

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ
ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΥΖΩΝΩΝ.**

ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΡΗΓΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ
Α.Ε.Μ : 3653

Επιβλέποντες: Α) Τσόκας Γρηγόριος, Καθηγητής ΑΠΘ
Β) Βαργεμέζης Γεώργιος, Λέκτορας ΑΠΘ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

- Απρίλιος 2005 -

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ:

**ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ
ΥΠΟΓΕΙΑΣ ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ
ΕΥΖΩΝΩΝ.**

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ : ΡΗΓΑΣ ΜΙΧΑΛΗΣ
Α.Ε.Μ : 3653**

Επιβλέποντες: Α) Τσόκας Γρηγόριος, Καθηγητής ΑΠΘ
Β) Βαργεμέζης Γεώργιος, Λέκτορας ΑΠΘ

**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ**

- Απρίλιος 2005 -

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 4 -
2	ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	6
2.1	ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	6
2.2	ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	9
3	ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	10
3.1	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	10
3.2	ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	11
4	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	12
4.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	12
4.2	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ.....	13
5	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ (ΗΜ).....	16
5.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	16
5.2	ΧΡΗΣΕΙΣ:.....	17
5.3	ΣΧΕΣΕΙΣ MAXWELL.....	17
5.4	ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (Z).....	19
5.5	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ (ΗΜ) ΜΕΘΟΔΩΝ.....	19
6	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF.....	20
6.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	20
6.2	ΑΡΧΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF.....	22
6.3	ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ.....	25
6.4	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	27
6.5	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ.....	28
6.5.1	Πλεονεκτήματα.....	28
6.5.2	Μειονεκτήματα:.....	28
6.6	Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ VLF.....	29
6.7	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ.....	31
6.7.1	Γενικά.....	31
6.7.2	Φίλτρα.....	31
6.7.3	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΝΩΝΑΛΙΕΣ.....	34
6.7.4	ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΟ ΑΓΩΓΟΥ.....	36
6.7.5	ΚΛΙΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.....	37
6.8	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	38
6.9	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	39
7	ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ.....	42
7.1	ΓΕΝΙΚΑ.....	42
7.2	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΕΥΣΕΩΝ VLF.....	44
8	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	66
8.1	Συμπεράσματα:.....	66
8.2	Προτάσεις:.....	67

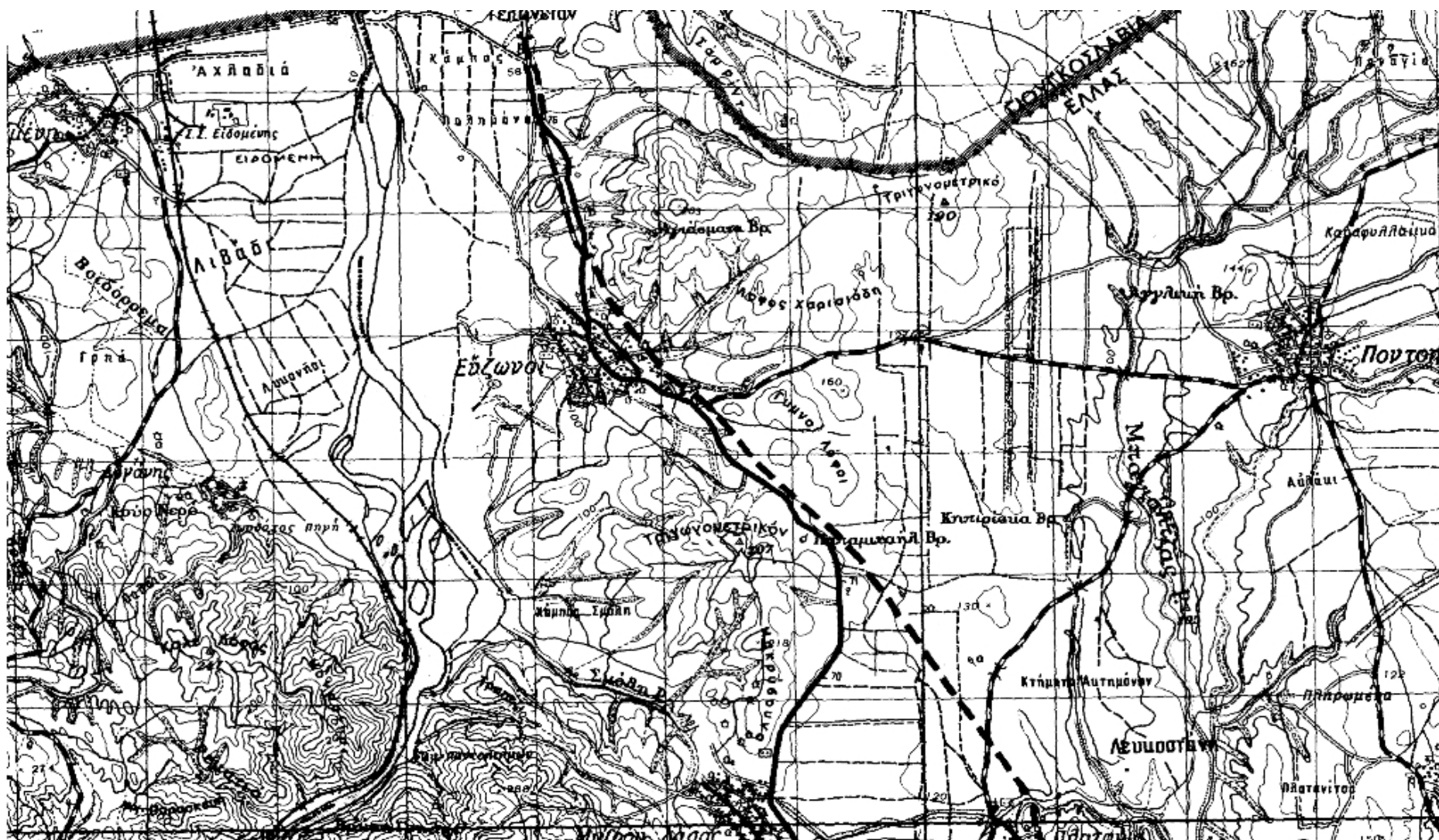
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εργασία έλαβε χώρα στην περιοχή των «ΕΥΖΩΝΩΝ» του νομού Κιλκίς. Ο νομός Κιλκίς καταλαμβάνει το βόρειο τμήμα της Κεντρικής Μακεδονίας και συνορεύει από ανατολικά με τον νομό Σερρών, από δυτικά με τον νομό Πέλλας, από νότια με τον νομό Θεσσαλονίκης και από βόρεια με την δημοκρατία των Σκοπίων. Στα σχήματα 1 και 2 που ακολουθούν δίνονται ο πολιτικός – μορφολογικός χάρτης και ο τοπογραφικός χάρτης της Μακεδονίας αντίστοιχα. Στον πρώτο χάρτη με κόκκινο πλαίσιο σημειώνεται η ευρύτερη περιοχή του χώρου, όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα.

Σκοπός της εργασίας είναι ο εντοπισμός υπόγειας υδροφορίας. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε η γεωφυσική μέθοδος των VLF. Η συγκεκριμένη μέθοδος θα εξεταστεί αναλυτικά πιο κάτω, ενώ η ερμηνεία των αποτελεσμάτων θα δοθεί στο τελευταίο κεφάλαιο (με την παρουσίαση και των αντίστοιχων φιλτραρισμένων δεδομένων). Πριν την αναφορά μας στη μέθοδο VLF, γίνεται μια γενική τοποθέτηση στις μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και μια σύντομη αναφορά τόσο στις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους (όπου εντάσσεται η μέθοδος VLF) όσο και στις ηλεκτρικές μεθόδους.



Σχήμα 1-1. Μορφολογικός χάρτης ευρύτερης περιοχής έρευνας.

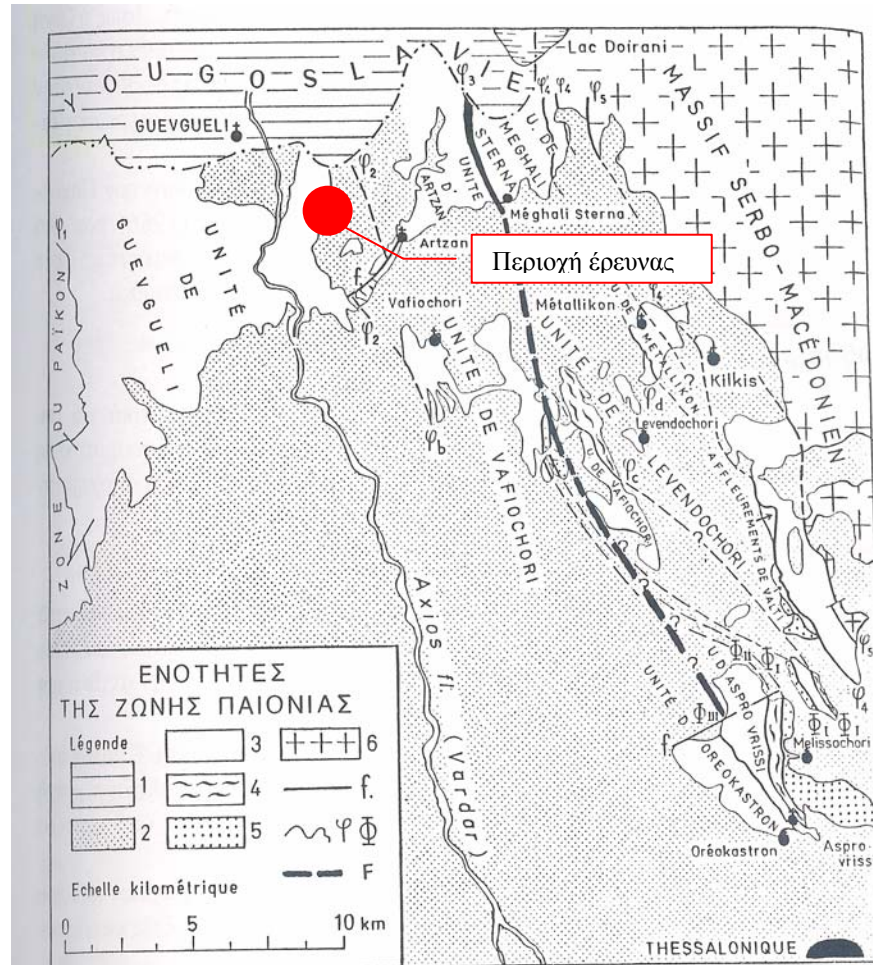


Σχήμα 1-2. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής έρευνας.

2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

2.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ – ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

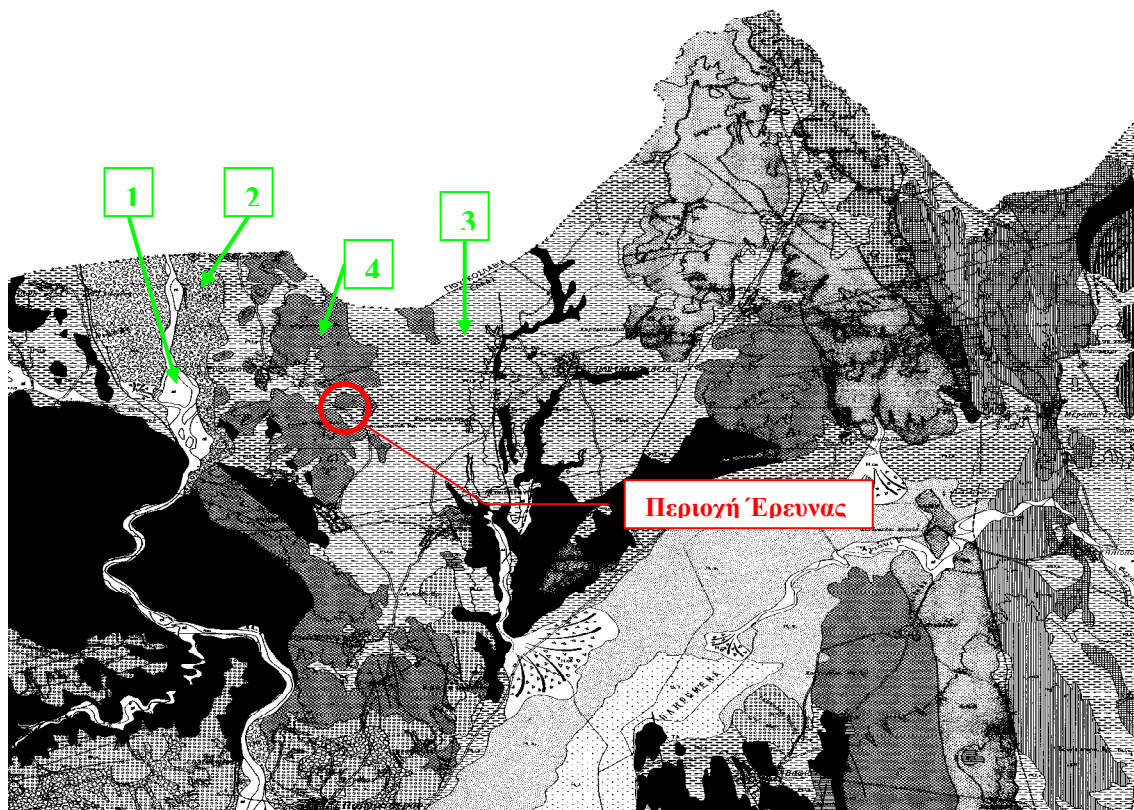
Η περιοχή της εργασίας ανήκει στον ευρύτερο χώρο των Εσωτερικών Ελληνίδων και συγκεκριμένα στη ζώνη Αξιού στην αύλακα της Παιονίας (Σχήμα 2-1)



Σχήμα 2-1: Σκαρίφημα των ενοτήτων της ζώνης Παιονίας. 1: Γιουγκοσλαβία, 2: σχηματισμοί μετα-τεκτονικοί Ποντίου και Τεταρτογενούς, 3: σχηματισμοί αλπικοί, 4: κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο της ζώνης, 5: φλύσχης, 6: κρυσταλλοσχιστώδες της Σερβομακεδονικής, f: ρήγμα, φ και Φ: ανώμαλες επιφάνειες (κατά Mercier 1966), F: πιθανό όριο Παιονίας – Περιοδοπικής. (ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, 1985)

Στο γεωλογικό χάρτη του Σχήματος 2-2 παρουσιάζεται η γενική γεωλογική δομή της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα. Σύμφωνα με τα στοιχεία του χάρτη και της επιτόπιες παρατηρήσεις, τα ιδιαίτερα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής είναι τα εξής:

Παρατηρείται ένα πακέτο αποσαθρωμένων στρωμάτων μέσου πάχους 35 μέτρων από ποταμοχειμάρριες άστρωτες αποθέσεις στα πρανή των κοιλάδων του Αξιού. Μεταφερμένα προϊόντα αποσάθρωσης αποτελούνται κυρίως από ερυθρές αμμούχες αργίλλους, αργιλλούχους άμμους και σπανιότερα από διάσπαρτα χαλίκια και κροκάλες. Κατά θέσεις υπάρχουν φακοί αμμοχαλίκων και φωλιές λευκών ασβεστολιθικών τόφφων. Νοτιοδυτικά και Βορειοανατολικά παρατηρείται επαφή με σύστημα φλεβών, του οφιολιθικού συμπλέγματος, αποτελούμενο σχεδόν αποκλειστικά από διαβάσεις. Κατά θέσεις εμφανίζονται υποθαλάσσιες εκχύσεις με ασβεστίτη και μαξιλαροειδείς λάβες.



Σχήμα 2-2: Γεωλογικός χάρτης ΙΓΜΕ 1:50000, φύλλο ΕΥΖΩΝΩΝ.

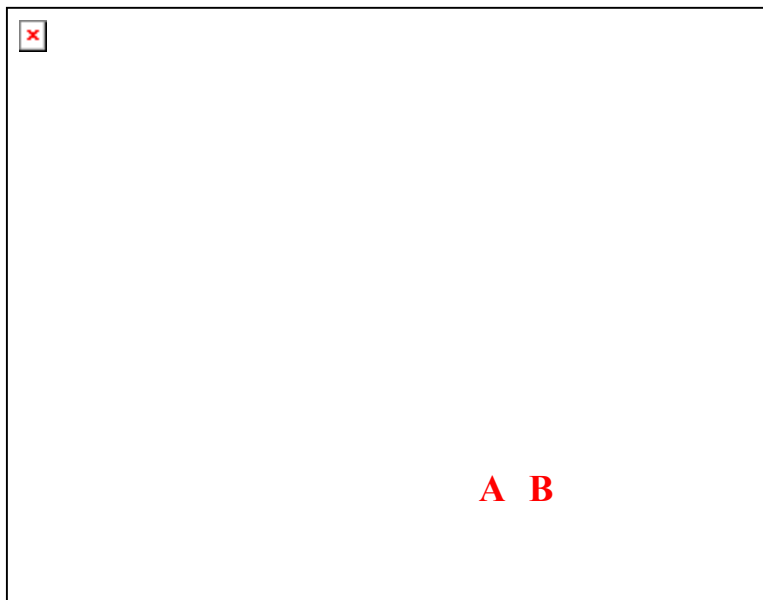
1: Αποθέσεις ποταμών και χειμάρρων, αποτελούμενες από αμμοχάλικες και άμμους, 2: ανώτερο σύστημα αναβαθμίδων, ιζήματα αποτελούμενα από ίλυ, άργιλλο και άμμο 3: Πλειστοκαινικές ποταμοχειμάρριες αναβαθμίδες, 4: Σύστημα φλεβών του οφιολιθικού συμπλέγματος, αποτελούμενο σχεδόν αποκλειστικά από διαβάση.

Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας - Α.Π.Θ.

2.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Υδροφορία στους σχηματισμούς που αναφέραμε στην περιοχή έρευνας δεν αναμένεται, παρά μόνο σε ζώνες ρηγμάτωσης όπου είναι δυνατή η κατείσδυση και η κυκλοφορία νερού.

Στοιχεία για την υπόγεια υδροφορία της περιοχής δεν υπάρχουν, εκτός από τα αποτελέσματα δύο γεωτρήσεων που πραγματοποιήθηκαν στα σημεία Α και Β του Σχήμα 2-4, και η οποία διέτρησε μέχρι τα 15 μέτρα αποσαθρωμένο υλικό, μέχρι τα 200 μέτρα συμπαγές πέτρωμα και απέδωσε υδροφορία της τάξης των 5 κυβικών μέτρων ανά ώρα.



Σχήμα 2-4: Ο τοπογραφικός χάρτης της περιοχής έρευνας, και τα σημεία Α και Β όπου έχουν γίνει γεωτρήσεις

3 ΓΕΩΦΥΣΙΚΗ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗ

3.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Γεωφυσική Διασκόπηση είναι η μελέτη της δομής των απρόσιτων στην άμεση παρατήρηση επιφανειακών στρωμάτων του γήινου φλοιού με βάση μετρήσεις γεωφυσικών μεγεθών (δυναμικό (V), χρόνοι διαδρομής σεισμικών κυμάτων, ένταση βαρύτητας (g), ένταση του μαγνητικού πεδίου (H) κ.α) με σκοπό τον εντοπισμό γεωλογικών συνθηκών οικονομικής σημασίας.

Πρέπει να τονιστεί ότι στις Γεωφυσικές Διασκοπήσεις, δεν ενδιαφερόμαστε για αυτές καθ' αυτές τις τιμές των διαφόρων φυσικών μεγεθών, αλλά για τις μεταβολές τους.

Η πρώτη προσπάθεια για Γεωφυσική Διασκόπηση έγινε στα μέσα του 17^{ου} αιώνα για την εύρεση σιδήρου με την χρήση μαγνητικής πυξίδας. Από τότε οι διάφορες μέθοδοι της βελτιώθηκαν με την Γεωφυσική Διασκόπηση να γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη στα μέσα του 20^{ου} αιώνα. Σήμερα διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στον εντοπισμό μεταλλευμάτων και πετρελαίου, κυρίως λόγω του ότι αποτελεί μια φθηνή (σε σχέση με άλλες μεθόδους) και αρκετά αξιόπιστη μέθοδο.

Η βασική σημασία της Γεωφυσικής Διασκόπησης έγκειται στο γεγονός ότι με τον προσδιορισμό πιθανών δομών που σχετίζονται με κοιτάσματα πετρελαίου, αυξάνεται η πιθανότητα επιτυχών γεωτρήσεων. Ακόμη εφαρμόζονται στην ανεύρεση μεταλλευμάτων, ενώ σημαντική είναι η προσφορά της στον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων του εδάφους, στη θεμελίωση τεχνικών έργων (φράγματα, γέφυρες), στον **εντοπισμό υδροφόρων οριζόντων**, στα γεωθερμικά πεδία, κτλ.

Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι οι Γεωφυσικές Μέθοδοι Διασκόπησης είναι αρκετά γρήγορες και φθηνές σε σχέση με άλλες μεθόδους (πχ γεωτρήσεις), αλλά λιγότερο αξιόπιστες. Γι' αυτό ο συνδυασμός δύο και τριών μεθόδων δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

Οι βασικές μέθοδοι Γεωφυσικής Διασκόπησης διακρίνονται σε πέντε (5) κατηγορίες. Αυτές είναι (α) οι σεισμικές, που διακρίνονται στις μεθόδους διάθλασης και ανάκλασης (β) οι βαρυτομετρικές (γ) οι μαγνητικές (δ) **οι ηλεκτρικές** και (ε) **οι ηλεκτρομαγνητικές**. Εκτός από τις πέντε (5) βασικές μεθόδους, σε ειδικές περιπτώσεις, μπορεί να εφαρμοστούν και άλλες όπως η ραδιομετρική και η θερμική.

Στην έρευνα για πετρέλαιο εφαρμόζεται κυρίως η σεισμική μέθοδος και ειδικότερα η μέθοδος ανάκλασης, ενώ οι βαρυτομετρικές και μαγνητικές χρησιμοποιούνται ως αναγνωριστικές. Στην έρευνα για μεταλλεύματα χρησιμοποιούνται κυρίως οι μαγνητικές οι ηλεκτρικές και οι ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι. Τέλος στην έρευνα για νερό χρησιμοποιούνται τόσο οι ηλεκτρικές όσο και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι.

4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Με τις Ηλεκτρικές Μεθόδους Διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του υπεδάφους, με σκοπό τον έμμεσο προσδιορισμό δομών οικονομικού ενδιαφέροντος. Η ποσότητα που μετράμε είναι συνήθως η **ηλεκτρική τάση (V)**, ενώ η ιδιότητα του εδάφους που μας ενδιαφέρει είναι η **ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ)**.

Οι Ηλεκτρικές Διασκοπήσεις διακρίνονται σε δύο (2) κατηγορίες. Στις ενεργητικές (Ε) (αυτές που το μετρούμενο ηλεκτρικό μέγεθος παράγεται από τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα και πεδία) και τις παθητικές (Π) (αυτές που μετράμε φυσικά ηλεκτρικά μεγέθη).

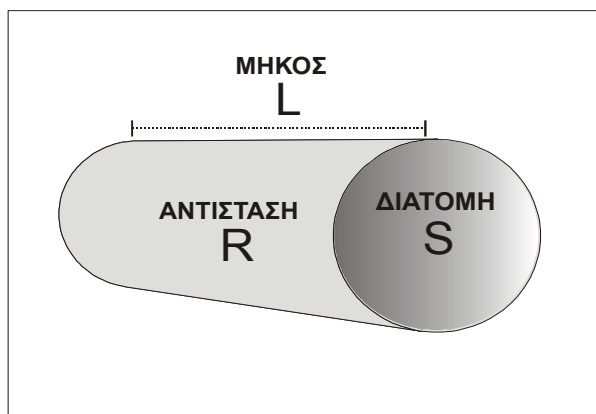
- **ΕΙΔΙΚΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ε)**
- Επαγόμενη Πόλωση (Ε)
- Ισοδυναμικές Γραμμές (Ε)
- Φυσικό Δυναμικό (Π)
- Τελλουρικά Ρεύματα (Π)

Οι Ηλεκτρικές Μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως, στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, στην Τεχνική Γεωλογία για την ανεύρεση του βάθους του μητρικού πετρώματος σε τοποθεσίες κατασκευής τεχνικών έργων (πχ φράγματα) κτλ. Λόγω του ότι μελετάμε μόνο τα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης, οι εν λόγω μέθοδοι δεν χρησιμοποιούνται για την εύρεση πετρελαίου.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω στις Ηλεκτρικές Μεθόδους Διασκόπησης μετράμε την (**V**) που προκαλείται από την εισαγωγή ηλεκτρικού ρεύματος στη γη, η οποία αντικατοπτρίζει τη δυσκολία με την οποία το ηλεκτρικό ρεύμα ρέει στο υπέδαφος. Με αυτό τον τρόπο μετράμε την ηλεκτρική αντίσταση του εδάφους. Γνωρίζοντας ότι οι διάφοροι γεωλογικοί σχηματισμοί έχουν διαφορετικές ηλεκτρικές αντιστάσεις, η γνώση της γεωηλεκτρικής δομής του υπεδάφους, μπορεί να αξιοποιηθεί και να μεταφραστεί σε γεωλογική δομή και έμμεση εύρεση δομών οικονομικού ενδιαφέροντος.

4.2 ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΩΝ

Αν έχουμε ένα κυλινδρικό κομμάτι πετρώματος, διατομής S , μήκους L και αντίστασης R (όπως στο σχήμα 4.1), τότε η ειδική ηλεκτρική αντίσταση ορίζεται σαν:



$$\rho = \frac{RS}{L}$$

ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: Ohm.m

Σχήμα 4-1. Σχηματική παράσταση ορισμού ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Το αντίστροφο $\sigma = 1/\rho$ ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα, με μονάδες μέτρησης 1/Ohm.m (ή Siemens/m).

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ) είναι μια από τις περισσότερες μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Μπορεί να πάρει τιμές από 10^{-6} (γραφίτης) μέχρι και θεωρητικά το άπειρο (∞) στον αέρα. Τα περισσότερα ιζηματογενή πετρώματα έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση ($1-10^3$ Ohm.m) μικρότερη από την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πλουτωνικών και μεταμορφωμένων πετρωμάτων ($10^3 - 10^5$ Ohm.m). Εξαίρεση αποτελεί ο συμπαγής ασβεστόλιθος ο οποίος έχει τιμές ($> 10^5$ Ohm.m). Στο πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις μερικών πετρωμάτων.

Τα περισσότερα ορυκτά οικονομικού ενδιαφέροντος (πχ γραφίτης) βρίσκονται σε περιβάλλον πολύ υψηλότερης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Γι' αυτό και οι συγκεκριμένες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό τους.

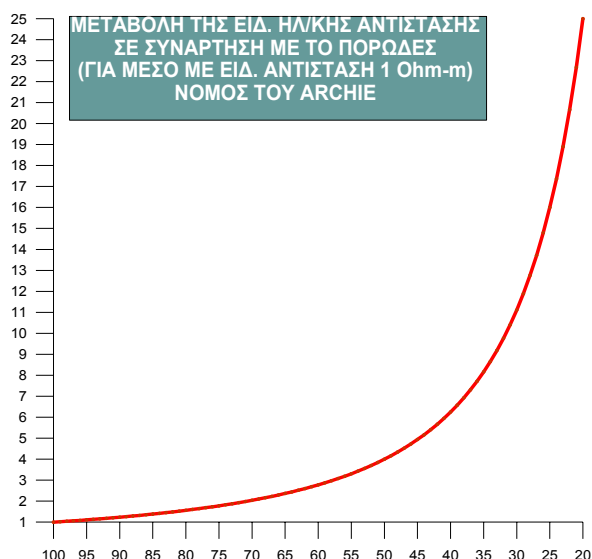
ΥΛΙΚΟ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	ΥΛΙΚΟ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ
ΑΕΡΑΣ	∞	ΨΑΜΜΙΤΗΣ	$1 - 1.10^8$
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ	3.10^{-1}	ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΙ	$20 - 2.10^3$
ΓΑΛΗΝΙΤΗΣ	2.10^{-3}	ΔΟΛΟΜΙΤΗΣ	$100 - 10^4$
ΧΑΛΑΖΙΑΣ	$4.10^{10} - 2.10^{14}$	ΑΜΜΟΣ	$1 - 1000$
ΑΣΒΕΣΤΙΤΗΣ	$1.10^{12} - 1.10^{13}$	ΑΡΓΙΛΟΣ	$1 - 100$
ΓΡΑΝΙΤΗΣ	$100 - 1.10^6$	ΥΠΟΓΕΙΟ ΝΕΡΟ	$0.5 - 300$
ΓΑΒΒΡΟΣ	$1.10^3 - 1.10^6$	ΘΑΛΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ	0.2
ΑΣΒΕΣΤΟΛΙΘΟΣ	$50 - 1.10^7$	ΟΦΕΙΟΛΙΘΟΙ	500

Πίνακας 4-1: Ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σημαντικών πετρωμάτων

Κατά τις ηλεκτρικές μεθόδους εισάγουμε ηλεκτρικό ρεύμα στη γη, το οποίο διαδίδεται με δύο (2) βασικούς τρόπους. (α) Μέσω των ιόντων αλάτων και ορυκτών που είναι διαλυμένα στο νερό και (β) μέσω των ελευθέρων ηλεκτρονίων.

Γενικά η ειδική ηλεκτρική αντίσταση εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες.

➤ **Πορώδες (Φ)** σύμφωνα με τον νόμο του Archie $\rho = \alpha \rho_v \Phi^{-m}$



α, m = σταθερές (τυπικές τιμές $\alpha=1$ και $m=2$)

Φ = πορώδες (όγκος νερού/ολικό όγκο)

ρ_v = ειδική αντίσταση του νερού των πόρων

Σχήμα 4-2. Μεταβολή ειδικής ηλ. αντίστασης σε συνάρτηση με το πορώδες (νόμος Archie).

➤ **Θερμοκρασία (θ):** Μικρές μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν την ηλεκτρική αγωγιμότητα των πετρωμάτων που είναι διαποτισμένα με νερό. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί ελάττωση του ιξώδους του νερού με συνέπεια την ελάττωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, όπως δίνεται από την πιο κάτω σχέση

$$\rho_{\theta} = \frac{\rho_{18}}{1 + a_{\theta}(\theta - 18^{\circ})}$$

Όπου ρ_{θ} και ρ_{18} είναι οι ειδικές αντιστάσεις σε θερμοκρασία θ και 18°C .

a_{θ} είναι ο θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης ($=0,025/^{\circ}\text{C}$)

- **Ηλικία**
- **Βάθος**
- **Χώρος απόθεσης**
- **Χημική σύσταση νερού**
- **Πιθανά ρήγματα**

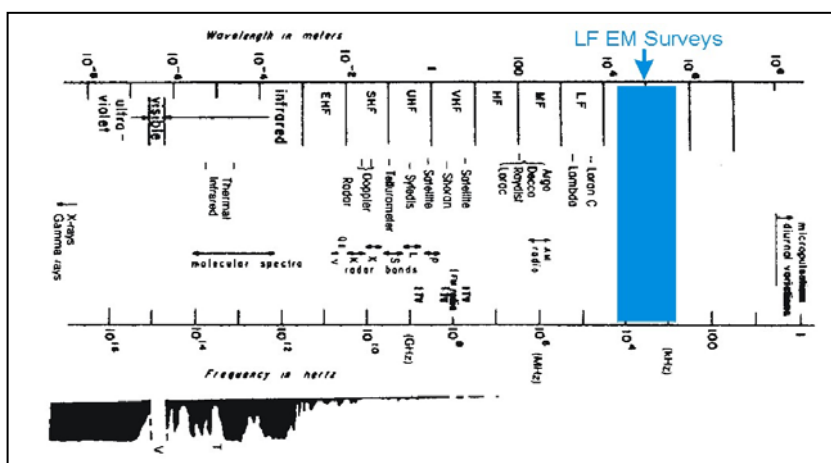
Ρηξιγενείς ζώνες σε συμπαγή πετρώματα που χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, πληρώνονται είτε από νερό είτε από λεπτομερή αργιλικά υλικά. Συνέπεια της διαδικασίας αυτής είναι η μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των ρηξιγενών ζωνών σύμφωνα με τον νόμο του Archie.

5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΔΙΑΣΚΟΠΗΣΗΣ (ΗΜ)

5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Είναι γνωστό ότι αν ένα χρονικά μεταβαλλόμενο πεδίο παραχθεί κοντά στην επιφάνεια της γης, τότε δημιουργούνται ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία μεταδίδονται στο υπέδαφος, όπου, αν συναντήσουν αγώγιμο σώμα επάγουν εναλλασσόμενο ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο με την σειρά του παράγει δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Το δευτερογενές ηλεκτρομαγνητικό πεδίο έχει την ίδια συχνότητα με το πρωτογενές αλλά διαφορετική φάση, πλάτος και διεύθυνση, τα οποία εξαρτώνται από την γεωηλεκτρική δομή του αγωγού (δηλ. το δευτερογενές πεδίο μεταφέρει πληροφορίες για τον αγωγό). Τα δύο ηλεκτρομαγνητικά πεδία καταγράφονται από τον δέκτη ως ένα συνιστάμενο πεδίο. Το αρχικό πεδίο μπορεί να είναι (α) τεχνητό, μακρινού πεδίου (VLF) ή κοντινού πεδίου (Τοπικού Πομπού) και (β) φυσικό (πχ Μαγνητοτελλουρικά ρεύματα).

Στις ΗΛΜ μεθόδους διασκόπησης χρησιμοποιούνται εναλλασσόμενα ηλεκτρομαγνητικά ρεύματα (σχετικά χαμηλής συχνότητας 1.000 – 10.000 Hz) τα οποία επάγονται στη γη χωρίς τη χρήση ηλεκτροδίων.



Σχήμα 5-1. Περιοχές συχνοτήτων διάφορων ΗΛΜ μεθόδων.

Οι ΗΛΜ μέθοδοι έχουν το πλεονέκτημα, σε σχέση με τις ηλεκτρικές μεθόδους, ότι μπορούν να εφαρμοστούν και σε περιπτώσεις κατά τις οποίες δε μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος όταν αυτό έχει μεγάλη

ειδική αντίσταση (π.χ. παγωμένο σε σημαντικό βάθος) οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν. Ακόμη είναι γρηγορότερες. Τέλος παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο.

5.2 ΧΡΗΣΕΙΣ:

- Εύρεση ορυκτών (Mineral exploration)
- Εύρεση νερού (Groundwater surveys)
- Έρευνα για υλικά οδόστρωσης (Landfill surveys)
- Ανίχνευση κοιλοτήτων (Detection of geological and artificial cavities)
- Εύρεση ρηγμάτων (Faults surveys)
- Γεωθερμική έρευνα (Geothermal investigation) κ.α

5.3 ΣΧΕΣΕΙΣ MAXWELL

Οι ΗΛΜ μέθοδοι διασκόπησης βασίζονται σε δύο (2) νόμους της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας. Στο νόμο του **Faraday** και στο νόμο του **Ampere**.

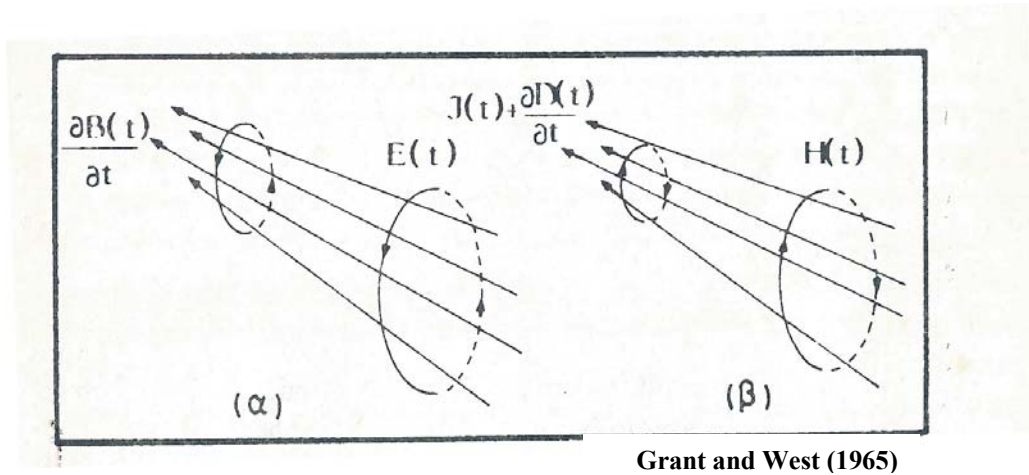
NOMOS FARADAY: « Η χρονική μεταβολή του μαγνητικού πεδίου σε ένα χώρο έχει ως συνέπεια τη γένεση στο χώρο αυτό ηλεκτρικού πεδίου, τέτοιου ώστε η παραγόμενη ηλεκτρεγερτική δύναμη να είναι ανάλογη αλλά αντίθετη προς το ρυθμό μεταβολής της μαγνητικής ροής». Ο νόμος αυτός εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση του Maxwell $\text{rot } E = - \frac{dB}{dt}$ όπου B = μαγνητική

επαγωγή(Tesla), t =χρόνος, E =η ένταση επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου (V/m). Σύμφωνα με αυτή τη σχέση όταν η μαγνητική ροή είναι κάθετη στο επίπεδο του πηνίου τότε το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το πηνίο έχει μέγιστη τιμή, ενώ όταν είναι παράλληλο μηδενίζεται (σχήμα 5.2.α).

NOMOS AMPERE: « Όταν ένας χώρος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, παράγεται μαγνητικό πεδίο του οποίου η ένταση είναι ανάλογη του ολικού ρεύματος που διαρρέει το χώρο και έχει διεύθυνση κάθετη προς τη διεύθυνση ροής του ρεύματος.» Ο νόμος αυτός εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση του

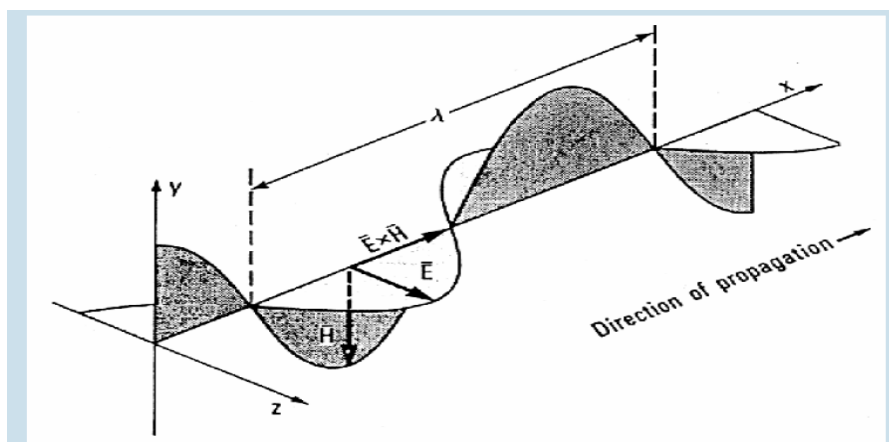
Maxwell $\text{rot}H = J + \frac{dD}{dt}$ όπου $D = \epsilon E$ και $\epsilon =$ διηλεκτρική σταθερά του μέσου.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει ότι όταν έχουμε ένα ευθύγραμμο αγωγό ο οποίος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα οι μαγνητικές γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγεται στο γύρω χώρο βρίσκονται σε επίπεδο κάθετο στη διεύθυνση του αγωγού (σχήμα 5.2.β).

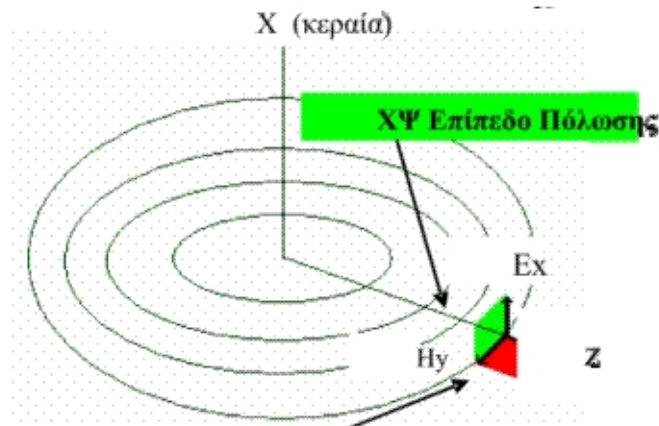


Σχήμα 5-2. Βασικές αρχές της ηλεκτρομαγνητικής θεωρίας.

Τα ηλεκτρικά και μαγνητικά διανύσματα σε ένα ΗΛΜ κύμα είναι κάθετα μεταξύ τους και στη διεύθυνση διάδοσης x . Η εύρεση της έντασης, H , του μαγνητικού πεδίου και της έντασης, E , του ηλεκτρικού πεδίου, δίνεται με πολύπλοκες εξισώσεις οι οποίες απλοποιούνται αν υποθέσουμε ότι το κύμα είναι πολωμένο και άρα τα επίπεδα H και E είναι κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



Σχήμα 5-3. Αρχές διάδοσης ΗΛΜ πεδίου.



Σχήμα 5-4. Επίπεδο πόλωσης ΗΛΜ πεδίου.

Ένταση μαγνητικού πεδίου:

$$H_y = H_0 e^{-az} \cos(\omega t - az)$$

Ένταση πυκνότητας ρεύματος:

$$J_y = \sqrt{\omega \mu \sigma} H_0 e^{-az} \cos(\omega t - az + \frac{\pi}{4})$$

$$a = \sqrt{\frac{\omega \mu \sigma}{2}}$$

5.4 ΒΑΘΟΣ ΔΙΕΙΣΔΥΣΗΣ (Z)

Το βάθος διείσδυσης (z) ενός ΗΛΜ κύματος, σε ομογενές μέσο, μέσα στη γη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$z = \frac{\kappa}{\sqrt{f \sigma}}$$

Όπου f = συχνότητα ΗΛΜ κύματος και σ = ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα μέσου διάδοσης, το κ δίνεται από τον τύπο

$$\kappa = -\ln\left(\frac{H_y}{H_0}\right) \frac{1}{\sqrt{\pi \mu}}$$

H_y = ένταση μαγνητικής συνιστώσας σε βάθος z
 H_0 = ένταση στην επιφάνεια
 μ = μαγνητική διαπερατότητα

5.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ (ΗΜ) ΜΕΘΟΔΩΝ

Οι ΗΛΜ μέθοδοι διακρίνονται (α) σε μεθόδους συνεχών κυμάτων (β) μεθόδους ασυνεχών κυμάτων και (γ) μαγνητοτελλουρικές μεθόδους. Οι μέθοδοι συνεχούς κύματος χωρίζονται σε i) Γωνίας κλίσης (VLF, AFMAG, Τοπικού πομπού) και ii) Φάσης (Turam, Αντιστάθμισης, Κινούμενου πομπού – δέκτη). Γενικά οι μέθοδοι γωνίας κλίσης μας δίνουν πληροφορίες αναγνώρισης του αγωγού, όχι των ιδιοτήτων του, και είναι πιο εύκολες και φθηνές, ενώ οι μέθοδοι φάσης δίνουν περισσότερες πληροφορίες αλλά είναι πιο πολύπλοκες.

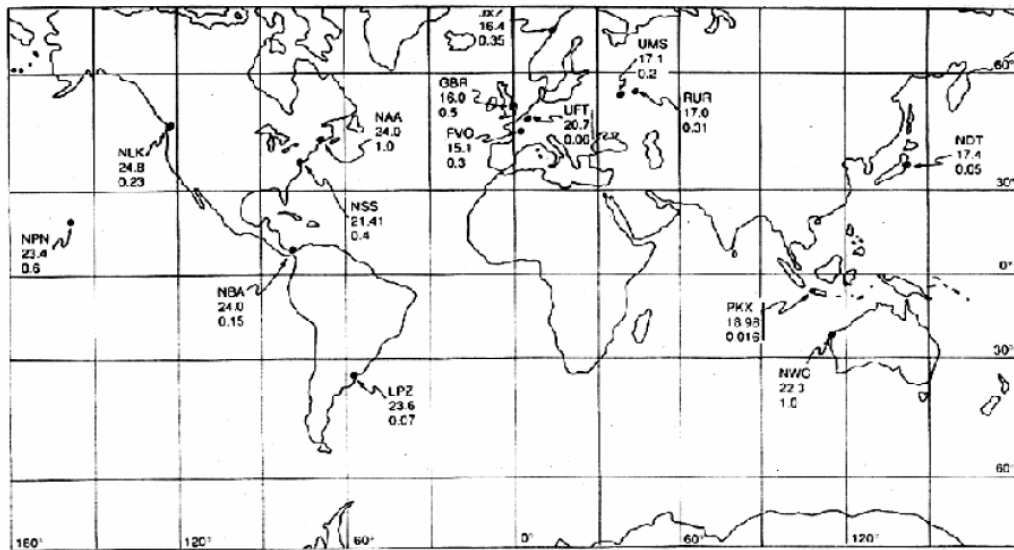
6 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

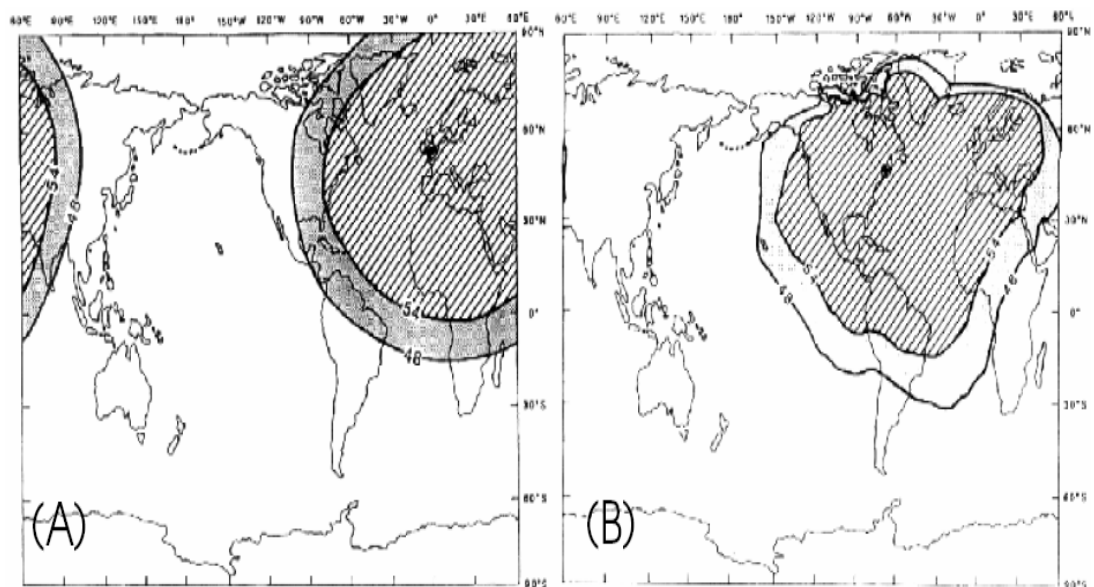
Η μέθοδος VLF (Very Low Frequency) είναι μια ΗΛΜ μέθοδος μέτρησης της γωνίας κλίσης, που εφαρμόζεται με σκοπό την εύρεση αγώγιμων ζωνών (π.χ ρηγμάτων) πληρωμένων κατα βάση με νερό (ή μεταλλεύματα). Πηγή των πιο πάνω μεθόδων αποτελούν δυνατοί ραδιοφωνικοί σταθμοί οι οποίοι εκπέμπουν σήματα σε συχνότητες 15 – 30 KHz και χρησιμοποιούνται για σκοπούς στρατιωτικής επικοινωνίας. Στην τεχνολογία του ραδιοφώνου αυτές οι συχνότητες είναι γνωστές σαν πολύ χαμηλές συχνότητες (VLF). Τέτοιου είδους σταθμοί – πομποί λειτουργούν σε αρκετές χώρες. Μερικοί από τους πιο σημαντικούς δίνονται στον πιο κάτω πίνακα:

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΚΩΔΙΚΗ ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (KHz)	ΙΣΧΥΣ (KW)
Bordeaux, France	FUO	15,1	500
Rugby, GB	GBR	16	750
Helgeland, Norway	JNX	16,4	350
Gorki, USSR	ROR	17	315
Moscow, USSR	UMS	17,1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17,4	500
Oxford, GB	GBZ	19,6	550
Annapolis, U.S.A	NSS	21,4	400
Northwest Cape, Australia	NWC	22,3	1000
Hauderfehn, Germany	NPM	23,4	600
Buenos Aires, Argentina	NAA	24	1000
Culter, Maine, U.S.A	NLK	24,8	125
Seattle, U.S.A	NAU	28,5	100
Laulualei, Hawaii, U.S.A	LPZ	23,6	

Πίνακας 6-1. Σταθμοί εκπομπής συχνοτήτων VLF.

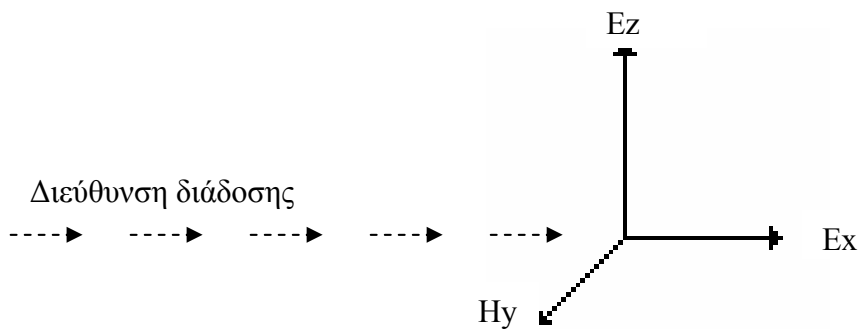


Σχήμα 6-1. Θέσεις κυριότερων πομπών VLF, οι κωδικοί και οι συχνότητες που εκπέμπουν.



Σχήμα 6-2. Καμπύλες ίσων τιμών έντασης σταθμών εκπομπής VLF. (A) GBR, Rugby, UK and (B) NOAA, Cutler, USA

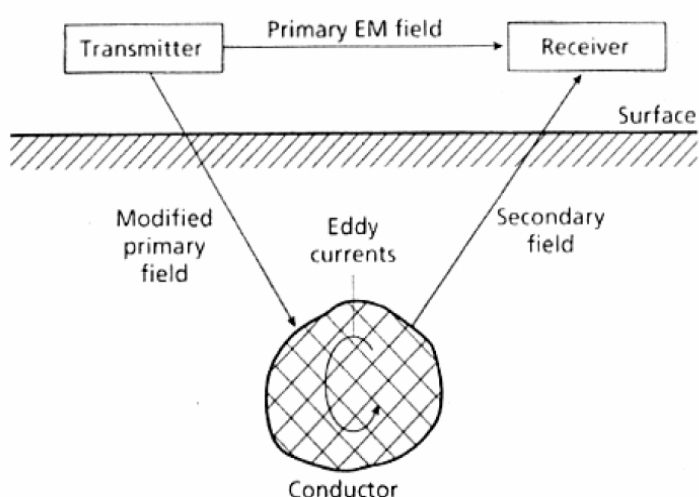
Ο πομπός αποτελείται από ένα ταλαντόμενο ηλεκτρικό δίπολο, που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η διάδοση των κυμάτων αυτών είναι αρκετά πολύπλοκη αλλά σε μεγάλη απόσταση απλοποιείται αρκετά. Η μορφή του πεδίου απεικονίζεται στο σχήμα 6.3. Ως διεύθυνση διάδοσης του κύματος ορίζεται η διεύθυνση x . Το ηλεκτρικό πεδίο έχει δύο συνιστώσες, μια στην διεύθυνση του πομπού (E_x) και μια κατακόρυφη στο επίπεδο κύματος (E_z). Το μαγνητικό πεδίο έχει μόνο μια οριζόντια συνιστώσα οριζόντια και κάθετη στο επίπεδο κύματος (H_y).



Σχήμα 6-3.Πεδίο VLF σε μακρινό σημείο

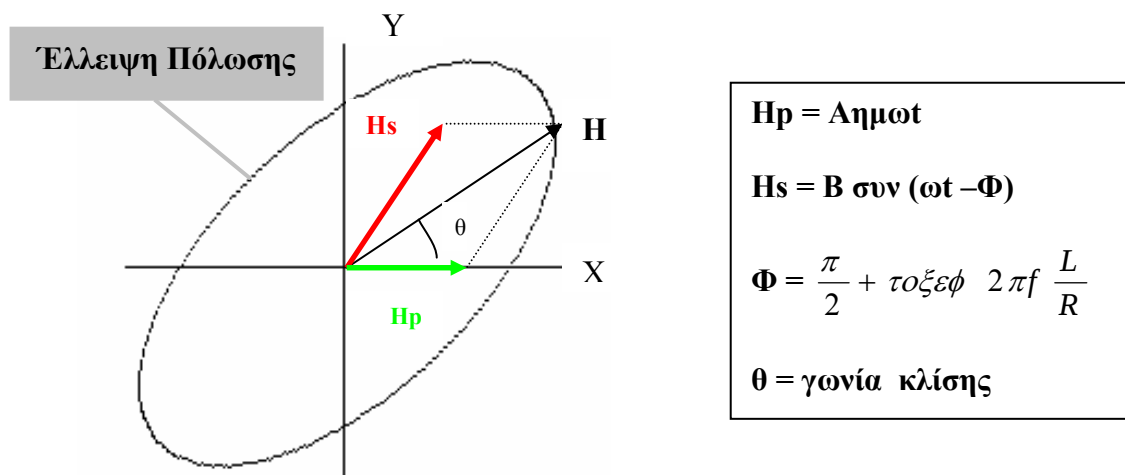
6.2 ΑΡΧΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω κατά την εφαρμογή μεθόδων VLF παράγεται στην επιφάνεια της γης ένα πρωτεύον ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο από την μια φθάνει απευθείας και σχεδόν αμετάβλητο σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης, και από την άλλη, διαδίδεται μέσα στη γη όπου, αν συναντήσει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο σώμα, επάγει ηλεκτρικό ρεύμα στο σώμα αυτό με συνέπεια τη γένεση ενός δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού κύματος (ίδιας συχνότητας αλλά διαφορετικής φάσης και πλάτους με το πρωτεύον) το οποίο φθάνει στο δέκτη συμβάλλοντας με το αρχικό κύμα (σχήμα 6.4).



Σχήμα 6-4. Διαδικασία παραγωγής δευτερογενούς ΗΛΜ πεδίου.

Θεωρούμε ότι τόσο ο πομπός και ο δέκτης όσο και το αγωγίμο σώμα είναι πηνία. Το ρεύμα που δημιουργείται στον δέκτη είναι μέγιστο όταν το επίπεδο του πηνίου είναι κάθετο στη διεύθυνση της συνισταμένης H , των H_p (πρωτεύον) και H_s (δευτερεύον), και μηδενίζεται όταν είναι παράλληλο. Με την χρήση ενός ακουστικού και περιστρέφοντας το πηνίο του δέκτη μπορούμε να καθορίσουμε την διεύθυνση της συνισταμένης H . Τόσο το πρωτεύον όσο και το δευτερεύον μαγνητικό πεδίο μεταβάλλονται αρμονικά με το χρόνο με συνέπεια το συνιστάμενο πεδίο να διαγράφει έλλειψη σε χρόνο $2\pi f$.



Σχήμα 6-5. Πραγματική και φανταστική συνιστώσα ΗΛΜ πεδίου.

Για την εύρεση του βάθους διασκόπησης (z) χρησιμοποιούμε την σχέση

$$z = \frac{\kappa}{\sqrt{f\sigma}}$$

όπου όταν το κ παίρνει την τιμή 503 τότε το z αντιπροσωπεύει το μέγιστο βάθος στο οποίο μπορούμε να πραγματοποιήσουμε έρευνα. Στον πίνακα 6.2 βλέπουμε την μεταβολή του (z) σε σχέση (α) με την συχνότητα και (β) με την αγωγιμότητα.

f	ρ (Ohm.m)	σ (Siemens/m)	z (m)
15000	100	0.01	41
17000	100	0.01	39
19000	100	0.01	36
21000	100	0.01	35
23000	100	0.01	33
25000	100	0.01	32
27000	100	0.01	31
29000	100	0.01	30
31000	100	0.01	29
33000	100	0.01	28
35000	100	0.01	27

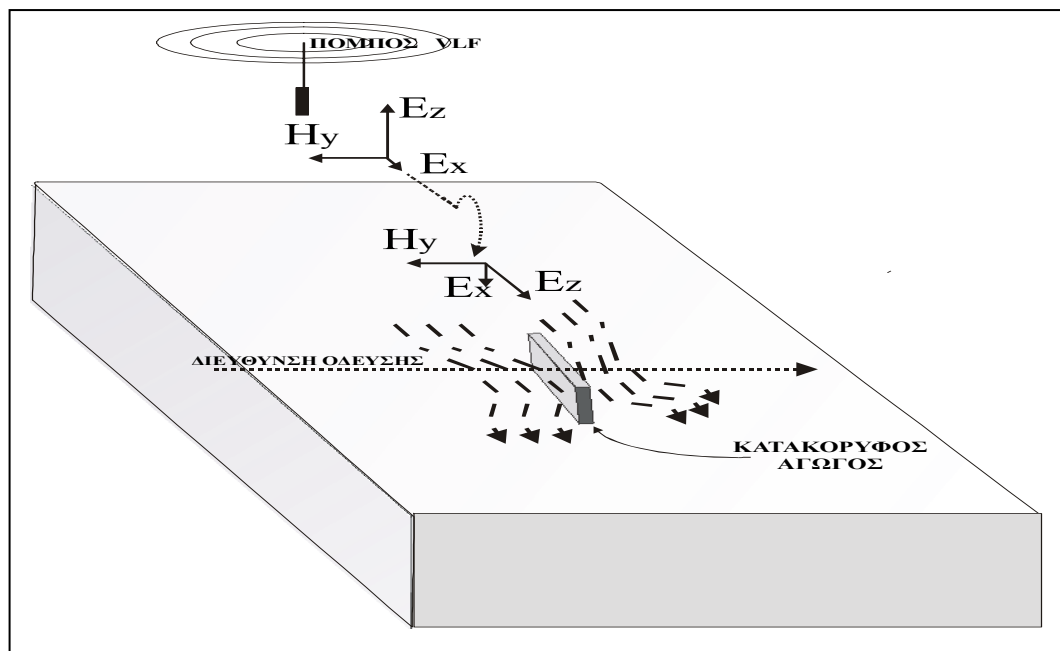
(α)

f	ρ (Ohm.m)	σ (Siemens/m)	z (m)
15000	1	1	4
15000	10	0.1	13
15000	100	0.01	41
15000	200	0.005	58
15000	500	0.002	92
15000	1000	0.001	130
15000	2000	0.0005	184
15000	3000	0.000333	225
15000	4000	0.00025	260
15000	5000	0.0002	290
15000	10000	0.0001	411

(β)

Πίνακας 6-2. Παραδείγματα μεταβολής του βάθους σε σχέση με την συχνότητα του ΗΛΜ πεδίου (α) και την αγωγιμότητα των επιφανειακών γεωλογικών σχηματισμών (β).

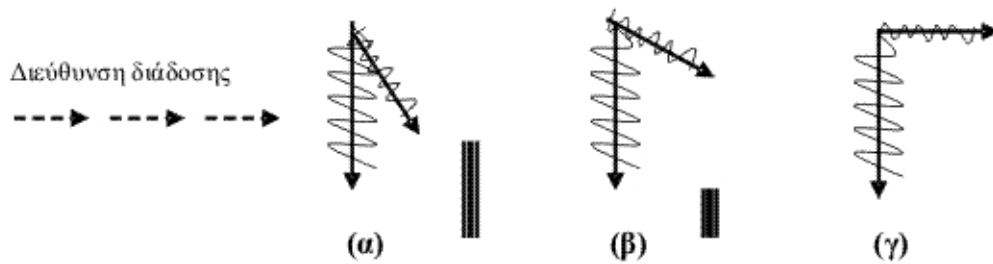
Όπως βλέπουμε και στο σχήμα 6.6 το ΗΛΜ κύμα διαδίδεται από τον πομπό με την μαγνητική του συνιστώσα οριζόντια και διαθλάται μέρος του μέσα στην γη. Τότε η μαγνητική συνιστώσα παραμένει οριζόντια ενώ αντιθέτως οι δύο (2) ηλεκτρικές συνιστώσες αλλάζουν διεύθυνση. Κατά την πραγματοποίηση μιας μέτρησης VLF επιλέγουμε ο πομπός να είναι παράλληλος με τον αγωγό και η διεύθυνση όδευσης να είναι κάθετη πάνω σε αυτόν (δηλαδή κάθετη και στην διεύθυνση του πομπού) έτσι ώστε να μετράμε παράλληλα στο μέγιστο της μαγνητικής συνιστώσας. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι μια απόκλιση μέχρι της τάξης των 30 μοιρών της διεύθυνσης του πομπού από τον αγωγό είναι αποδεκτή.



Σχήμα 6-6.: Επιλογή σταθμού και διεύθυνσης όδευσης ανάλογα με την διεύθυνση του αγωγού

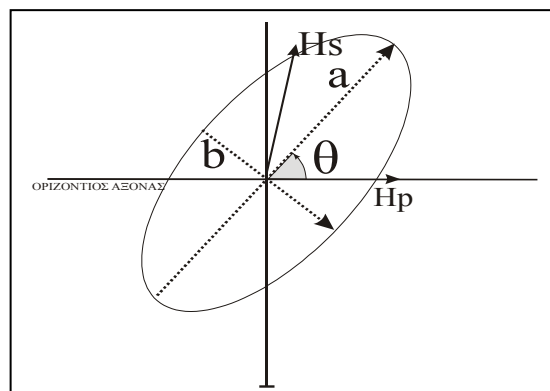
6.3 ΟΡΓΑΝΟ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε το όργανο WADI της εταιρείας ABEM. Αποτελείται από δύο (2) κάθετα πηνία, ένα κατακόρυφο και ένα οριζόντιο, από ένα σύστημα τροφοδοσίας και ένα επεξεργαστή με monitor. Για να επιλέξουμε τον κατάλληλο πομπό και την σωστή διεύθυνση όδευσης εργαζόμαστε ως εξής. Τοποθετούμε το κατακόρυφο πηνίο στη διεύθυνση της ηλεκτρικής συνιστώσας E_x και προσπαθούμε να ταυτίσουμε το οριζόντιο με την μαγνητική συνιστώσα H_y . Στην οθόνη εμφανίζεται μια μπάρα η οποία παίρνει την μέγιστη τιμή στην διεύθυνση κάθετα στον πομπό και μηδενίζεται παράλληλα σε αυτόν (σχήμα 6.7).

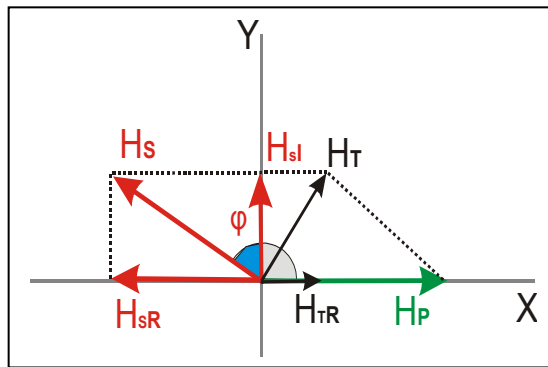


Σχήμα 6-7: (α) το οριζόντιο πηνίο είναι κάθετο στην διεύθυνση διάδοσης και βλέπουμε την μπάρα στην μέγιστη τιμή. (β) το οριζόντιο πηνίο είναι σχεδόν κάθετο στην διεύθυνση διάδοσης και βλέπουμε την μπάρα να παίρνει τιμή μεταξύ του μέγιστου και ελάχιστου. (γ) το οριζόντιο πηνίο είναι παράλληλο στην διεύθυνση διάδοσης και η μπάρα έχει μηδενική τιμή

Όλα τα όργανα VLF μετράνε δύο (2) συστατικά του μαγνητικού πεδίου, (α) την γωνία κλίσης, θ , και (β) την ελλειπτικότητα a/b . Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται ως εξής: Αφού επιλέξαμε πομπό και χαράξαμε τομές κάθετες σε αυτόν, περιστρέφουμε κατά 90° το κατακόρυφο πηνίο μέχρις ότου ο άξονάς του γίνει κατακόρυφος και στη συνέχεια περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα ο οποίος έχει την διεύθυνση του πομπού μέχρις ότου μηδενιστεί το σήμα του. Με αυτό τον τρόπο μετράμε την γωνία κλίσης. Η γωνία κλίσης, θ , είναι ανάλογη της πραγματικής συνιστώσας H_{TR} του συνιστάμενου μαγνητικού πεδίου, και η ελλειπτικότητα, a/b , ανάλογη της φανταστικής (H_{TS} η οποία ισούται με την H_{SL} την φανταστική του δευτερογενούς πεδίου). Στα σύγχρονα όργανα μέτρησης, τόσο η εύρεση της γωνίας κλίσης όσο και η ελλειπτικότητα δίνεται αυτόματα από το ίδιο το όργανο.



Σχήμα 6-8: Η έλλειψη πόλωσης που διαγράφει το συνιστάμενο μαγνητικό πεδίο, οι άξονες a και b της έλλειψης και η γωνία κλίσης θ .



Σχήμα 6-9: Ανάλυση σε άξονες x και y του διανύσματος του πρωτογενούς H_s και δευτερογενούς H_p μαγνητικού πεδίου καθώς και του συνιστάμενου πεδίου H_t . Ο άξονας x είναι ο πραγματικός άξονας και ο y ο φανταστικός.

6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Η τεχνική είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιοχές με απότομα βυθιζόμενες δομές, όπως ρήγματα, όχι μόνο για αναγνώριση τέτοιων δομών αλλά και για διερεύνηση του υλικού πλήρωσής τους (πχ νερό, άργιλος, μετάλλευμα). Ως γενική προσέγγιση η μέθοδος των VLF εφαρμόζεται σε δομές που εμφανίζουν αντίθεση ηλεκτρικής αγωγιμότητας και παρουσιάζουν κάποια κλίση. Αναλυτικά χρησιμοποιείται:

1. Χαρτογράφηση ρηγμάτων.
2. Έρευνα υπόγειου νερού.
3. Εύρεση μεταλλευμάτων οικονομικής σημασίας
4. Χαρτογράφηση ρυπαντών (όταν αυτοί αλλάζουν την αγωγιμότητα του νερού πχ αλάτι)

Αντίθετα η μέθοδος δεν εφαρμόζεται σε ιζηματογενείς λεκάνες και σε εξαιρετικά αγώγιμες επιφάνειες (πχ αλατώδη εδάφη)

6.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

6.5.1 Πλεονεκτήματα

- Είναι η μόνη ηλεκτρομαγνητική μέθοδος όπου τις πληροφορίες για την δομή του εδάφους τις περιέχει μόνο το δευτερογενές πεδίο και όχι και το πρωτογενές.
- Δεν χρειάζεται ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος (σε αντίθεση με της ηλεκτρικές μεθόδους).
- Εφαρμόζεται σε περιοχές με εδάφη μεγάλης αντίστασης.
- Είναι εύχρηστη και φθηνή μέθοδος.
- Όταν συνδυάζεται με άλλες μεθόδους δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα

6.5.2 Μειονεκτήματα:

- Το βάθος διασκόπησης είναι αρκετά μικρό.
- Ο πομπός είναι σταθερός (πράγμα που μας περιορίζει ως προς τις εφαρμογές της μεθόδου γιατί υπάρχουν περιοχές που δεν σαρώνονται από την ακτινοβολία ΗΛΜ κύματος από κάποιο σταθμό).
- Οι μετρήσεις επηρεάζονται από καλώδια, μεταλλικούς σωλήνες κ.α
- Επηρεάζεται από την τοπογραφία (όπως θα δούμε αναλυτικά στην επόμενη ενότητα)
- Σε έντονα διαταραγμένες μέρες που μεταβάλλεται δραματικά ο ιονισμός της ατμόσφαιρας, και λόγω του ότι μέρος του ΗΛΜ κύματος φθάνει στον δέκτη μετά από ανάκλαση στην ιονόσφαιρα, προκαλεί αλλαγές στις μετρήσεις.

6.6 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ VLF

Όσον αφορά το ηλεκτρικό πεδίο, η επίδραση της τοπογραφίας είναι αμελητέα εξαιτίας του ότι αυτό ακολουθεί την τοπογραφία. Έτσι ένα πηνίο που βρίσκεται πάνω σε μια κεκλιμένη επιφάνεια μετράει την μια ηλεκτρική συνιστώσα που βρίσκεται σε αυτή την διεύθυνση ενώ η δεύτερη ηλεκτρική συνιστώσα είναι κάθετη στην επιφάνεια και δεν επηρεάζει την μέτρηση.

Όσον αφορά το μαγνητικό πεδίο η κατάσταση δεν είναι τόσο απλή, γιατί όταν η μαγνητική συνιστώσα συναντήσει μια κεκλιμένη επιφάνεια, επάγει ρεύμα στο έδαφος το οποίο με την σειρά του δημιουργεί ένα δευτερογενές μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι σε φάση με το πρωτογενές. Έτσι το μαγνητικό πεδίο που φθάνει απευθείας στον δέκτη είναι ελλειπτικά πολωμένο κάθετα στο έδαφος ενώ τα πηνία είναι κατακόρυφα και οριζόντια αντίστοιχα, και το γεγονός αυτό προκαλεί αποκλίσεις στις μετρήσεις VLF αφού η κλίση του εδάφους μεταφράζεται σε γωνία με το οριζόντιο επίπεδο.

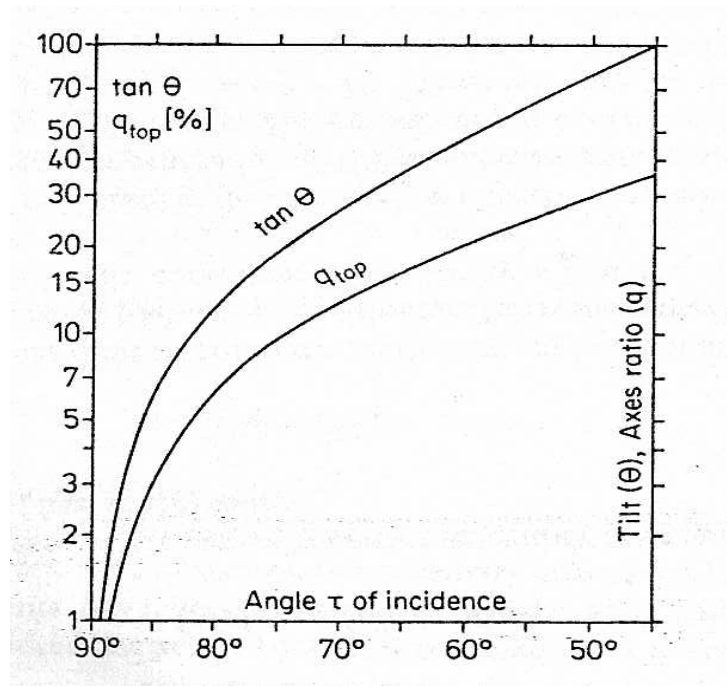
Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του σχήματος 6.10 (Eberle 1981) μπορούμε να εκτιμήσουμε την γωνία κλίσης, θ , και τον λόγο των αξόνων, a/b , που προκλήθηκαν από την τοπογραφία. Πρέπει πρώτα όμως να υπολογίσουμε το τ , την γωνία πρόσπτωσης του κύματος με την επιφάνεια, από την ακόλουθη σχέση.

$$\tan \tau = \cot \beta' \frac{\sin \xi_2}{\sin \xi_1} \quad (\text{Parasnis})$$

Όπου β' είναι η κλίση του εδάφους κατά μήκος της γραμμής έρευνας στο σημείο μέτρησης.

ξ_1 είναι η οριζόντια γωνία μεταξύ της διεύθυνσης του μαγνητικού πεδίου και της παράταξης της μορφολογίας.

ξ_2 είναι η οριζόντια γωνία μεταξύ της γραμμής έρευνας και της παράταξης της μορφολογίας.

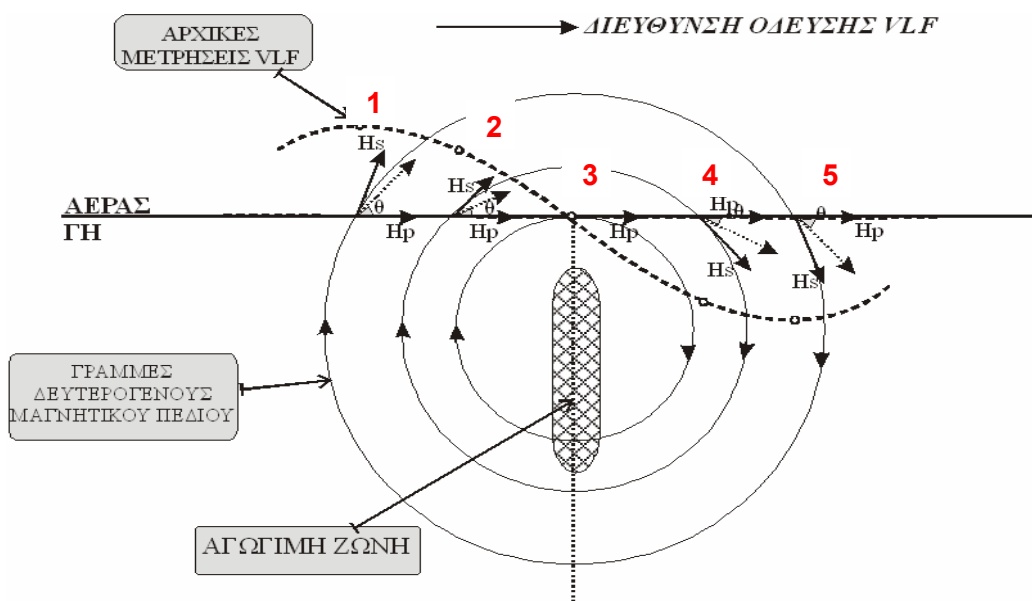


Σχήμα 6-10. Διάγραμμα επίδρασης της εδαφικής κλίσης στις μετρήσεις VLF Eberle(1979).

6.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ

6.7.1 Γενικά

Κατά κύριο λόγο, η ερμηνεία των μετρήσεων VLF είναι ποιοτική λόγω του ότι η χρήση μιας ή μερικών συχνοτήτων δεν επιτρέπει την ακριβή απεικόνιση της δομής. Οι ανωμαλίες που μετράμε (της πραγματικής συνιστώσας δηλ. της γωνίας κλίσης, θ) παρουσιάζουν διπολική μορφή. Θετική πριν από το αγώγιμο σώμα, μηδέν πάνω από αυτό και αρνητική μετά (μέγιστο προς τα αριστερά και ελάχιστο προς τα δεξιά).

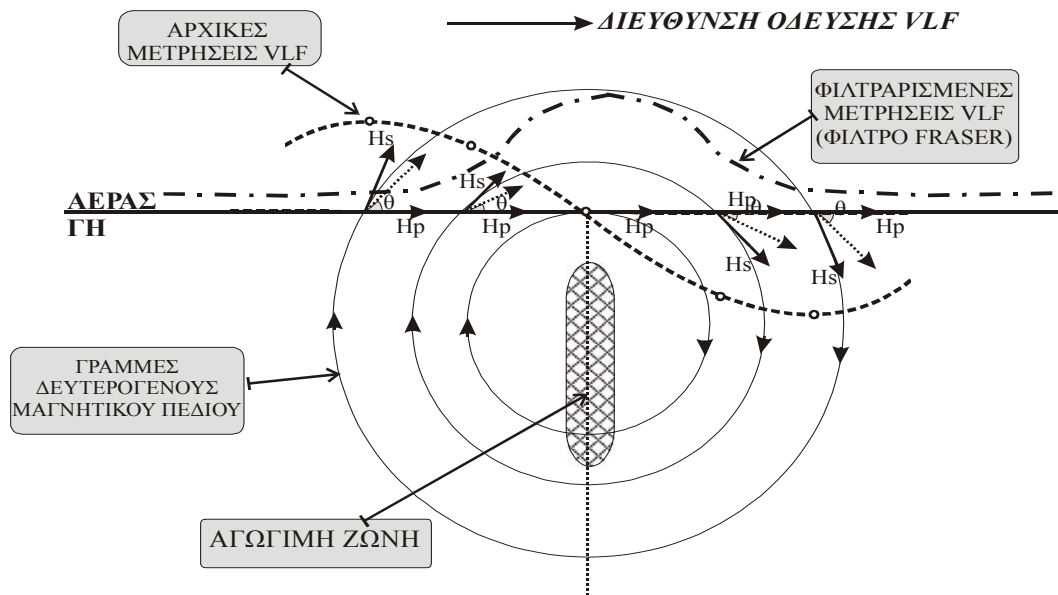


Σχήμα 6-11: Πάνω από το αγώγιμο σώμα (περίπτωση 3) το δευτερογενές και το πρωτογενές μαγνητικό πεδίο έχουν την ίδια διεύθυνση με αποτέλεσμα η γωνία κλίσης, θ , να παίρνει μηδενική τιμή. Αριστερά από το σώμα (περιπτώσεις 1 και 2) η γωνία κλίσης παίρνει θετικές τιμές και μάλιστα όσο πιο μακριά βρισκόμαστε από τον αγωγό τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή αυτή. Τέλος δεξιά από το σώμα (περιπτώσεις 4 και 5) η γωνία κλίσης παίρνει αρνητικές τιμές και ανάλογα με την προηγούμενη περίπτωση, όσο πιο μακριά βρισκόμαστε τόσο μεγαλύτερη κατά απόλυτο τιμή είναι η γωνία αυτή.

6.7.2 Φίλτρα

Ο τρόπος απεικόνισης που περιγράφεται στην προηγούμενη παράγραφο δεν είναι πάντα αποτελεσματικός, ειδικά σε περιοχές με περίπλοκη δομή. Για αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορα φίλτρα με τα οποία μετατρέπουμε τις μετρήσεις σε μια πιο απλή μορφή. Τέτοια είναι το φίλτρο Fraser και το φίλτρο Karous–Hjelt.

Φίλτρο Fraser: Διαφορικό φίλτρο μετασχηματισμού που μετατρέπει την ανωμαλία από διπολική σε μονοπολική (σχήμα 6.12).



Σχήμα 6-12. Λειτουργία φίλτρου Fraser.

Η δράση του φίλτρου εκφράζεται μαθηματικά ως συνέλιξη. Στην πράξη η φιλτραρισμένη τιμή για κάθε μέτρηση μιας όδευσης του VLF λαμβάνεται με την εφαρμογή απλών πράξεων. Γενικά παίρνει κάποια σημεία αριστερά και δεξιά από κάποιο «σημείο» και τα προσθέτει αφού πρώτα πολλαπλασιαστούν με συγκεκριμένους συντελεστές. Υπολογίζει, με αυτό τον τρόπο, το μέσο όρο των γωνιών κλίσης σε κάθε «σημείο». Η γενική σχέση που χρησιμοποιείται είναι της μορφής:

$$F_{2,3} = (M_3 + M_4) - (M_1 + M_2)$$

Η πιο πάνω σχέση μας δίνει την τιμή μεταξύ των σημείων 2 και 3 Ένα τυπικό φίλτρο Fraser είναι το φίλτρο 7 σημείων που δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Fa = 0.102H_{a-3} - 0.05902H_{a-2} + 0.56H_{a-1} + 0H_a - 0.56H_{a+1} + 0.05902H_{a+2} - 0.102H_{a+3}$$

Όπου

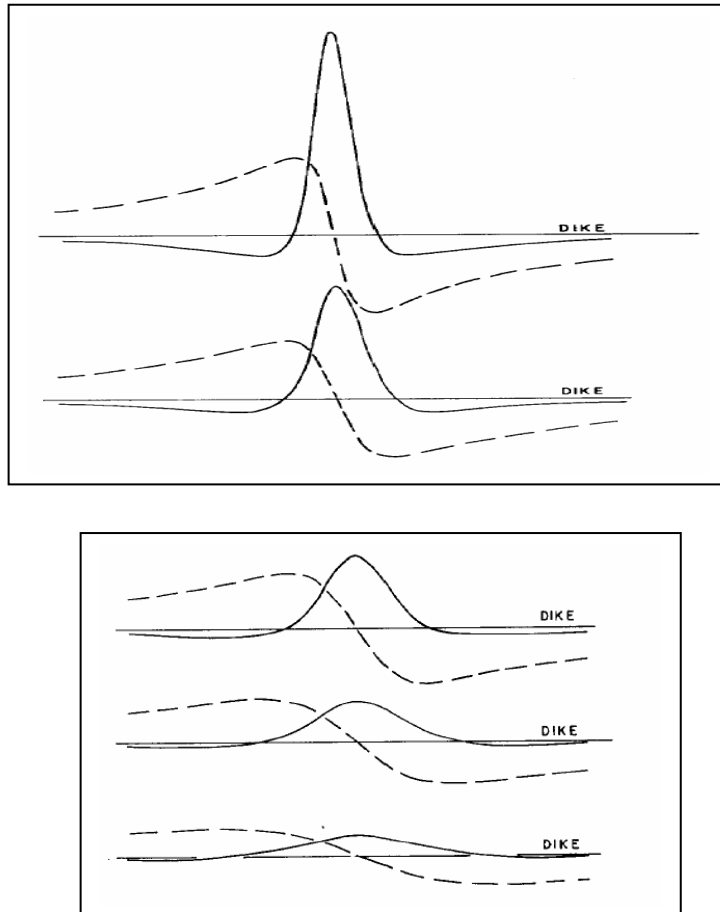
Fa= η τιμή του φίλτρου στο σημείο α.

Ha= η μέτρηση της όδευσης στο σημείο α.

Ha-3,Ha-2,Ha-1= οι τρεις μετρήσεις της όδευσης αριστερά από το σημείο α.

Ha+3,Ha+2,Ha+1= οι τρεις μετρήσεις της όδευσης δεξιά από το σημείο α.

Το φίλτρο είναι κινούμενο και εφαρμόζεται σε κάθε σημείο μέτρησης της όδευσης του VLF. Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν κάποιες από τις διπλανές μετρήσεις του σημείου α (συμβαίνει στα πρώτα και τελευταία σημεία μέτρησης της όδευσης) οι τιμές θεωρούνται ίσες με H_a .

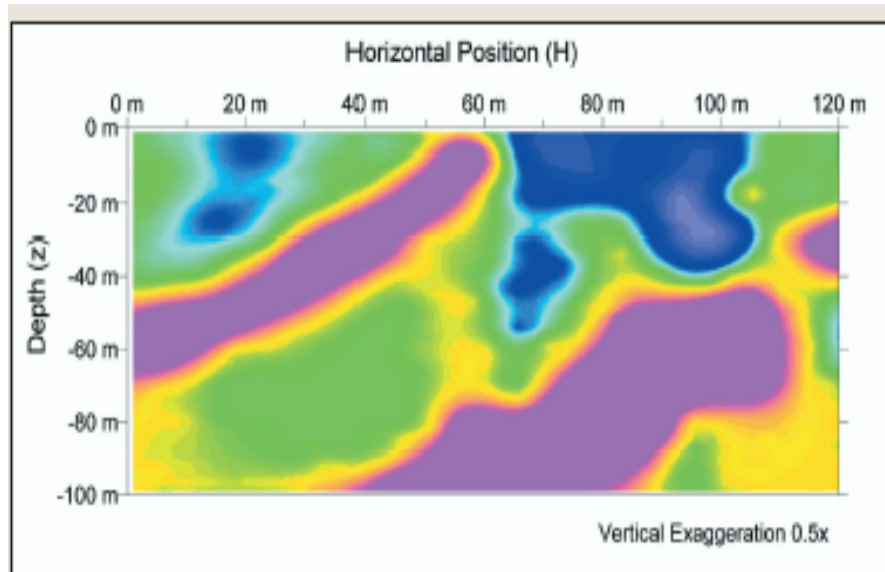


Σχήμα 6-13. Με στικτή καμπύλη είναι οι αρχικές μετρήσεις vlf (πραγματική συνιστώσα), και με συνεχή καμπύλη παρουσιάζονται οι φιλτραρισμένες τιμές. Ακόμη βλέπουμε ότι όσο πιο έντονη είναι η μεταβολή των αρχικών μετρήσεων τόσο πιο μεγάλη είναι η κορυφή των φιλτραρισμένων.

Φίλτρο Karous-Hjelt: Φίλτρο μετασχηματισμού παρόμοιο με το φίλτρο Fraser με την διαφορά ότι εδώ έχουμε σαν παράμετρο και το βάθος (z). Μας δίνει πυκνότητα ρεύματος και μετριέται σε μονάδες A/m^2 .

$$I_a = \frac{2\pi(-0.102H_{-3} + 0.059H_{-2} - 0.561H_{-1} + 0.561H_{+1} - 0.059H_{+2} + 0.102H_{+3})}{z}$$

όπου I_a = πυκνότητα ρεύματος



Σχήμα 6-14: Επεξεργασμένο σχεδιάγραμμα βάθους από μετρήσεις της πυκνότητα ρεύματος (με το φίλτρο Karous-Hjelt) που παρουσιάζει προβολές των ρωγμών σε βάθος σε ένα ορυχείο στην νοτιοδυτική Πενσυλβανία.

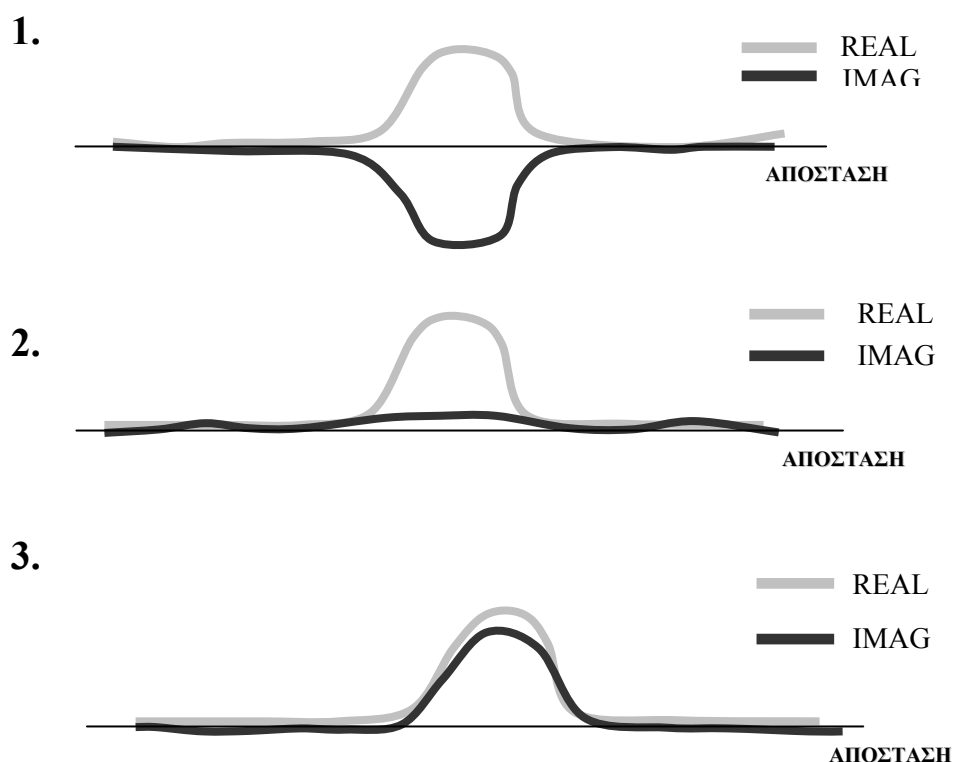
6.7.3 ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΝΩΝΑΛΙΕΣ

Ακολουθούν κάποιοι πρακτικοί κανόνες ερμηνείας των μετρήσεων VLF. Οι κανόνες ισχύουν για δεδομένα που έχουν υποστεί φιλτράρισμα (Fraser).

Προϋπόθεση για τον εντοπισμό καλού αγωγού με τη μέθοδο VLF είναι η πραγματική συνιστώσα να παρουσιάζει θετική κορυφή. Όσο πιο μεγάλο είναι το πλάτος της κορυφής τόσο πιο αγωγίμο είναι το σώμα. Επί πλέον διάκριση του πόσο αγωγίμο είναι το σώμα δίνεται από την παρατήρηση της φανταστικής συνιστώσας. Στον πίνακα 6.3 παρουσιάζονται οι βασικές αρχές, και στο σχήμα 6.15 δίνονται παραστατικά οι καμπύλες σε κάθε περίπτωση.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΝΩΜΑΛΙΑΣ VLF (Η πραγματική συνιστώσα παρουσιάζει θετική κορυφή μεγάλου πλάτους)		
ΦΑΝΤΑΣΤΙΚΗ ΣΥΝΙΣΤΩΣΑ (Φιλτραρισμένα δεδομένα)	ΑΓΩΓΟΣ (Αντίθεση στόχου με το περιβάλλον)	ΠΙΘΑΝΟΣ ΣΤΟΧΟΣ
1. Αρνητική σχετικά μεγάλου πλάτους.	Πολύ καλός	Ρηξιγενής ζώνη με αργιλική πλήρωση ή μεταλλοφορία ή υφαλμύρωση
2. Αρνητική ή θετική με πολύ μικρό πλάτος (κοντά στο μηδέν)	Καλός – Μέτριος	Ρηξιγενής ζώνη με μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας
3. Θετική σχετικά μεγάλου πλάτους	Μέτριος – Κακός	Ρηξιγενής ζώνη με μικρή πιθανότητα υδροφορίας ή πιθανή διείδυση.

Πίνακας 6-3. Ερμηνεία ανωμαλιών VLF.

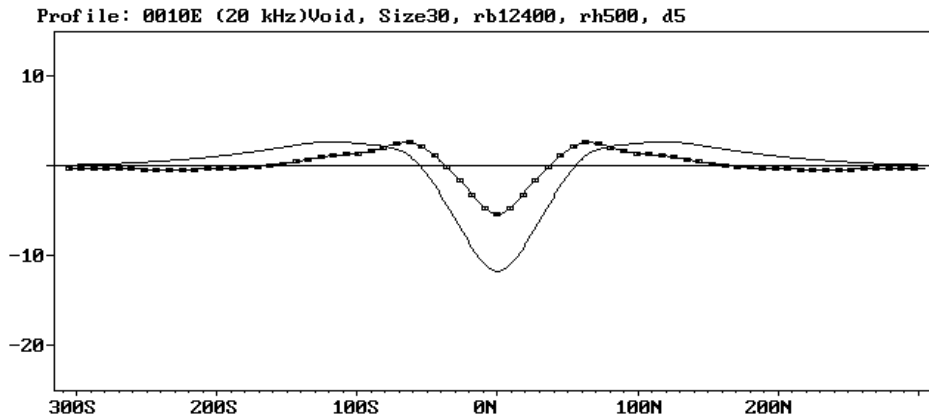


Σχήμα 6-15. Τυπικές ανωμαλίες VLF.

Η δεύτερη περίπτωση όπου η φανταστική συνιστώσα είναι μικρού πλάτους θετική ή αρνητική, είναι η πιο ευνοϊκή για εύρεση νερού.

Τέλος έχουμε και μια τέταρτη περίπτωση όπου η πραγματική συνιστώσα παρουσιάζει αρνητική κορυφή (σχήμα 6.16). Σε μια τέτοια

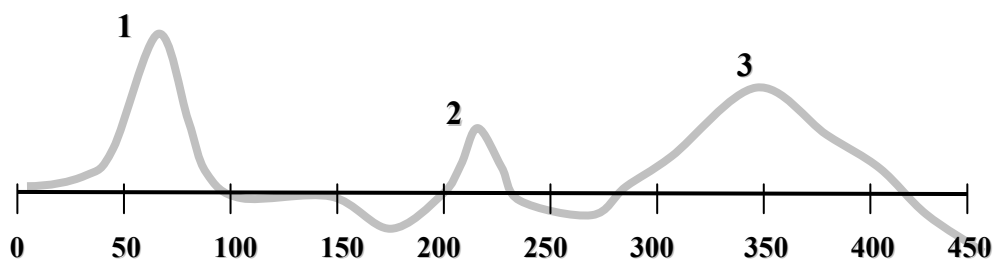
περίπτωση στο υπέδαφος υπάρχει μια δομή πολύ μεγάλης αντίστασης η οποία μπορεί να ταυτιστεί με κάποιο έγκοιλο.



Σχήμα 6-16.Τυπική ανωμαλία που οφείλεται σε έγκοιλο.

6.7.4 ΒΑΘΟΣ ΚΑΙ ΚΕΝΤΡΟ ΑΓΩΓΟΥ

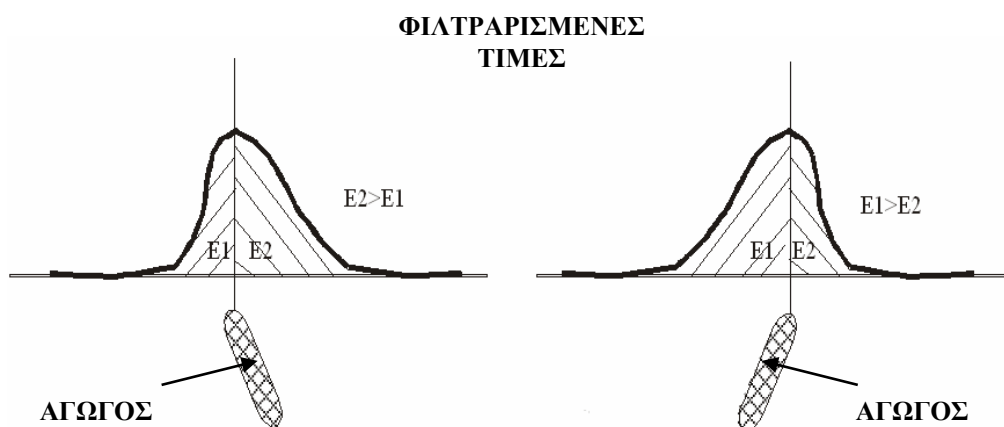
Σημαντικό στοιχείο στην έρευνα για εύρεση αγώγιμων σωμάτων πληρωμένων με νερό είναι τόσο το κέντρο όσο και το βάθος του αγωγού. Με την μέθοδο VLF δεν μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβώς το πραγματικό βάθος αλλά μπορούμε να ορίσουμε μια τάξη μεγέθους για αυτό. Για τον υπολογισμό των πιο πάνω παραμέτρων εργαζόμαστε ως εξής: (α) η κορυφή του στόχου βρίσκεται στο σημείο του μέγιστου πλάτους (κορυφή) της πραγματικής συνιστώσας και (β) το βάθος του στόχου είναι περίπου το μισό του μήκους της ανωμαλίας (χρησιμοποιούμε τα φιλτραρισμένα δεδομένα). Πιο κάτω δίνεται ένα παράδειγμα για τον τρόπο με τον οποίο εργαζόμαστε.



- **ΕΥΡΕΣΗ ΒΑΘΟΥΣ:**
 1. $(100 - 40) / 2 = 30\text{m}$
 2. $(230 - 200) / 2 = 15\text{m}$
 3. $(420 - 280) / 2 = 70\text{m}$
- **ΕΥΡΕΣΗ ΚΟΡΥΦΗΣ:**
 1. 70m
 2. 220m
 3. 350m

6.7.5 ΚΛΙΣΗ ΑΓΩΓΙΜΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ

Τέλος, σημαντική παράμετρος που πρέπει να υπολογίζουμε σε κάθε έρευνα VLF είναι η κλίση του αγωγού (αν υπάρχει και δεν είναι κατακόρυφο). Στο σχήμα 6.17 φαίνεται το πως γίνεται αυτός ο υπολογισμός.



Σχήμα 6-17. Τυπικές μορφές καμπύλης της πραγματικής συνιστώσας του HAM πεδίου ανάλογα με την κλίση του αγωγού.

Υποθέτοντας την κατακόρυφο από την κορυφή της ανωμαλίας η κλίση του σώματος είναι προς την πλευρά που διακρίνεται από το μεγαλύτερο εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζεται από την κατακόρυφο και την καμπύλη VLF.

6.8 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Υπάρχουν τέσσερα (4) βασικά προγράμματα επεξεργασίας δεδομένων VLF.

(α) KHFilting

(β) RAMAG

(γ) SECTOR

(δ) VLFMOD

ΟΝΟΜΑ	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
KHF	WINDOWS	FREE	ORIGINAL DATA – FILTERING – CROSS SECTION
RAMAG	WINDOWS	COMMERCIAL	ORIGINAL DATA – FILTERING – CROSS SECTION
SECTOR	DOS	COMMERCIAL	ORIGINAL DATA – FILTERING – CROSS SECTION
VLF MOD	DOS (4.86)	FREE	FORWARD MODELING

Πίνακας 6-4. Τα τέσσερα προγράμματα επεξεργασίας, το περιβάλλον στο οποίο δουλεύουν, διάθεση και λειτουργίες.

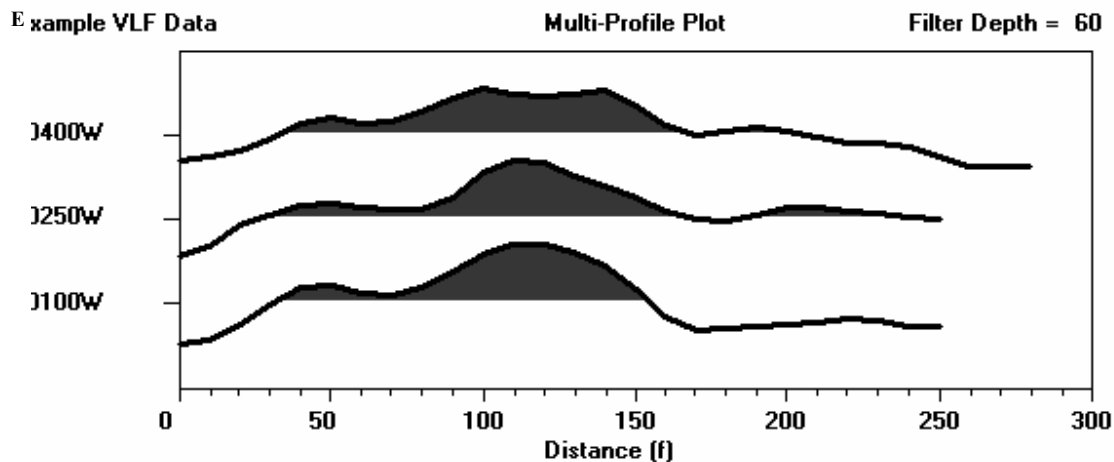
Τα τρία (3) πρώτα προγράμματα (KHF, RAMAG και SECTOR) έχουν περίπου την ίδια λειτουργία, καθώς δίνουμε στο πρόγραμμα τα δεδομένα και υπολογίζονται οι φιλτραρισμένες πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες. Το μεν KHF μας δίνει ξεχωριστά την φανταστική από την πραγματική συνιστώσα, το SECTOR μας τις δίνει μαζί για καλύτερη και πιο εύκολη κατανόηση της δομής ενώ όπως και το RAMAG μας δίνει προσθετικά και ένα MULTI-PROFILE της περιοχής.

Σε αντίθεση με τα τρία (3) πιο πάνω προγράμματα το VLFMOD μας παρέχει την δυνατότητα να κατασκευάσουμε μόνοι μας την δομή του υπεδάφους, δίνοντας μας την αναμενόμενη καμπύλη που υπολογίζεται με

βάση το μοντέλο το οποίο κατασκευάζουμε. Προσπαθώντας να ταυτίσουμε την θεωρητική αυτή καμπύλη μεταβάλλοντας τις παραμέτρους του μοντέλου με την πειραματική, οδηγούμαστε στην καλύτερη δυνατή λύση. Ακόμα είναι το μόνο από τα προγράμματα που επιτρέπει τον υπολογισμό της τοπογραφικής διόρθωσης.

6.9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.

1) Σε μια περιοχή πραγματοποιήθηκαν τρία (3) παράλληλα προφίλ με σκοπό την εύρεση ζωνών διάρρηξης. Όλα τα προφίλ μαζί παρουσιάζονται στο διάγραμμα του πιο κάτω σχήματος (Σχ: 6.18)



Σχήμα 6-18. Παράλληλα προφίλ που πραγματοποιήθηκαν κάθετα στην ζώνη διάρρηξης

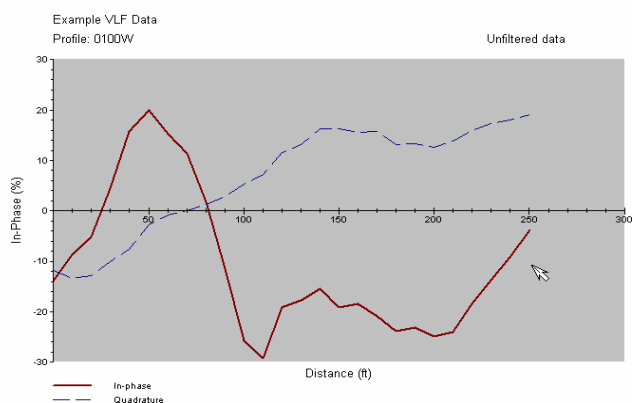
Όπως βλέπουμε υπάρχουν δύο ρήγματα στα 100 και 150 μέτρα στο προφίλ 0400 W τα οποία ενώνονται όσο προχωράμε προς τα ανατολικά. Επιπλέον, μια πολύ μικρή ανωμαλία διακρίνεται στα 50 μέτρα και στα τρία προφίλ.

Για να εξετάσουμε την πιθανότητα υδροφορίας παίρνουμε σαν παράδειγμα το προφίλ 0100 W. Πιο κάτω βλέπουμε στο σχήμα 6.19, στο (α) να παρουσιάζονται τα αφιτράριστα δεδομένα, στο (β) τα φιλτραρισμένα με Fraser και στο (γ) το φίλτρο Kous – Hjelt .

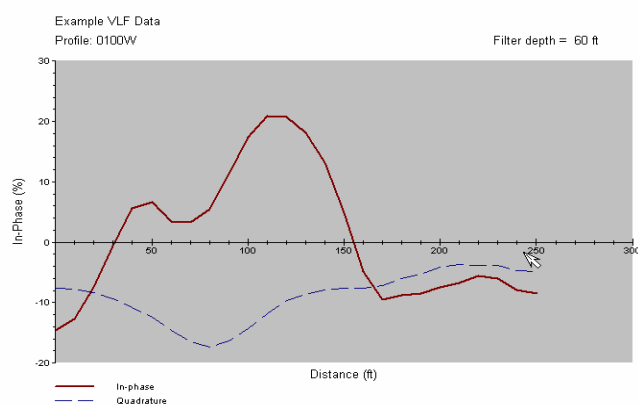
Η ζώνη διάρρηξης αναγνωρίζεται εύκολα με την πραγματική καμπύλη του φίλτρου Fraser σε απόσταση 30 – 150 m. Το πόσο καλός αγωγός είναι

αυτή η ζώνη μας το δίνει η φανταστική συνιστώσα. Λόγω του ότι αυτή είναι αρκετά μεγάλη και αρνητική συμπεραίνουμε ότι έχουμε ένα πολύ καλό αγωγό ο οποίος είναι κατά μεγάλη πιθανότητα αργιλικά πληρωμένος ή υφάλμυρος ή ακόμα μεταλλοφορεί. Τέλος από το φίλτρο Karous – Hjelt βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η ζώνη φτάνει σε αρκετό βάθος και έχει κλίση προς τα βόρεια.

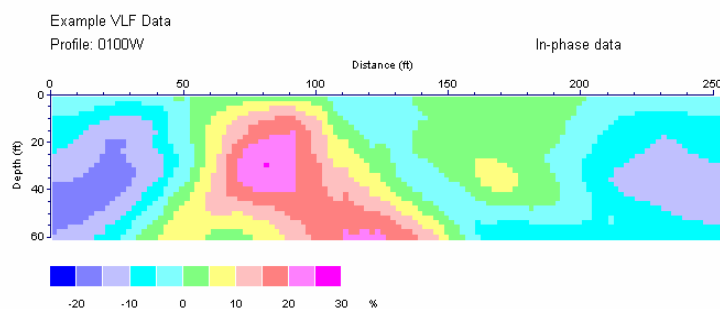
(α)



(β)

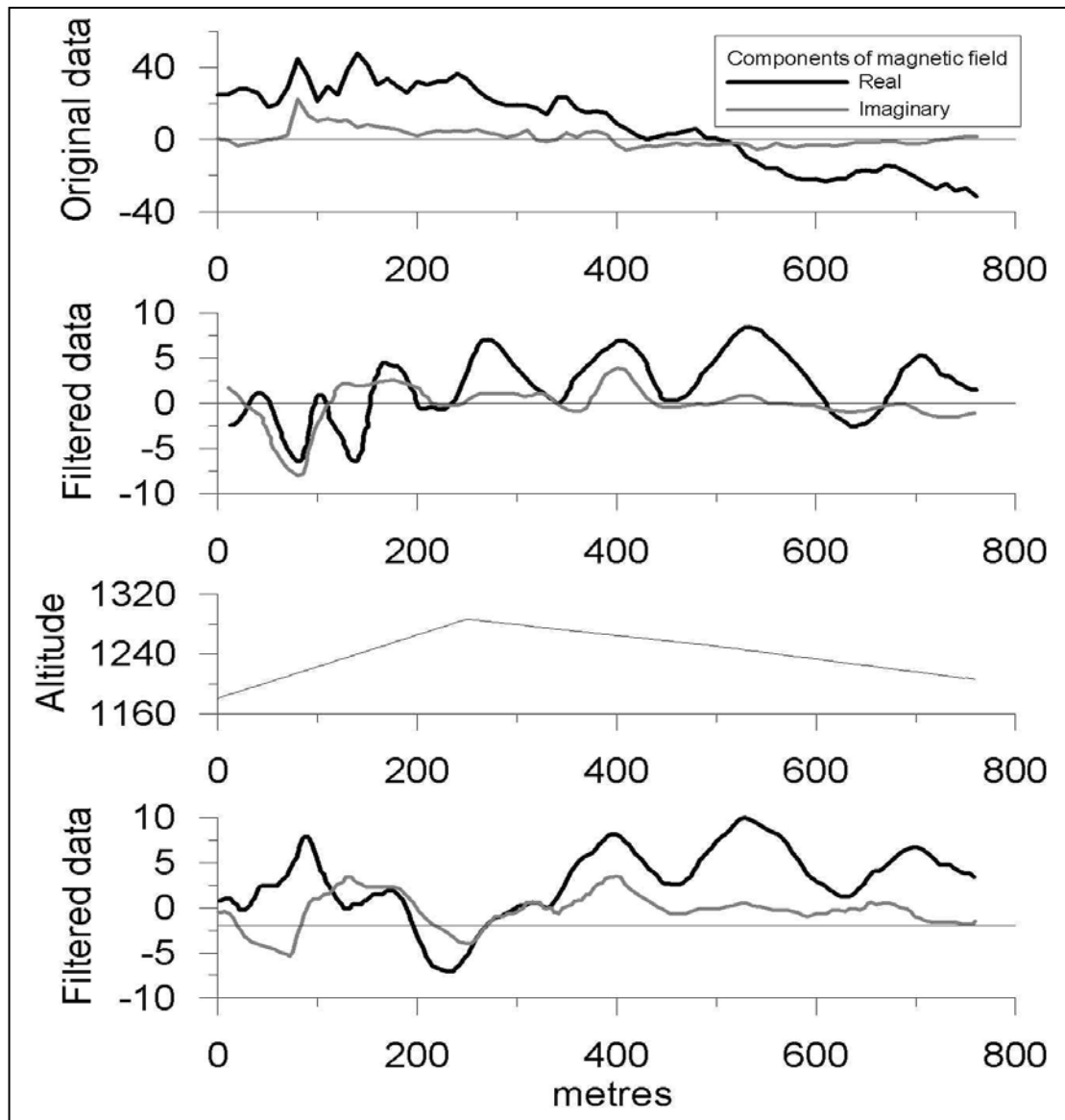


(γ)



Σχήμα 6-19. Γραφικές παραστάσεις προγράμματος επεξεργασίας KHF.

2) Τοπογραφική διόρθωση με το πρόγραμμα VLFMOD.

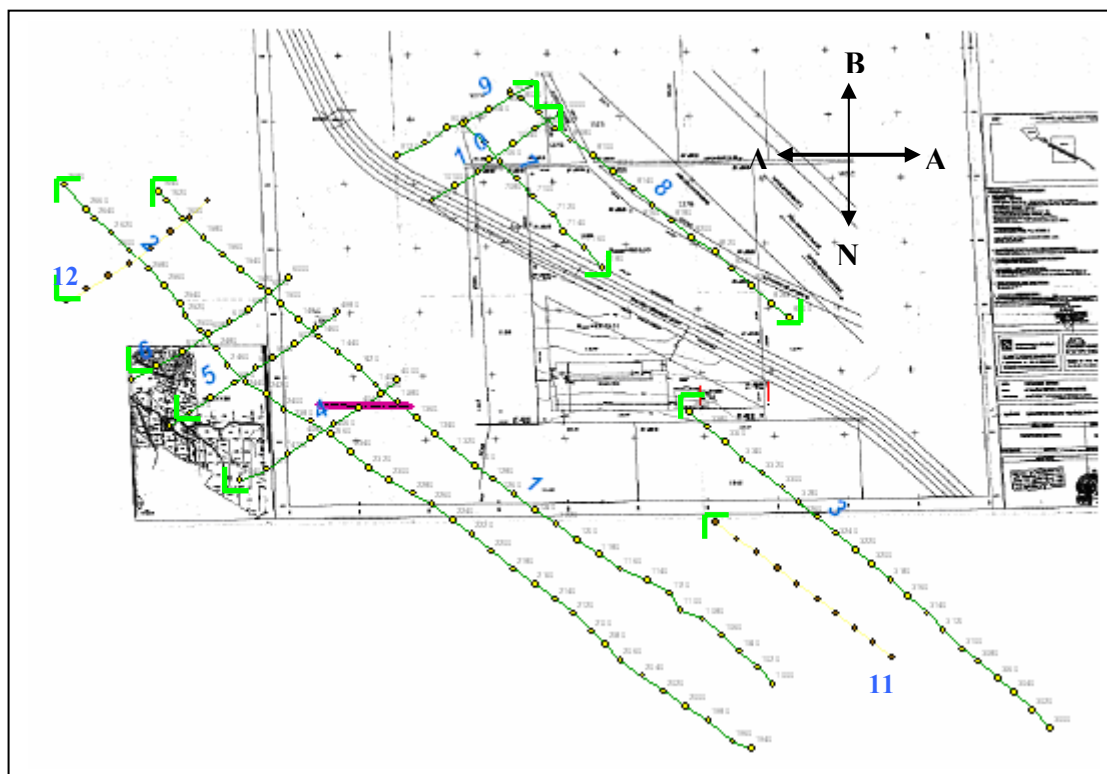


Σχήμα 6-20. Στο πρώτο διάγραμμα παρουσιάζονται τα αρχικά δεδομένα, στο δεύτερο τα φιλτραρισμένα πριν την τοπογραφική διόρθωση, στο τρίτο η τοπογραφία και στο τέταρτο τα φιλτραρισμένα μετά την τοπογραφική διόρθωση.

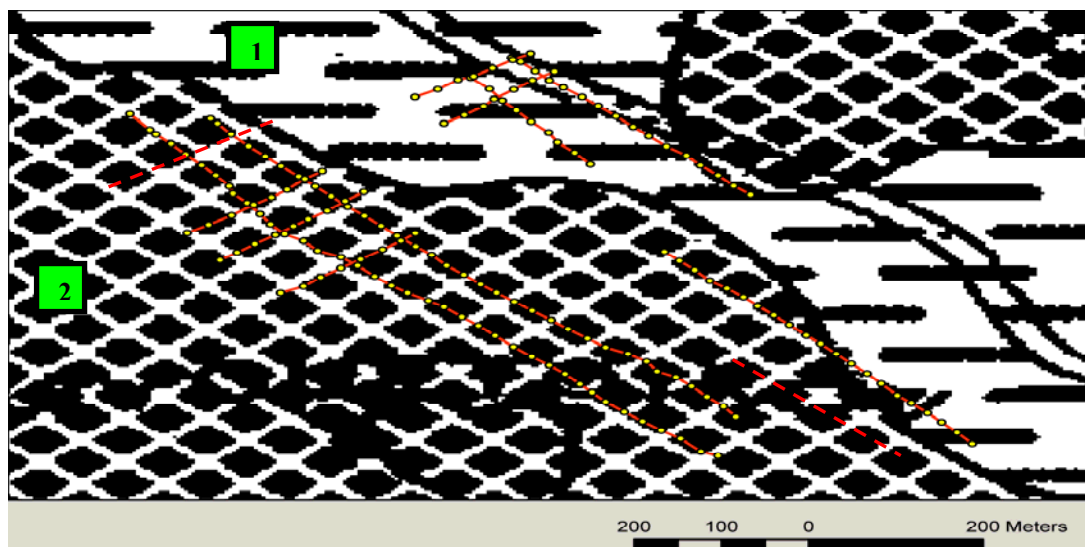
7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Πραγματοποιήσαμε 12 οδεύσεις, με την διάταξη που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (σχήμα 7.1), οκτώ (8) από τις οποίες έγιναν πάνω στο σύστημα φλεβών του οφιολιθικού συμπλέγματος και οι υπόλοιπες πάνω σε ποταμοχειμάρριες αποθέσεις μικρού πάχους, (σχήμα 7.2).



Σχήμα 7-1 Σχεδιάγραμμα της περιοχής όπου πραγματοποιήθηκε η έρευνα και η απεικόνιση των 12 οδεύσεων vlf (μήκος και διεύθυνση) που εκτελέσαμε.

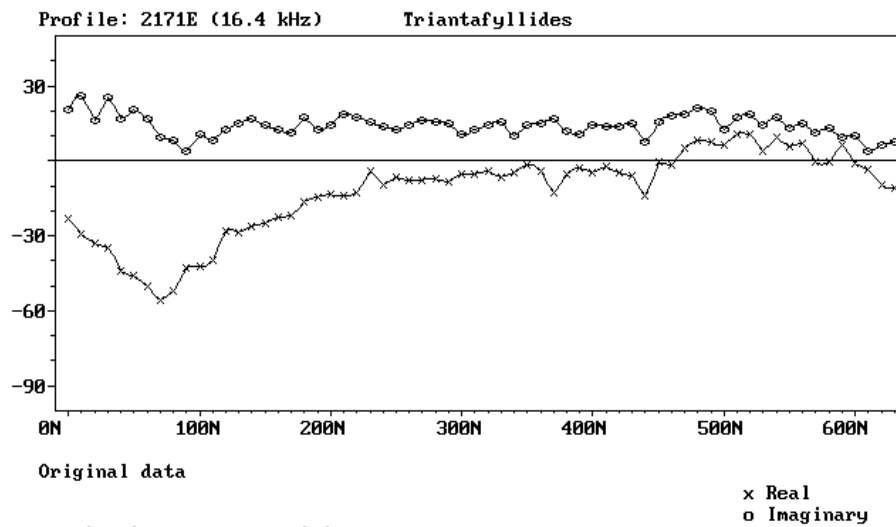


Σχήμα 7-2. 1) Ποταμοχειμάρριες αποθέσεις 2) Σύστημα φλεβών.

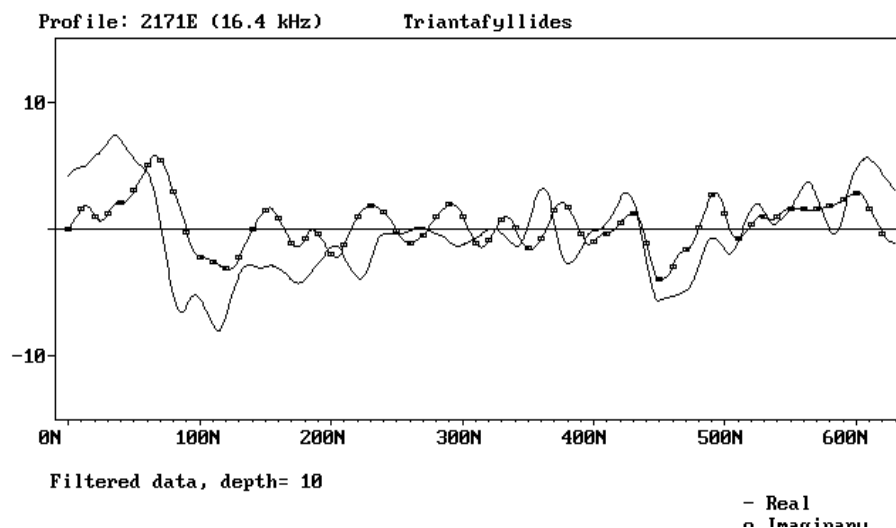
7.2 ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΩΝ ΟΔΕΥΣΕΩΝ VLF

1) Profile 2171E

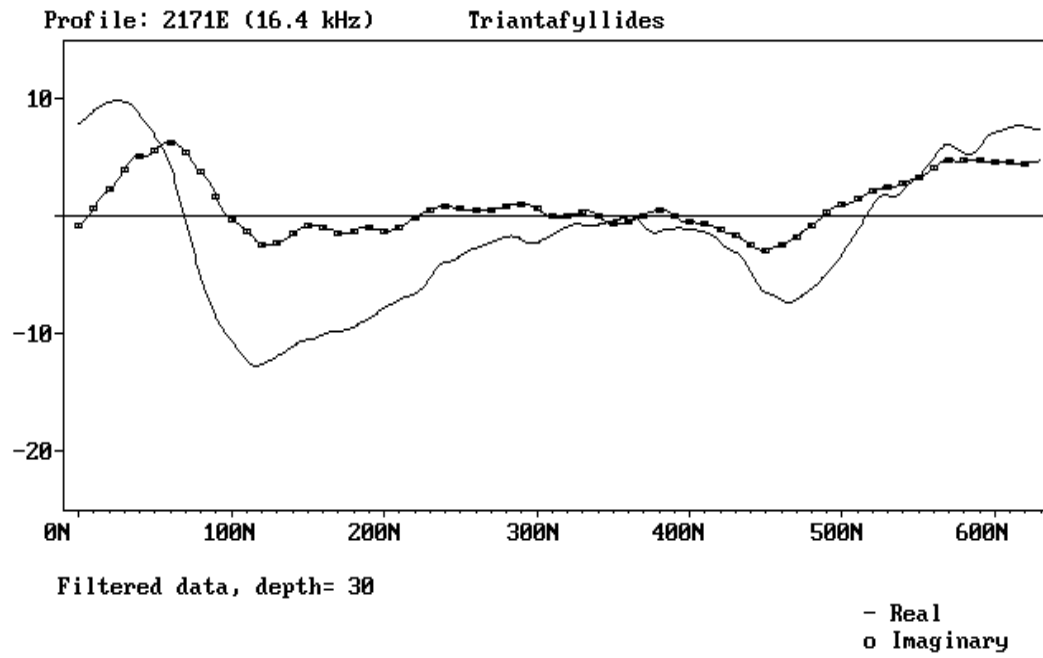
Σε απόσταση 30 μέτρων παρατηρείται ανωμαλία που οφείλεται σε αγωγίμη ζώνη που σύμφωνα με την φανταστική συνιστώσα δεν έχει αρκετές πιθανότητες να υδροφορεί. Επίσης αγωγίμη ζώνη πλάτους μεγαλύτερου των 40 μέτρων παρατηρείται μεταξύ 600 και 620 μέτρων με λίγες πιθανότητες υδροφορίας (σχήματα 7.3 α,β,γ και δ)



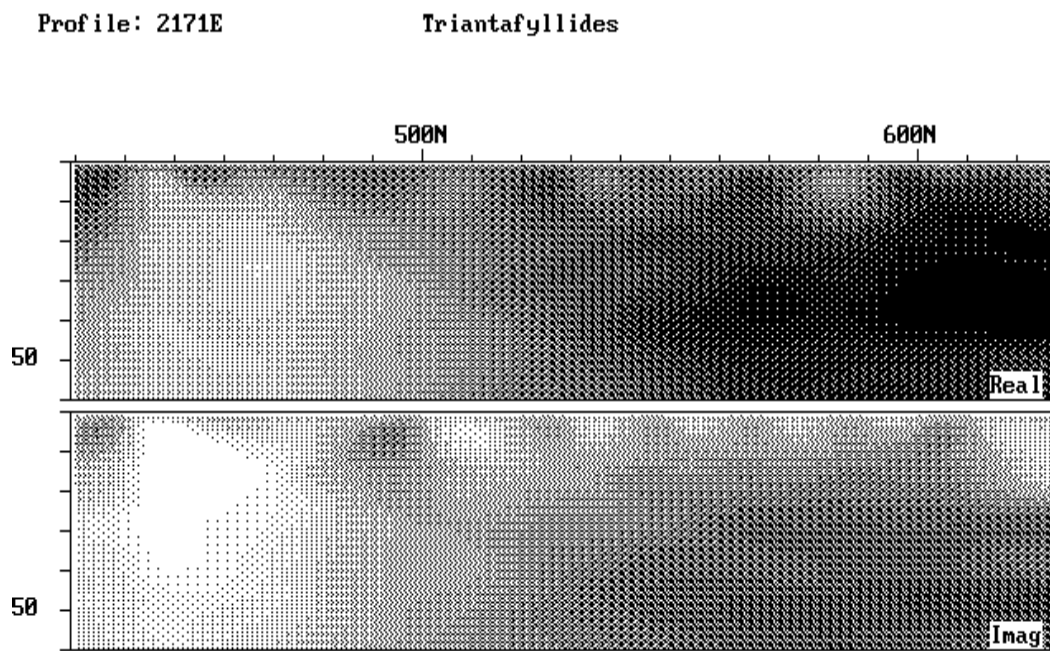
(α)



(β)



(γ)

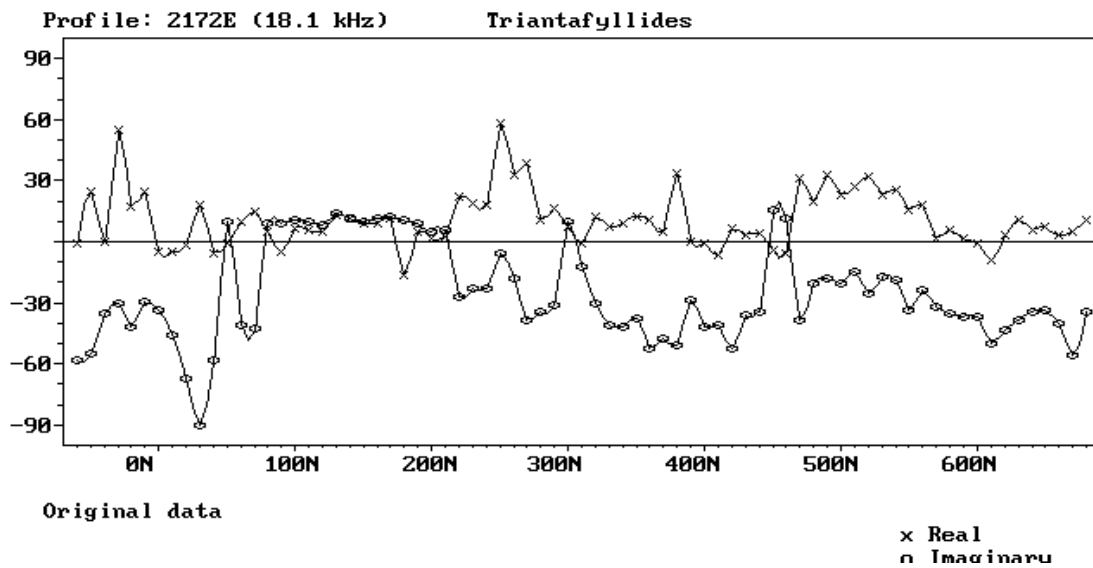


(δ)

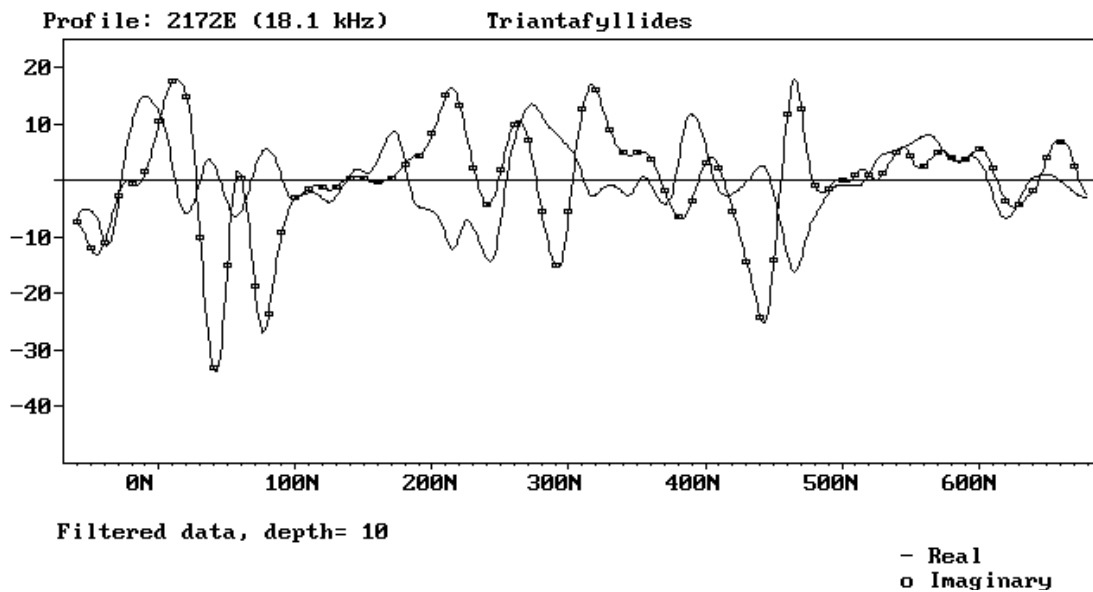
Σχήμα 7-3. Επεξεργασία όδευσης 2171E

2) Profile 2172E

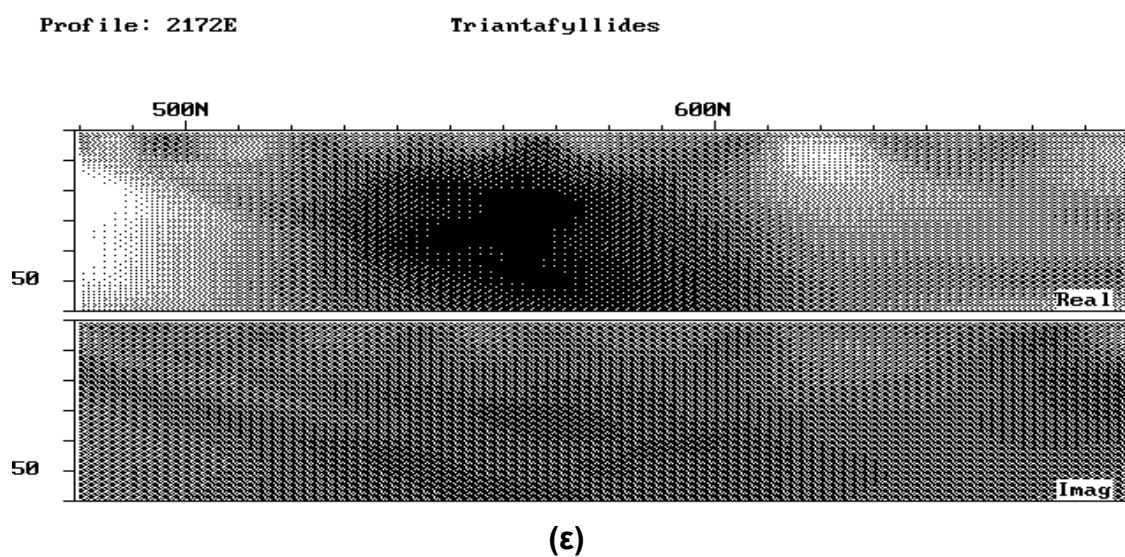
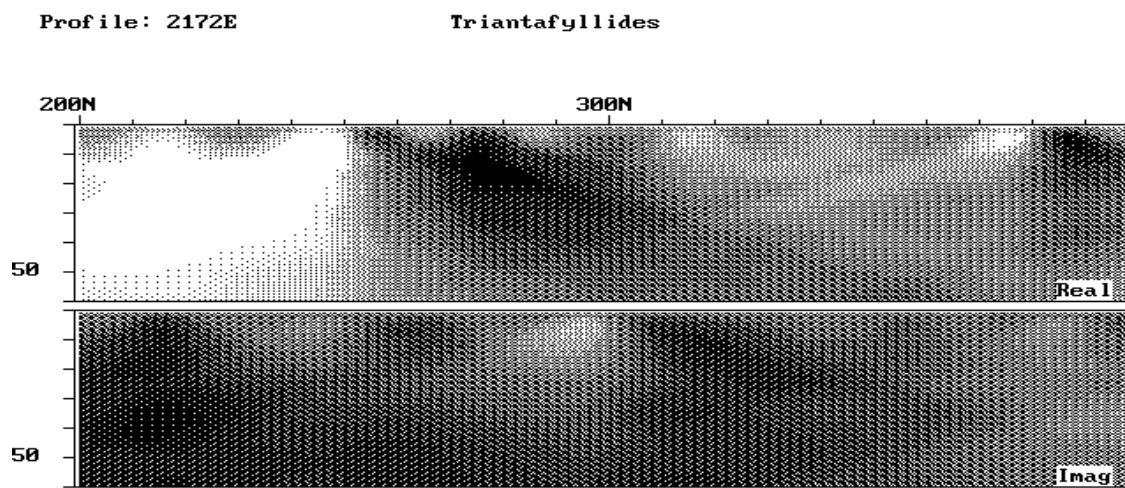
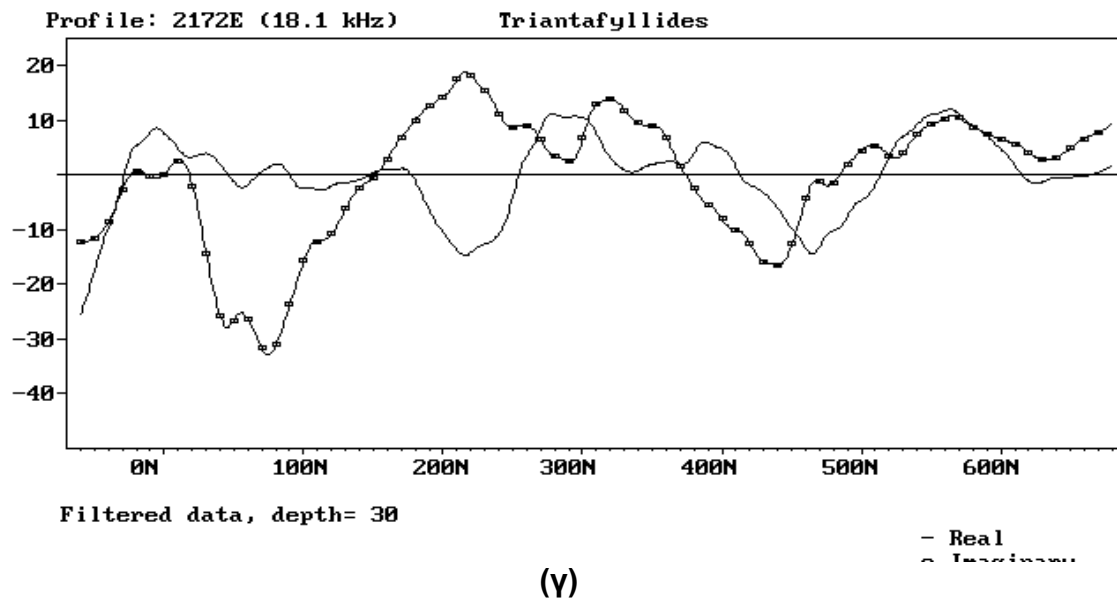
Σε απόσταση 60 μέτρων από την αρχή της όδευσης, στο σημείο των 0 μέτρων (σύμφωνα με την καμπύλη), παρατηρείται αγωγίμη ζώνη σε βάθος 35 μέτρων περίπου, με αρκετές πιθανότητες υδροφορίας. Πιθανή υδροφορία διαπιστώνεται και στην αγωγίμη ζώνη των 280 μέτρων σε βάθος 20 με 25 μέτρων. Αντίθετα στις ζώνες σε απόσταση 390 μέτρων η ρηξιγενής ζώνη είναι πληρωμένη με άργιλλο και μεταξύ 560 και 570 μέτρων έχουμε μικρή πιθανότητα υδροφορίας. (σχήματα 7.4 α,β,γ,δ και ε)



(α)



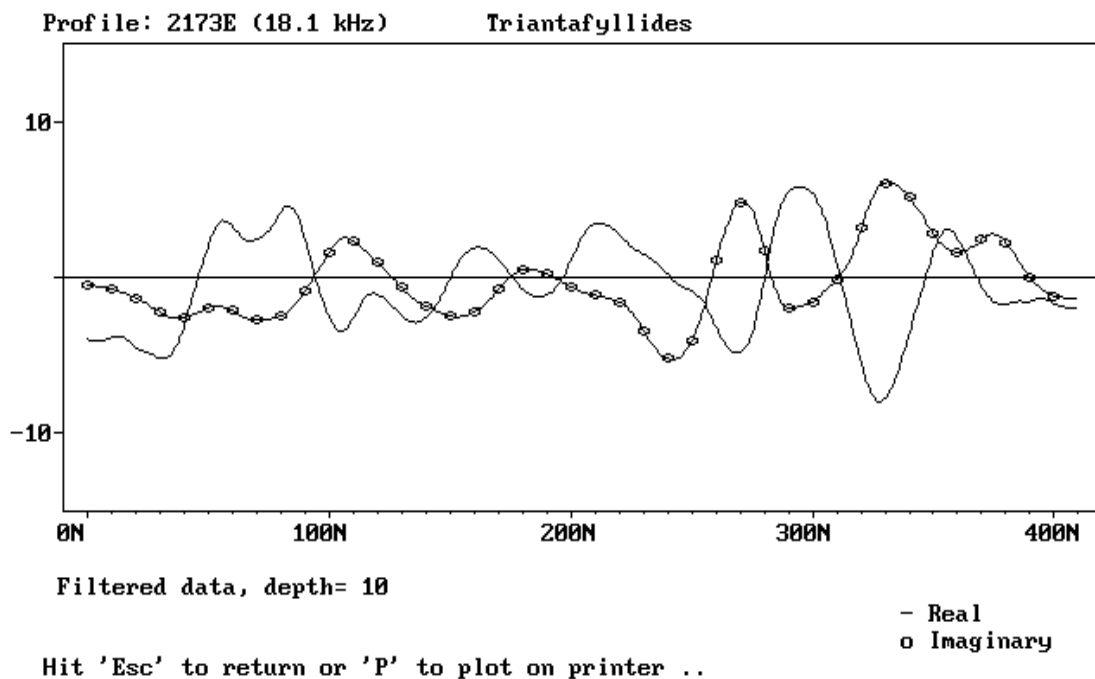
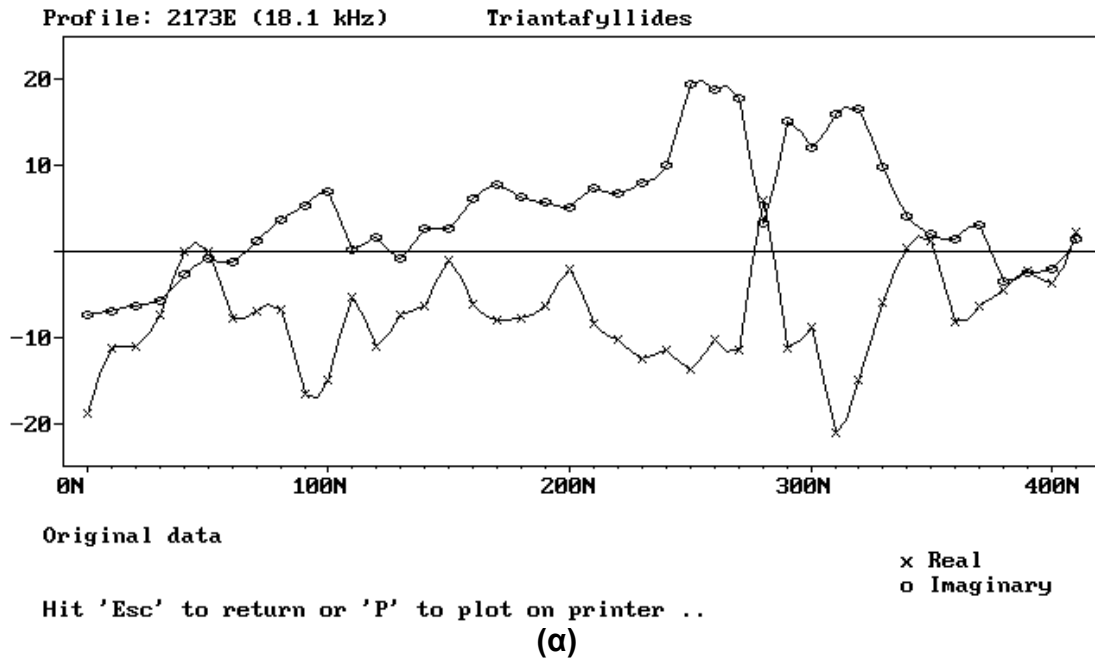
(β)



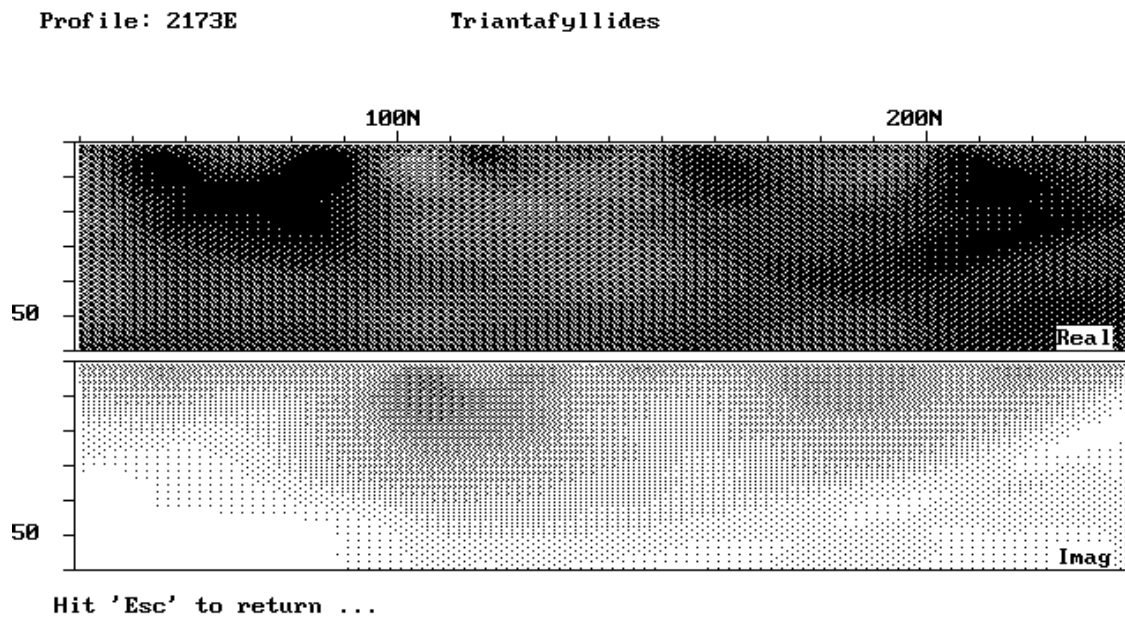
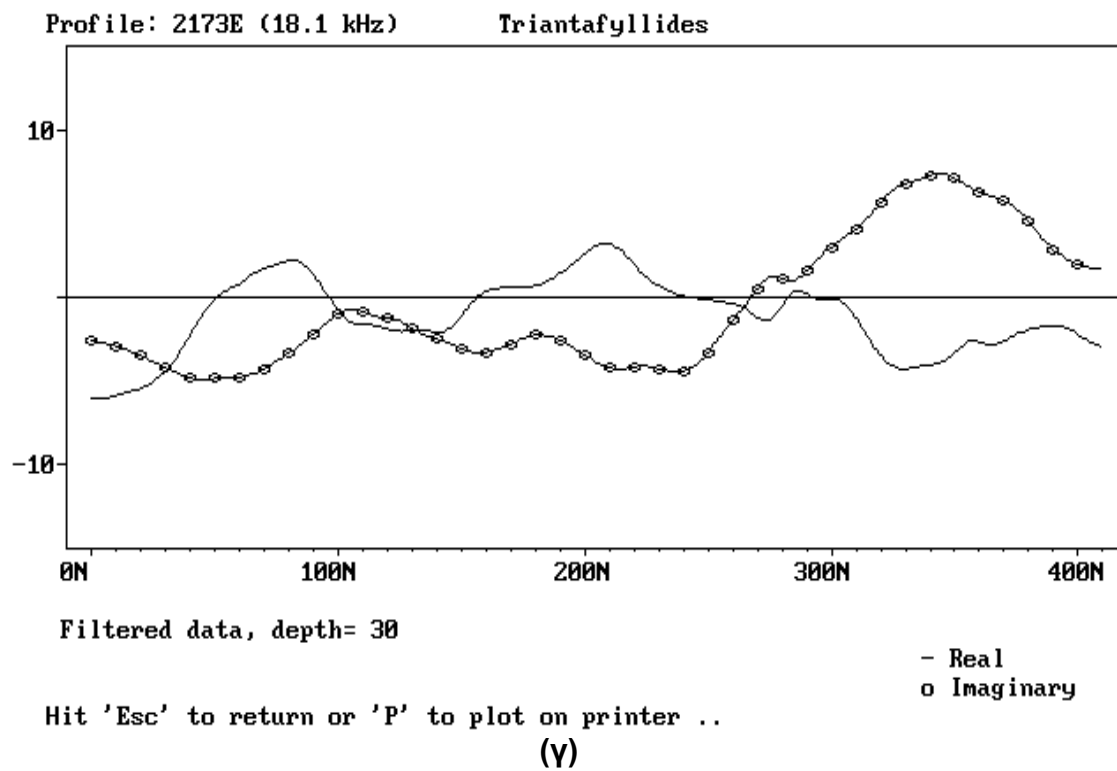
Σχήμα 7-4. Επεξεργασία όδευσης 2172E

3) Profile 2173E

Σε αποστάσεις 50 και 90 μέτρων παρατηρούνται ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες σε μικρό βάθος, της τάξης των 20 μέτρων, πιθανό να ενώνονται. Βάσει της φανταστικής συνιστώσας φαίνονται να είναι πληρωμένες με άργιλλο. Εντοπίζεται επίσης αγωγίμη ζώνη σε απόσταση 210 μέτρων και σε βάθος περίπου 50 μέτρων με πιθανή αργιλική πλήρωση. (σχήματα 7.5 α,β,γ και δ)



(β)

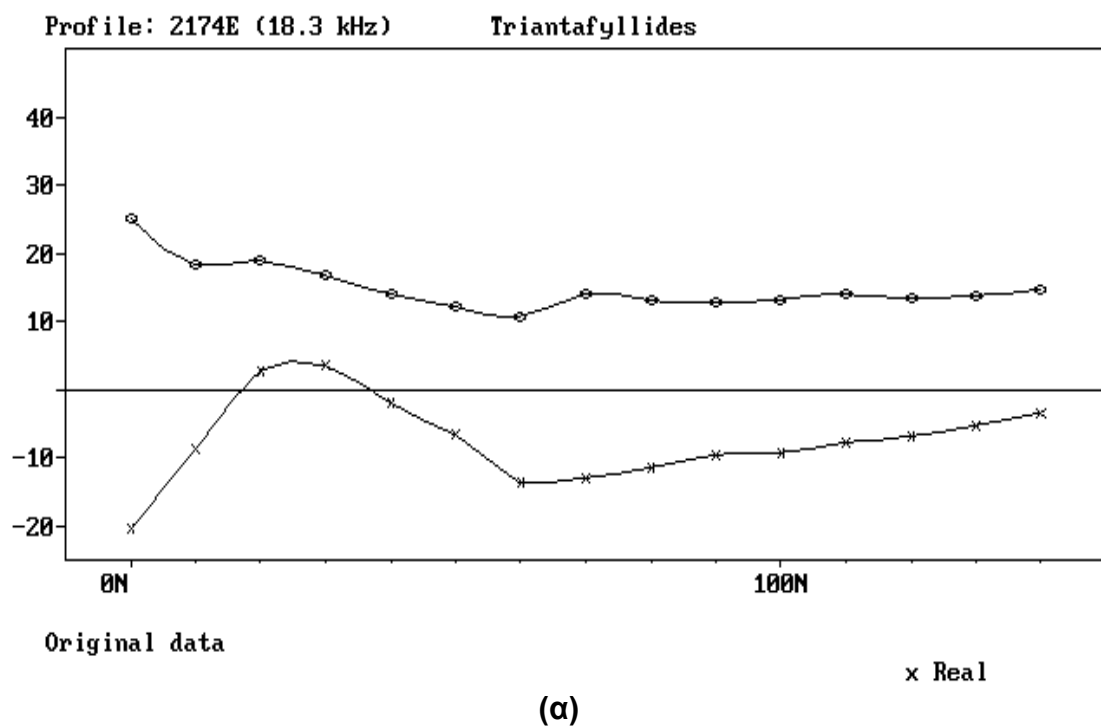


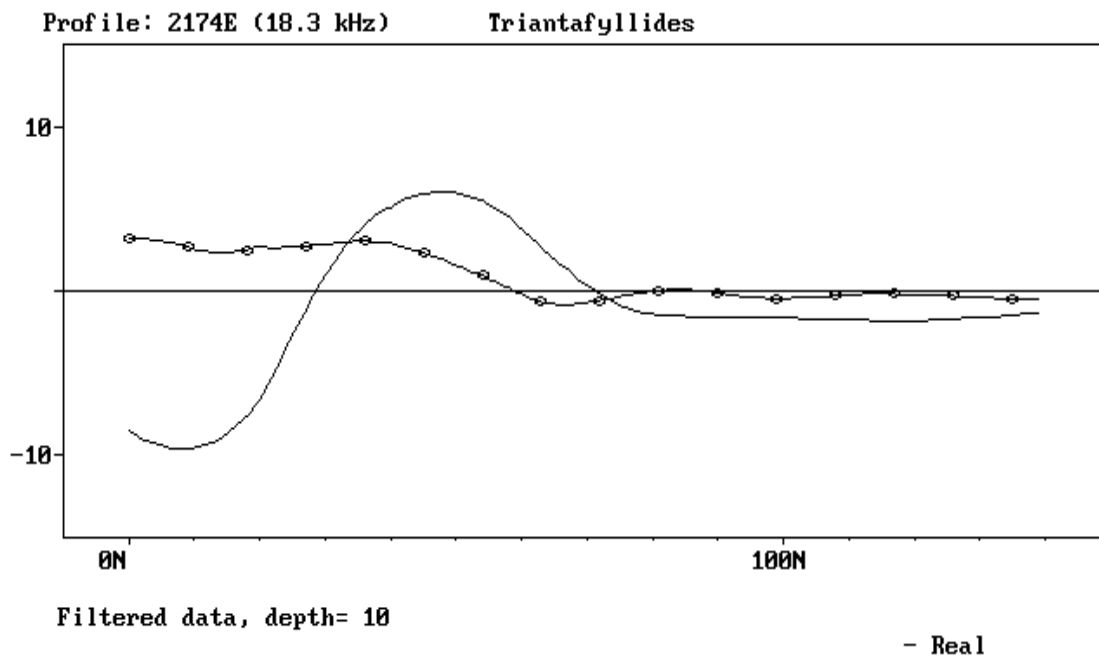
(δ)

Σχήμα 7-5. Επεξεργασία όδευσης 2173E

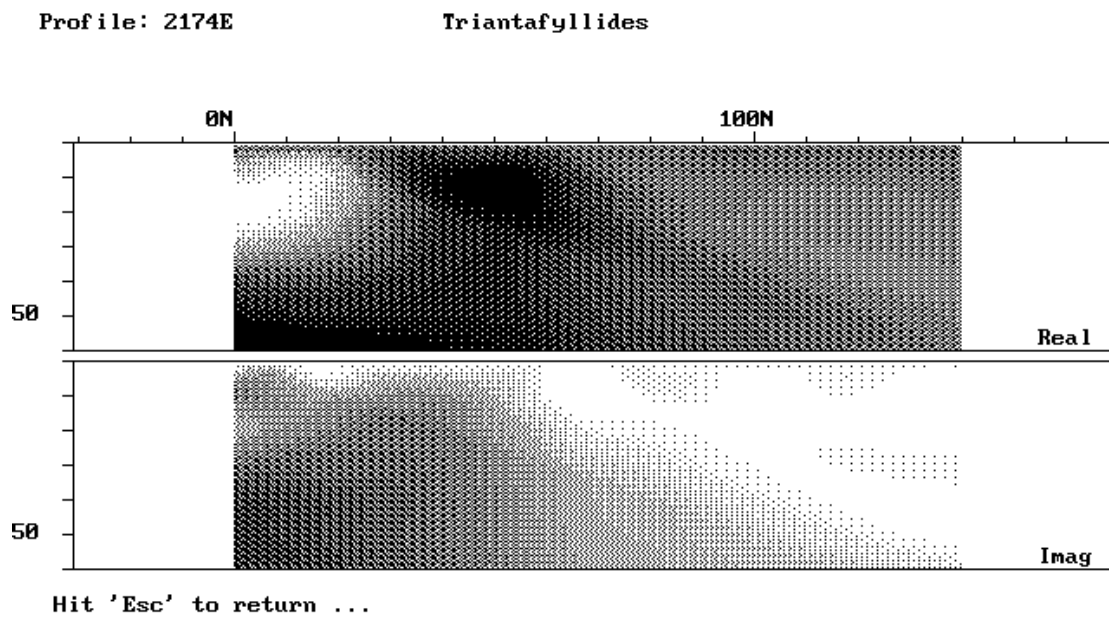
4) Profile 2174E

Η φιλτραρισμένη πραγματική συνιστώσα παρουσιάζει μια θετική κορυφή σε απόσταση 50 μέτρων που οφείλεται σε κατακόρυφη αγωγήμη ζώνη βάθους ≈ 20 μέτρων. Η φανταστική συνιστώσα έχει μικρή θετική – αρνητική τιμή, δηλαδή υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. (σχήματα 7.6 α,β και γ)





(β)

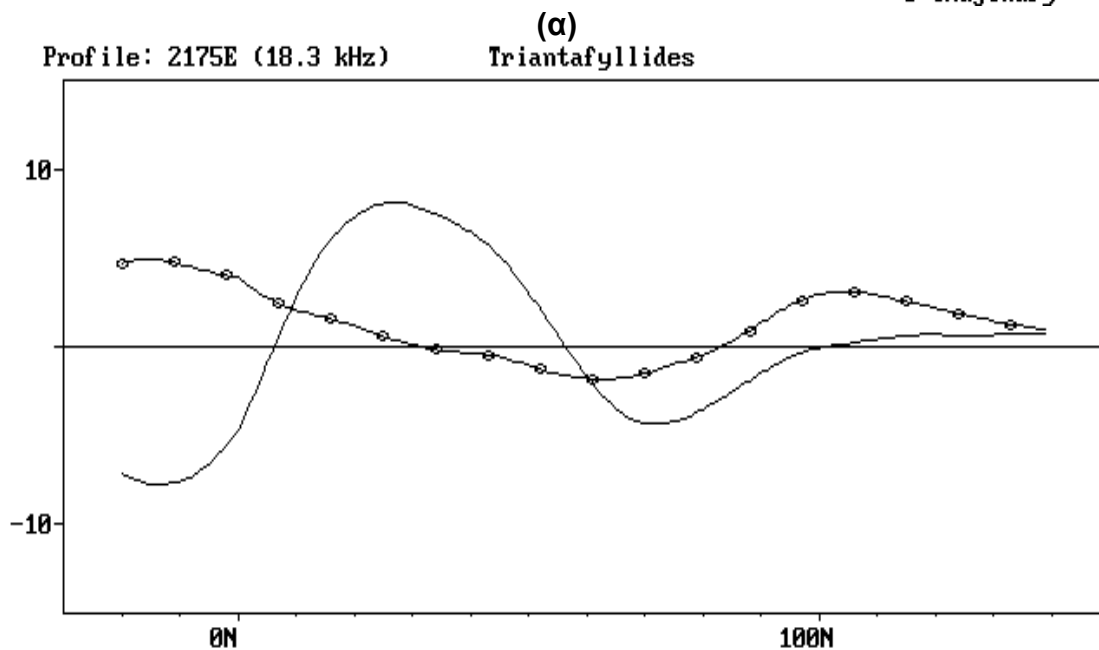
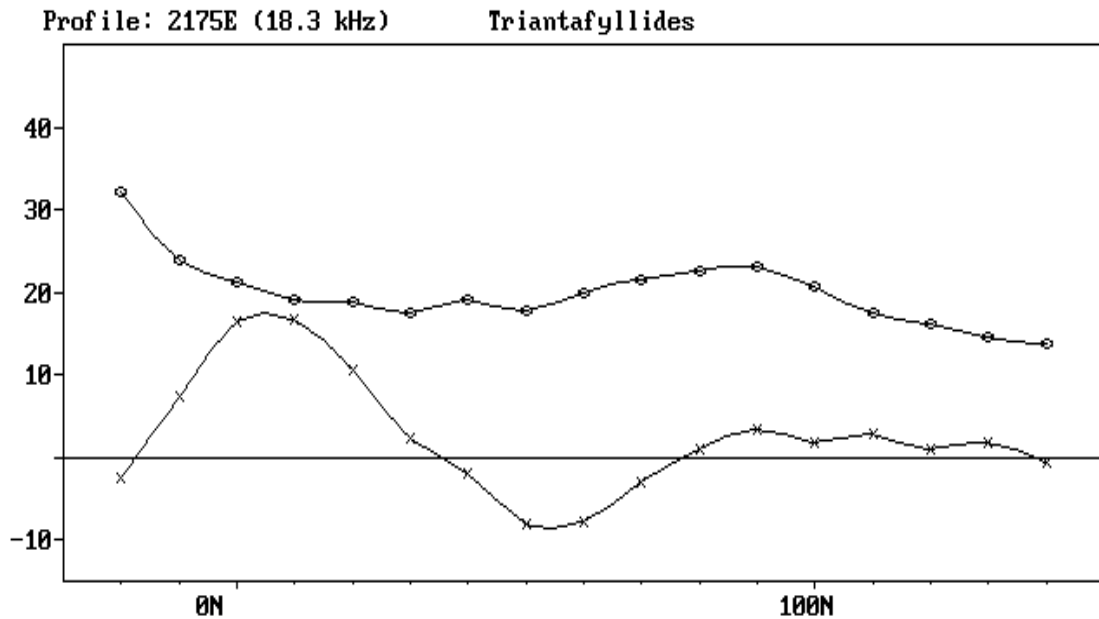


(γ)

Σχήμα 7-6. Επεξεργασία όδευσης 2174E

5) Profile 2175E

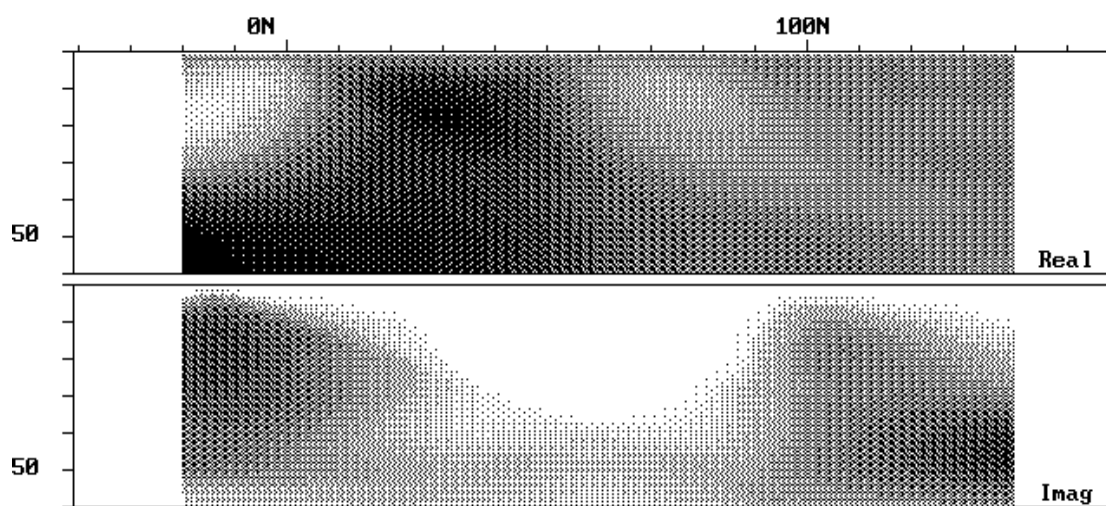
Όπως και στο profile 2174 E, η πραγματική συνιστώσα παρουσιάζει μια θετική κορυφή σε απόσταση 50 μέτρων που οφείλεται σε αγώγιμη ζώνη βάθους ≈ 25 μέτρων. Η φανταστική συνιστώσα παίρνει μικρή θετική – αρνητική τιμή, άρα συμπεραίνουμε ότι υπάρχει μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. (σχήματα 7.7 α,β και γ)



(β)

Profile: 2175E

Triantafyllides

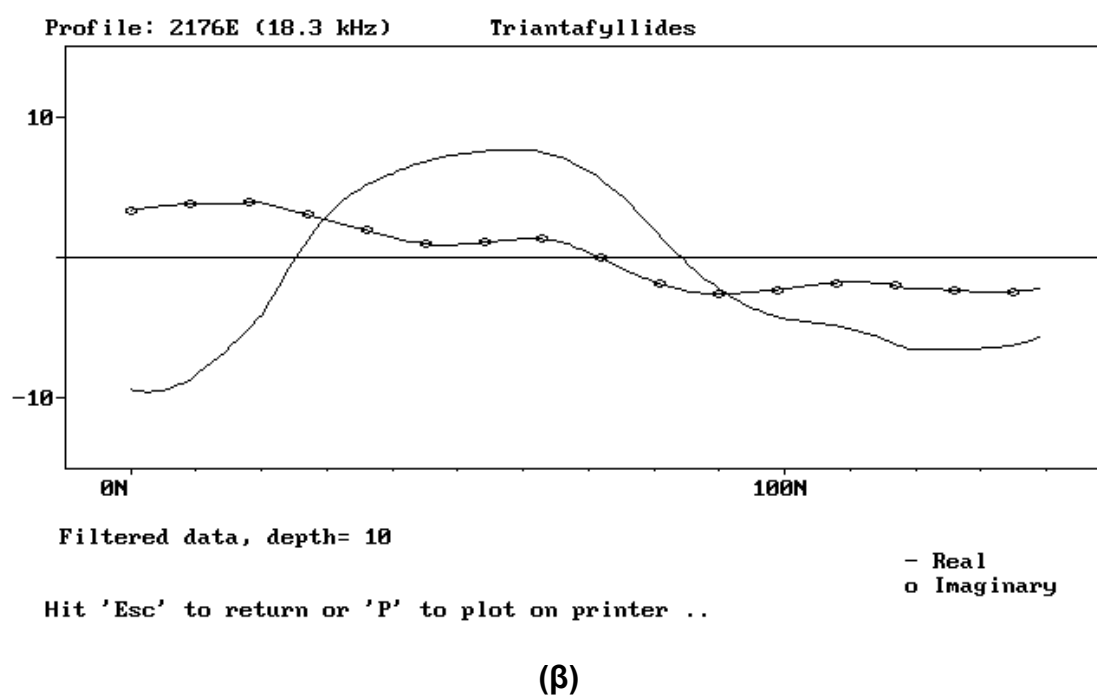
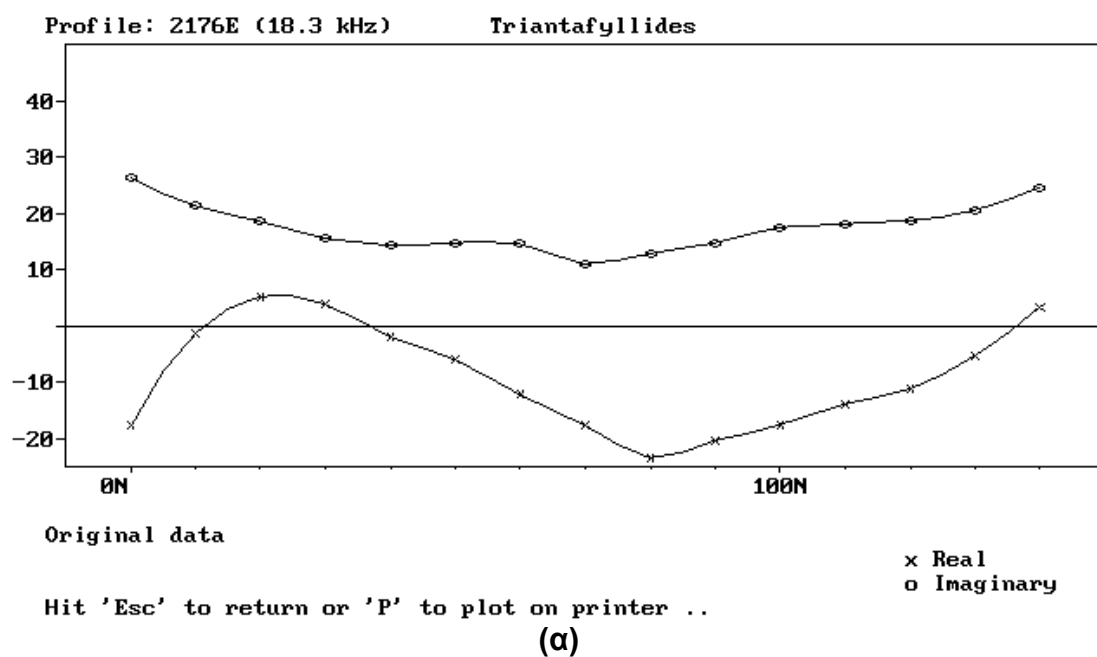


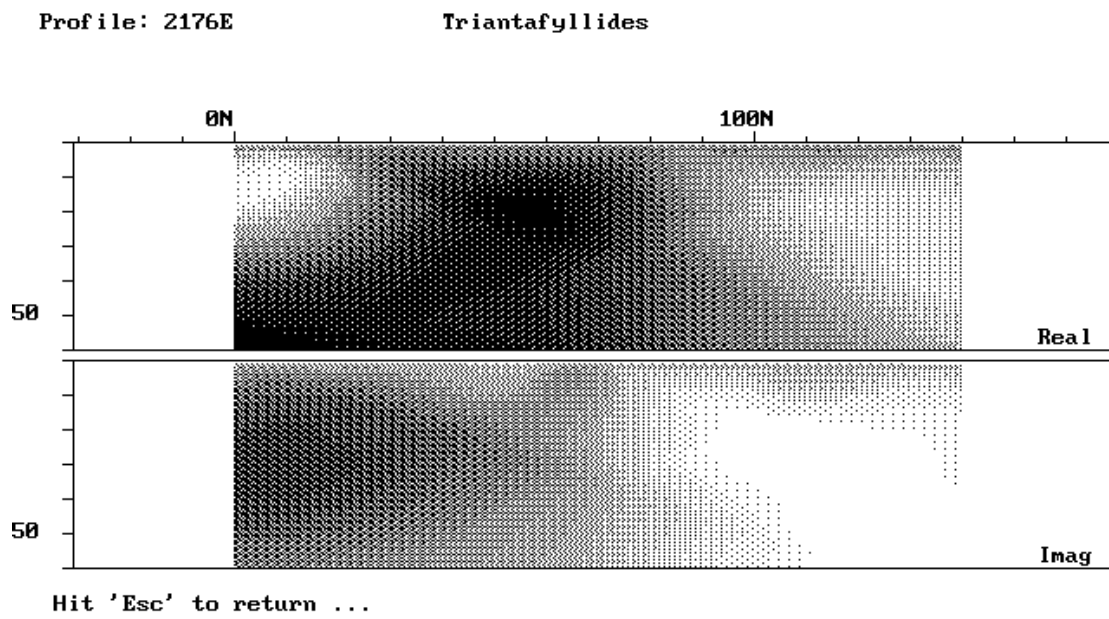
(γ)

Σχήμα 7-7. Επεξεργασία όδευσης 2175E

6) Profile 2176E

Ομοίως με τις προηγούμενες δύο οδεύσεις, παρατηρείται μια αγωγίμη ζώνη σε απόσταση 70 μέτρων και σε βάθος ≈ 30 μέτρα, η οποία έχει αρκετές πιθανότητες να υδροφορεί. (σχήματα 7.8 α,β και γ)





(Y)

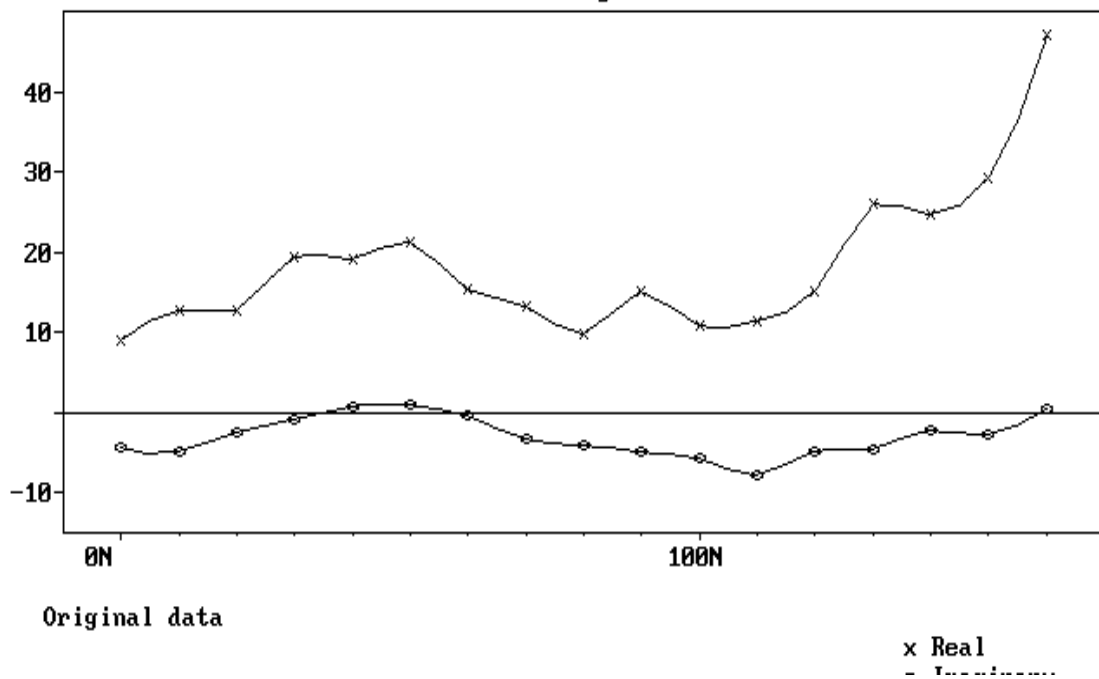
Σχήμα 7-8. Επεξεργασία όδευσης 2176E

7) Profile 2177E

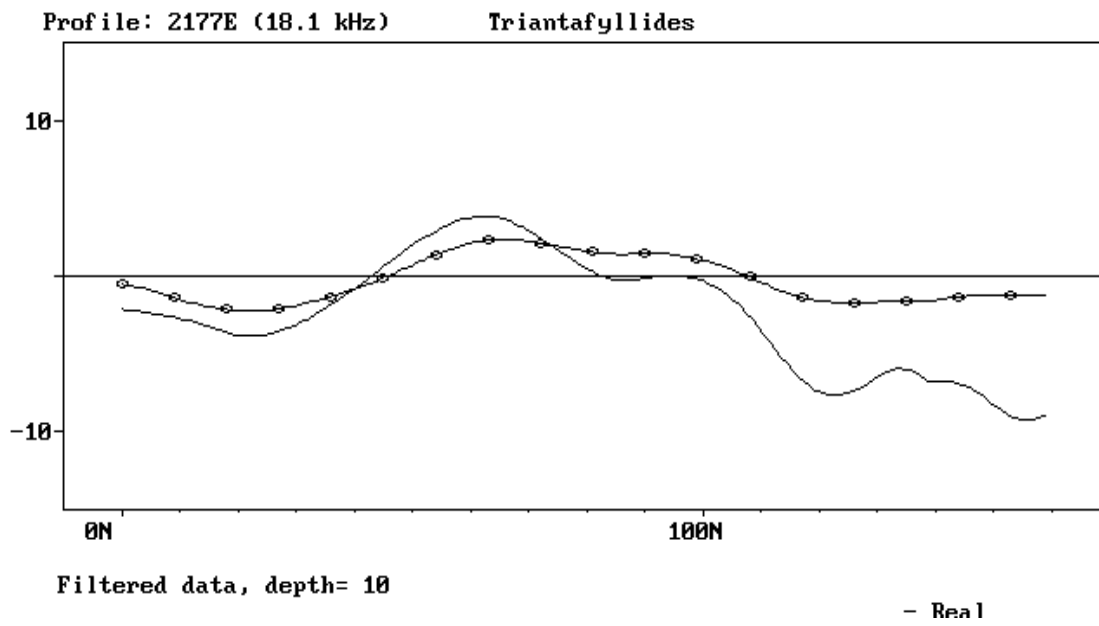
Μεταξύ 60 και 70 μέτρων παρατηρείται ανωμαλία που οφείλεται σε αγώγιμη ζώνη βάθους $\approx 15 - 20$ μέτρων και πλάτους 20 - 25 μέτρων που λόγω του ότι η φανταστική συνιστώσα έχει σχετικά μεγάλη θετική τιμή στο σημείο της ζώνης, ο αγωγός είναι μέτριος έως κακός και άρα οι πιθανότητες υδροφορίας είναι ελάχιστες. (σχήματα 7.9 α,β και γ)

Profile: 2177E (18.1 kHz)

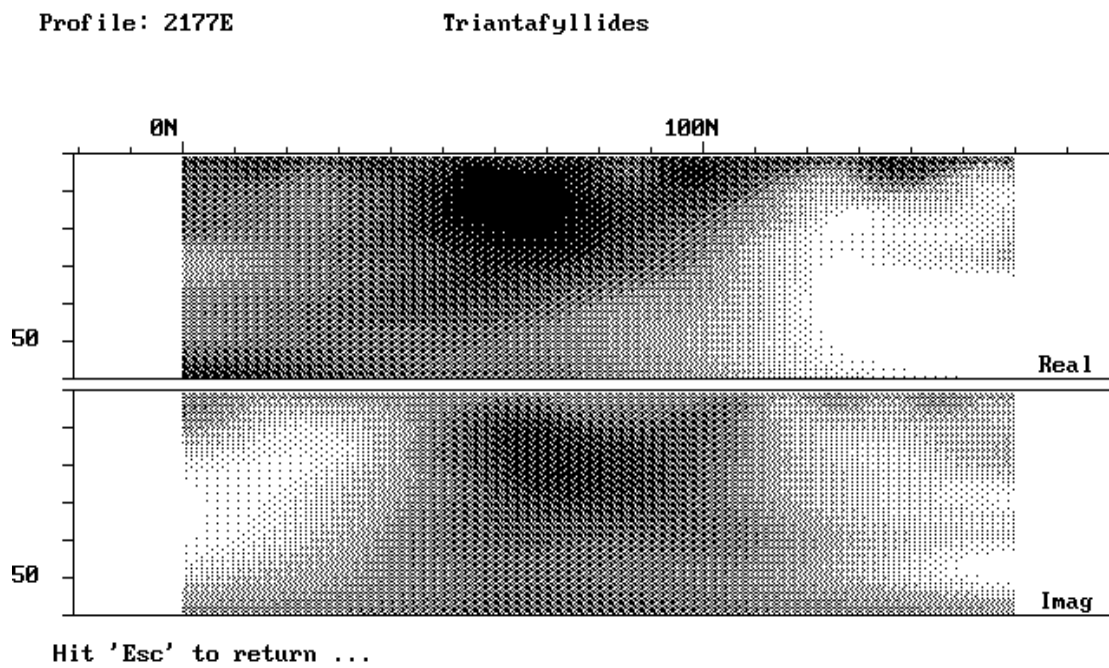
Triantafyllides



(α)



(β)

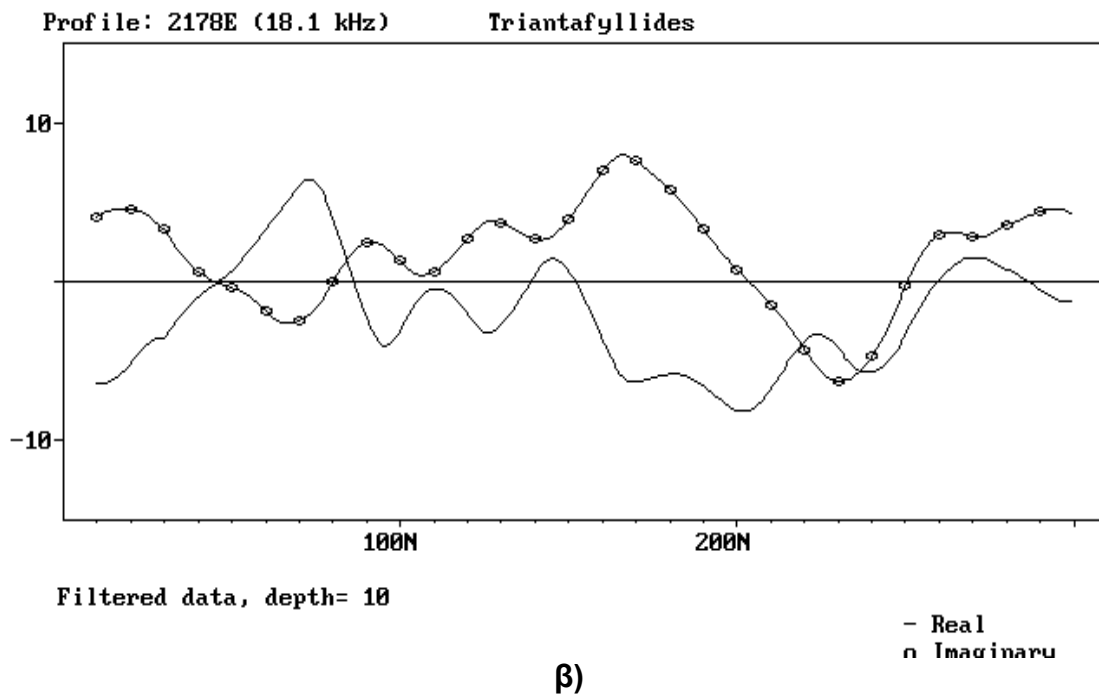
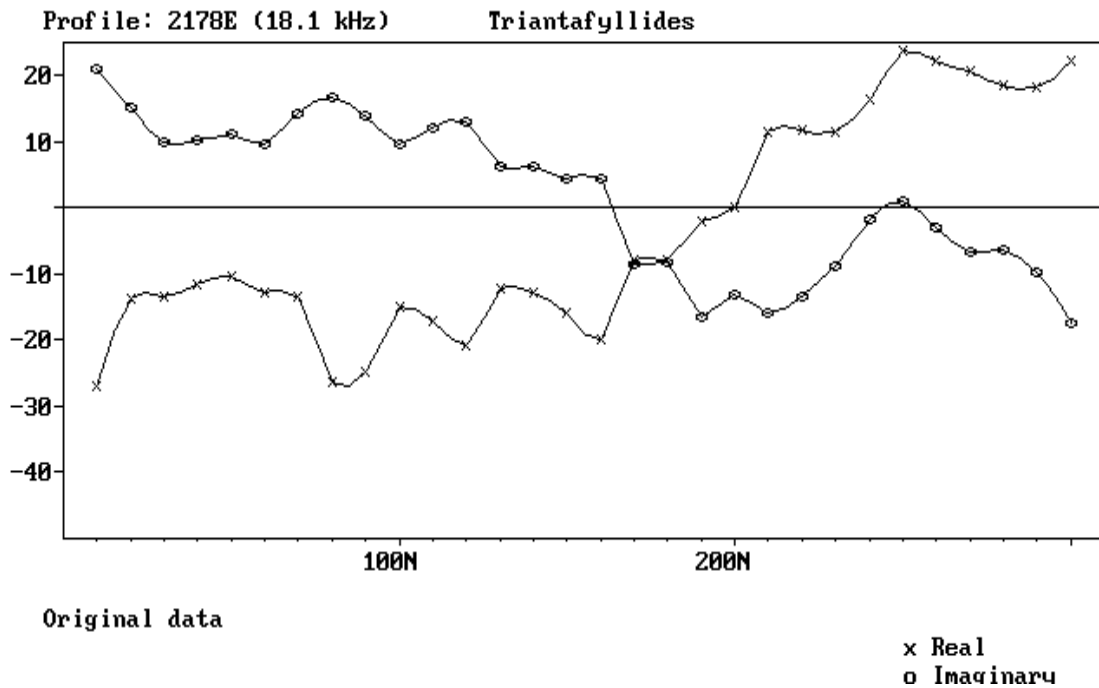


(γ)

Σχήμα 7-9. Επεξεργασία όδευσης 2177E

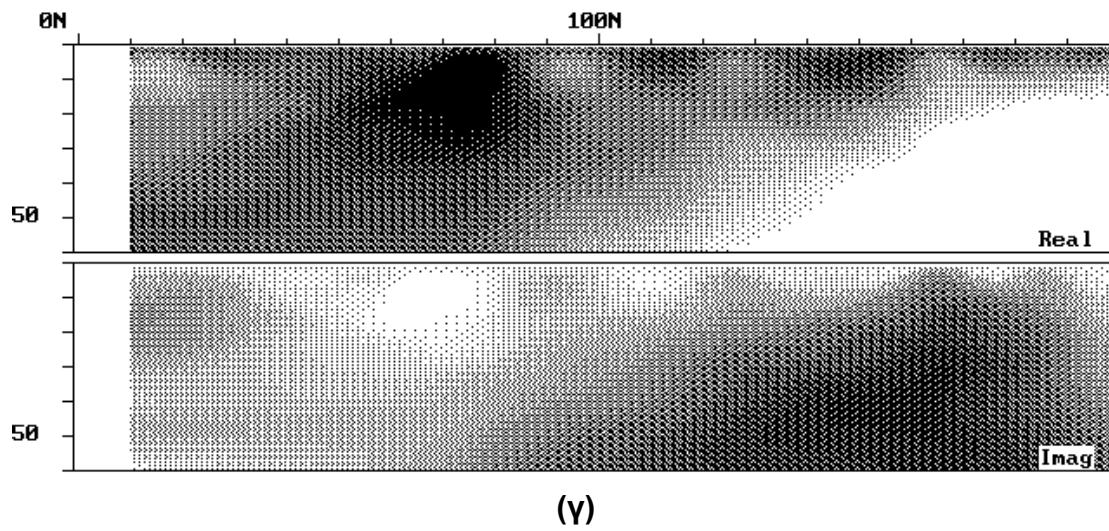
8) Profile 2178E

Μεταξύ 70 και 80 μέτρων παρατηρείται αγωγήμη ζώνη πλάτους 20 μέτρων με πιθανή ύπαρξη υδροφορίας. Ακόμη αγωγήμες ζώνες εντοπίζονται και σε αποστάσεις 145 και 270 μέτρων αλλά αυτές είναι πολύ μικρές και επιφανειακές και δεν παρουσιάζουν πιθανότητες υδροφορίας. (σχήματα 7.10 α,β και γ)



Profile: 2178E

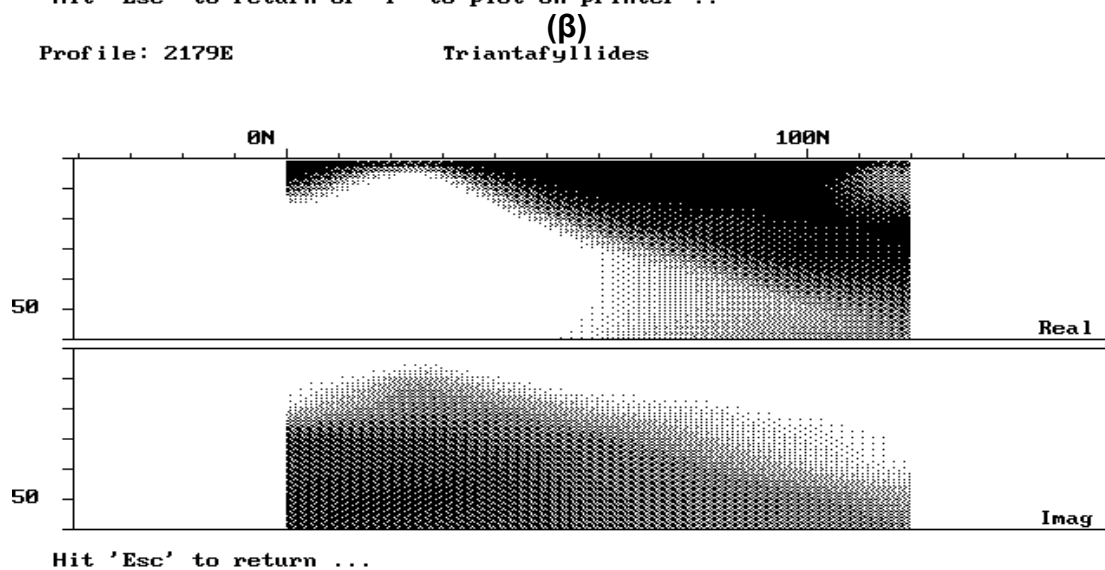
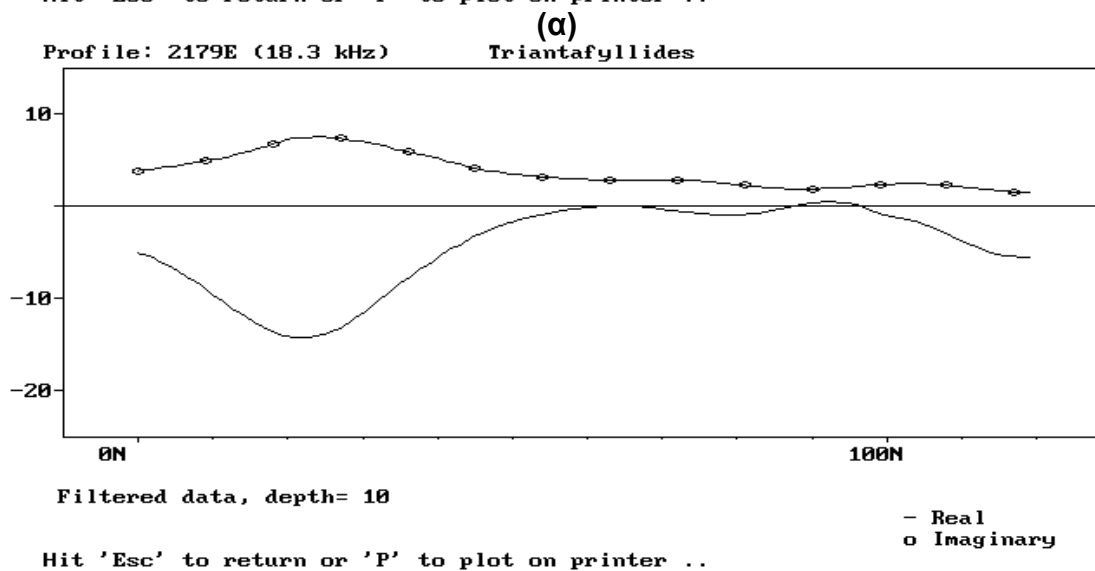
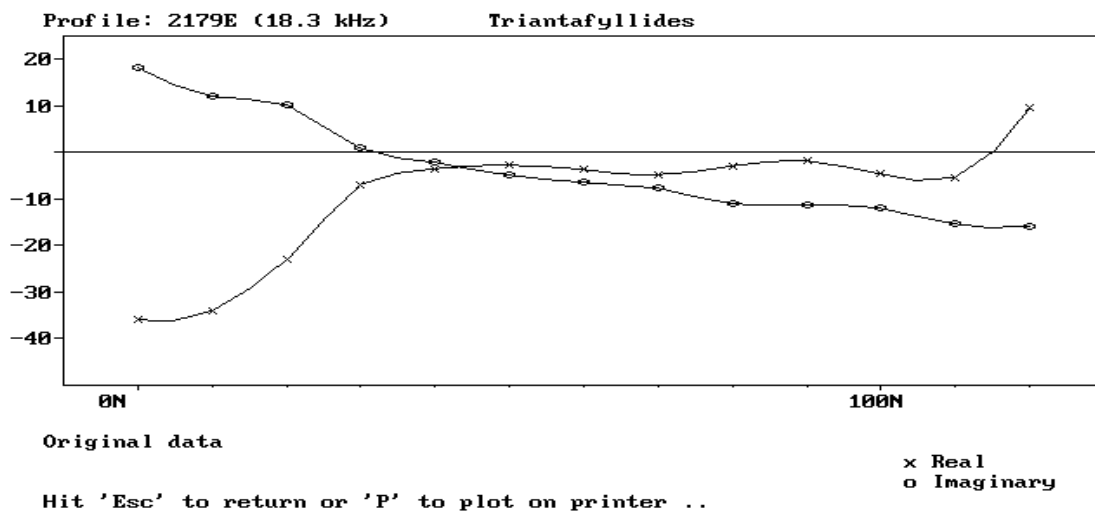
Triantafyllides



Σχήμα 7-10. Επεξεργασία όδευσης 2178E

9) Profile 2179E

Δεν παρατηρείται καμιά αγώγιμη ζώνη. (σχήματα 7.11 α,β και γ)

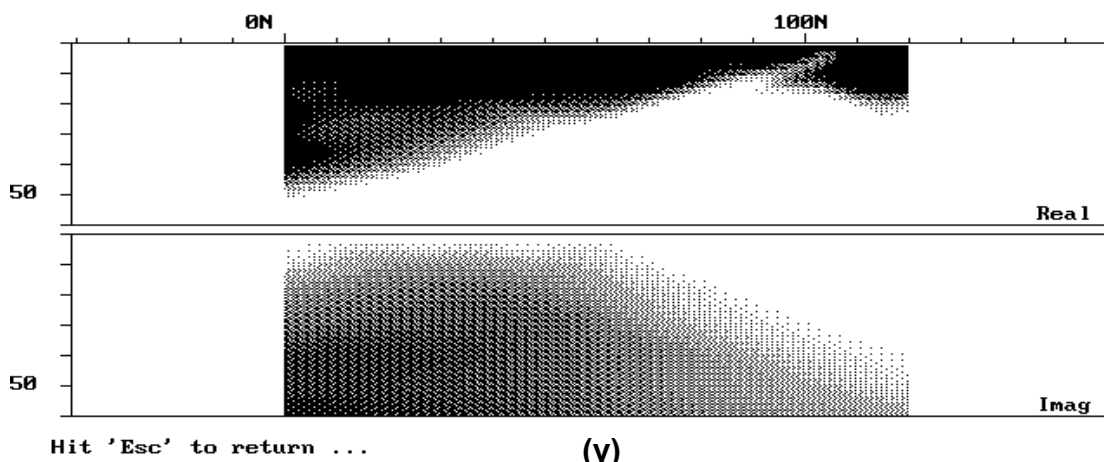
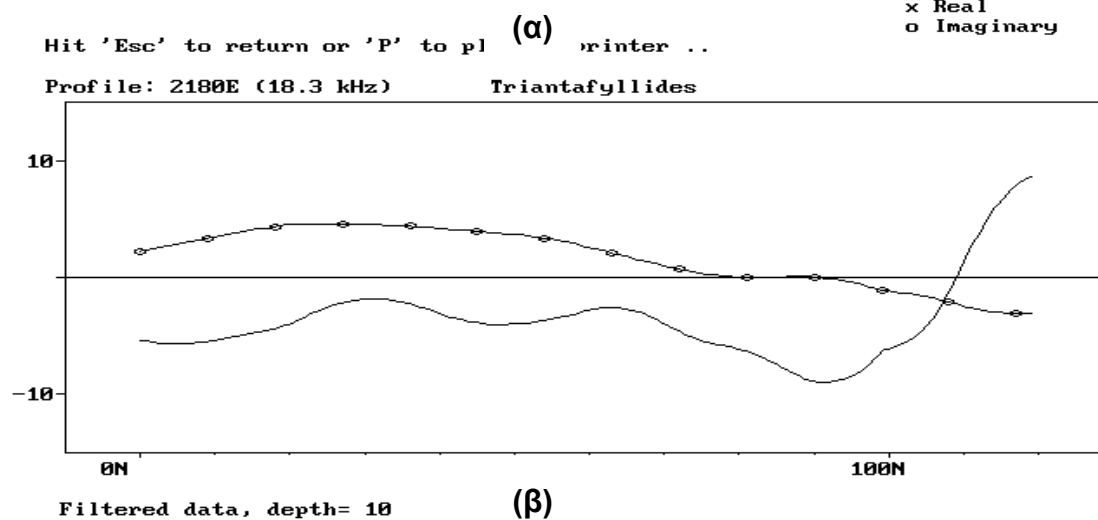
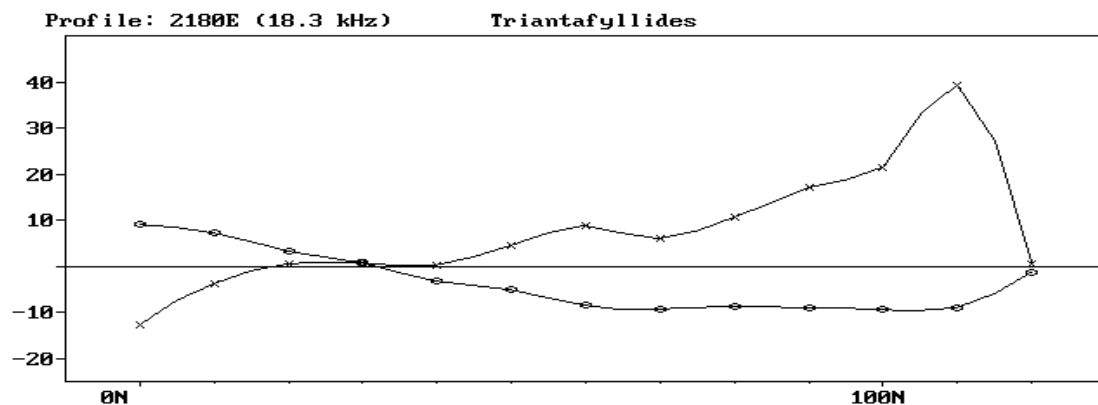


(γ)

Σχήμα 7-11. Επεξεργασία όδευσης 2179E

10) Profile 2180E

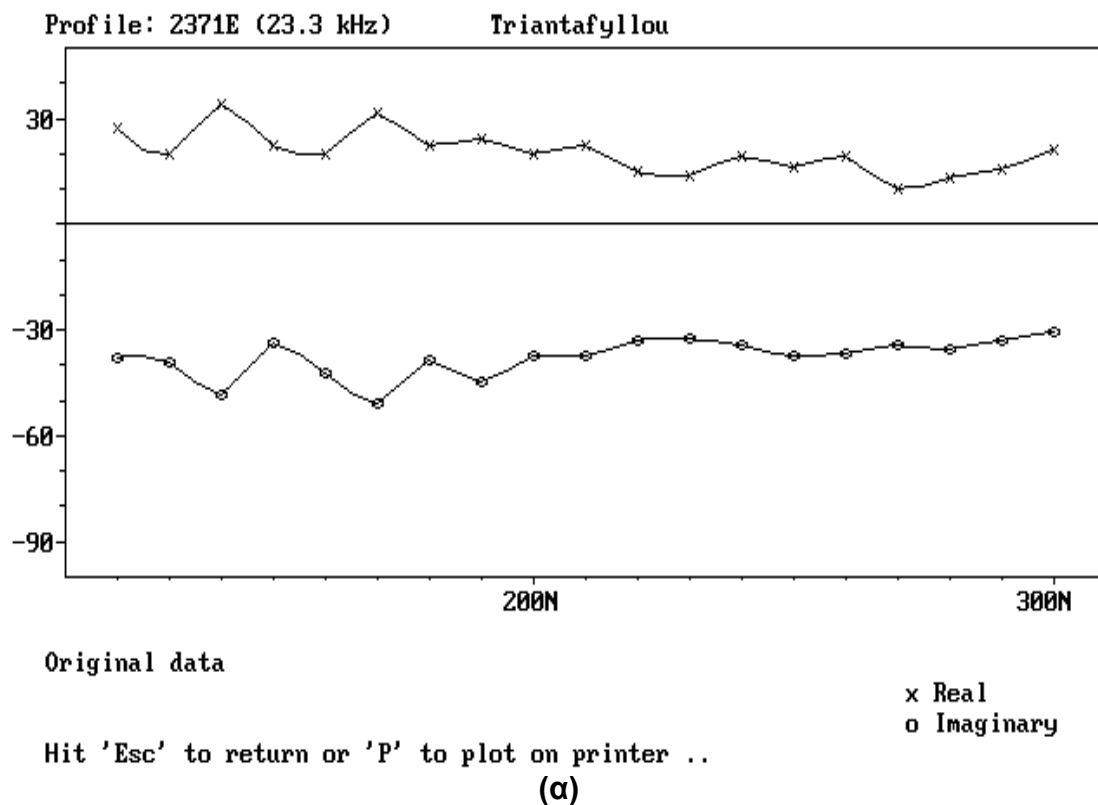
Όπως και πριν δεν παρατηρείται καμία αγώγιμη ζώνη με εξαίρεση προς το τέλος της όδευσης, μετά τα 110 μέτρα, εντοπίζεται ζώνη η οποία δεν ενδιαφέρει την έρευνα μας. (σχήματα 7.12. α,β και γ)

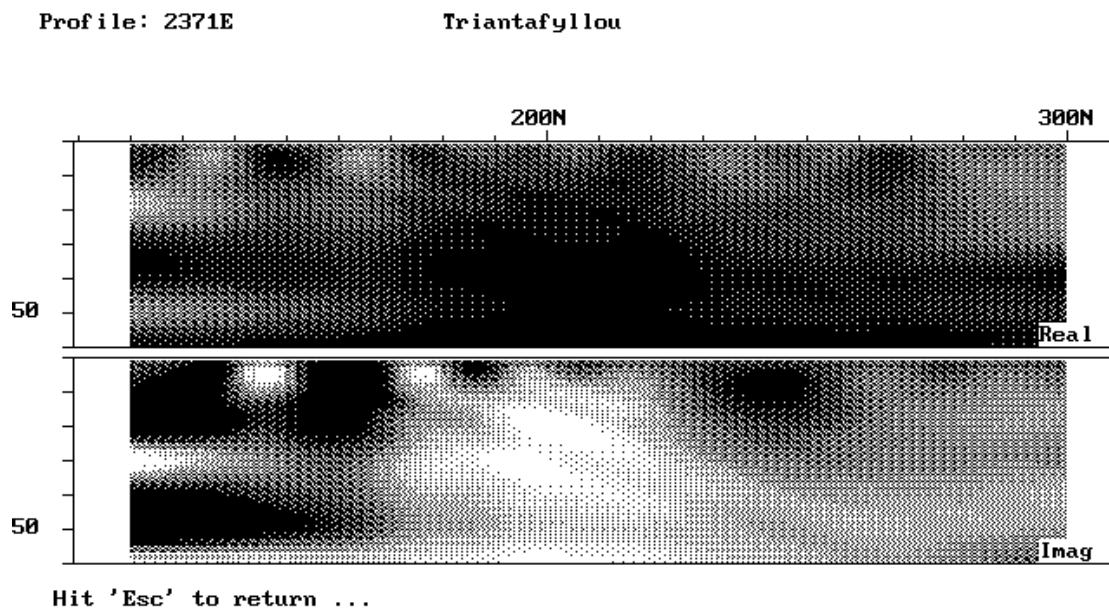
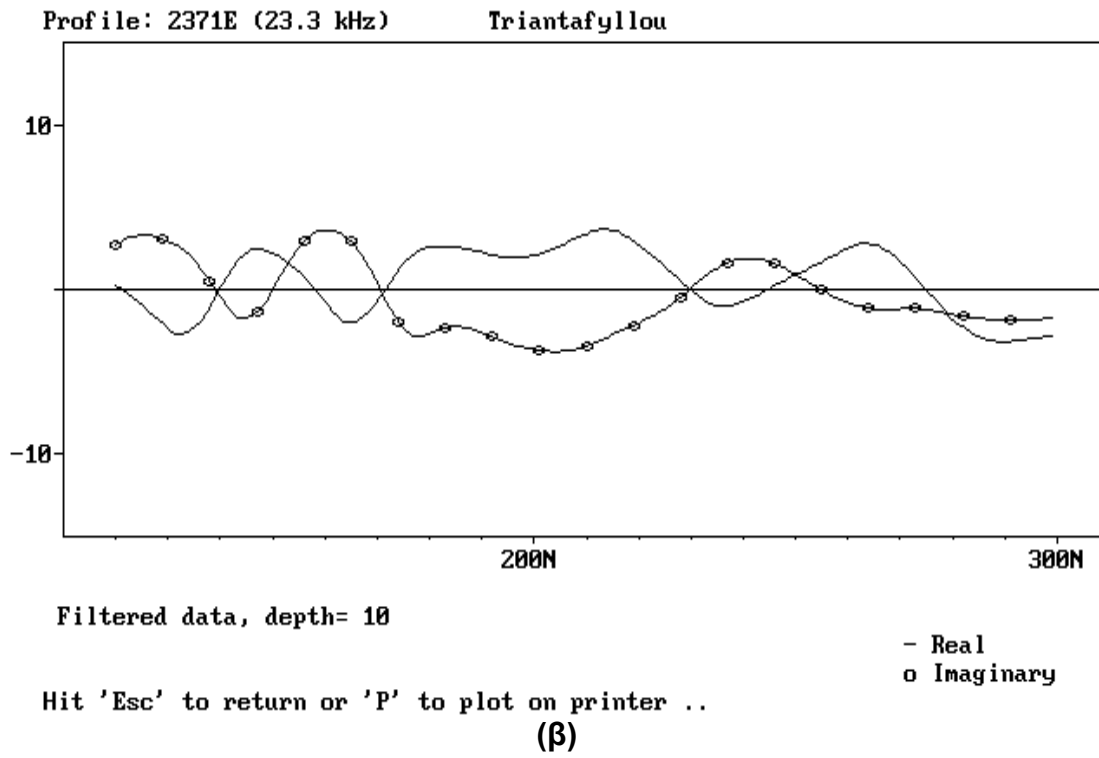


Σχήμα 7-12. Επεξεργασία όδευσης 21710E

11) Profile 2371E

Παρατηρείται αγωγήμη ζώνη σε απόσταση 25 μέτρων η οποία είναι αργιλικά πληρωμένη. Σε αποστάσεις 60 και 95 μέτρων διαπιστώνονται δύο (2) ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες σε βάθος μεγαλύτερο των 50 μέτρων πιθανό να ενώνονται και να σχηματίζουν μια ενιαία ρηξιγενή δομή. Η φιλτραρισμένη φανταστική συνιστώσα, σε αυτή τη δομή, αποκτά αρνητικές τιμές μεγάλου πλάτους πράγμα που δηλώνει ότι είναι αργιλικά πληρωμένη όπως και προηγουμένως. Αντίθετα στην αγωγήμη ζώνη των 145 μέτρων η φιλτραρισμένη φανταστική συνιστώσα έχει μικρή αρνητική τιμή (σε σχέση με την πραγματική) άρα και μεγάλη πιθανότητα υδροφορίας. (σχήματα 7.13 α,β και γ)

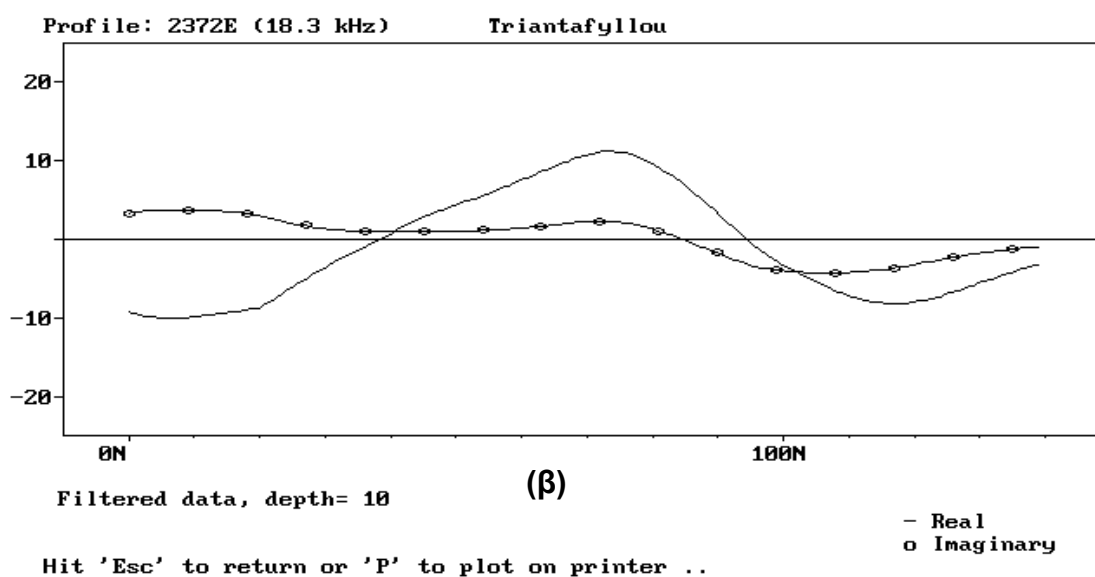
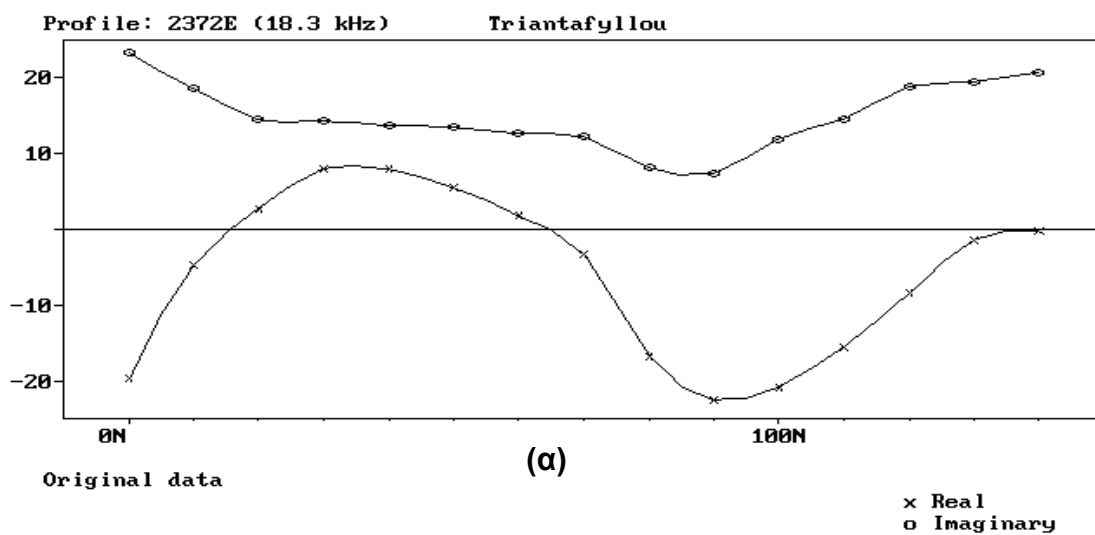




Σχήμα 7-13. Επεξεργασία όδευσης 2371E

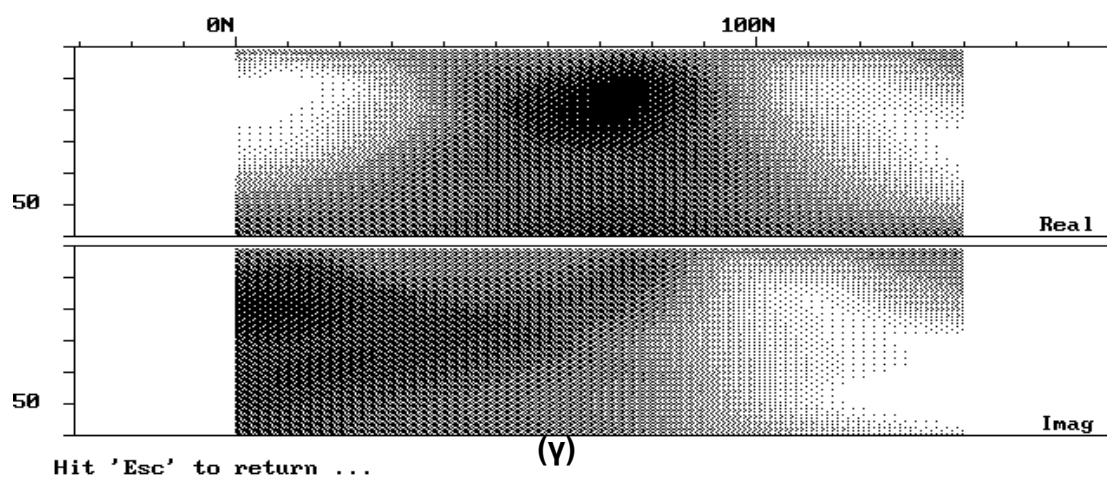
12) Profile 2372E

Παρατηρείται αγωγήμη ζώνη μεταξύ των 70 - 80 μέτρων, πλάτους 20 μέτρων, και η οποία πιθανό υδροφορεί.(σχήματα 7.14 α,β και γ)



Profile: 2372E

Triantafyllou



Σχήμα 7-14. Επεξεργασία όδευσης 2372E

8 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1 Συμπεράσματα:

Από τα στοιχεία της έρευνας συμπεραίνουμε τα εξής:

Από τις οδεύσεις 2174E, 2175E, 2176E και 2372E εντοπίζεται μια κύρια τεκτονική ζώνη σε βάθος περίπου 25 μέτρα και με διεύθυνση ΒΔ – ΝΑ και κλίση προς τα ΝΔ η οποία έχει τις περισσότερες πιθανότητες υδροφορίας. Η θέση της ζώνης αυτής παρουσιάζεται στο (σχήμα 8.1.α) σε απόσταση 50 μέτρων από την όδευση 2174E και 2175E.

Από τις οδεύσεις 2177E και 2178E εντοπίζεται ρήγμα με διεύθυνση ΝΔ – ΒΑ και βάθος περίπου 20 μέτρα που βυθίζει τους σχηματισμούς προς τα ΒΔ και με αρκετές πιθανότητες υδροφορίας. Η θέση της ζώνης δίνεται στο (σχήμα 8.1.β) και εντοπίζεται σε απόσταση 60 -70 μέτρα από τις οδεύσεις.

Ακόμη από τις οδεύσεις 2171E και 2172E παρατηρείται ρηξιγενής ζώνη διεύθυνσης ΝΔ – ΒΑ η οποία κλίνει προς τα ΒΑ και πιθανό να υδροφορεί. Η θέση του ρήγματος φαίνεται στο (σχήμα 8.1.γ) σε απόσταση 30 μέτρων από την πρώτη και 60 μέτρων από την δεύτερη όδευση.

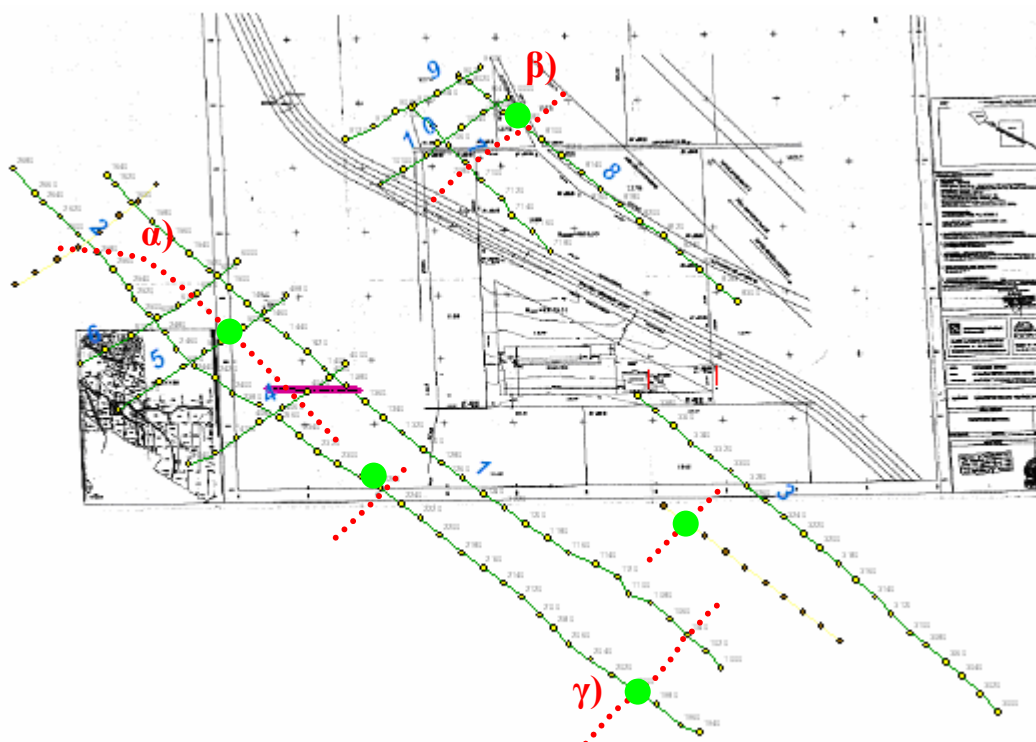
Τέλος, παρατηρούνται και άλλες ρηξιγενείς ζώνες οι οποίες δεν μας ενδιαφέρουν από άποψη υδροφορίας.

8.2 Προτάσεις:

Προτείνεται η διάνοιξη ερευνητικής υδρογεώτρησης σε απόσταση 60 μέτρων από την όδευση 2175E η οποία θα διατρήσει το ρήγμα που εντοπίστηκε. Το βάθος της γεώτρησης θα καθοριστεί κατά την διάρκεια της διάνοιξης με βάση τα στοιχεία που θα προκύπτουν, σε κάθε περίπτωση θα ξεπεράσει το βάθος των 100 μέτρων.

Εναλλακτικά προτείνονται ακόμα 4 γεωτρήσεις τα στοιχεία των οποίων δίνονται στον πιο κάτω πίνακα.

	Τοποθεσία Γεώτρησης	Ελάχιστο Βάθος Γεώτρησης
2 ^η	65 m από την αρχή της όδευσης 2172E	35 m
3 ^η	280 m από την αρχή της όδευσης 2172E	25 m
4 ^η	60 m από την αρχή της όδευσης 2178E	20 m
5 ^η	140 m από την αρχή της όδευσης 2371E	20 m



Σχήμα 8-1. Τοπογραφικός χάρτης περιοχής έρευνας. Με κόκκινη στικτή γραμμή παρουσιάζονται οι πιο σημαντικές, για την έρευνα, αγωγίμες ζώνες και με πράσινους κύκλους οι περιοχές που προτείνεται η διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Παπαζάχος, Β, 1986. Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, σελ.322, .
- 2) Δημοσθένης Μ. Μουντράκης, 1985, Γεωλογία της Ελλάδας, Εκδόσεις UNIVERSITY STUDIO PRESS, σελ.207
- 3) D.S Parasnis, Principles of Applied geophysics (fifth edition), Εκδόσεις, Chapman & Hall, σελ.429
- 4) Philip Kearey & Michael Brooks, An Introduction to Geophysical Exploration (second edition), Εκδόσεις Blackwell Science, σελ.254
- 5) Stanley H. Ward, Geotechnical and environmental geophysics, Εκδόσεις Society of exploration geophysicist, σελ.300