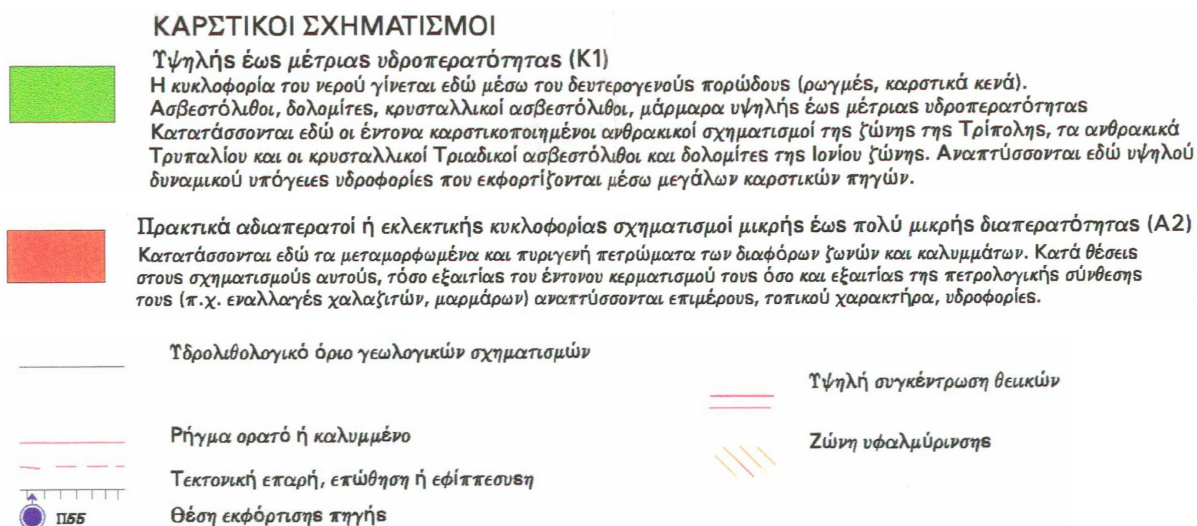


Σχήμα 2.5. Γεωλογική τομή N-B περιοχής Ταλέων Όρεων Ανθρακικά της Τρίπολης, μάρμαρα Ζ. Πλακωδών Ασβεστόλιθων, στρωματολιθικοί δολομίτες Πλακωδών Ασβεστόλιθων και Φυλλίτες –Χαλαζίτες.



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

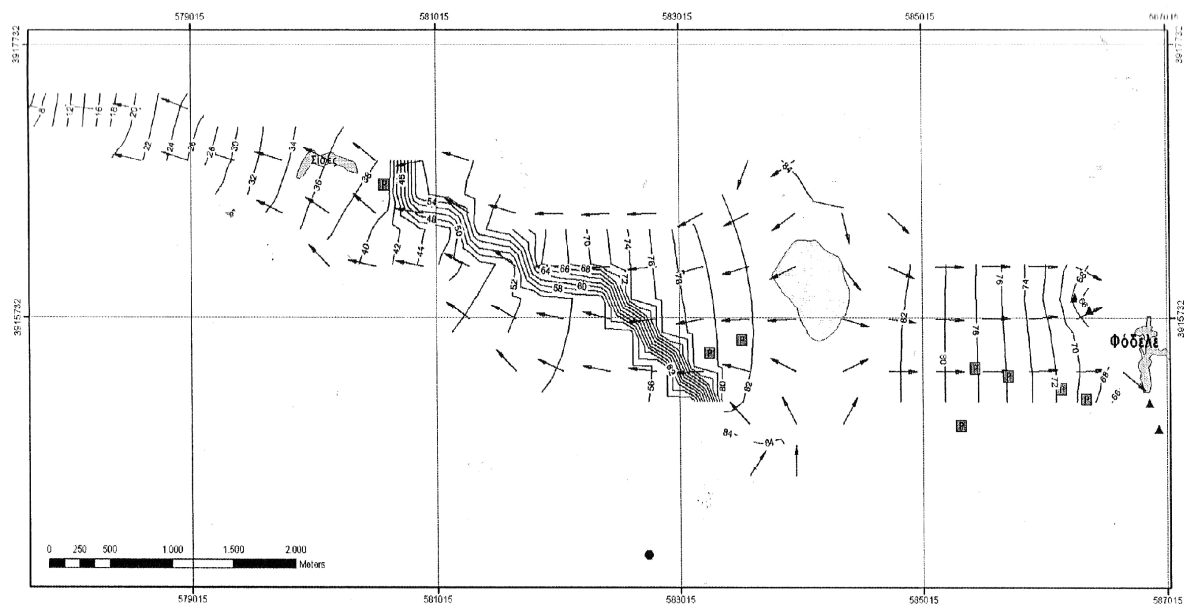
Τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν ανορυχθεί στην περιοχή Φόδελε – Πέρα Γαληνών εντός του Σχηματισμού δολομιτών – ασβεστόλιθων (ανώτερα στρώματα Φόδελε-Σχήμα 2.9 και 2.10). Οι κυριότερες πηγές που εκφορτίζουν από το σχηματισμό αυτό καθώς και τα κατώτερα στρώματα Φόδελε και Παναγιάς (απολ.υψόμετρο +40),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

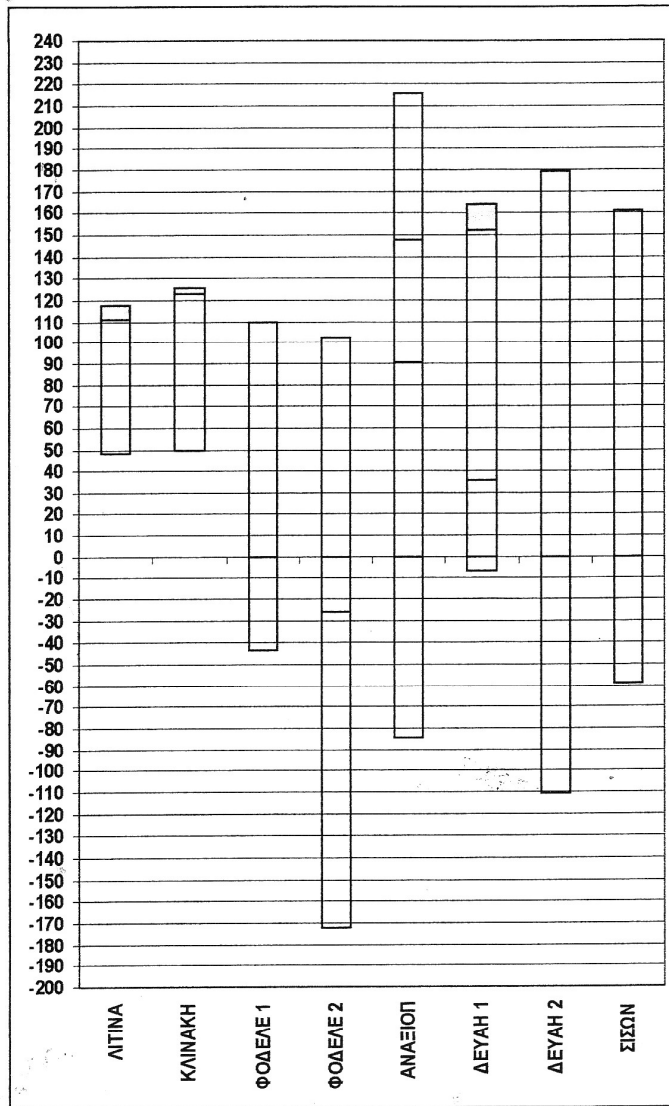
Στην περιοχή Μάραθου – Δαμάστας εντός των ανθρακικών σχηματισμών της Ζώνης των Πλακωδών ασβεστόλιθων έχουν ανορυχθεί οι γεωτρήσεις MAP 1, ΔΑΜ 1 και ΔΑΜ 2 (Σχήμα 2.10) που έχουν διατρήσει τον σχηματισμό μαρμάρων των Πλακωδών Ασβεστόλιθων και είχαν απόλυτες υδροστατικές στάθμες κατά την περίοδο της ανόρυξης +34.6, +51.3 και +64.6 αντίστοιχα και παροχές που υπερβαίνουν τα 25 m<sup>3</sup>/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)

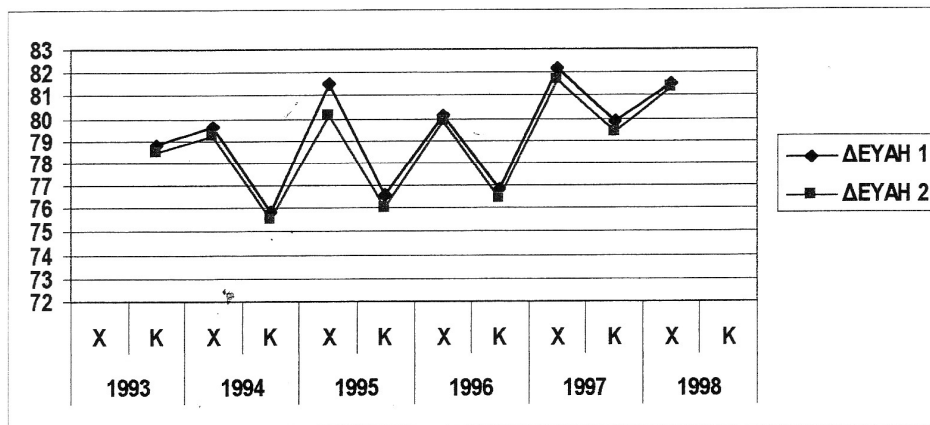
Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι η εποχική διακύμανση της υδροστατικής στάθμης των γεωτρήσεων δεν υπερβαίνει τα 5m ( Σχήματα 2.9 και 2.10)



Σχήμα 2.8. Αποτελέσματα της προσομοίωσης. Ισοδυναμικές καμπύλες υδραυλικού φορτίου και διεύθυνση 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



ΣΧΗΜΑ 2.4 Τομές γεωτρήσεων στην περιοχή Φόδελε – Σισών.

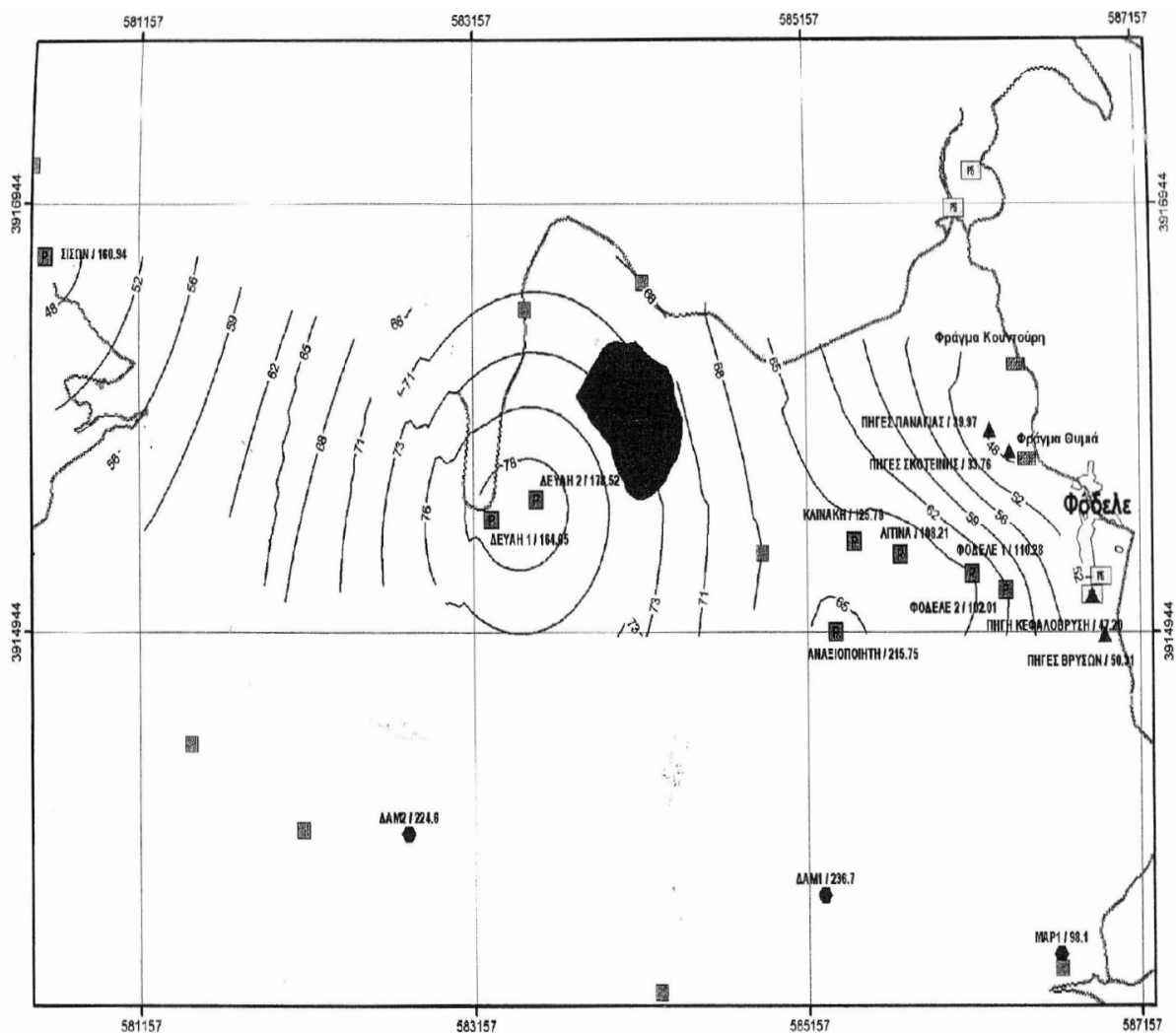


ΣΧΗΜΑ 2.5 Διακύμανση υδροστατικής στάθμης γεωτρήσεων ΔΕΥΑΗ (Πέρα Γαλήνων).

Σχήμα 2.9 και 2.10.

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
<b>Μ.Ο</b>	<b>48.8</b>	<b>56.6</b>	<b>75.3</b>	<b>126.5</b>	<b>196.7</b>	<b>207.8</b>	<b>213.8</b>	<b>166.5</b>	<b>124.3</b>	<b>76.2</b>	<b>58.1</b>	<b>51.5</b>	<b>116.8</b>

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



Σχήμα 2.12. Παρουσίαση των ισοδυναμικών γραμμών όπως υπολογίζονται από τις μετρούμενες στάθμες υπόγειων υδάτων.

Ο προτεινόμενος χώρος βρίσκεται στο νότιο-ανατολικό άκρο της λεκάνης του ρέματος Φλέγα (Σχήμα 2.12) έκτασης 7.3 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Το νότιο ήμισυ της λεκάνης δομείται από σχηματισμούς των στρωμάτων Φόδελε και Σισών ενώ το βόρειο ήμισυ από σχηματισμούς της Φυλλιτικής –Χαλαζιτικής Σειράς. Εκτιμάται ότι η μέση ετησία επιφανειακή απορροή στην έξοδο της λεκάνης δεν υπερβαίνει τα 1.000.000. κυβικά μέτρα. Πρέπει να σημειωθεί ότι το ρέμα Φλέγα στην έξοδο της λεκάνης του απορροής διασχίζει το αρχαιολογικό χώρο των Πέρα Γαληνών.

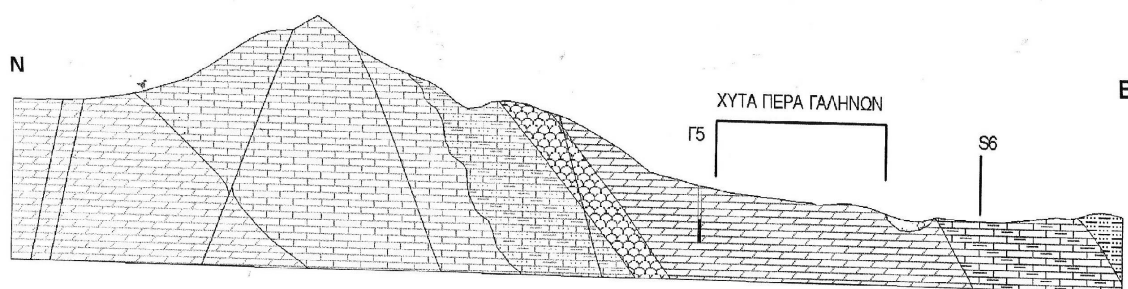
Στην περιοχή ήδη παρατηρείται μόλυνση του υδατορεύματος που ξεκινά από τον υφιστάμενο ΧΥΤΑ από στραγγίσματα του ΧΥΤΑ αυτού γεγονός που σε συνδυασμό με την λιθολογική σύσταση του υποβάθρου πλησίον του χώρου (περατοί σχηματισμοί στρωμάτων Σισών ) υποδηλώνει μεγάλη πιθανότητα κατείσδυσης των στραγγισμάτων και μόλυνσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα.



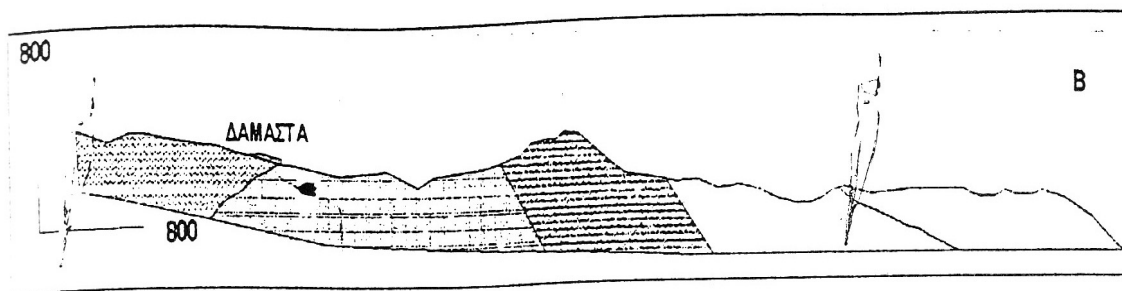
Είναι συνεπώς απαραίτητη η λήψη κάθε δυνατού μέτρου για την προστασία του υδατορεύματος κατάντη του χώρου από κάθε ενδεχομένη ρύπανση προερχόμενη από τον προτεινόμενο χώρο, που έχει δυσμενείς επιπτώσεις τόσο στην παρόχθια ζώνη του υδατορεύματος, τον παράκτιο αρχαιολογικό χώρο των Πέρα Γαληνών αλλά και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

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

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



ΣΧΗΜΑ 2.2 Γεωλογική τομή N-B, τριακόσια περίπου μέτρα δυτικά του προτεινόμενου χώρου, διερχόμενη από τη γεώτρηση ΔΕΥΑΗ 2 (Γ5).



Σχήμα 2.13 και 2.14. Γεωλογική τομή της περιοχής έρευνας.

Γεωλογική τομή N-B περιοχής Ταλέων Ορέων Ανθρακικά της Τρίπολης, μάρμαρα Ζ. Πλακωδών Ασβεστόλιθων, στρωματολιθικοί δολομίτες Ζ. 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 Ι 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 επιτυχή 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 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

Μεταβαλλόμενο ρεύμα διέρχεται από πηνίο που βρίσκεται πάνω στο έδαφος και αυτό επάγει ηλεκτρικά ρεύματα στους υπεδάφειους αγωγούς. Το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο ανιχνεύεται και καταγράφεται από το πηνίο δέκτης. Μεταβολή στις συχνότητες του αρχικού παλμού δίνει τη δυνατότητα έρευνας σε μεγαλύτερα βάθη.

Οι μαγνητοτελλουρικές μέθοδοι καταγράφουν το φυσικό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο χαμηλών συχνοτήτων.

Η μέθοδος χαμηλών συχνοτήτων (Very Low Frequency) κάνει χρήση διαφόρων στρατιωτικών αναμεταδοτών που εκπέμπουν στις χαμηλές συχνότητες. Η μέθοδος στηρίζεται στη καταγραφή του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που επάγεται λόγω της διέγερσης των υπεδάφειων αγωγίμων ζωνών με τη διέλευση του πρωτογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι και σε βαθύτερους

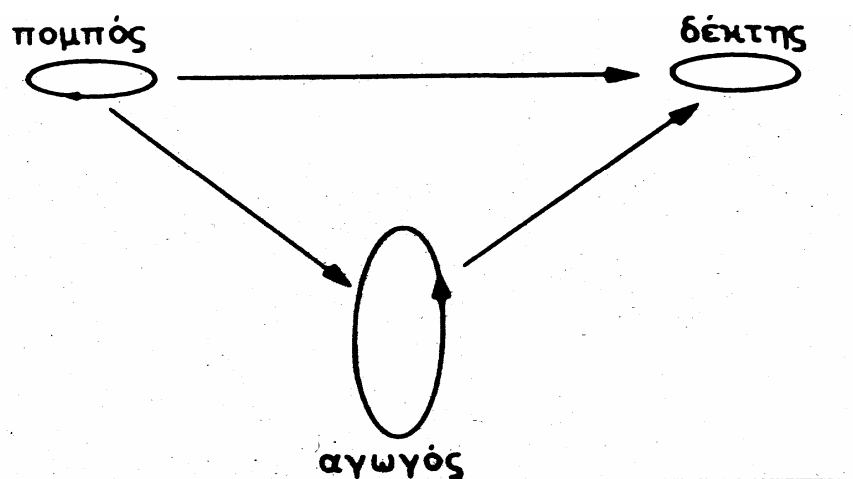
ορίζοντες. Τα δευτερογενή παραγόμενα κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά κύματα αλλά οι άλλες ιδιότητές τους (διεύθυνση, πλάτος και φάση) είναι διαφορετικές καθώς αυτές εξαρτώνται από τη γεωηλεκτρική δομή των επιφανειακών στρωμάτων.

Περιορισμός στην εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων για την ανίχνευση αγώγιμων ζωνών είναι η παρουσία υψηλά αγώγιμων επιφανειακών στρωμάτων.

### 3.3.1 Θεμελιώδεις Αρχές Ηλεκτρομαγνητικών Μεθόδων

Κατά την εφαρμογή των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης παράγεται (τεχνητά ή φυσικά) στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο όχι μόνο φτάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης αλλά διαδίδεται και μέσα στη γη όπου, αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα (μετάλλευμα κτλ), επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο αγώγιμο σώμα με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος το οποίο επίσης φτάνει στο δέκτη και συμβάλλει με το πρωτεύον κύμα (σχήμα 3.1).

Το δευτερογενές αυτό κύμα είναι της ίδιας συχνότητας με το πρωτεύον, έχει συνήθως πλάτος πολύ μικρότερο από το πρωτεύον, φθάνει στο δέκτη από διαφορετική διεύθυνση και παρουσιάζει μια διαφορά φάσης σε σχέση με το πρωτεύον.



Σχήμα 3.1. Ο πομπός των αρχικών (πρωτογενών) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα μέσα στη γη το οποίο δημιουργεί το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ο δέκτης των δύο αυτών κυμάτων μπορούν να θεωρηθούν ως πηνία.

Τον πομπό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, το αγωγίμο ηλεκτρικά σώμα μέσα στη γη και το δέκτη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μπορούμε να τα θεωρήσουμε ως πηνία. Το πηνίο του πομπού διαρρέετε από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα και παράγει το πρωτεύον μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση έχει στη θέση του πομπού ορισμένη τιμή  $H_p$ , ενώ στο πηνίο που παριστάνει το αγωγίμο σώμα μέσα στη γη επάγεται εναλλασσόμενο ρεύμα συνέπεια του οποίου είναι η γένεση του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου έντασης έστω  $H_s$ .

Το πηνίο του δέκτη διαρρέετε από ρεύμα, το οποίο επάγεται σε αυτό από το συνισταμένο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται στη θέση του δέκτη από τη συμβολή του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος μαγνητικού πεδίου. Το ρεύμα αυτό είναι μέγιστο όταν το επίπεδο του πηνίου είναι κάθετο στη διεύθυνση της συνισταμένης  $H$ , των δύο διανυσμάτων  $H_p$  και  $H_s$  και μηδενίζεται όταν η  $H$  είναι παράλληλη προς το επίπεδο του πηνίου. Για το λόγο αυτό, όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε τη διεύθυνση της συνισταμένης  $H$ , περιστρέφουμε το πηνίο του δέκτη και με ακουστικά τα οποία συνδέονται στο κύκλωμα του δέκτη, ελέγχουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο του δέκτη. Όταν η ένταση του ρεύματος έχει τη μέγιστη τιμή (μέγιστο σήμα στα ακουστικά) η  $H$  είναι κάθετη στο επίπεδο του πηνίου, ενώ όταν η ένταση του ρεύματος έχει μηδενική τιμή (μηδενικό σήμα στα ακουστικά) η  $H$  είναι παράλληλη στο επίπεδο του πηνίου.

### 3.3.2 Μέθοδος VLF

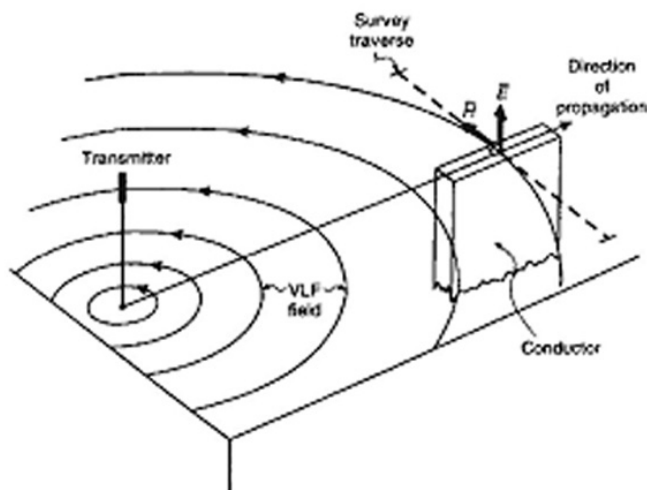
Έχουν αναπτυχθεί γεωφυσικά όργανα που εκμεταλλεύονται τα υψηλής ισχύος κύματα στην ομάδα 15-25KHz που χρησιμοποιούνται για στρατιωτικούς σκοπούς. Χαρακτηριζόμενα ως πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF), τα κύματα αυτά έχουν υψηλότερες συχνότητες από αυτές που χρησιμοποιούνται στη συμβατική γεωφυσική εργασία, αλλά επιτρέπουν να διεξαχθούν ηλεκτρομαγνητικές έρευνες χωρίς τοπική πηγή.

### 3.3.3 Διάδοση VLF

Ένα κύμα EM αποτελείται από συνδυασμένα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, που κατευθύνονται σε ορθές γωνίες το ένα και το άλλο και στο φορέα ισχύος που ορίζει την κατεύθυνση διάδοσης (σχήμα 3.2). Οι φορείς ηλεκτρικού πεδίου



ευθυγραμμίζονται πάντα με ορθές γωνίες σε τέλειες αγωγίμες επιφάνειες και για το λόγο αυτό ένα κύμα μπορεί να οδηγείται από περιβάλλοντες αγωγούς. Ο βαθμός στον οποίο αυτό καθίσταται δυνατό καθορίζεται από τη σχέση ανάμεσα στο μήκος κύματος των κυμάτων VLF και στις διαστάσεις του αγωγού. Τα κύματα συχνοτήτων VLF διαδίδονται αποτελεσματικά σε μεγάλες αποστάσεις στον χώρο διάδοσης που ορίζεται από την επιφάνεια του εδάφους και την ιονόσφαιρα.

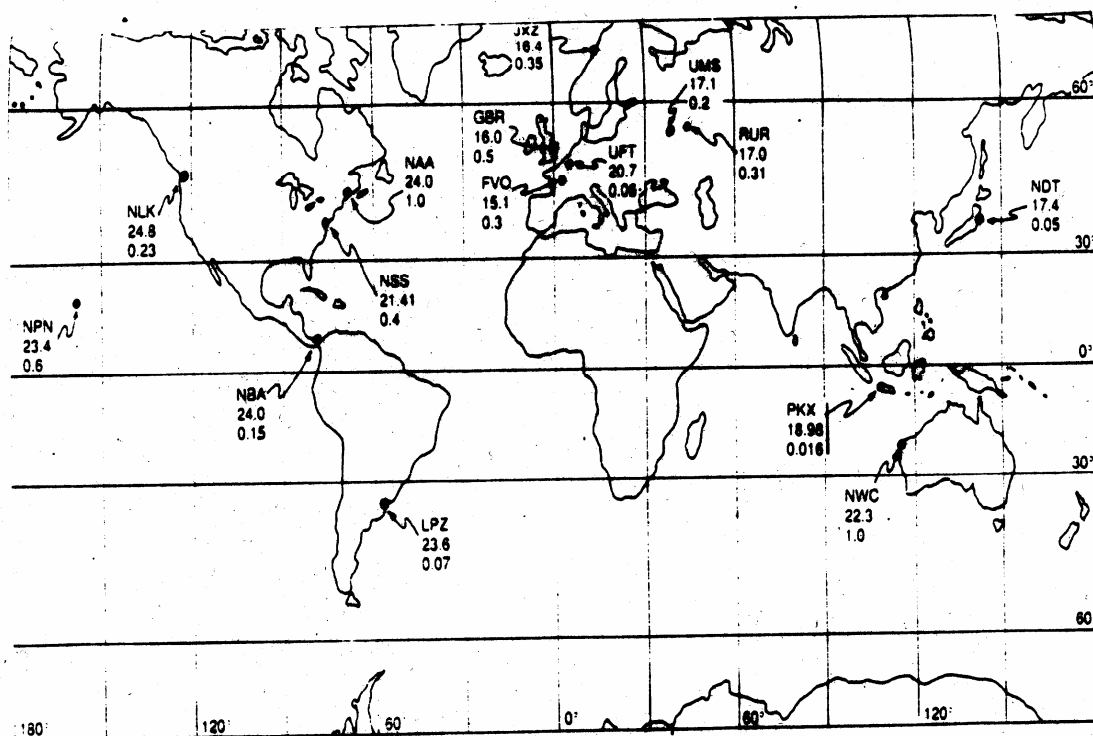


Σχήμα 3.2. Φορείς ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κοντά σε ένα τέλειο αγωγό. Τα διανύσματα του μαγνητικού ( $H$ ) και ηλεκτρικού ( $E$ ) πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και το επίπεδό τους είναι κάθετο στην διεύθυνση διάδοσης.

### 3.3.4 Διάδοση VLF κυμάτων

Ούτε η γη ούτε η ιονόσφαιρα είναι τέλειοι αγωγοί και κάποια από την ενέργεια VLF χάνεται στο διάστημα ή διαπερνά την ατμόσφαιρα. Χωρίς τη διάτρηση αυτή, δεν θα υπήρχαν ούτε στρατιωτικές ούτε γεωφυσικές χρήσεις. Όπως είναι, τα κύματα μπορούν να ανιχνευτούν δεκάδες μέτρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας και είναι ιδανικά για την επικοινωνία με υποβρύχια. Το εύρος μειώνεται σε συνάρτηση με το βάθος και τα δευτερεύοντα πεδία που παράγονται στους αγωγούς κάτω από την επιφάνεια εξασθενούν παρομοίως, προς το δρόμο τους για την επιφάνεια. Υπάρχουν πολλοί σταθμοί σε όλο τον κόσμο που μεταδίδουν συνεχώς σήματα VLF για στρατιωτικούς σκοπούς (σχήμα 3.3). Τα μοντέλα μεταβίβασης και τα προγράμματα χρήσης ποικίλλουν ευρέως, αλλά οι

κατασκευαστές των οργάνων VLF είναι συνήθως ενήμεροι για την κατάσταση του ρεύματος και παρέχουν πληροφορίες στους πελάτες τους μετά από απαίτηση.



Σχήμα 3.3. Πομποί VLF. Αναγνωρίζονται οι κωδικοί σταθμών, (πχ NAA), συχνότητες σε KHz και ισχύ σε MW. Οι συχνότητες και η ισχύς υπόκεινται σε αλλαγή χωρίς προειδοποίηση.

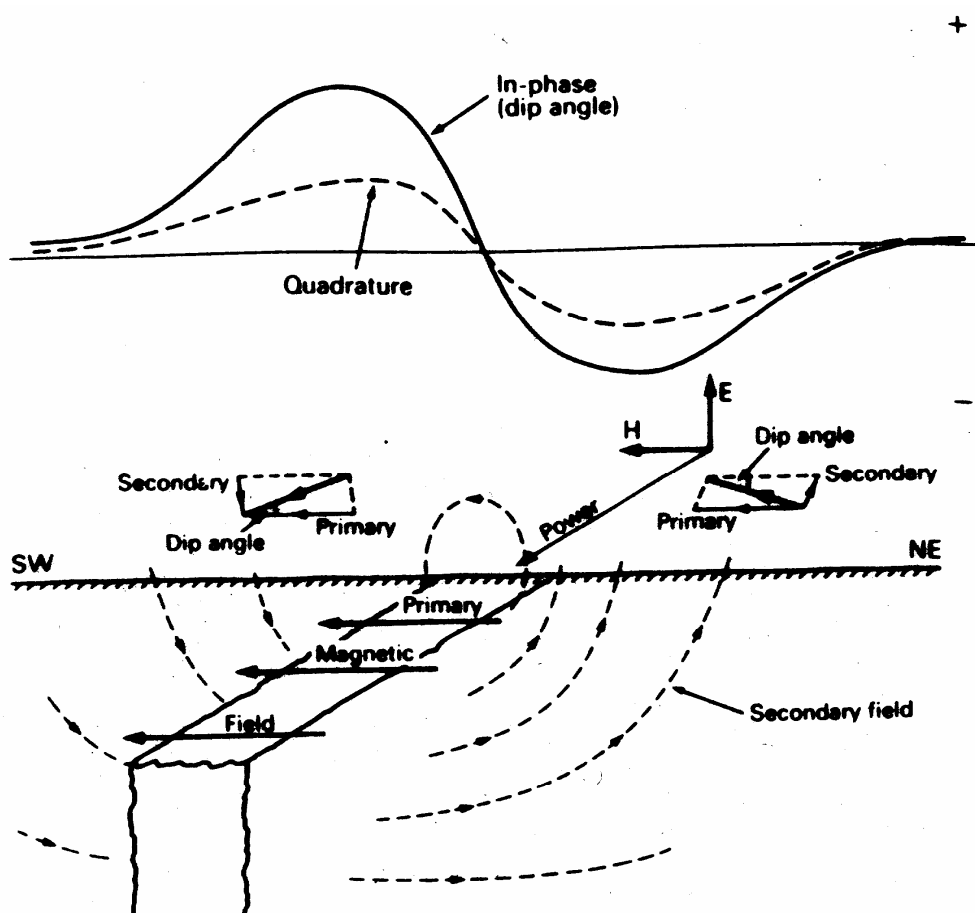
### 3.3.5 Ανιχνεύοντας τα πεδία VLF

Ο χρήστης ενός σήματος VLF δεν ελέγχει ούτε το εύρος του σήματος, ούτε τη φάση του. Τα μαγνητικά πεδία VLF ανιχνεύονται από σπείρες στις οποίες τα ρεύματα κυμαίνονται ανάλογα με τη διαπερατότητα του πυρήνα, με τον αριθμό των στροφών και τη συνιστώσα μαγνητικού πεδίου κατά μήκος του άξονα. Δε θα ανιχνευθεί κανένα σήμα αν το μαγνητικό πεδίο είναι σε ορθές γωνίες με τον άξονά του.

Ένα ηλεκτρικό πεδίο VLF παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα σε κεραία που αποτελείται από μια ευθεία αγωγίμη ράβδο ή καλώδιο. Η ισχύς του σήματος είναι ελάχιστα ανάλογη με το εύρος της συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου που είναι παράλληλη με την κεραία και με το μήκος της κεραίας.

### 3.3.6 Επιδράσεις του μαγνητικού πεδίου

Τα ρεύματα αυτεπαγωγής που επιφέρει ένα μαγνητικό πεδίο VLF παράγουν δευτερεύοντα μαγνητικά πεδία με την ίδια συχνότητα, αλλά γενικά με διαφορετική φάση. Η κάθε κάθετη μαγνητική συνιστώσα είναι από ορισμού ανώμαλη και τα περισσότερα όργανα VLF συγκρίνουν τα κάθετα και τα οριζόντια μαγνητικά πεδία είτε άμεσα ή μετρώντας τις κλίσεις γωνιών. Τα ρεύματα αυτεπαγωγής παράγουν δευτερεύοντα μαγνητικά πεδία που είναι αντίθετα με το μαγνητικό πεδίο. Πάνω από ένα αγωγό το δευτερεύον πεδίο μπορεί να είναι ισχυρό, αλλά θα είναι οριζόντιο και δε θα ανιχνεύεται. Και στις δύο πλευρές θα υπάρχουν ανιχνεύσιμα κάθετα πεδία, στις αντίθετες κατευθύνσεις, ορίζοντας μια αντισυμμετρική ανωμαλία (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4. Η ανωμαλία μαγνητικής συνιστώσας από ένα κάθετο αγωγίμο στρώμα που διαρέεται από το πρωτεύον κύμα.

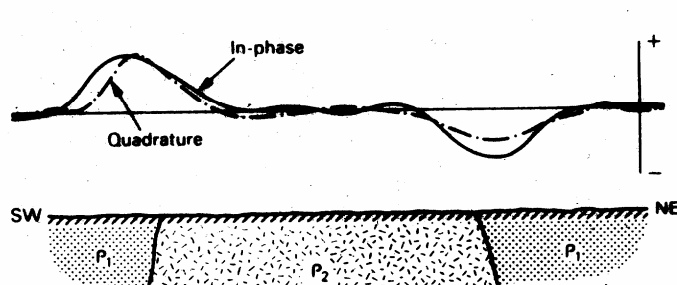
Οι με μεγάλη κλίση βαθαίνουσες επαφές παράγουν επίσης ανωμαλίες VLF, που είναι θετικές ή αρνητικές ανάλογα με τη σύμβαση σήματος (σχήμα 4). Η κλασική αντισυμμετρική ανωμαλία «λεπτού αγωγού» μπορεί να θεωρηθεί ότι από δύο επαφές πολύ κοντά μεταξύ τους.

Δύο κεκλιμένοι αγωγοί, που βρίσκονται κοντά μεταξύ τους, παράγουν μια ανωμαλία που μπορεί να θεωρηθεί σαν αθροιστική των ανωμαλιών που είχαν παραχθεί από κάθε σώμα ξεχωριστά.

### 3.3.7 Επιδράσεις ηλεκτρικού πεδίου

Επειδή η γη δεν είναι ένας τέλειος αγωγός, οι ηλεκτρικοί φορείς VLF κοντά στην επιφάνειά της έχουν κλίση, δεν είναι κάθετοι, και έχουν οριζόντιες συνιστώσες. Πάνω από το ομογενές έδαφος η οριζόντια συνιστώσα θα διέφερε σε φάση από το πρώτο (κάθετο) πεδίο με περίπου  $45^{\circ}$ , θα βρισκόταν στη κατεύθυνση διάδοσης και θα ήταν ανάλογη με την τετραγωνική ρίζα της αντίστασης του εδάφους. Πάνω από μια γη με διαδοχικά επίπεδα, το μέγεθος του οριζόντιου ηλεκτρικού πεδίου (ή η κλίση του συνολικού πεδίου) καταγράφει το μέσο όρο (της φαινόμενης) αντίστασης, κλίνοντας ισχυρά προς την αντίσταση του εδάφους στο μισό της επιφάνειας.

Η γωνία φάσης θα είναι μεγαλύτερη από  $45^{\circ}$  σε μια γη με διαδοχικά επίπεδα αν η αντίσταση αυξάνει με το βάθος και λιγότερη από  $45^{\circ}$  αν μειώνεται. Οι οξείες πλευρικές αλλαγές αντίστασης διαστρεβλώνουν την απλή αυτή εικόνα και οι πολύ καλοί (συνήθως τεχνητοί) αγωγοί παράγουν δευτερεύοντα πεδία που καθιστούν άκυρες τις υποθέσεις όπου βασίζονται οι υπολογισμοί της αντίστασης (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5: Οι ανωμαλίες μαγνητικού πεδίου VLF στα περιθώρια ενός εκτεταμένου αγωγού.

### 3.3.8 Όργανα VLF

Το πρώτο εμπορικώς διαθέσιμο γεωφυσικό όργανο VLF, το RonkaGeonics EM-16, χρησιμοποιούσε μόνο μαγνητικά πεδία, αν και τα οριζόντια ηλεκτρικά πεδία μπορούν να μετρηθούν με το προσθετικό μέτρο EM-16R. Χρησιμοποιείται ακόμα ευρέως και χρησιμεύει για να καταδείξει αρχές, που σε κάποια άλλα όργανα, καλύπτονται από επεξεργαστικό λογισμικό.

Το EM-16 αποτελείται από μια συσκευή όπου περιέχονται ηλεκτρόνια, στην οποία συνδέεται ένα συμβατικό διορθωτικό κλινόμετρο και μια χειρολαβή σε σχήμα T όπου περιέχει δύο πηνία σε ορθές γωνίες. Οι έλεγχοι περιλαμβάνουν ένα διακόπτη επιλογέα σταθμού δύο θέσεων, έναν βαθμονομημένο τετραγωνισμένο έλεγχο και ένα διακόπτη που ενισχύει μια ακουστική συχνότητα. Η συχνότητα μπορεί να είναι δύσκολο να ακούγεται κανονικά σε περιοχές όπως δάση σε μέρες με άνεμο, όπου συνυπάρχουν και άλλοι θόρυβοι.

Με τον έλεγχο φάσης στο μηδέν, η ισχύς του τόνου καθορίζεται από τη ρύθμιση του ελέγχου δύναμης του ήχου και από τη συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου VLF η οποία είναι παράλληλη με τον άξονα του κύριου πηνίου. Οι μετρήσεις γίνονται βρίσκοντας τον προσανατολισμό του πηνίου αυτού με περιστροφή μέχρις ότου ο τόνος μόλις που ακούγεται.

Πριν αναγνωστεί, πρέπει να καθορίζεται η κατεύθυνση της ελάχιστης οριζόντιας συνιστώσας (η κατεύθυνση του φορέα ισχύος). Αυτό δίνει τη στήριξη ενός διαβιβαστή εκτός αν υπάρχει ένα σημαντικό δευτερεύον πεδίο. Το όργανο βρίσκεται και με τα δύο πηνία οριζόντια, περισσότερο βολικά με το μικρό πηνίο σε ορθές γωνίες. Ο παρατηρητής γυρίζει μέχρι που βρίσκει ένα σημείο μηδέν, στο στάδιο αυτό το μαγνητικό πεδίο βρίσκεται σε ορθή γωνία με το κύριο πηνίο και παράλληλο με το μικρό πηνίο. Περιστασιακά είναι αναγκαίο να προσαρμόζεται ο τετραγωνισμένος έλεγχος κατά τη διαδικασία αυτή. Θα πρέπει να ξαναρυθμιστεί στο μηδέν πριν επιχειρήσετε να παρατηρήσετε το κάθετο πεδίο. Δεν υπάρχει κανένας τρόπος να πούμε αν ο πομπός είναι στα αριστερά ή στα δεξιά του παρατηρητή.

Χωρίς αλλαγή θέσης, ο παρατηρητής κατόπιν περιστρέφει το όργανο γύρω από το μικρό πηνίο ως άξονα στην επάνω θέση, φέρνοντας το κλισιόμετρο στο επίπεδο του ματιού, και μετά το κλίνει στο επίπεδο του κλισιόμετρου. Το ελάχιστο σήμα παρατηρείται όταν το μακρύ πηνίο είναι σε ορθή γωνία με το μεγαλύτερο άξονα της έλλειψης της πόλωσης. Το σημείο μηδέν δεν ορίζεται σωστά αν η φανταστική συνιστώσα (το επίπεδο του μικρότερου άξονα) είναι μικρή ή αν το επίπεδο της έλλειψης της πόλωσης δεν είναι κάθετο. Ο ορισμός μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τον τετραγωνισμένο έλεγχο για την αφαίρεση ενός

μετρημένου ποσοστού από το πεδίο του μεγαλύτερου άξονα που αλλάζει φάση και που ανιχνεύεται από το μικρό πηνίο και από το τετραγωνισμένο έλεγχο που ανιχνεύεται από το μακρύ πηνίο. Στο σημείο μηδέν, με το όργανο στη κεκλιμένη θέση, η τετραγωνισμένη ανάγνωση δίνει την αναλογία των αξόνων έλλειψης και το εφαπτόμενο της κλινόμενης γωνίας καθορίζει την ανωμαλία μέσα στη φάση.

### 3.3.9 Άλλα όργανα VLF

Οι περισσότερες από τις εναλλακτικές λύσεις για το EM-16 καταγράφουν επίσης εναλλαγές του μαγνητικού πεδίου, που μετρούν τις συνιστώσες του πεδίου και τις αναλογίες του. Κάποια όργανα μπορούν να μετρούν φυσικά μαγνητικά πεδία και πεδία δύο πομπών VLF ταυτόχρονα, και κάποια είναι αυτοκατευθυνόμενα για την αύξηση της ταχύτητας κάλυψης. Μπορούν επίσης να μετρηθούν πλάτη, αλλά χρειάζεται έπειτα ένα όργανο βάσης για τον έλεγχο εναλλαγών εξαιτίας των μετεωρολογικών αλλαγών. Οι οριζόντιες κατευθύνσεις μαγνητικού πεδίου καταγράφονται περιστασιακά, αλλά γενικά είναι λιγότερο ευαίσθητες και λιγότερο διαγνωστικές από αλλαγές της γωνίας κλίσης.

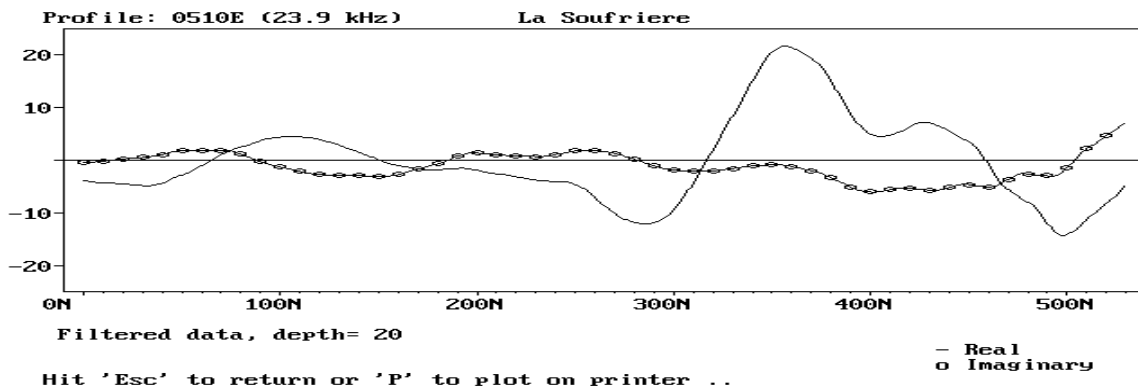
Το ABEM Wadi ερευνά ολόκληρη τη ζώνη VLF και παρέχει στο χρήστη ένα σχέδιο ισχύος σήματος κατά της συχνότητας, επιτρέποντας την πραγματοποίηση μιας ενημερωμένης επιλογής σταθμού.

### 3.3.10 Προγραμματισμός Ηλεκτρομαγνητικής Έρευνας

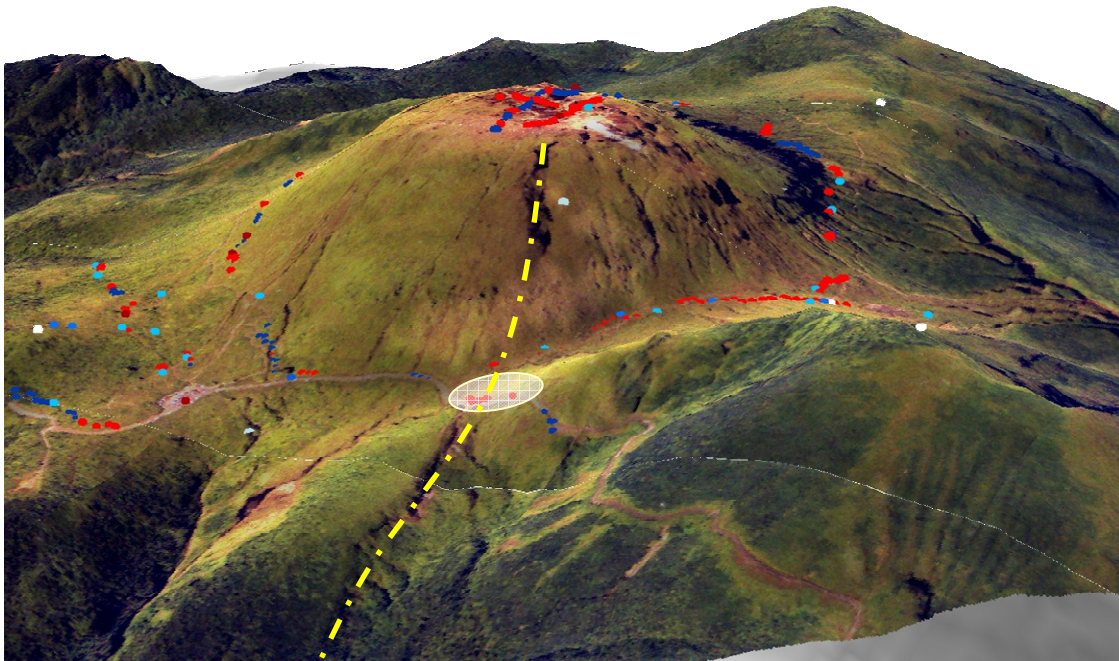
Για την πραγματοποίηση μιας ηλεκτρομαγνητικής έρευνας πραγματοποιούνται οδεύσεις στη περιοχή μελέτης και με διεύθυνση περίπου κάθετα στην προς αναγνώριση δομή ενδιαφέροντος.

Τα γραφήματα που προκύπτουν αποτελούνται από δύο καμπύλες. Η μία καμπύλη αναπαριστά τα πραγματικά δεδομένα της μέτρησης και η άλλη τα φιλτραρισμένα. Με βάση την πρώτη, γίνεται ο καθορισμός των αγωγίμων ρηξιγενών ζωνών. Σε κάθε γράφημα παρουσιάζεται η πραγματική και φανταστική συνιστώσα. Για τον εντοπισμό της αγωγίμης ζώνης πρέπει η φανταστική συνιστώσα να έχει μηδενικές τιμές και η πραγματική θετικές τιμές μεγάλου πλάτους (σχήμα 3.6).

Παράλληλες οδεύσεις σε κάνναβο, μπορούν να οδηγήσουν σε χωρική / 3D απεικόνιση της υπό μελέτης ανωμαλίας όπως παρουσιάζεται στο σχήμα (3.7).



Σχήμα 3.6. Παρουσίαση των μετρήσεων με τη χαρτογράφηση των τιμών της πραγματικής και της φανταστικής συνιστώσας (Vargemezis, 2002).



Σχήμα 3.7. Με την εκτέλεση των μετρήσεων σε κάνναβο δόθηκε η δυνατότητα της χαρτογράφησης της ανώμαλης αγωγίμης ζώνης όπως αυτή παρουσιάζεται με τη διακεκομμένη γραμμή (Vargemezis, 2002).



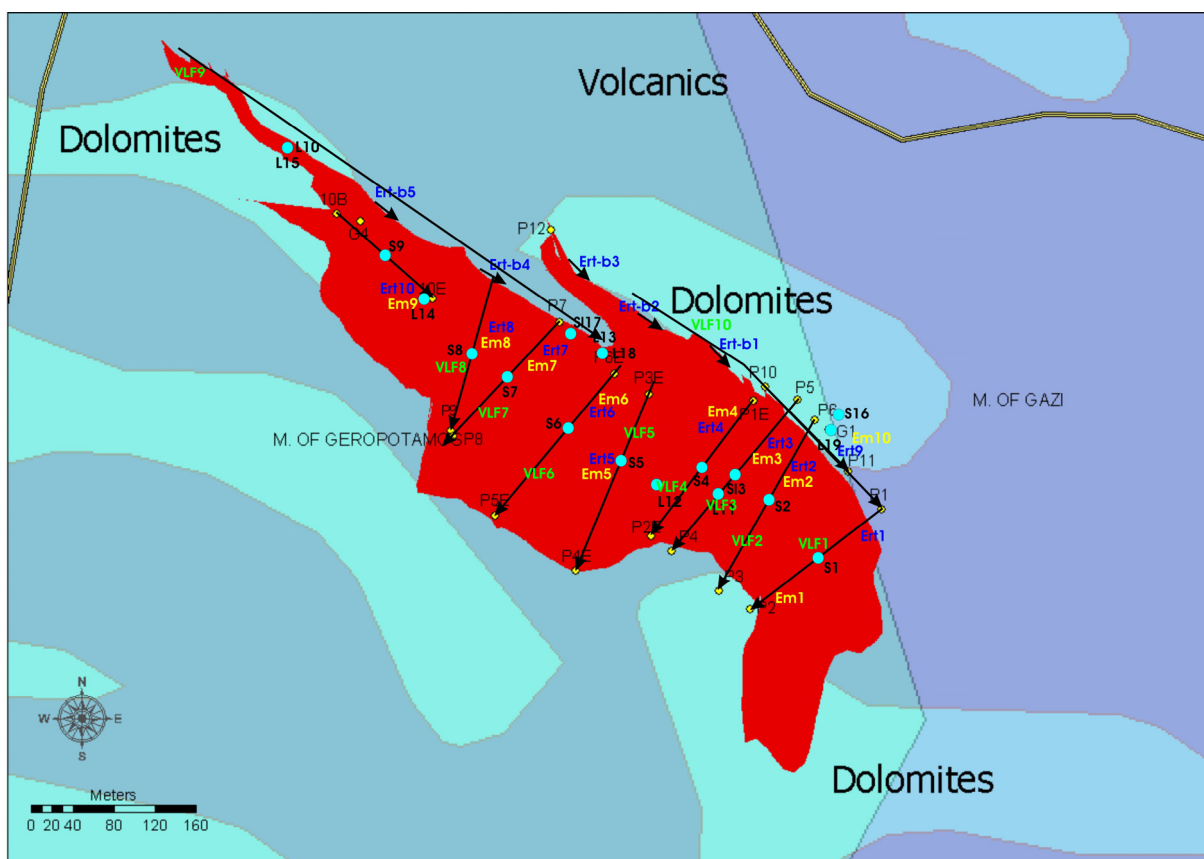


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

### 4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Κατά μήκος των διατομών στις οποίες εκτελέστηκαν οι υπόλοιπες γεωφυσικές διασκοπήσεις με τη χρήση των άλλων μεθοδολογιών, εφαρμόστηκαν τα ρηγά ηλεκτρομαγνητικά με τη μέθοδο VLF (σχήμα 4.1).

Πραγματοποιήθηκαν 10 ηλεκτρομαγνητικές οδεύσεις, VLF1 έως VLF10, με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, ενώ οι οδεύσεις VLF9 και VLF10 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 4.1. 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 TVLF-IRIS Instrument το χρονικό διάστημα 10 Μαΐου 2004 – 22 Ιουνίου 2004. Στις μετρήσεις υπαίθρου συμμετείχαν οι σπουδαστές, Πάνος Γεωργακόπουλος, Γιώργος Σπηλιωτόπουλος, Παρασκευή Σεφέρου και Αναστασία Μανδελενάκη (σχήμα 4.2 και 4.3).

Οι μετρήσεις λήφθηκαν ανά 10 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 διασταλλαζόντων το οποίο δρά ως αγώγιμη μάζα. Τα παραπάνω δρουν αφαιρετικά στο σήμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



Σχήμα 4.2. Εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων κατά μήκος της τομής VLF2.



Σχήμα 4.3. Εκτέλεση των ηλεκτρομαγνητικών διασκοπήσεων κατά μήκος της τομής VLF3.

Για τη διεξαγωγή των μετρήσεων και αφού ορίστηκαν οι διατομές των μετρήσεων, ο δέκτης προσανατολίστηκε για να λάβει 2 συχνότητες μετρήσεων. Έτσι εκτελέστηκαν οι μετρήσεις για τις συχνότητες 20700 Hz και 17400 Hz (πίνακας 3)

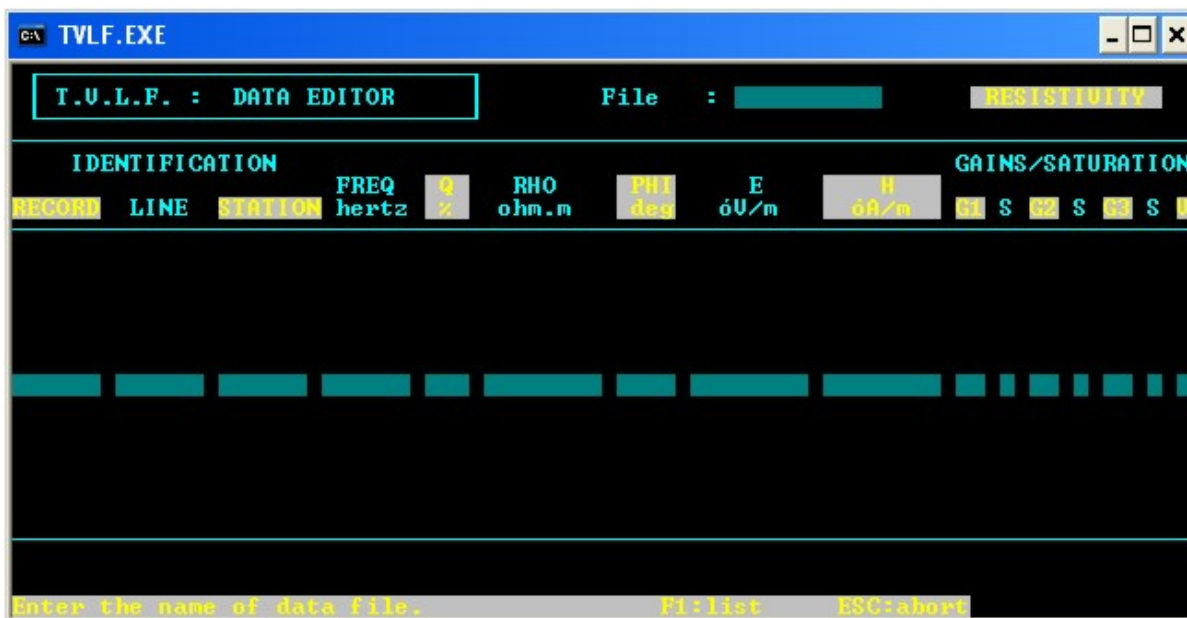
Πίνακας 3. Λίστα των διαθέσιμων VLF σταθμών.

Callsign	Frequency	Location of transmitter	Remarks
-	11.905 kHz	Russia (various locations)	Alpha-Navigation
-	12.649 kHz	Russia (various locations)	Alpha-Navigation
-	14.881 kHz	Russia (various locations)	
-	15.625 kHz	-	Frequency for horizontal deflection of electronic beam of TV sets
?	15.8 kHz	?	
JXN	16.4 kHz	Helgeland ( Norway)	
SAQ	17.2 kHz	Grimeton ( Sweden)	Only active at special occasions (Alexanderson Day)
-	ca. 17.5 kHz	?	Twenty second pulses
?	17.8 kHz	?	Transmits occasionally Superpulses
RDL/UPD/UFQE/UPP/UPD8	18.1 kHz	Russia (various locations)	
HWU	18.3 kHz	Le Blanc (France)	Frequently inactive for longer periods
RKS	18.9 kHz	Russia (various locations)	Rarely active
GBZ	19.6 kHz	Criggion (Great Britain)	Many operation modes, even Superpulses
ICV	20.27 kHz	Tavolara (Italia)	
RJH63, RJH66, RJH69, RJH77, RJH99	20.5 kHz	Russia (various locations)	Time signal transmitter Beta
ICV	20.76 kHz	Tavolara (Italia)	
HWU	20.9 kHz	Le Blanc (France)	
RDL	21.1 kHz	Russia (various locations)	rarely active
HWU	21.75 kHz	Le Blanc (France)	
?	22.1 kHz	Anthorn (Great Britain)	

?	22.3 kHz	Russia?	Only active on 2nd of each month for a short period between 11o'clock and 13o'clock (respectively 10o'clock and 12o'clock in winter), if 2nd of each month is not a Sunday
RJH63, RJH66, RJH69, RJH77, RJH99	23 kHz	Russia (various locations)	Time signal transmitter Beta
DHO38	23.4 kHz	Saterland (Germany)	
NAA	24 kHz	Cutler (USA)	

#### 4.2 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

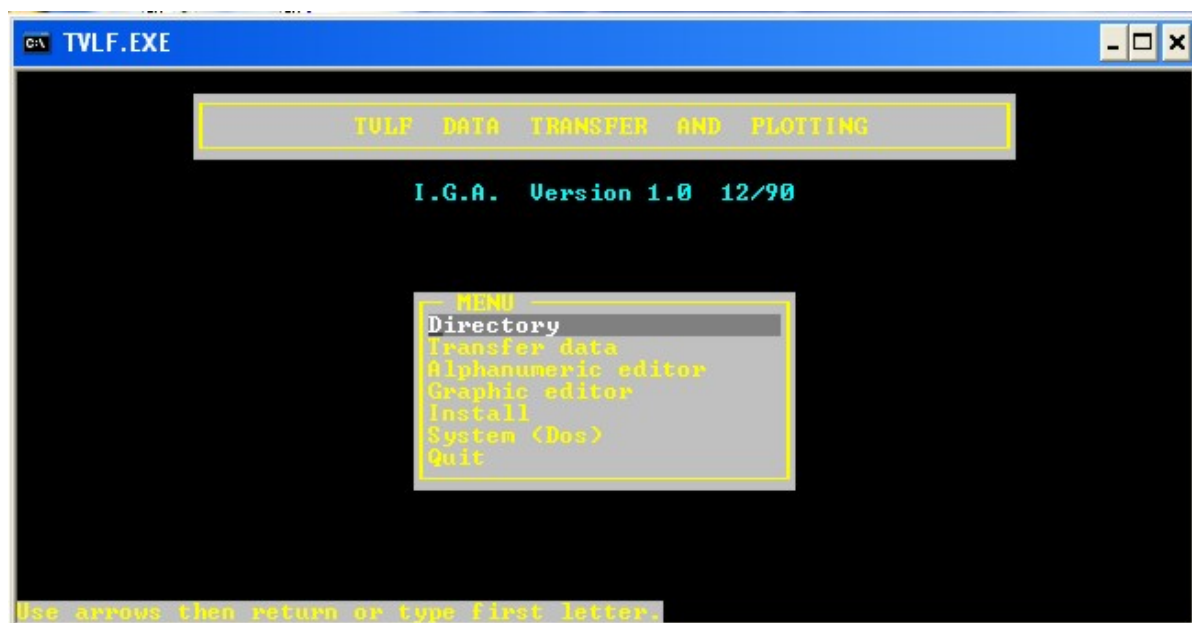
Οι μετρήσεις που ελήφθησαν στη συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα TVLF που είναι ορισμένο σε περιβάλλον DOS. Στο λογισμικό αυτό δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε τις συχνότητες μέτρησης και να πραγματοποιηθεί μια πρώτη εκτίμηση του θορύβου των δεδομένων (σχήμα 4.4).



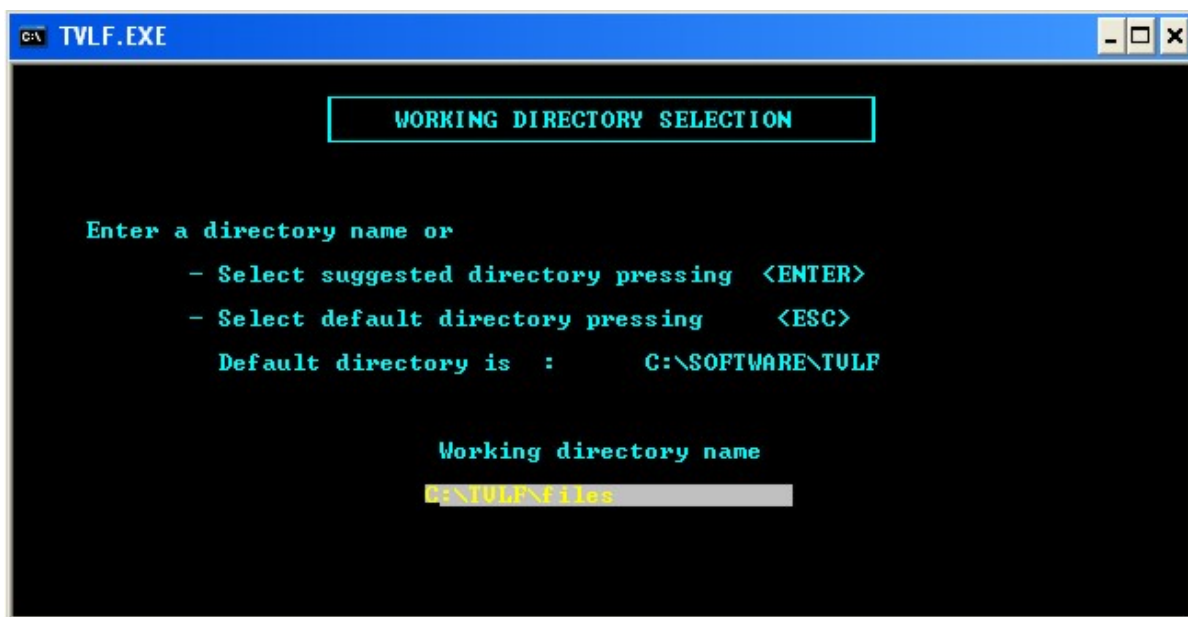
Σχήμα 4.4. Γραφικό περιβάλλον για την εισαγωγή των πρωτογενών δεδομένων.

Στη συνέχεια τα δεδομένα εισάγονται στο γραφικό περιβάλλον (σχήμα 4.5 και 4.6) 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.

Μετά την τελική επεξεργασία, τα δεδομένα εμφανίζονται με τη μορφή καμπύλων όπου το πάνω γράφημα είναι η εικόνα μετά την εφαρμογή του φίλτρου Fraser, ενώ στο κάτω γραφήμα γίνεται η απεικόνιση της καμπύλης TILT και ELLIPTICITY (σχήμα 4.7).

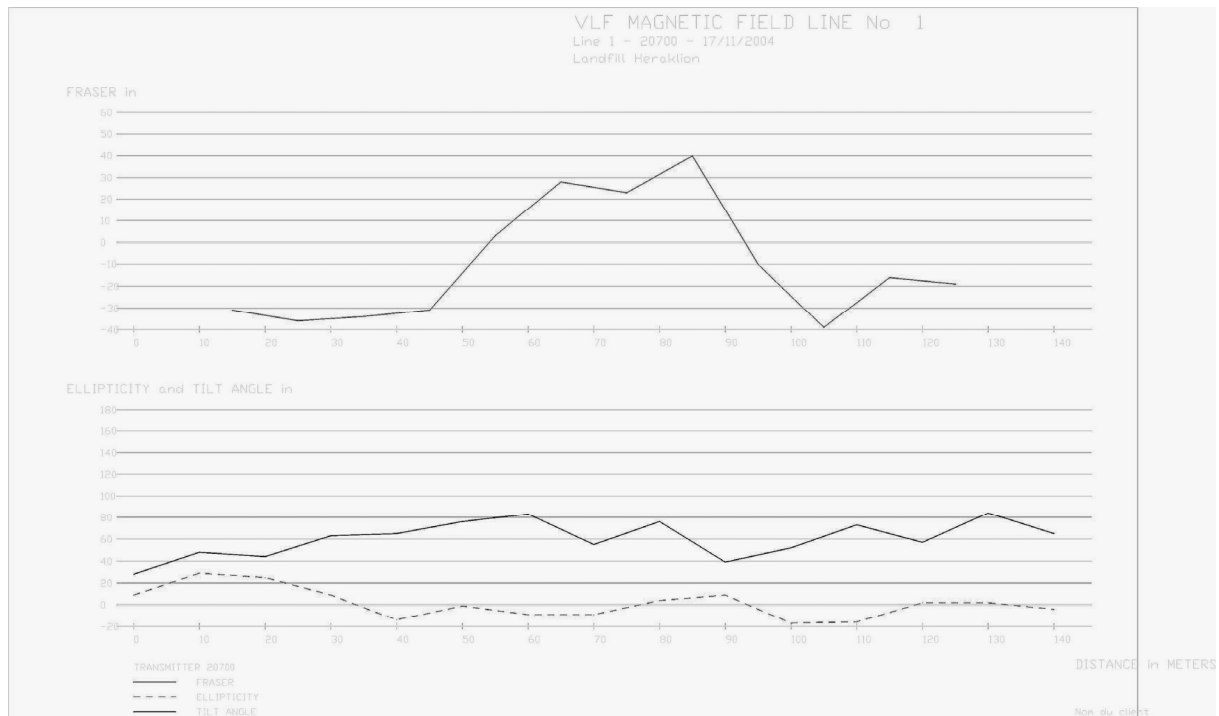


Σχήμα 4.5. Γραφικό περιβάλλον για τη μεταφορά και απεικόνιση των δεδομένων.

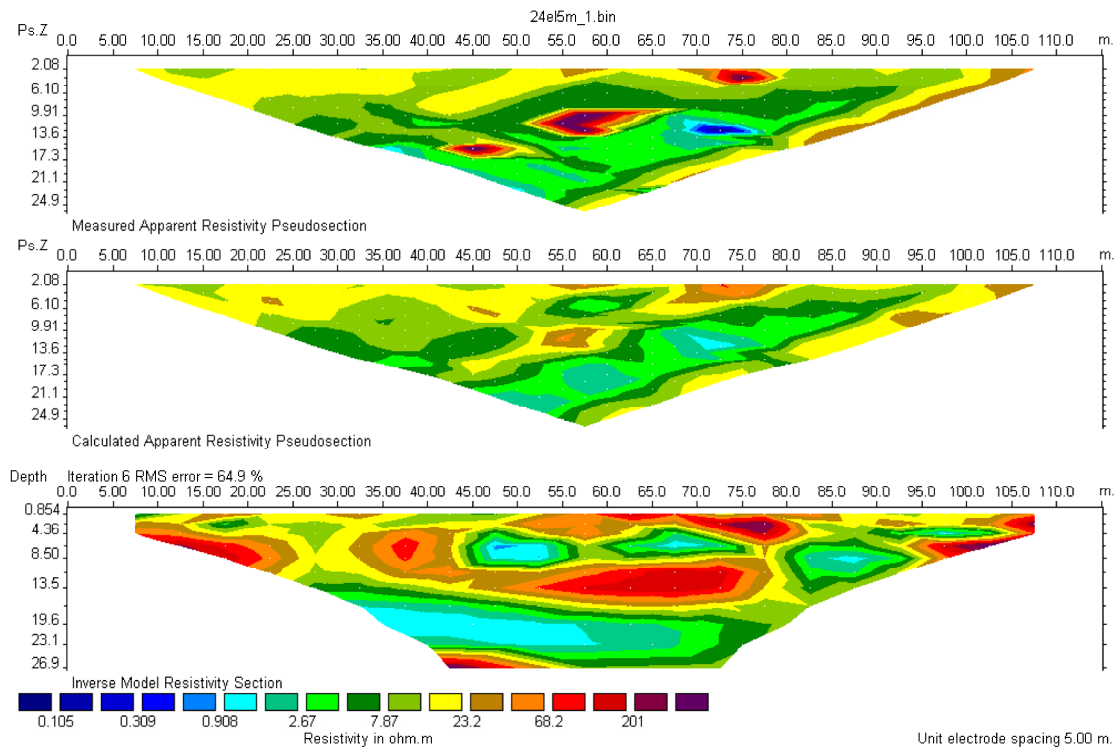


Σχήμα 4.6. Επιλογή του χώρου εργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων εξόδου.

#### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ



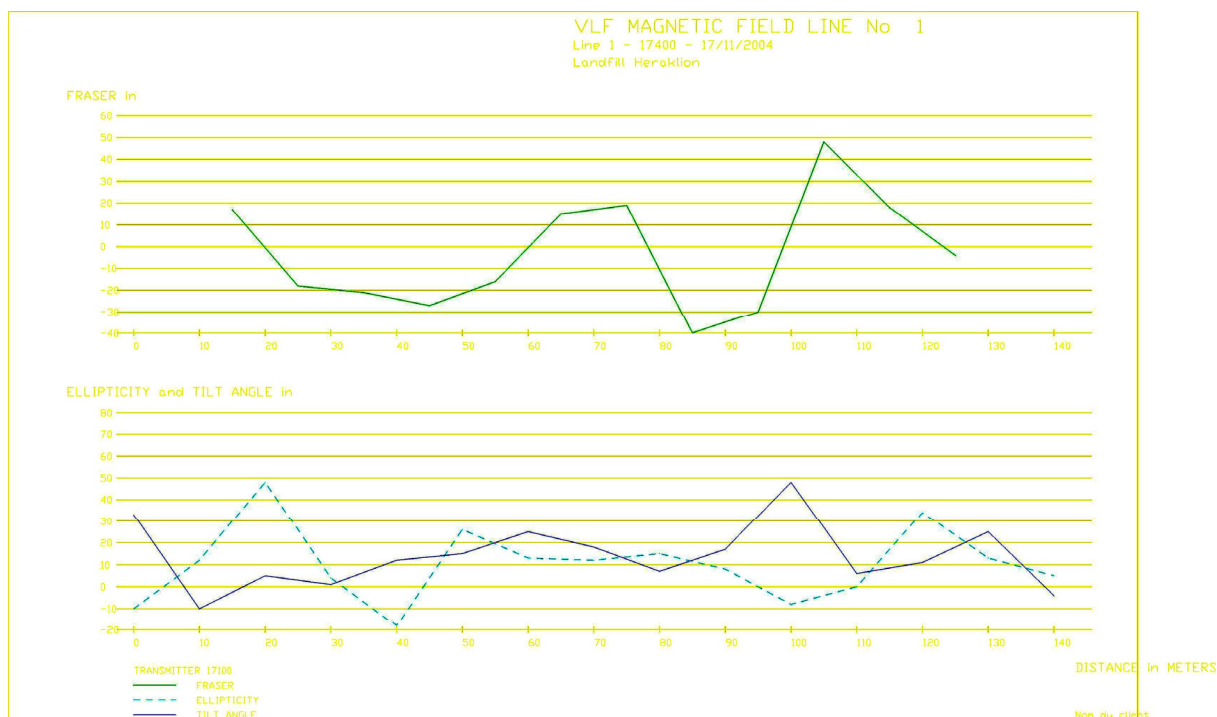
Σχήμα 4.7. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 1 για τη συχνότητα 20700Hz.



Σχήμα 4.8. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 1.

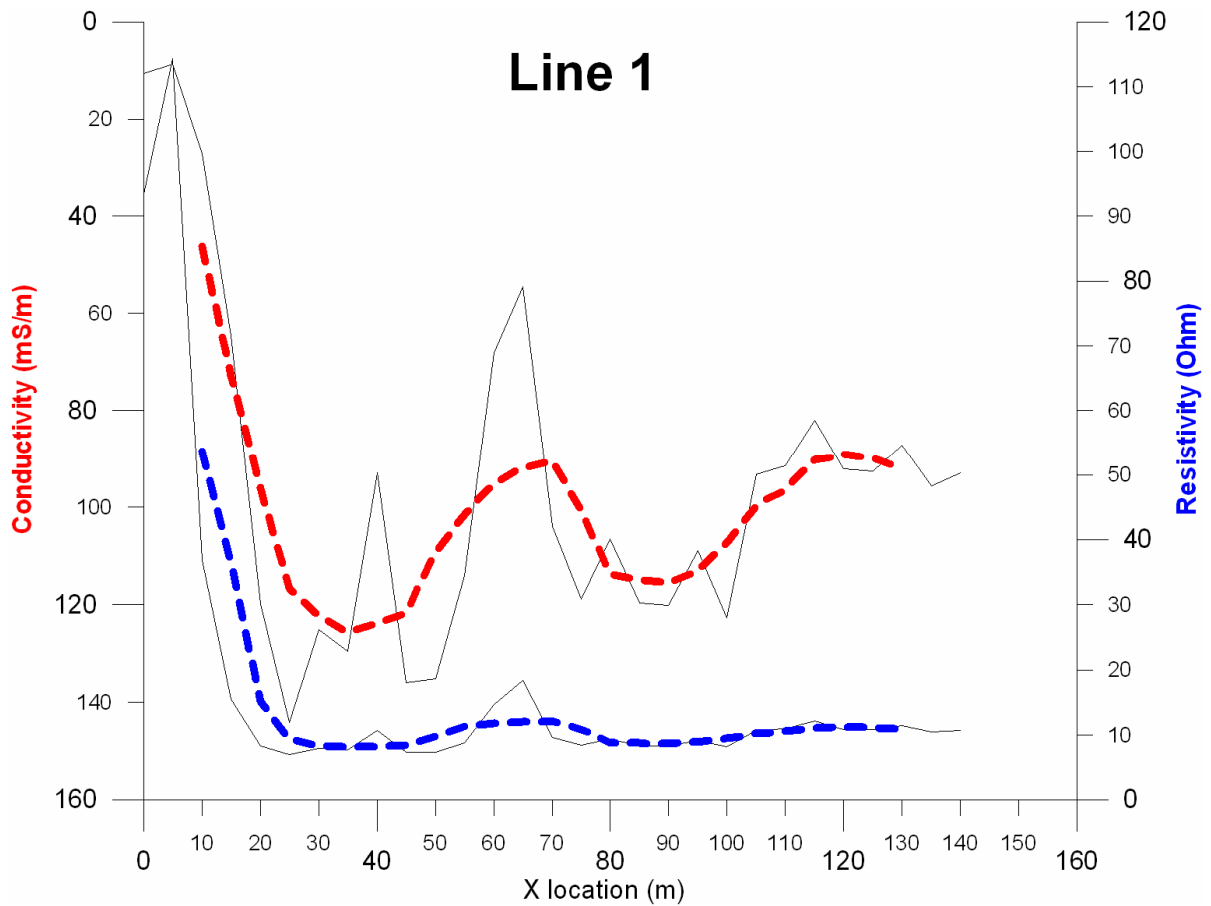
Από τις μετρήσεις VLF για τη γραμμή 1, στη συχνότητα 20700Hz προκύπτει ότι υπάρχει μια ανωμαλία από τα 55 – 95 μέτρα η οποία συσχετίζεται με την απόθεση

μεταλλικών αντικειμένων από τα 50 έως τα 80 μέτρα όπως αυτή η απόθεση απεικονίζεται με κόκκινα χρώματα στο σχήμα της γεωηλεκτρικής τομογραφίας.

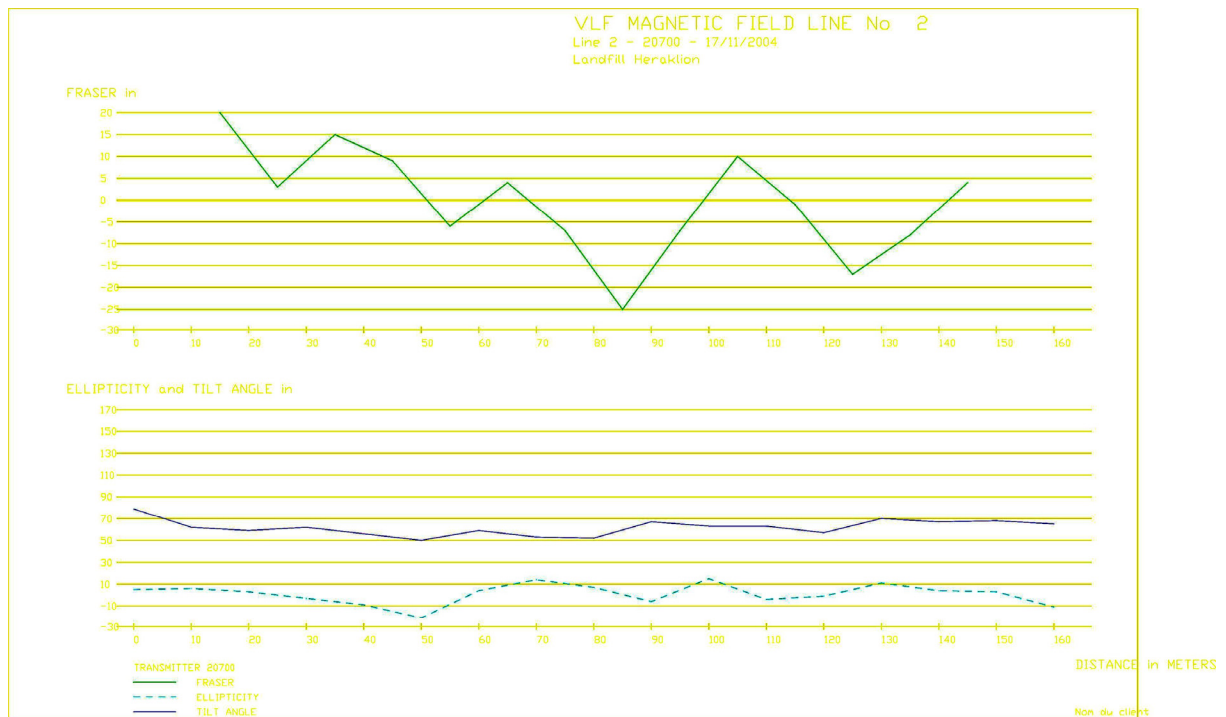


Σχήμα 4.9. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 1 για τη συχνότητα 17400Hz.

Οτι αφορά το σχήμα (4.9) φαίνεται ότι υπάρχουν δύο ανώμαλες ζώνες από τα 60-80 μέτρα και από τα 120-125 μέτρα. Αυτές οι αγώγιμες ζώνες σχετίζονται όπως φαίνεται και από το σχήμα (4.10) που παρουσιάζει την κατανομή της αγωγιμότητας κατά μήκος της γραμμής 1 από τις μετρήσεις με το EM31 με τις κορυφές υψηλής αγωγιμότητας που εντοπίζονται από τα 50-80 μέτρα και από τα 100-125 μέτρα. Αυτές οι θέσεις αφορούν τις περιοχές απόθεσης των μεταλλικών αντικειμένων που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

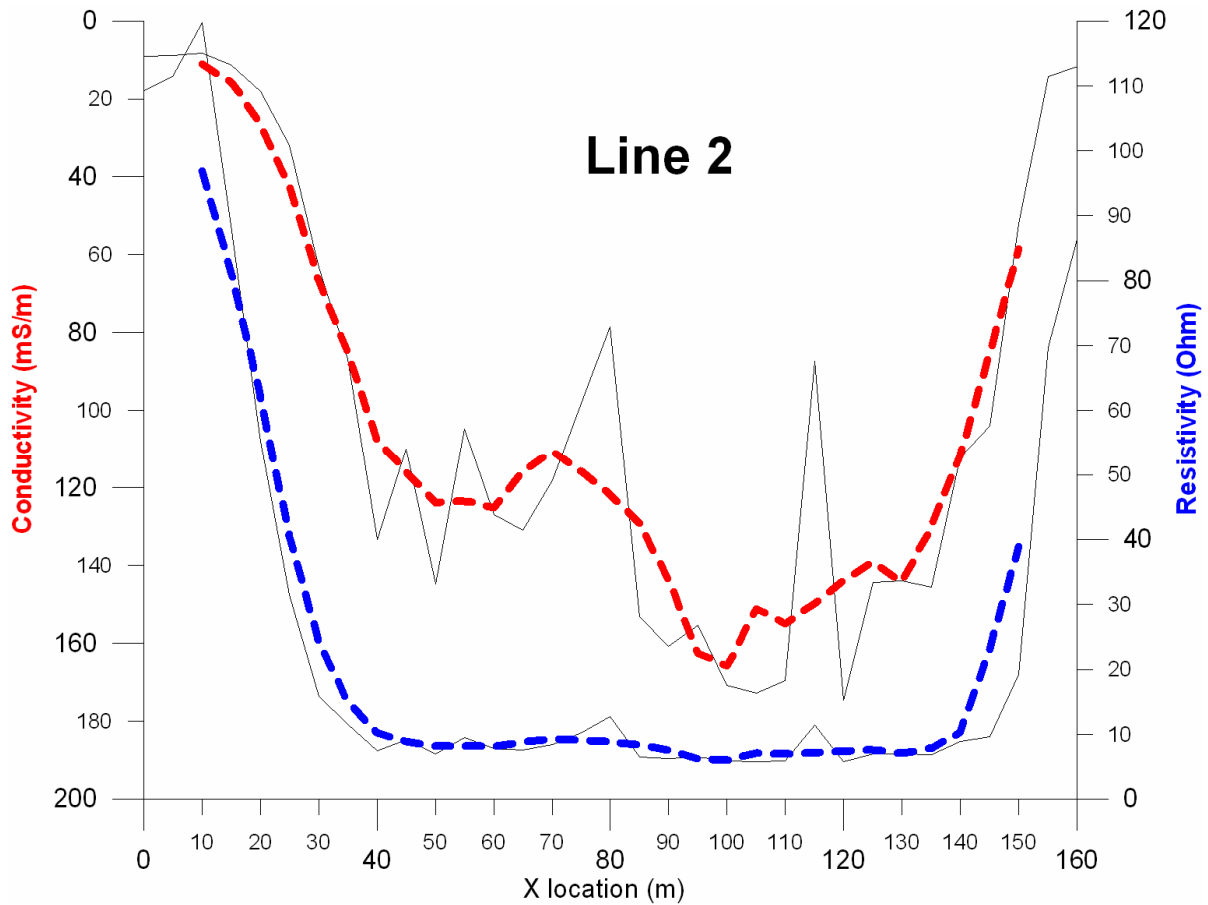


Σχήμα 4.10. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις EM31 στη γραμμή 1.



Σχήμα 4.11. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 2 για τη συχνότητα 20700Hz.

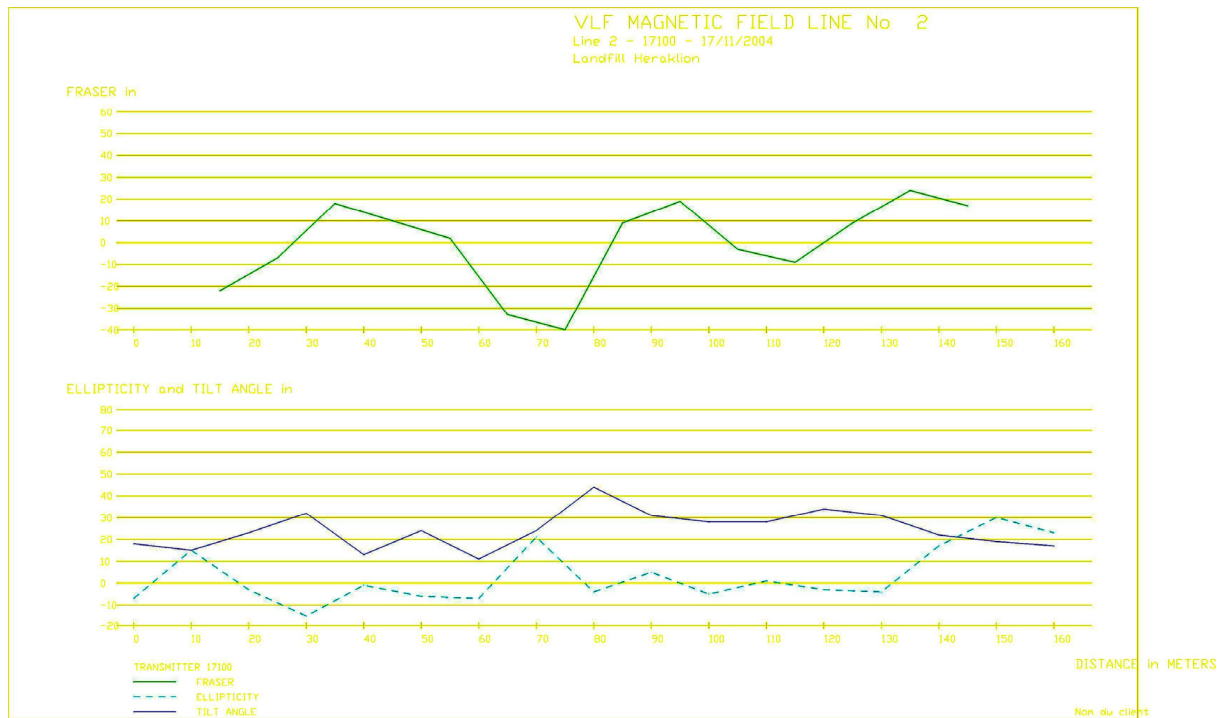




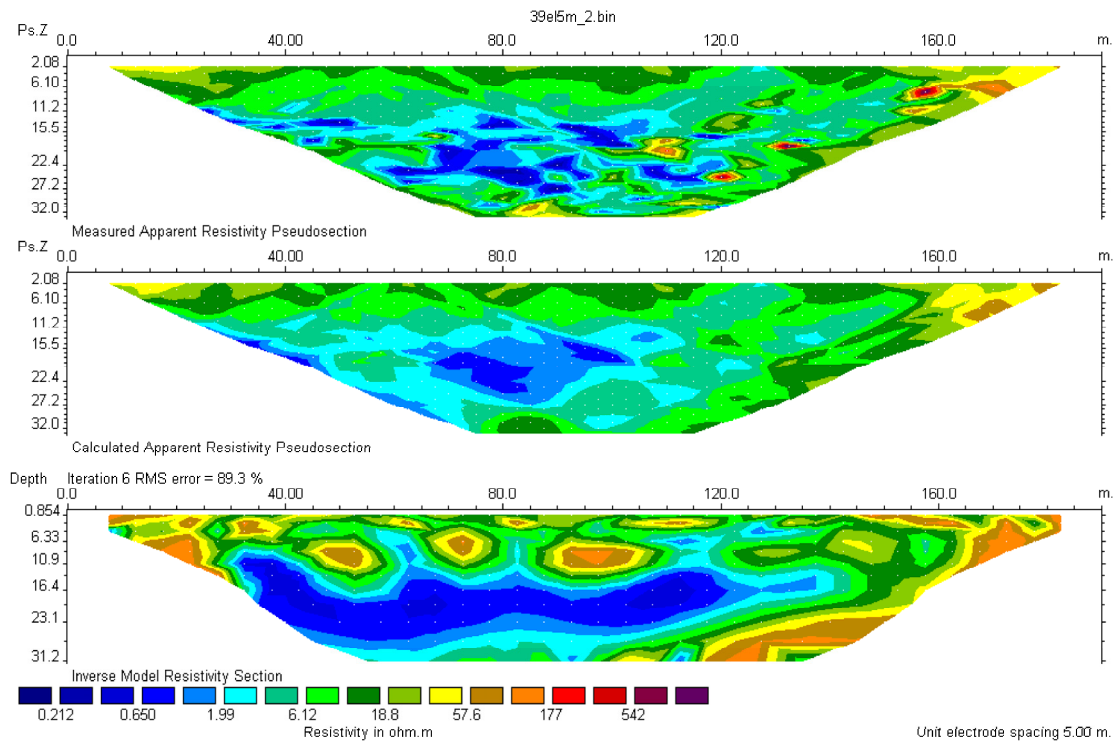
Σχήμα 4.12. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις EM31 στη γραμμή 2.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη γραμμή 2, για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 15-50 μέτρα, από τα 60-70 μέτρα και από τα 100-115 μέτρα τα οποία όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τις μετρήσεις της ίδιας γραμμής από το EM31 για τα μέτρα από 15-40, από τα 60-80 μέτρα και από τα 110-150 μέτρα.

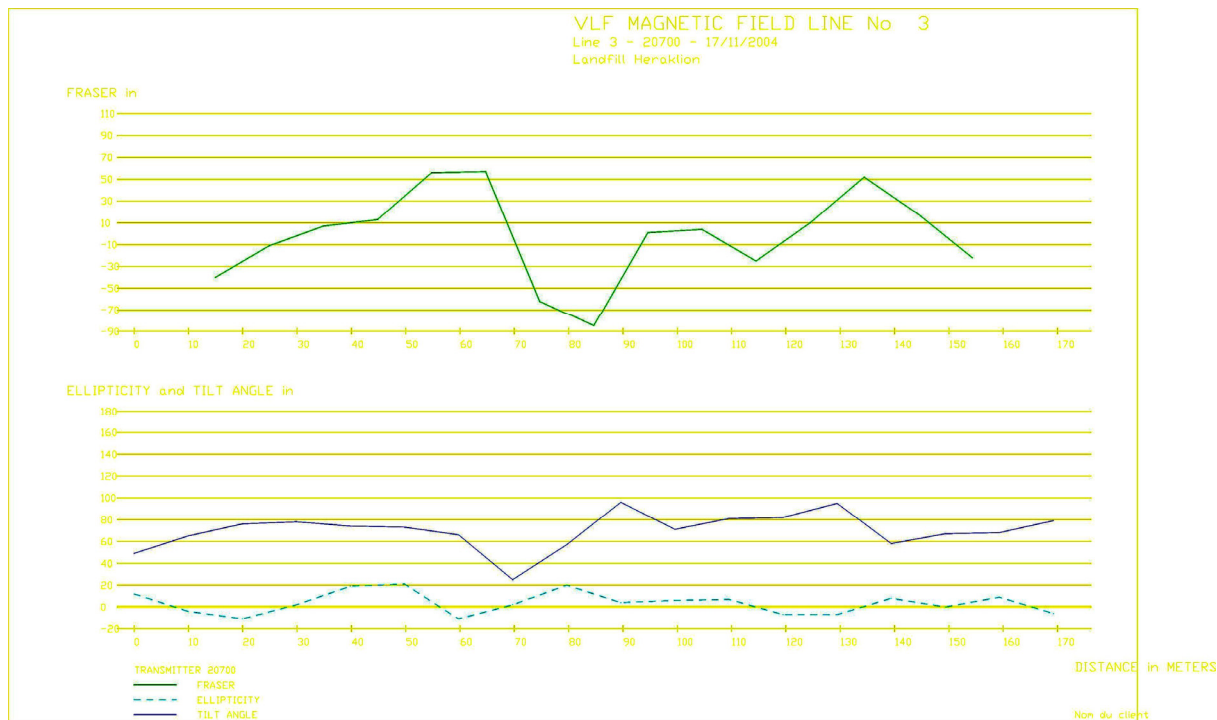
Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 17400 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγώγιμες ζώνες από τα 30-55 μέτρα και από τα 80-105 μέτρα οι οποίες όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τις μετρήσεις γεωηλεκτρικής τομογραφίας για την ίδια γραμμή και για τα ίδια μέτρα στα οποία εντοπίζονται τα διασταλλάζοντα με μεγάλα πάχη και ρηχότερα από τις υπόλοιπες θέσεις.



Σχήμα 4.13. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 2 για τη συχνότητα 17400Hz.



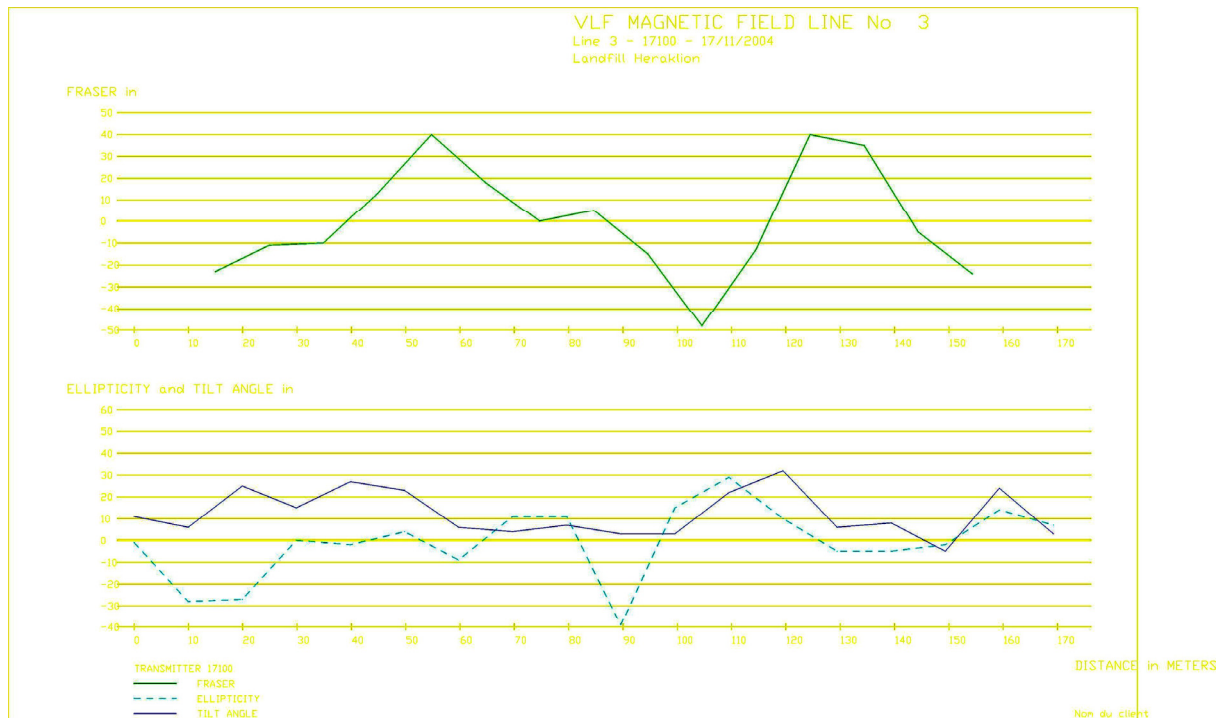
Σχήμα 4.14. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 2.



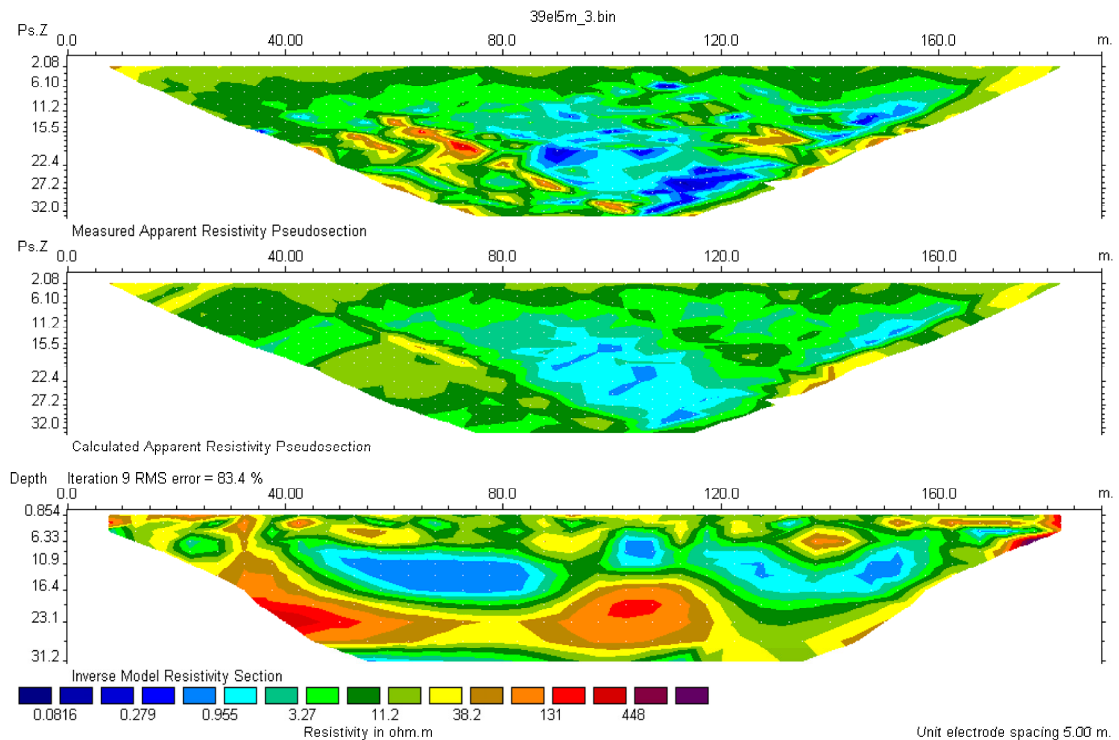
Σχήμα 4.15. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 3 για τη συχνότητα 20700Hz.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγωγίμες ζώνες από τα 30-75 μέτρα και από τα 120-150 μέτρα οι οποίες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

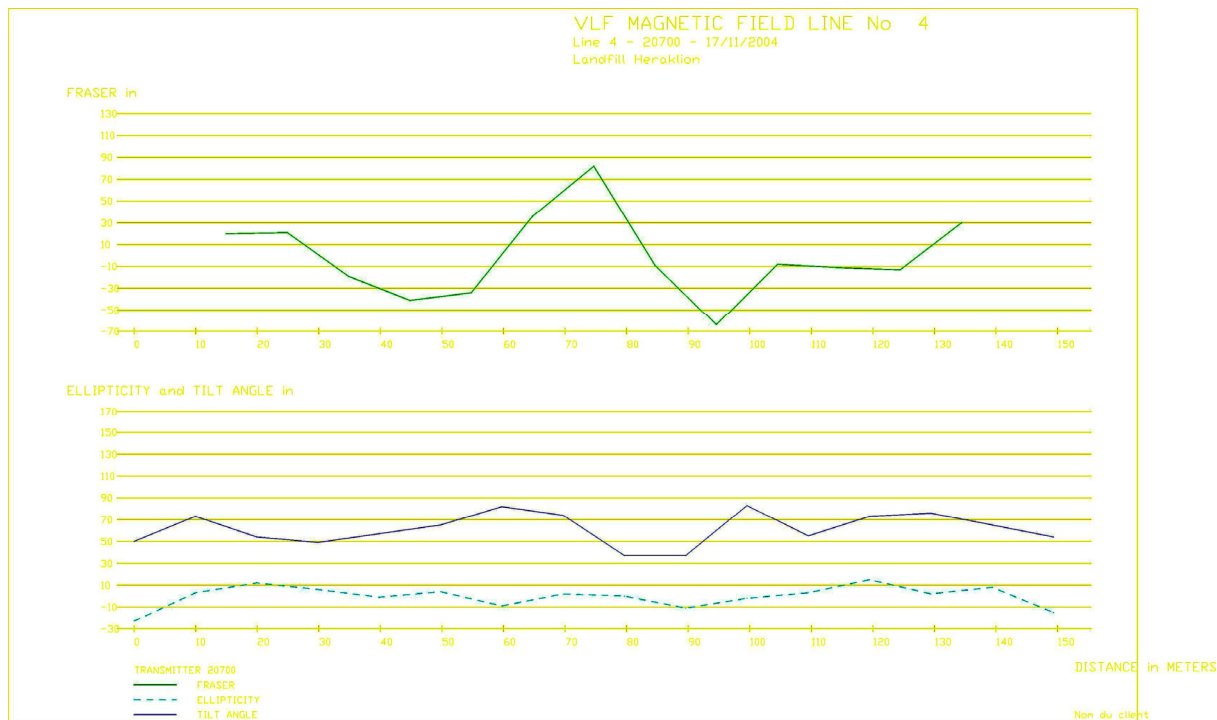
Αντίθετα, από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγωγίμες ζώνες από τα 40-90 μέτρα και από τα 115-145 μέτρα οι οποίες όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τις μετρήσεις γεωηλεκτρικής τομογραφίας για την ίδια γραμμή και για τα ίδια μέτρα στα οποία εντοπίζονται τα διασταλλάζοντα με μεγάλα πάχη και ρηχότερα από τις υπόλοιπες θέσεις.



Σχήμα 4.16. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 3 για τη συχνότητα 17400Hz.



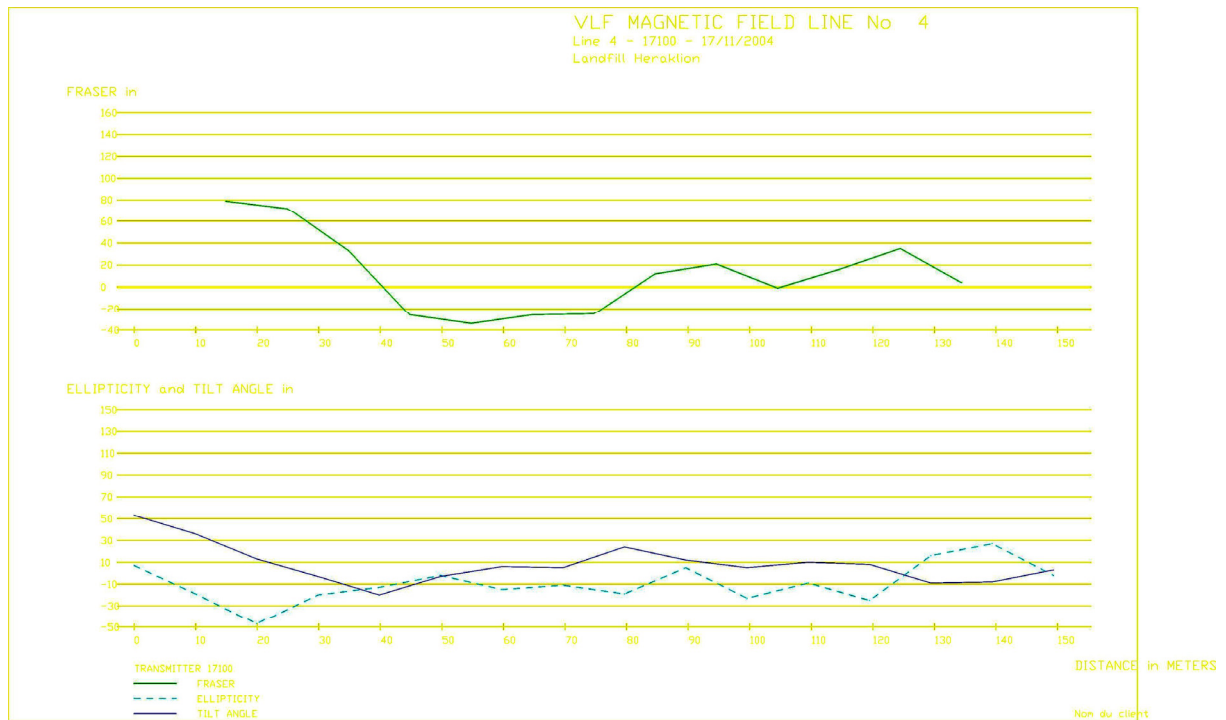
Σχήμα 4.17. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 3.



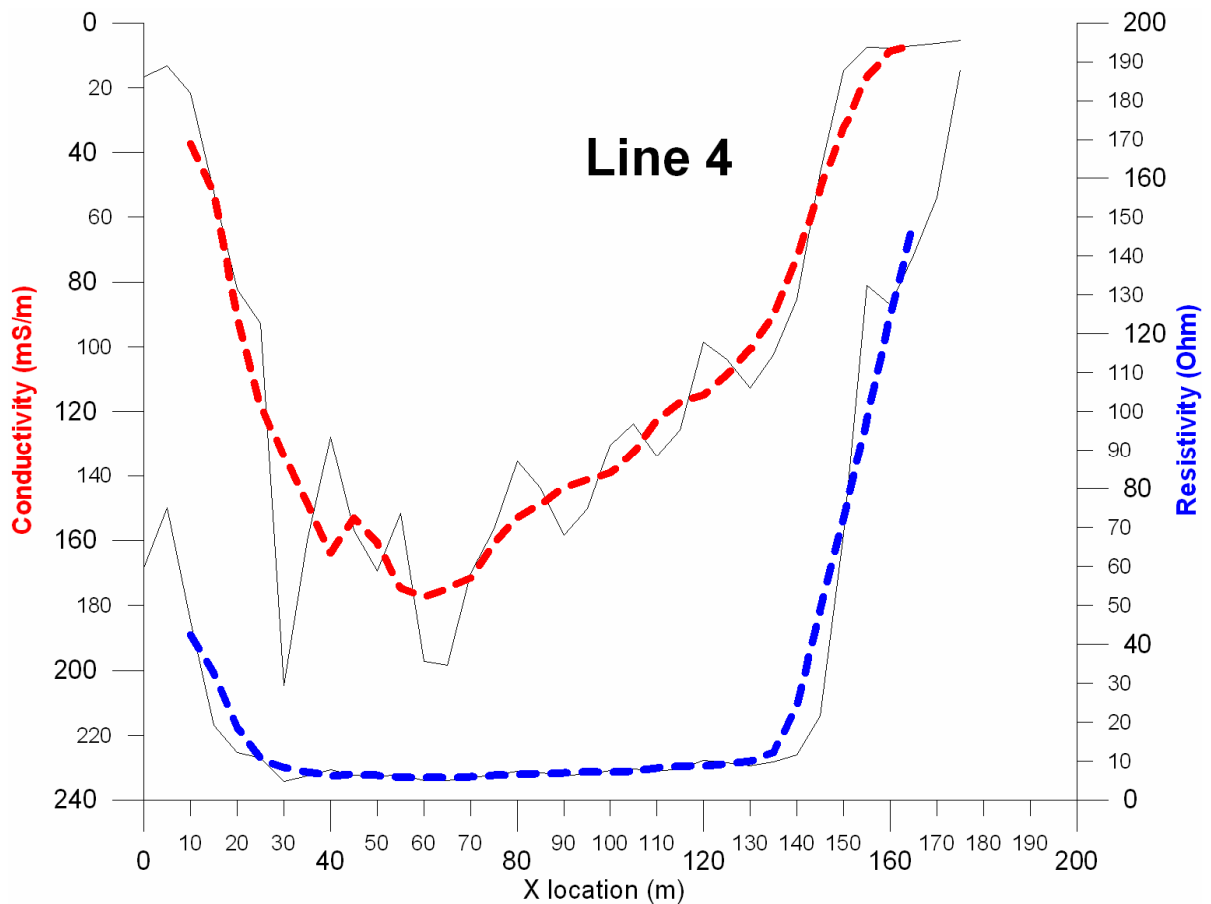
Σχήμα 4.18. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 4 για τη συχνότητα 20700Hz.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκε 1 αγώγιμη ζώνη από τα 60-85 μέτρα η οποία δεν επιβεβαιώθηκε από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

Αντίθετα, από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγώγιμες ζώνες από τα 10-40 μέτρα και από τα 80-130 μέτρα οι οποίες όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα βρίσκονται σε απόλυτη συμφωνία με τις μετρήσεις αγωγιμότητας με το όργανο EM31 για την ίδια γραμμή και για τα ίδια μέτρα στα οποία εντοπίζονται θέσεις με υψηλότερη αγωγιμότητα από ότι το περιβάλλον υλικό και οι αποθέσεις.



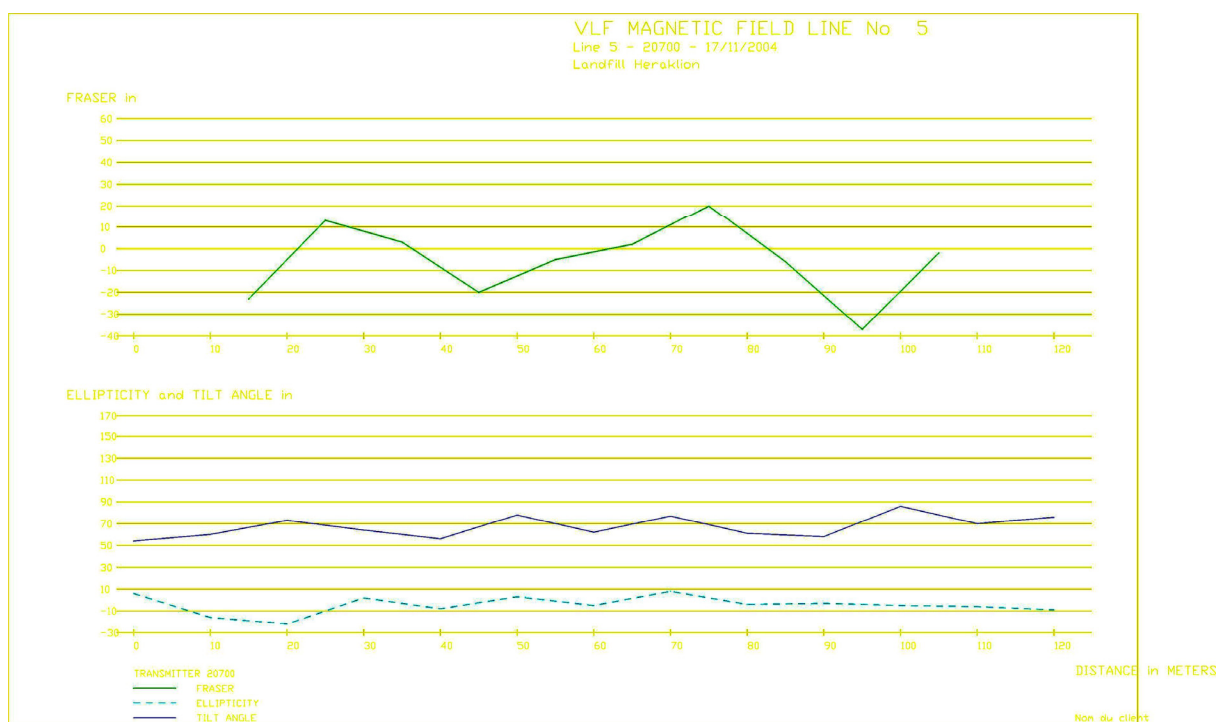
Σχήμα 4.19. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 4 για τη συχνότητα 17400Hz.



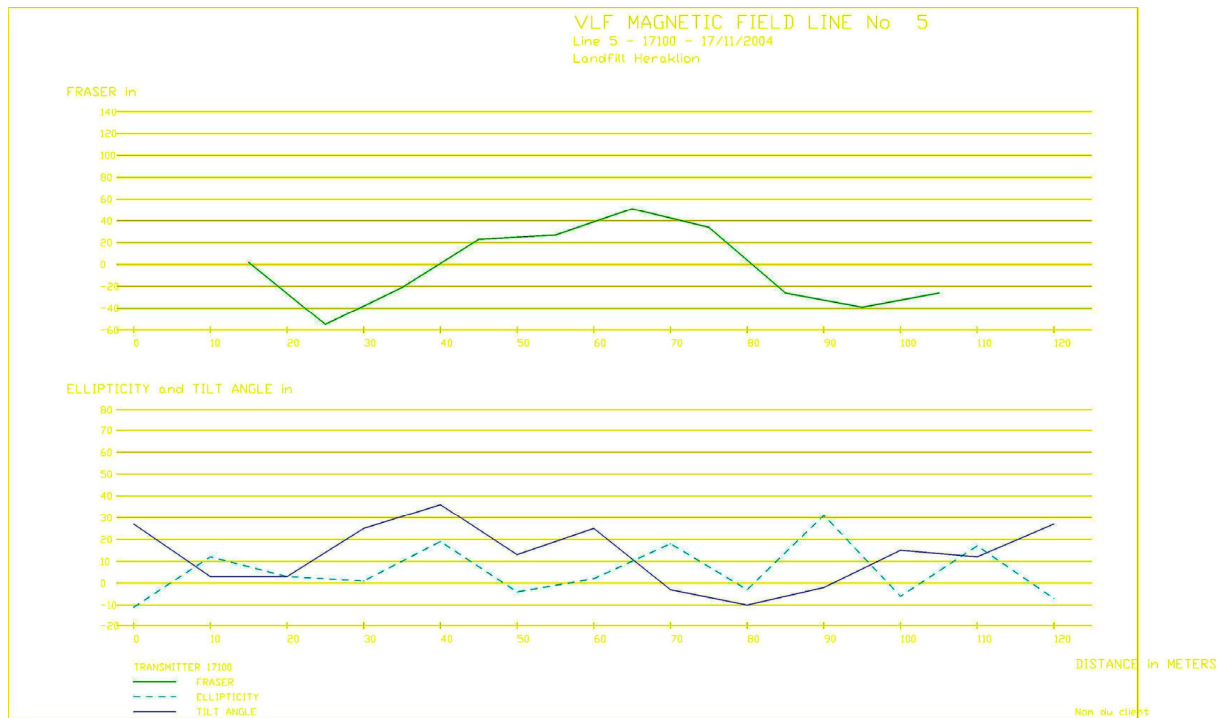
Σχήμα 4.20. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις EM31 στη γραμμή 4.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγώγιμες ζώνες από τα 20-35 μέτρα και από τα 65 έως τα 80 μέτρα, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

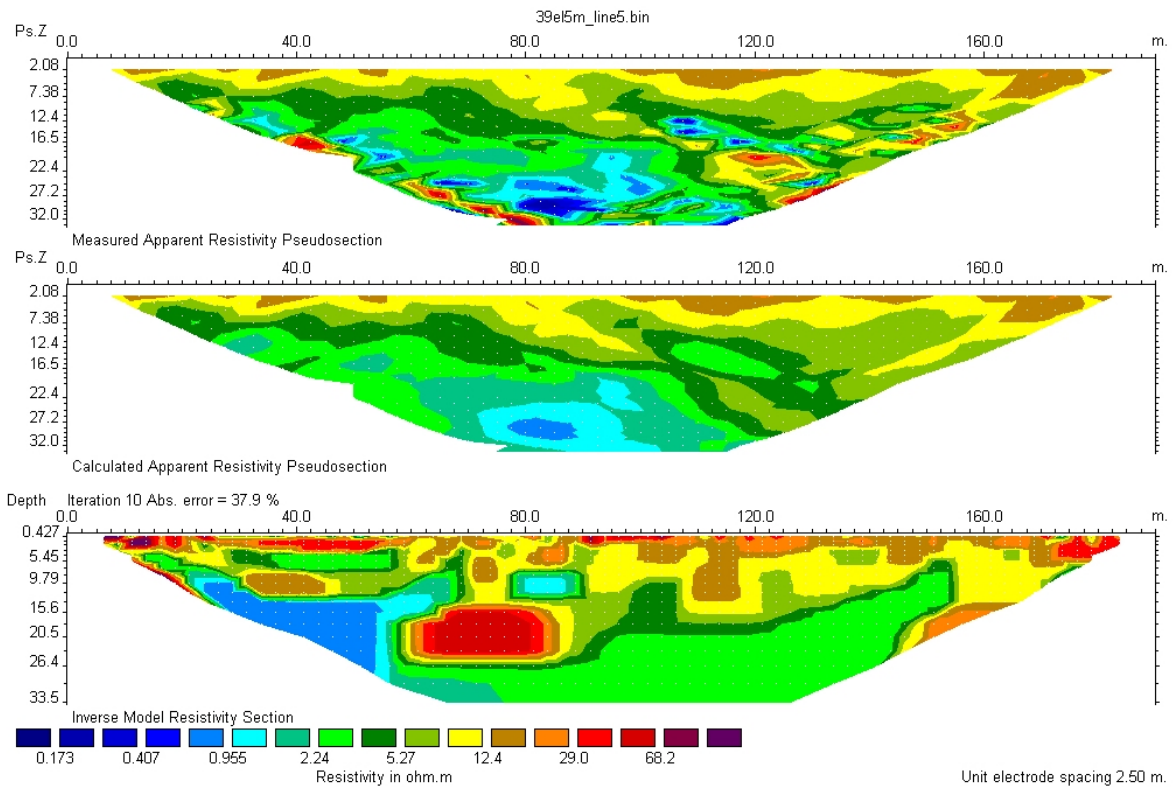
Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκε μια ενιαία αγώγιμη ζώνη από τα 40-80 μέτρα η οποία δεν επιβεβαιώνεται από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης (σχήμα 4.23).



Σχήμα 4.21. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 5 για τη συχνότητα 20700Hz.



Σχήμα 4.22. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 5 για τη συχνότητα 17100Hz.

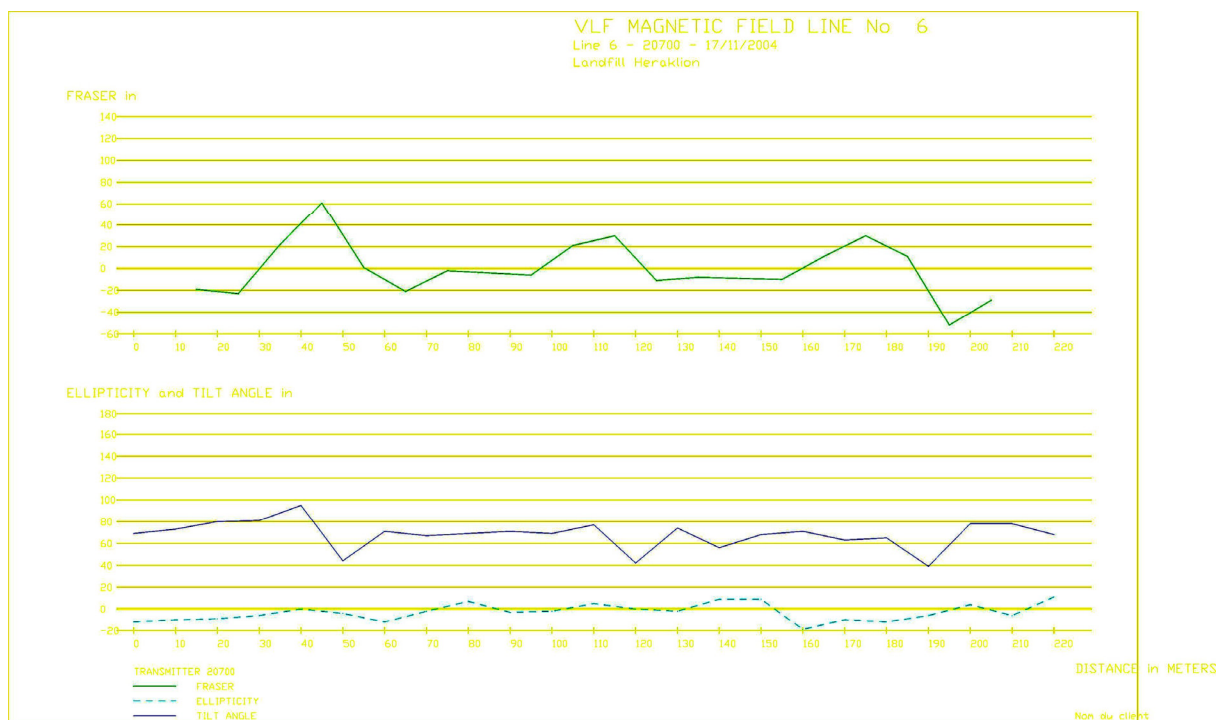


Σχήμα 4.23. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 5.

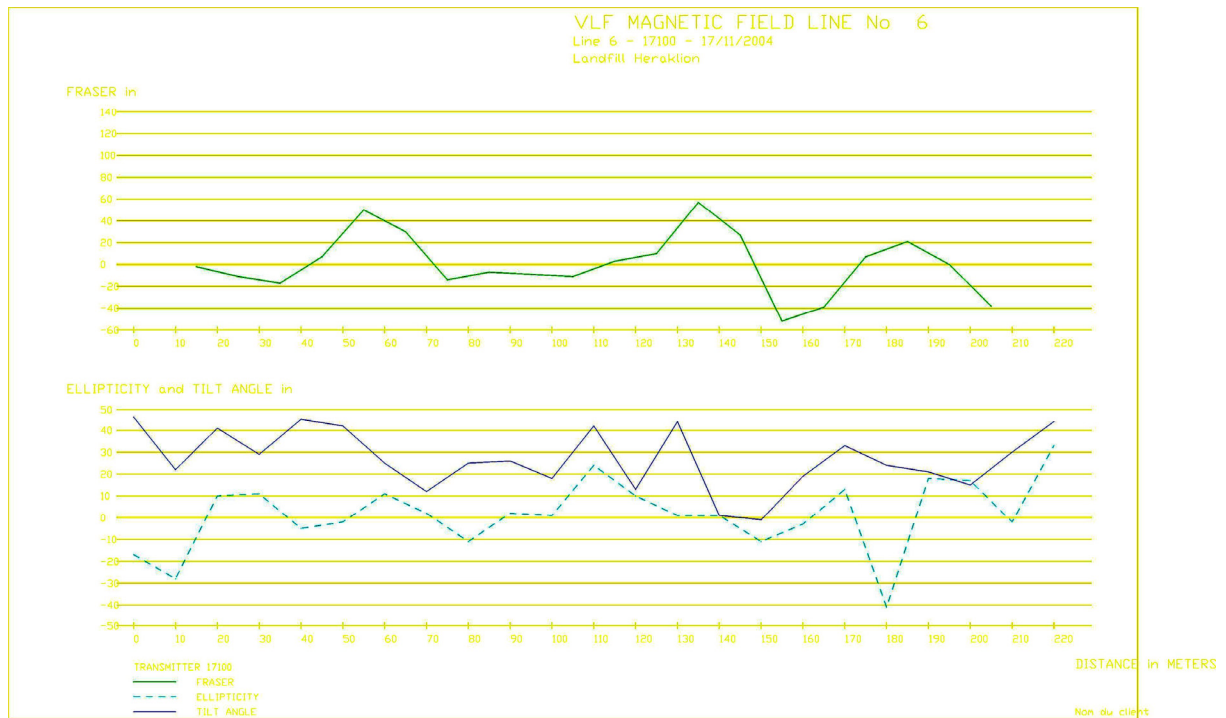


Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 30-50 μέτρα, από τα 100-120 μέτρα και από τα 160 έως τα 190 μέτρα, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

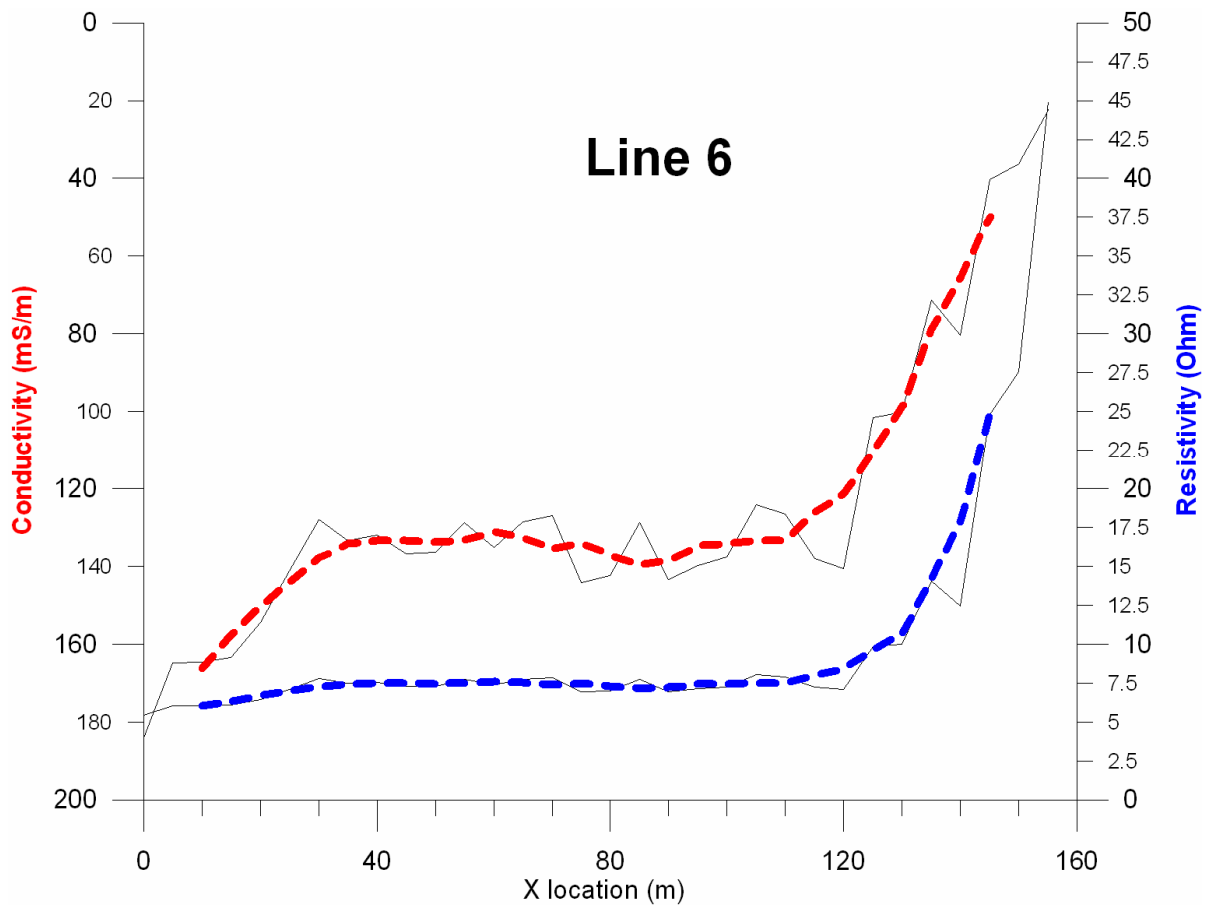
Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 40-70 μέτρα, από τα 115-150 μέτρα και από τα 170 έως τα 195 μέτρα, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης (σχήμα 4.26).



Σχήμα 4.24. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 6 για τη συχνότητα 20700Hz.



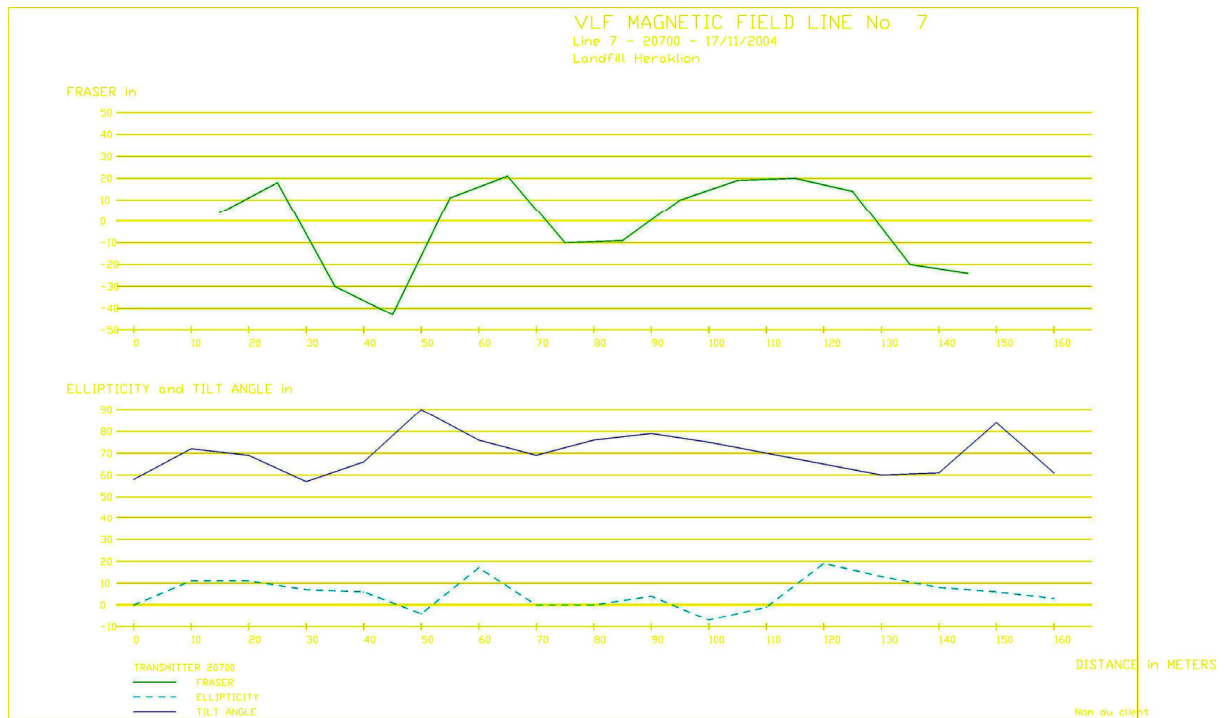
Σχήμα 4.25. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 6 για τη συχνότητα 17400Hz.



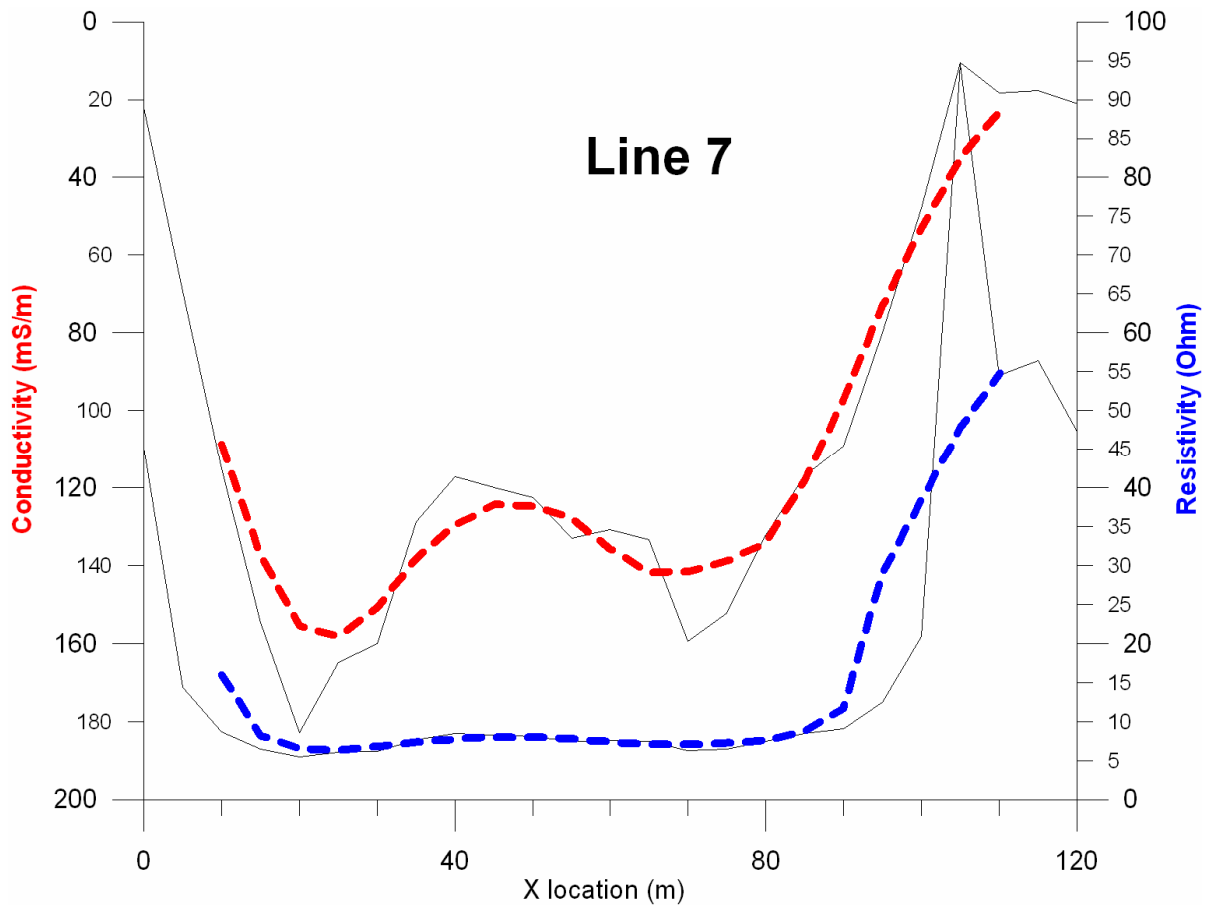
Σχήμα 4.26. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις EM31 στη γραμμή 6.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 15-30 μέτρα, από τα 50-70 μέτρα και από τα 90 έως τα 130 μέτρα, οι οποίες ζώνες βρίσκονται σε συμφωνία με τις μετρήσεις της κατανομής των αγωγιμοτήτων κατά μήκος της εν λόγω διατομής με το όργανο EM31 και στις ίδιες θέσεις (σχήμα 4.28).

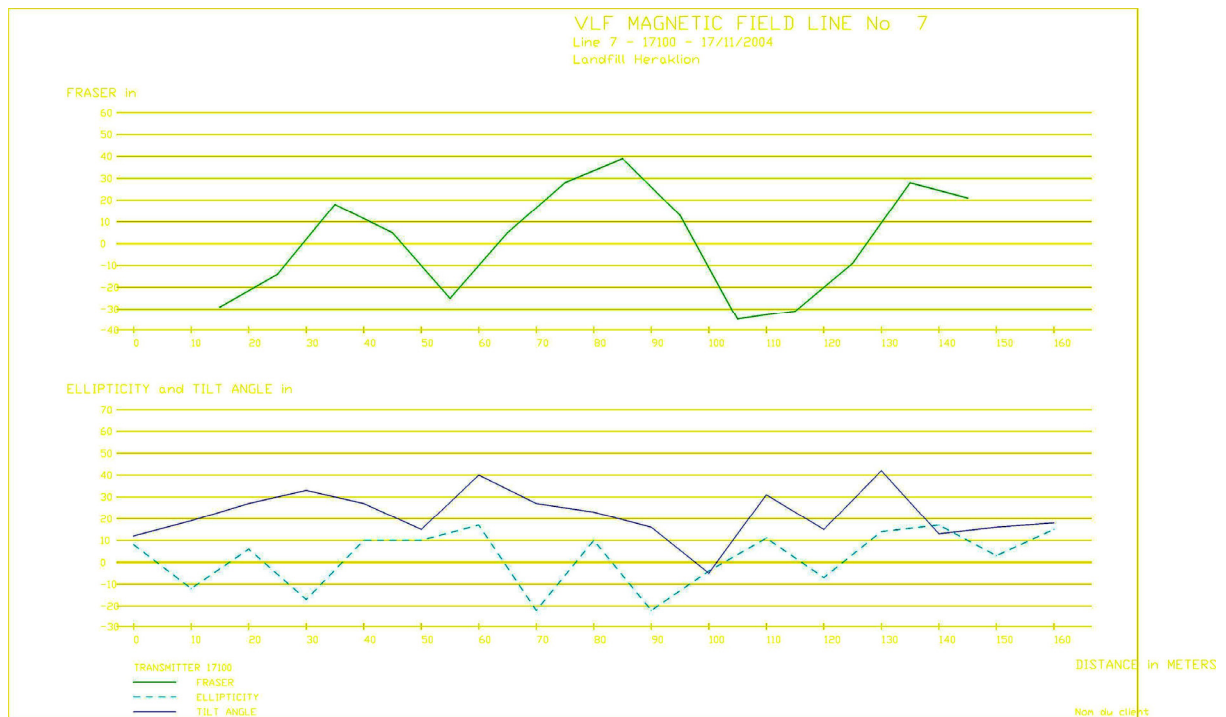
Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 30-50 μέτρα, από τα 65-100 μέτρα και από τα 130 έως το τέλος της διατομής, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.



Σχήμα 4.27. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 7 για τη συχνότητα 20700Hz.



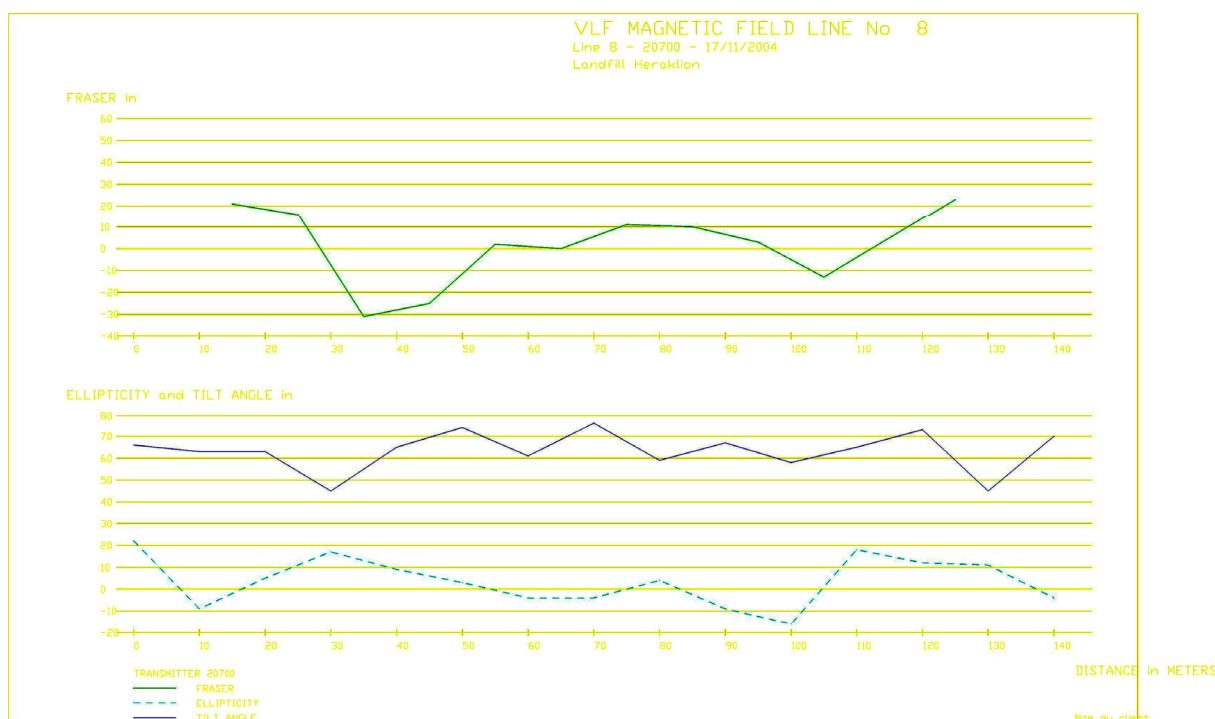
Σχήμα 4.28. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις EM31 στη γραμμή 7.



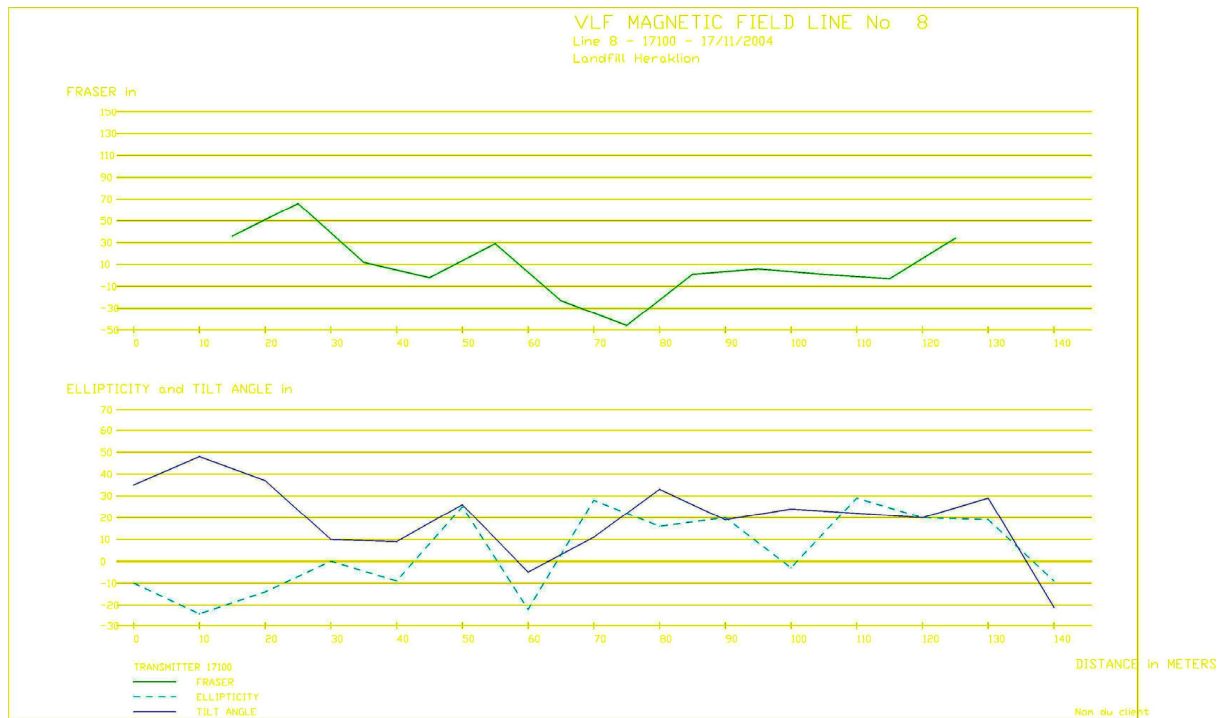
Σχήμα 4.29. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 7 για τη συχνότητα 17400Hz.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 3 αγώγιμες ζώνες από τα 10-30 μέτρα, από τα 65-95 μέτρα και από τα 115 έως το πέρας της διατομής, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

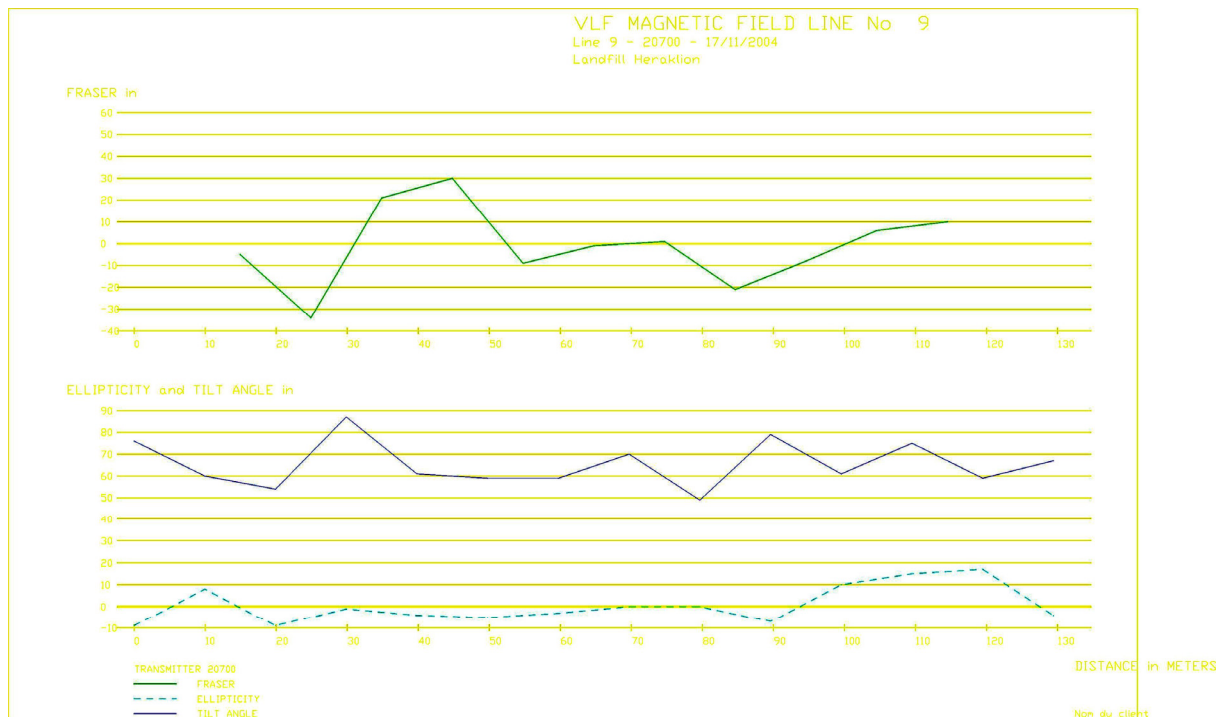
Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγώγιμες ζώνες από τα 15-35 μέτρα και από τα 50 έως τα 70 μέτρα, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.



Σχήμα 4.30. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 8 για τη συχνότητα 20700Hz.



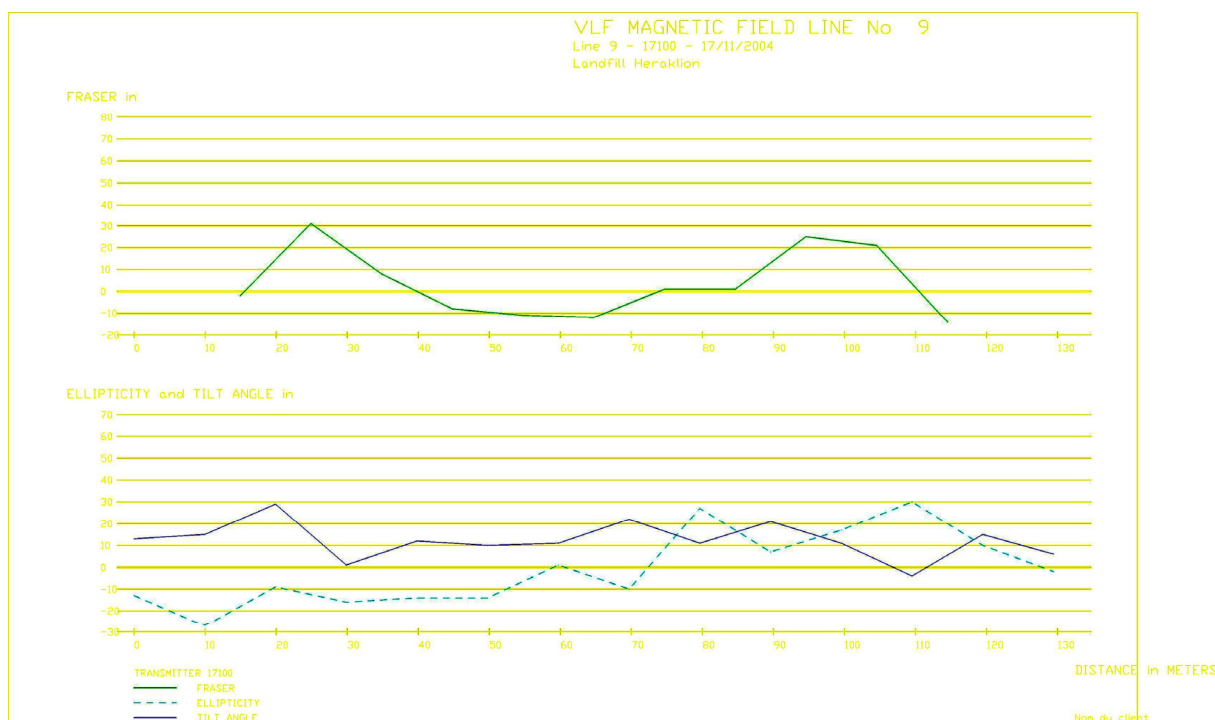
Σχήμα 4.31. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 8 για τη συχνότητα 17400Hz.



Σχήμα 4.32. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 9 για τη συχνότητα 20700Hz.

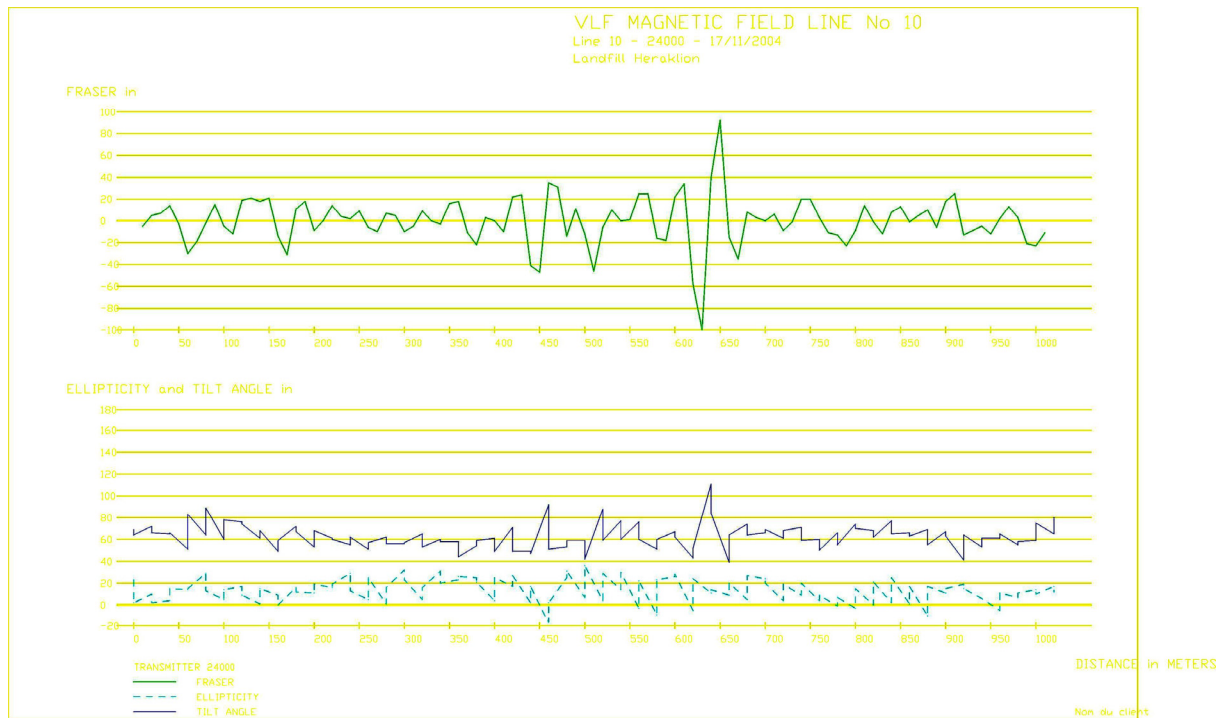
Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 20700 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγωγίμες ζώνες από τα 30-55 μέτρα και από τα 100 έως το πέρας της διατομής, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

Από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων της μέτρησης VLF για τη συχνότητα των 17100 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν 2 αγωγίμες ζώνες από τα 15-40 μέτρα και από τα 85 έως τα 110 μέτρα, οι οποίες ζώνες δεν επιβεβαιώθηκαν από καμιά από τις υπόλοιπες μετρήσεις που εκτελέστηκαν στην ίδια γραμμή μέτρησης.

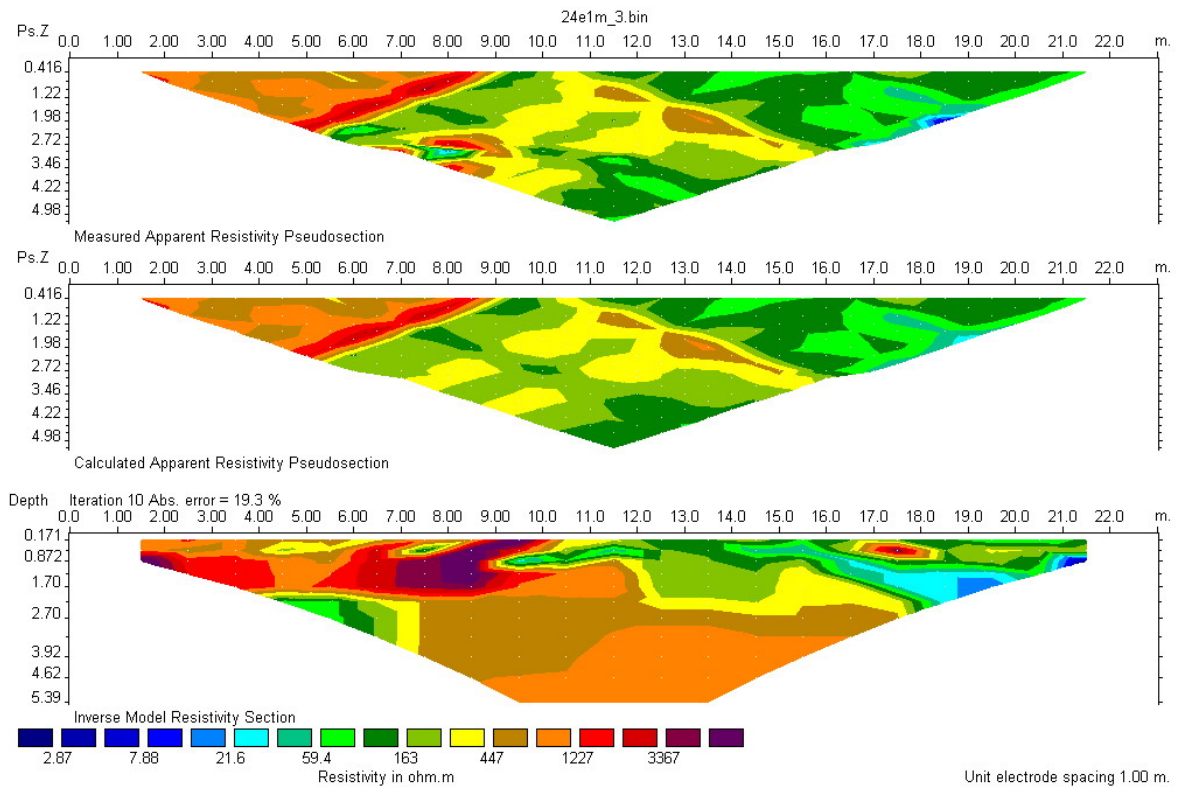


Σχήμα 4.33. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 9 για τη συχνότητα 17400Hz.

Με βάση τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις VLF για τη συχνότητα των 24000 Hz προκύπτει ότι εντοπίστηκαν πολλές μικρές αγωγίμες ζώνες αλλά μια από αυτές παρουσιάζεται με μεγάλο πλάτος και εντοπίζεται από τα 600-650 μέτρα. Η αγωγίμη ζώνη σχετίζεται άμεσα με τη ρηξιγενής ζώνη που εντοπίστηκε στη γεωηλεκτρική τομογραφία του σχήματος 4.35



Σχήμα 4.34. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις VLF στη γραμμή 10 για τη συχνότητα 24000Hz.



Σχήμα 4.35. Παρουσίαση των τομογραφικών αποτελεσμάτων κατά μήκος της γραμμής 10.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### 5.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

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

1. Η μέθοδος VLF δεν μπορεί με ασφάλεια να εφαρμοστεί σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχει καλή λήψη σήματος λόγω εκτέλεσης των μετρήσεων σε βαθείς και επιμήκεις λεκάνες.
2. Η μέθοδος VLF δεν μπορεί να εφαρμοστεί με ασφάλεια σε θέσεις όπου υπάρχει απόθεση μεταλλικών αντικειμένων που εισάγουν θόρυβο κατά την εκτέλεση των μετρήσεων.
3. Η μέθοδος VLF μπορεί να αναγνωρίσει την παρουσία ρηχών αγώγιμων ζωνών όπως θέσεις συγκέντρωσης διασταλαζόντων όπως παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.
4. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από την εφαρμογή της μεθόδου VLF 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.



## 6. 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, 2<sup>nd</sup> 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. 60<sup>th</sup> 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*, 2<sup>nd</sup> 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, 103<sup>rd</sup> 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. 59<sup>th</sup> Ann. Fall Tech. Conf.*, pape SPE 13285.
- ✓ **Medlin, W. L. and Alhilali, K. A., 1990,** Shear wave porosity logging in sands: 65<sup>th</sup> 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: 60<sup>th</sup> Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophysics, Expanded Abstracts, 22-25.

## ABSTRACT

An integrated suite of environmental methods was used to characterize the hydrogeological, geological and tectonic regimes of the study area, to determine the geometry of the landfill (depth and spatial extent of electrically conductive anomalies), to define the anisotropy caused by bedrock fabric fractures and to locate potential zones of electrically conductive contamination.

The study area which covers an area of about 0.08 Km<sup>2</sup> is a municipal solid waste site (MSW), located 20Km West of Herakleion in the central part of Crete (S. Greece). The landfill is located in a northwest oriented valley with highlands to the northeast and southwest.

The combination of geophysical methods and chemical analysis are commonly implemented for characterization and management of landfills. At the particular site, geophysical methods were focused on studying the electrical insulating properties of the materials, electrical conducting properties of fluids (leachates) and electromagnetic properties of the disturbed regolith materials in the burial zones. Three different types of geophysical surveys were performed: 1) 2D electrical tomography (ERT), 2) electromagnetic measurements using very low frequencies (VLF) and 3) electromagnetic conductivity (EM31). Furthermore, in order to calibrate the geophysical methods dielectric spectrometry measurements are conducted. To evaluate the environmental degradation of the area, soil and liquids samples were collected.





**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ**































