

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του Τσιαμούρα Σπυρίδων, Φοιτητή Τμ. Γεωλογίας ΑΠΘ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ
ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΟΝ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΥΠΟΓΕΙΑΣ
ΥΔΡΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΦΑΡΣΑΛΩΝ

Επιβλέπων:
Βαργεμέζης Γεώργιος, Λέκτορας

Μάιος 2006

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

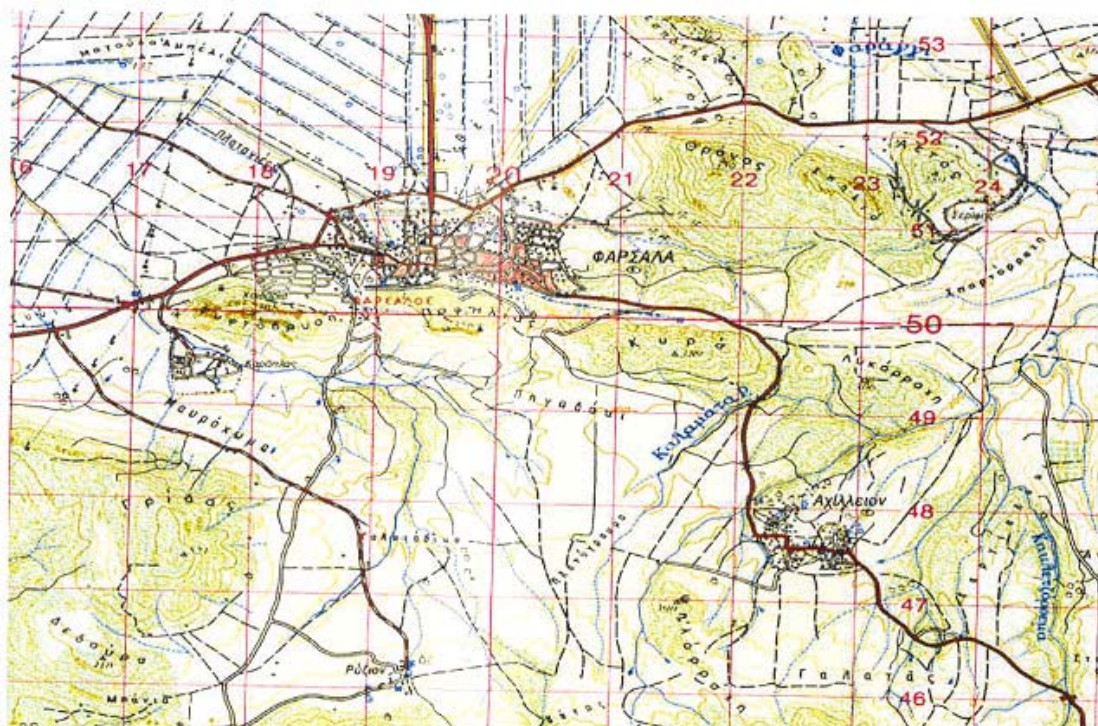
Ευχαριστώ θερμά τον κ. Βαργεμέζη Γεώργιο, Λέκτορα του Τομέα Γεωφυσικής, γιατί χωρίς την πολύτιμη βοήθειά του και την υλικότεχνική του υποστήριξη, δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί η παρούσα εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Γενικά Γεωλογικά στοιχεία.....	6
	Γεωλογία και Πετρογραφικά στοιχεία της περιοχής	6
2	Εφαρμογή ηλεκτρομαγνητικής μεθόδου VLF.....	8
	2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ.....	8
	2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ V.L.F.....	11
	2.2.1 Πομποί VLF και το μακρινό πεδίο του αέρα.....	11
	2.2.2 Φυσικές αρχές της μεθόδου VLF.....	14
	2.2.3 Τυπικές ανωμαλίες.....	18
	2.2.4 Το κύμα VLF στο έδαφος.....	21
	2.2.5 Μετρήσεις με σταθμό VLF στην διεύθυνση του αζιμουθίου γεωλογικής δομής.....	22
	2.2.6 Μετρήσεις με σταθμό VLF με διεύθυνση κάθετη στο αζιμούθιο γεωλογικής δομής.....	27
	2.2.7 Η επίδραση της τοπογραφίας στις παρατηρήσεις V.L.F.....	29
	2.2.8 Περιορισμοί και πηγές λαθών.....	31
	2.2.9 Παράδειγμα μέτρησης.....	32
3	Εφαρμογή μεθόδου VLF στην περιοχή έρευνας.....	35

Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας είναι ο εντοπισμός υπόγειας υδροφορίας στην περιοχή Φαρσάλων. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε μια σειρά γεωφυσικών μετρήσεων, όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος VLF.

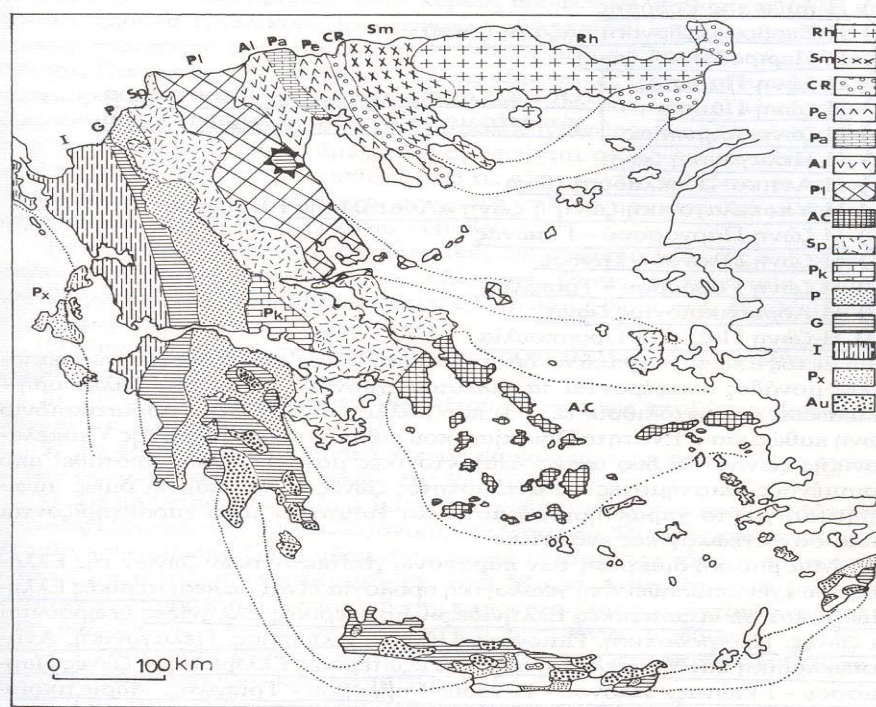


ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΤΡΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Η περιοχή της εργασίας ανήκει στην Υποπελαγονική ζώνη.



Σχ.1 Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Rh: Μάζα της Ροδόπης, Sm: Σερβομακεδονική μάζα, CR: Περιροδοπική ζώνη, (Pe: Ζώνη Παιονίας, Pa: Ζώνη Πάικου, Al: Ζώνη Αλμωπίας) = Ζώνη Αξιού, Pl: Πελαγονική ζώνη, Ac: Αττικό - Κυκλαδική ζώνη, Sp: Υποπελαγονική ζώνη, Pk: Ζώνη Παρνασσού - Γκιώνας, P: Ζώνη Πίνδου, G: Ζώνη Γαβρόβου - Τρίπολης, I: Ιόνιος ζώνη, Px: Ζώνη Παξών ή Προαπούλια, Au: Ενότητα «Ταλέα όρη - πλακώδεις ασβεστόλιθου» πιθανόν της Ιονίου ζώνης. (Κατά Mountrakis et al. 1983).

Κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα της Υποπελαγονικής ζώνης είναι οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες και η συνοδεύουσα αυτές σχιστοκερατολιθική διάπλωση που έχει μεγάλη εξάπλωση.

Οι οφειόλιθοι και η σχιστοκερατολιθική διάπλαση βρίσκονται συχνά τοποθετημένοι με τεκτονική επαφή πάνω σε νηριτικά ανθρακικά πετρώματα ηπειρωτικού περιθωρίου.

2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ

Εάν ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο παραχθεί κοντά στην επιφάνεια της Γης, τότε δημιουργούνται ηλεκτρομαγνητικά κύματα τα οποία επάγουν μέσα στον φλοιό της Γης εναλλασσόμενα ηλεκτρικά ρεύματα τα οποία παράγουν δευτερογενή ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα δευτερογενή αυτά κύματα έχουν την ίδια συχνότητα με τα αρχικά, αλλά οι υπόλοιπες ιδιότητες τους (διεύθυνση, πλάτος, φάση) είναι διαφορετικές, γιατί αυτές εξαρτώνται και από την γεωηλεκτρική δομή (κατανομή της ειδικής αγωγιμότητας) των πάνω, κυρίως, στρωμάτων του φλοιού. Έτσι, τα δευτερογενή αυτά κύματα συμβάλλουν με τα αρχικά κύματα για να δώσουν ένα συνιστάμενο κύμα, το οποίο καταγράφεται και γι' αυτό γνωρίζουμε τις ιδιότητες του (Παπαζάχος 1986).

Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης βασίζονται στον καθορισμό της γεωηλεκτρικής δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, με βάση τις ιδιότητες του δευτερογενούς ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, που παράγεται μέσα στα στρώματα αυτά, σε σχέση με τις ιδιότητες του αρχικού (πρωτογενούς) πεδίου, τις οποίες γνωρίζουμε όχι μόνο όταν αυτό παράγεται με τεχνητό τρόπο, αλλά και όταν παράγεται από φυσικά αίτια.

Το μεγάλο πλεονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων έναντι των ηλεκτρικών, είναι ότι αυτές μπορούν να εφαρμοστούν ακόμη κι' όταν δεν μπορεί να γίνει ηλεκτρική σύνδεση με το έδαφος. Επειδή αυτό έχει μεγάλη ειδική αντίσταση (παγωμένο σε σημα-

ντικό βάθος κ.λ.π.) οπότε οι ηλεκτρικές μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν.

Μειονέκτημα των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων αποτελεί το γεγονός ότι, δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ανίχνευση αγώγιμων σωμάτων σε μεγάλα βάθη, όταν το επιφανειακό τμήμα του εδάφους είναι εξαιρετικά αγώγιμο (π.χ. όταν αποτελείται από αργίλους, γραφιτικούς σχιστόλιθους κ.λ.π.).

Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στην διασκόπηση μεταλλευμάτων και στον εντοπισμό υπόγειων υδροφόρων οριζόντων. Μπορούμε να διακρίνουμε τις ηλεκτρομαγνητικές μεθόδους στις μεθόδους συνεχών κυμάτων, στις μεθόδους ασυνεχών κυμάτων (ή παλμοκυμάτων) και στις μαγνητοτελλουρικές μεθόδους. Οι μέθοδοι των συνεχών κυμάτων διακρίνονται στις μεθόδους μέτρησης της γωνίας κλίσης (μέθοδος του τοπικού πομπού, VLF, A.F.M.A.G) και στις μεθόδους μέτρησης της φάσης (μέθοδος αντιστάθμισης, Turam, κινούμενου πομπού-δέκτη). Στην παρούσα εργασία εφαρμόζουμε την μέθοδο VLF.

2.2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΥ V.L.F

2.2.1 ΠΟΜΠΟΙ VLF ΚΑΙ ΤΟ ΜΑΚΡΙΝΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΑΕΡΑ

Δυνατοί ραδιοφωνικοί σταθμοί έχουν τοποθετηθεί σε διάφορες χώρες και εκπέμπουν είτε συνεχώς, είτε με κώδικα Μορς, είτε με άλλο κώδικα για σκοπούς στρατιωτικής επικοινωνίας σε συχνότητες 15-30 KHz. Στην τεχνολογία του ραδιοφώνου οι συχνότητες αυτές είναι γνωστές σαν πολύ χαμηλές συχνότητες (VLF). Πρέπει όμως να σημειώσουμε, ότι αυτές δεν είναι χαμηλές με την έννοια των ηλεκτρομαγνητικών μεθόδων της εφαρμοσμένης γεωφυσικής. Τέτοιου είδους πομποί (V.L.F) λειτουργούν σε αρκετές χώρες. Μερικοί από τους πιο χρήσιμους σταθμούς δίνονται παρακάτω στον πίνακα 1.

Πίνακας 1

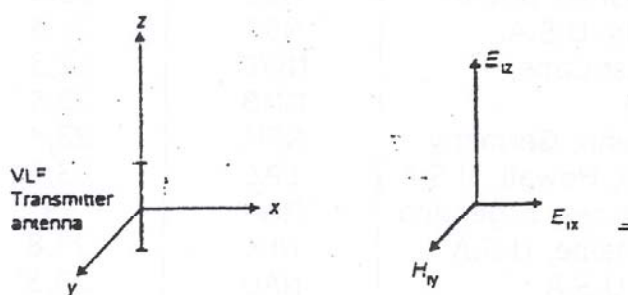
Τοποθεσία	Κωδική ονομασία	Συχνότητα (KHz)	Ισχύς (KW)
Bordeaux, France	FUO	15,1	500
Rugby, Great Britain	GBR	16	750
Helgeland, Norway	JNX	16,4	350
Gorki, USSR	ROR	17	315
Moscow, USSR	UMS	17,1	1000
Yosamai, Japan	NDT	17,4	500
Oxford, Great Britain	GBZ	19,6	550
Annapolis, U.S.A.	NSS	21,4	400
Northwest Cape,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

Σε μερικά μέρη στην γη μπορούμε να βρούμε “τοπικούς” πομπούς, οι οποίοι είναι πιο βολικοί στη χρήση.

Η κεραία ενός πομπού VLF αποτελείται από ένα ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο, που εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

Η διάδοση των κυμάτων VLF από ένα ηλεκτρικό δίπολο στην επιφάνεια της γης, είναι ένα αρκετά πολύπλοκο φαινόμενο. Διακρίνεται σε κύμα εδάφους, σε κύμα χώρου και σε κύμα που διαδίδεται στην ιονόσφαιρα και την επιφάνεια της γης.

Σε μεγάλες όμως αποστάσεις από τον πομπό, το πεδίο ενός διπόλου, μπορεί, για πρακτικούς σκοπούς, να θεωρηθεί ότι είναι ομοιόμορφο μέσα σε μια μικρή περιοχή. Η δομή του πεδίου σε ένα τέτοιο σημείο απεικονίζεται στο σχήμα 2.1, όπου ο φερόμενος πομπός (δηλαδή η διεύθυνση διάδοσης του κύματος εδάφους) ορίζεται ως η διεύθυνση X . Όπως φαίνεται από το σχήμα, η ένταση του προσπίπτοντος μαγνητικού πεδίου έχει μόνο την οριζόντια συνιστώσα H_{iy} , κάθετη στη διεύθυνση του πομπού και δεν υπάρχει κατακόρυφο μαγνητικό πεδίο. Το προσπίπτον ηλεκτρικό πεδίο έχει μια οριζόντια συνιστώσα E_{ix} , στην διεύθυνση του πομπού, και μια κατακόρυφη συνιστώσα E_{iz} αλλά καμία συνιστώσα στη διεύθυνση Y . (Parasnis 1979).



Σχήμα 2.1: Πεδίο VLF σε μακρινό σημείο

Το 1937 αποδείχθηκε από τον Norton (από Parasnis 1979) ότι σε ένα ομογενές και αγωγίμο έδαφος η συνιστώσα E_{ix} οδηγεί την συνιστώσα E_{iz} σε φάση 45° , έτσι ώστε το διάνυσμα E (η συνισταμένη), να πολώνεται ελλειπτικά. Επιπλέον, αποδείχθηκε ότι κατά μήκος ενός τέτοιου εδάφους, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από ένα μήκος κύματος από την κεραία, η γωνία λ που σχηματίζουν ο κύριος άξονας της έλλειψης με την κατακόρυφο και ο λόγος των αξόνων έλλειψης, παραμένουν πρακτικά σταθερά σε όλα τα σημεία. Επιπλέον $E_z \gg E_x$. Η ακριβής έκφραση του λ είναι πολύπλοκη. Επειδή όμως $\rho \cdot \epsilon \cdot f \ll 1$, στις γεωφυσικές εφαρμογές μπορεί να απλοποιηθεί και να δώσει για το πεδίο του αέρα στην επιφάνεια της Γης τον τύπο:

$$\tan \lambda = (\pi \cdot \rho \cdot \epsilon_0 \cdot f)^{1/2} = 0,527 \cdot 10^{-5} \cdot (\rho \cdot f)^{1/2} \quad (2.1)$$

όπου ρ : είναι η ειδική αντίσταση

f : είναι η συχνότητα

ϵ : είναι η διηλεκτρική σταθερά του υλικού μέσου

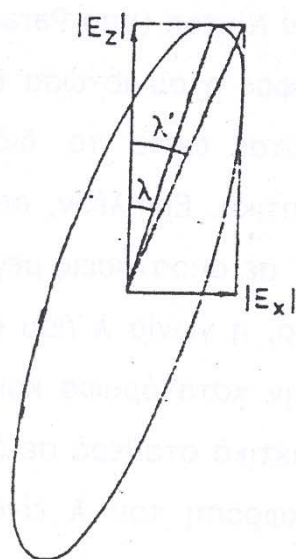
ϵ_0 : είναι η διηλεκτρική σταθερά του κενού

(Parasnis 1979)

Αποδεικνύεται ότι, ακόμη κι αν $\rho = 10 \text{ KOhm-m}$ και $f = 20 \text{ KHz}$, το λ είναι μόλις $4,5^\circ$, δηλαδή ο κύριος άξονας της έλλειψης είναι πρακτικά κατακόρυφος. Πρέπει να τονίσουμε ότι η γωνία λ δεν πρέπει να συγχέεται με την γωνία λ' , που δημιουργείται από την συνισταμένη των πλατών του E_x και του E_z με την κάθετο. Η γωνία λ' , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tan \lambda' = (2 \pi \cdot \rho \cdot \epsilon_0 \cdot f)^{1/2}$$

και είναι μια καθαρά γεωμετρική γωνία, χωρίς φυσική ύπαρξη (Σχ. 2.2).



Σχήμα 2.2: Διάκριση μεταξύ λ και λ' (Parasnis 1979)

2.2.2 ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF

Όταν το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από έναν πομπό VLF περνάει μέσα από ένα αγωγίμο σώμα τότε, με βάση την αρχή της επαγωγής, αναπτύσσονται στο σώμα αυτό δευτερεύοντα ρεύματα. Τα δευτερεύοντα ρεύματα θα παράγουν με τη σειρά τους ένα δευτερογενές πεδίο το οποίο θα προσπαθήσει να απωθήσει το αρχικό πεδίο.

Μόνο ένα σώμα χαμηλής ηλεκτρικής αντίστασης μπορεί να παράγει δευτερογενή πεδία. Στον πίνακα 2 που ακολουθεί δίνονται μερικές χαρακτηριστικές τιμές της ειδικής αντίστασης ρ για μερικά υλικά.

Πίνακας 2

Υλικό	ρ	z (βάθος διείσδυσης)
Σκληρό πέτρωμα (γρανίτης)	>5000 Ohm-m	> 300 m
Άργιλος	10-100 Ohm-m	15-40 m
Ξηρή άμμος	200-5000 Ohm-m	50-300 m
Υγρή άμμος	50-200 Ohm-m	30-60 m
Νερό	50-200 Ohm-m	30-60 m
Αλμυρό νερό	1-10 Ohm-m	4-15 m

Εκτός από την ειδική αντίσταση ρ δίνεται και το βάθος διείσδυσης z , το οποίο ορίζεται από την σχέση:

$$z = 500 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (\text{m})$$

όπου ρ : είναι η ειδική αντίσταση σε Ohm-m

f : είναι η συχνότητα σε Hz

Εισάγοντας μια τυπική συχνότητα VLF των $f=15.6$ KHz στην παραπάνω εξίσωση, λαμβάνουμε για το βάθος διείσδυσης ότι:

$$z = 4\sqrt{\rho} \quad (\text{m})$$

Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει φτάσει το βάθος z , έχει χάσει πολύ ενέργεια για να δημιουργήσει οποιαδήποτε επαγωγή. Επομένως, z είναι το μέγιστο βάθος μέχρι το οποίο μπορούμε να "δούμε" με το όργανο WADI.

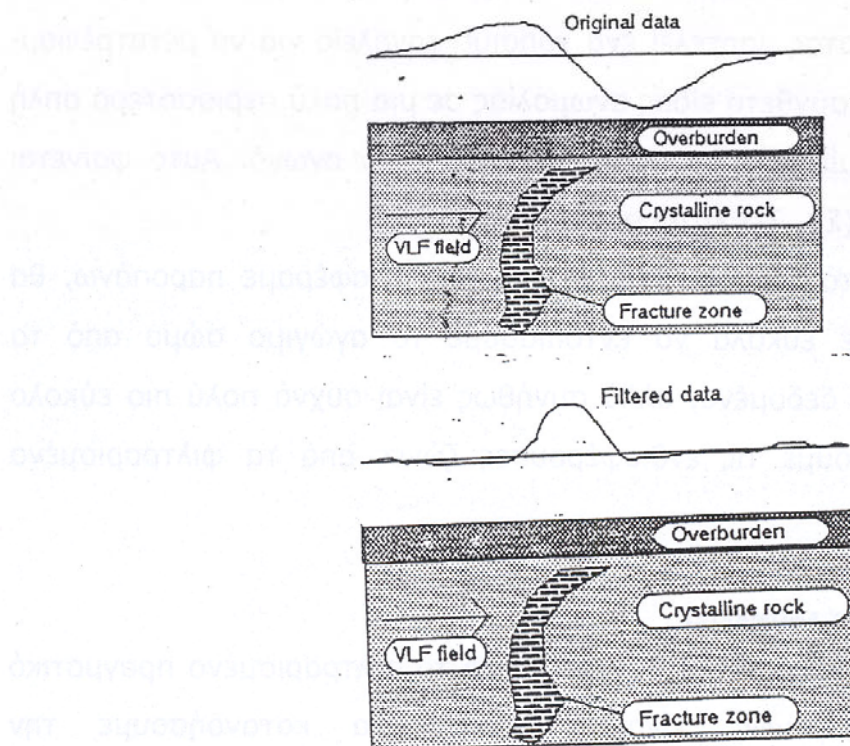
Ένα σώμα για να δημιουργήσει δευτερογενές πεδίο θα πρέπει να έχει ένα ελάχιστο μέγεθος και αρκετά χαμηλή αντίσταση.

Φυσιολογικά, το μήκος του σώματος κατά την διεύθυνση του αζιμουθίου του πρέπει να υπερβαίνει τα 50 m περίπου και το βάθος του τα 10m για να πραγματοποιηθεί επαγωγή. Το πάχος του σώματος, ωστόσο, μπορεί να είναι μόλις 0,5-1m. Επιπλέον, η μαγνητική συνιστώσα του πεδίου από τον πομπό VLF πρέπει να περνάει κάθετα μέσα από το σώμα, δηλαδή η διεύθυνση διάδοσης του κύματος πρέπει να είναι ίδια με την παράταξη του σώματος.

Συνοψίζοντας, η μέθοδος VLF είναι χρήσιμη για τον εντοπισμό επίμηκων και ισχυρώς κεκλιμένων σωμάτων με χαμηλή αντίσταση.

Το WADI εντοπίζει (σε %) την αναλογία μεταξύ της κατακόρυφης και της οριζόντιας συνιστώσας. Επειδή το πρωτεύον πεδίο, από τον πομπό, είναι οριζόντιο η “φυσιολογική” ένδειξη στο WADI θα είναι μηδέν. Ακόμη και στην περίπτωση οριζόντια κειμένων στρωμάτων από π.χ. άργιλο ή αλμυρό νερό, η ένδειξη πάλι θα είναι μηδέν. Μόνο στην περίπτωση απότομων (δηλ. μεγάλης κλίσης) αγωγών, θα εμφανιστεί ανωμαλία.

Η απόκλιση από τις φυσιολογικές ενδείξεις ονομάζεται ανωμαλία. Για έναν αγωγό με μεγάλη κλίση, η τυπική ανωμαλία θα μοιάζει με αυτήν στο παρακάτω σχήμα. (Σχ. 2.3)



Σχήμα 2.3 Παραδείγματα γεωλογικών μοντέλων και ανωμαλιών VLF.

Το σχήμα 2.3 δείχνει την αντιπροσωπευτική συμπεριφορά μιας ανωμαλίας VLF στα πρωτογενή δεδομένα. Ένα μέγιστο εμφανίζεται προς τα αριστερά και ένα ελάχιστο προς τα δεξιά του αγωγού.

Η παραπάνω σχεδιασμένη ανωμαλία (σχ. 2.3, πάνω σκαρίφημα), είναι το πραγματικό μέρος, δηλαδή αυτό το μέρος του πεδίου αποτελεσμάτων, που βρίσκεται σε φάση με το πρωτεύον πεδίο του πομπού VLF. Το όργανο μετράει, επίσης, και την φανταστική συνιστώσα που έχει διαφορά φάσης 90° με το πρωτεύον πεδίο.

Αυτός ο τρόπος γραφικής παράστασης της ανωμαλίας VLF δεν είναι κατάλληλος για όλες τις περιπτώσεις: αν π.χ. η γεωλογία μιας

περιοχής είναι περίπλοκη, δηλαδή με αρκετούς αγωγούς, είναι σχεδόν αδύνατο να διαχωρίσουμε τις χωριστές ανωμαλίες. Η μέθοδος φιλτραρίσματος αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για να μετατρέψουμε αυτό το σύνθετο είδος ανωμαλίας σε μια πολύ περισσότερο απλή μορφή με μία μόνο κορυφή πάνω από τον αγωγό. Αυτό φαίνεται στο σχήμα (Σχ. 2.3 κάτω σκαρίφημα).

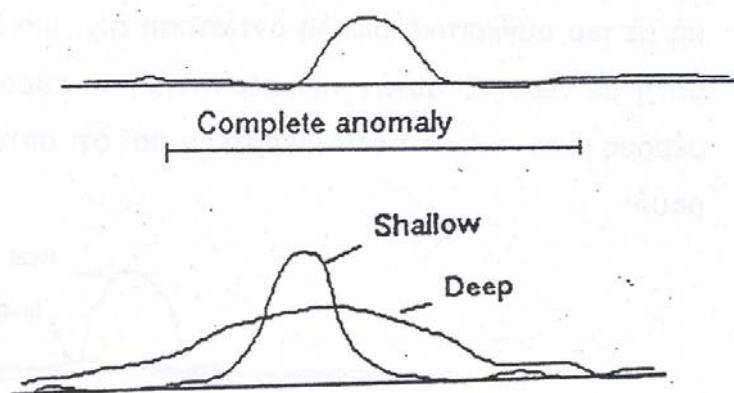
Σ' αυτό το απλό παράδειγμα που αναφέραμε παραπάνω, θα μπορούσαμε εύκολα να εντοπίσουμε το αγώγιμο σώμα από τα πραγματικά δεδομένα, αλλά συνήθως είναι συχνά πολύ πιο εύκολο να εντοπίσουμε τις ενδιαφέρουσες ζώνες από τα φιλτραρισμένα δεδομένα.

2.2.3 ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

Το όργανο WADI πάντα δείχνει το φιλτραρισμένο πραγματικό μέρος. Επομένως, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε την συμπεριφορά των τυπικών ανωμαλιών, προκειμένου να είμαστε ικανοί να αναγνωρίζουμε ένα ενδιαφέρον σώμα.

Πρώτα απ' όλα είναι πολύ σημαντικό το μήκος του προφίλ να είναι αρκετό. Είναι αδύνατο να κάνουμε αξιόπιστη ερμηνεία, αν η ανωμαλία δεν καλύπτεται εντελώς. Τι εννοείται με τον όρο πλήρης ανωμαλία, παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4 (πάνω μέρος).

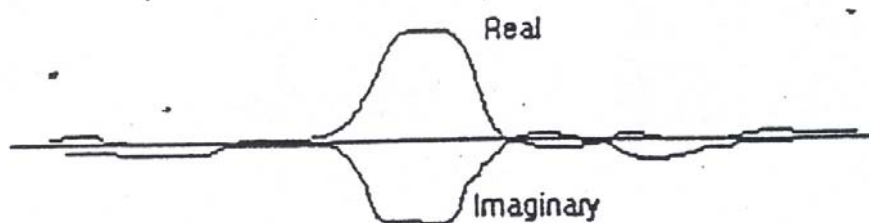
Παρατηρούμε ότι, η καμπύλη πηγαίνει από το περίπου μηδέν προς ένα μέγιστο, και πίσω πάλι στο μηδέν. Μια ανωμαλία χαρακτηρίζεται από το μέγεθός της, δηλαδή το ύψος και το πλάτος της. Στο σχήμα 2.4 (κάτω μέρος) παρουσιάζεται η διαφορά ανάμεσα σ' έναν αγωγό που βρίσκεται σε μικρότερο βάθος, και έναν αγωγό που βρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος μέσα στην γη.



Σχήμα 2.4.

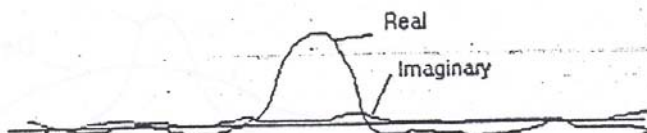
Παρατηρούμε ότι για έναν αγωγό σε μεγαλύτερο βάθος, το πλάτος της ανωμαλίας αυξάνεται ενώ το ύψος της μειώνεται. Ωστόσο, ένα μικρό εύρος μπορεί, επίσης, να προκληθεί από έναν αγωγό που όμως, δεν είναι πολύ καλός αγωγός.

Το όργανο WADI καταγράφει όχι μόνο το φιλτραρισμένο αληθινό μέρος, αλλά και το φανταστικό. Στην περίπτωση ενός πολύ καλού αγωγού (σώμα κοιτάσματος ή ζώνη διαρρήξεως που περιέχει νερό με άλατα), το φανταστικό φιλτραρισμένο μέρος της ανωμαλίας έχει το ίδιο μέγεθος με το πραγματικό μέρος της, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Φανταστικό και πραγματικό μέρος της ανωμαλίας (φιλτραρισμένα δεδομένα)

Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται η συμπεριφορά πάνω σε μια δομή με μια συγκριτικά υψηλή αντίσταση π.χ. μια ζώνη διάρρηξης γεμάτων με νερό. Σ' αυτήν την περίπτωση το εύρος του φανταστικού μέρους είναι τυπικά πολύ μικρότερο απ' ό,τι αυτό του αληθινού μέρους.



Σχήμα 2.6: Δομή με υψηλή αντίσταση (φιλτραρισμένα δεδομένα)

Γενικά, είναι πολύ πιο δύσκολο να ερμηνευθεί μια ανωμαλία στο φανταστικό της μέρος, από ό,τι στο πραγματικό μέρος. Επομένως, όλες οι ερμηνείες πρέπει να βασίζονται στο φιλτραρισμένο αληθινό μέρος. Το φιλτραρισμένο αληθινό μέρος, πάντοτε θα δείχνει μια θετική κορυφή πάνω από έναν αγωγό, ενώ το φανταστικό μέρος μπορεί να δείξει μια θετική, καθώς και μια αρνητική κορυφή, αναλόγως με τις συνθήκες του επικείμενου στρώματος.

Το φανταστικό μέρος έχει κάποια αξία, μόνο κατά την λήψη των τελικών αποφάσεων, όσον αφορά την ποιότητα του αγωγού.

2.2.4 Το κύμα VLF στο έδαφος

Χάρη στη σχεδόν άπειρη αγωγιμότητα του εδάφους, συγκρινόμενου με τον αέρα, τον κύμα VLF φτάνοντας σε κάθε σημείο διαθλάται κατακόρυφα προς τα κάτω στο έδαφος, ανεξάρτητα από την γωνία πρόσπτωσής του. Στο κύμα που διαδίδεται στο έδαφος, το οριζόντιο πεδίο E_{tx} καθυστερεί κατά 45° σε φάση πίσω από το κατακόρυφο πεδίο E_{tz} και, επιπλέον, $E_{tx} \gg E_{tz}$ όπου, η διεύθυνση z στην διάδοση στον αέρα, είναι η διεύθυνση x στην διάδοση στο έδαφος και το αντίστοιχο για το x του αέρα που γίνεται z . Επομένως, το ηλεκτρικό διάνυσμα E_t του εκπεμπόμενου πεδίου είναι επίσης ελλειπτικά πολωμένο, αλλά ο κύριος άξονας της έλλειψης είναι τώρα σχεδόν οριζόντιος. Αν η κλίση του με το οριζόντιο δηλώνεται με το λ' , ισχύει η σχέση 2.1. Το εκπεμπόμενο μαγνητικό πεδίο έχει μόνο μία συνιστώσα, την H_{ty} , στην διεύθυνση Y .

Η ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο κύμα που διαδίδεται μπορούν να γραφούν ως:

$$E_{tx} = (\mu\omega)^{1/2} \cdot H_{ty}(0) \cdot \exp(-bz) \cdot \cos(\omega t + \pi/4) \quad (2.2)$$

$$H_{ty} = H_{ty}(0) \cdot \exp(-bz) \cdot \cos(\omega t) \quad (2.3)$$

όπου: z είναι το βάθος

$$b = (\mu\omega/2\rho)^{1/2}$$

και $H_{ty}(0)$ είναι το πλάτος της έντασης του μαγνητικού πεδίου στην επιφάνεια (Parasnis 1979).

Αυτές οι εξισώσεις δείχνουν ότι τα πλάτη του E_{tx} και του H_{ty} μειώνονται εκθετικά και ότι το E_{tx} , βρίσκεται μπροστά σε φάση από το H_{ty} κατά $\pi/4$. Επίσης, καθένα από τα δύο πεδία υστερούν σε φάση από το πρωτογενές πεδίο κατά bz . Τέλος, ο λόγος των πλατών

του E_{tx} και του H_{ty} , όπως προκύπτει από τις σχέσεις (2.2) και (2.3), είναι:

$$\left| \frac{E_{tx}}{H_{ty}} \right| = (\mu\omega\rho)^{1/2} \quad (2.4)$$

2.2.5 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΟ VLF ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΙΜΟΥΘΙΟΥ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ

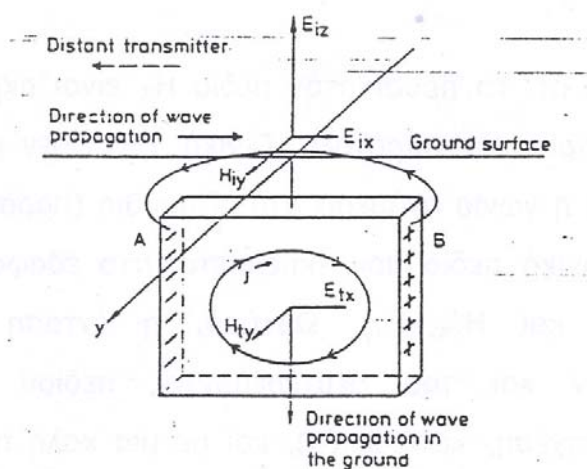
(α) Εντοπισμός αγωγού με την ανωμαλία του πεδίου H

Αυτή η περίπτωση, στην οποία ένας σταθμός επιλέγεται έτσι ώστε το κύμα εδάφους VLF να φτάνει μια γεωλογική δομή κατά τη διεύθυνση του αξιμουθίου της, στην περιοχή των μετρήσεων φαίνεται στο σχήμα 2.7.

Συχνά αναφέρεται ως "πόλωση E" καθώς το διάνυσμα E βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο, που ορίζεται από την παράταξη της γεωλογικής δομής και το πεδίο H, είναι εγκάρσιο στο αξιμουθίο (παράταξη) της γεωλογικής δομής και, επομένως, επάγει ρεύματα σε αγωγούς, οι οποίοι κείτονται σύμφωνα με την γεωλογική κλίση. Το εκπεμπόμενο πεδίο H_{ty} επάγει ρεύματα στον αγωγό, που φαίνονται στο σχήμα 2.7, αλλά το δευτερογενές μαγνητικό πεδίο H^s που δημιουργούν δεν είναι, γενικά, οριζόντιο. Επιπλέον, καθώς τα πεδία H_{iy} και H^s δεν βρίσκονται σε φάση η συνισταμένη τους πολώνεται και περιγράφει μια έλλειψη, αλλάζοντας σε μέγεθος κυκλικά, καθώς περιστρέφεται.

Σε απομακρυσμένα σημεία ενός προφίλ, όπως αυτό που είναι σχεδιασμένο στο σχήμα 2.7, ένα κατακόρυφο σωληνοειδές πηνίο του δέκτη δεν θα δείξει κανένα σήμα. Στην περιοχή του αγωγού ένα σήμα επάγεται στο πηνίο εξαιτίας του δευτερογενούς μαγνητικού πεδίου. Στις περισσότερες μετρήσεις VLF, στην πράξη, το πηνίο

στρέφεται στο κατακόρυφο επίπεδο, κάθετα, του προφίλ (επίπεδο ψ - z), για να γίνει το σήμα ελάχιστο. Σ' αυτή τη θέση το πηνίο είναι κάθετο με τον κύριο άξονα της έλλειψης και το υπολειπόμενο σήμα σε αυτό οφείλεται, στο πεδίο κατά μήκος του δευτερεύοντος άξονα. Η κλίση του άξονα του σωληνοειδούς από την κατακόρυφο, είναι ίση με την κλίση του κύριου άξονα της έλλειψης της πόλωσης από την οριζόντια (θέση). Η διαδικασία αυτή λαμβάνει ως δεδομένο ότι η έλλειψη, είναι στο κατακόρυφο επίπεδο του προφίλ το οποίο, αν και δεν ισχύει πάντοτε, είναι σχεδόν η περίπτωση για επιμήκεις αγωγούς. Η κλίση είναι πάνω από την οριζόντια (θέση) στην μια πλευρά του αγωγού και κάτω από αυτήν στην άλλη, και ακριβώς πάνω από τον αγωγό η κλίση είναι μηδέν.



Σχήμα 2.7: Αγωγός παράλληλος με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Parasnis 1979)

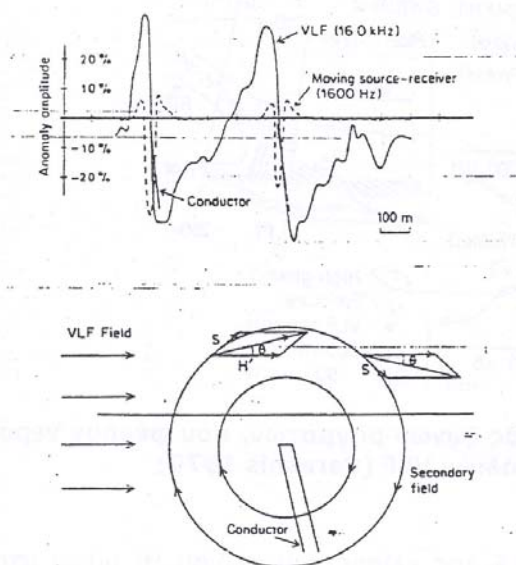
Ένα δεύτερο σωληνοειδές πηνίο σε κατάλληλη γωνία με το πρώτο και με τον άξονά του στο ίδιο κατακόρυφο επίπεδο, θα καταγράψει το πεδίο που αντιστοιχεί στον κύριο άξονα. Μια σύγκριση των σημάτων στα δύο πηνία δίνει τον λόγο b/a , του δευτερεύοντος άξονα του πεδίου (b) προς τον κύριο άξονα του (a).

Αν ΔV είναι το εύρος της κατακόρυφης συνιστώσας H^s , θ είναι η κλίση και ψ η διαφορά φάσης ανάμεσα στο H_{iy} και στο H^s , μπορεί

να αποδειχθεί ότι: $\tan(2\theta) \approx 2\Delta V \cdot \cos(\psi/H_{iy}(O))$. Καθώς συνήθως $\Delta V \ll H_{iy}(O)$ μπορούμε να θέσουμε $\tan(2\theta) \approx 2\theta$ και επομένως $\theta \approx \Delta V \cdot \cos(\psi/H_{iy}(O))$. Το $\Delta V \cdot \cos(\psi)$ είναι η πραγματική συνιστώσα του ΔV . Οπότε, $100 \cdot \theta$ (μετρημένο σε ακτίνια), που είναι η ποσότητα που διαβάζεται στα VLF όργανα σε μονάδες τοις εκατό, μετράει την πραγματική συνιστώσα του κατακόρυφου δευτερεύοντος πεδίου, επί τοις εκατό της έντασης του πρωτεύοντος μαγνητικού πεδίου VLF.

Ο λόγος των αξόνων b/a , αποδεικνύεται ότι είναι κατά προσέγγιση ίσος με $(\Delta V \cdot \sin(\psi))/H_{iy}(O)$ και αντιστοιχεί στη φανταστική (ή τετραγωνισμένη) συνιστώσα του δευτερεύοντος κατακόρυφου πεδίου σαν κλάσμα της έντασης του πρωτεύοντος πεδίου.

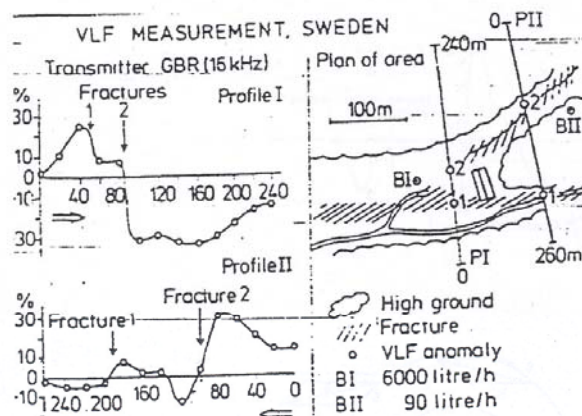
Έχουμε υποθέσει ότι το προσπίπτον πεδίο H_{iy} είναι ακριβώς στη σωστή γωνία ως προς την παράταξη. Γενικά, αυτό δεν ισχύει στην πράξη. Αν α είναι η γωνία ανάμεσα στο αζιμούθιο (παράταξη) και την H_{ty} , το επαγωγικό πεδίο που εκπέμπεται στο έδαφος θα είναι: $H'_{ty} = H_{ty} \cdot \sin(\alpha)$ και $H'_{ty} < H_{ty}$. Ωστόσο, η ένταση των επαγόμενων ρευμάτων και του δευτερεύοντος πεδίου τους μειώνεται με την ίδια σχέση, κατά $\sin(\alpha)$, και με μια καλή πρώτη προσέγγιση ούτε το μέγεθος του θ , ούτε ο λόγος b/a κατά μήκος ενός προφίλ, που είναι κάθετο στην παράταξη, επηρεάζονται στην πράξη.



Σχήμα 2.8: Παράδειγμα ανωμαλίας VLF (Parasnis 1979).

Το πάνω τμήμα του σχήματος 2.8 δείχνει ένα προφίλ V.L.F (την πραγματική συνιστώσα) σταυρωτά προς δύο παράλληλους σουλφιδικούς αγωγούς, μήκους - μερικών χιλιομέτρων ο καθένας, στην βόρεια Σουηδία. Μια πρώτη ματιά στο κατώτερο μέρος της εικόνας θα πείσει κάποιον ότι η κλίση είναι τέτοια, που σε κάθε σημείο μέτρησης, ο άξονας του πηνίου στη θέση με το ελάχιστο σήμα θα δείχνει προς τον αγωγό.

Σε κατακόρυφους αγωγούς οι καμπύλες των μετρήσεων της κλίσης, θα πρέπει να είναι τέλεια αντισυμετρικά ως προς την θέση του αγωγού (Σχ. 2.8). Αν υπάρχει μια σημαντική κλίση, τότε τα πειραματικά μοντέλα δείχνουν ότι η ακραία τιμή (κορυφή ή κοίλωμα) στο κάτω άκρο του βυθίσματος είναι αριθμητικά η μεγαλύτερη. Επίσης, στο Σχ. 2.8 παρουσιάζονται και οι ανωμαλίες με τη μέθοδο του κινούμενου λήπτη πηγής (20m απόσταση σπείρας, 1600 Hz).



Σχήμα 2.9: Εντοπισμός ζωνών ρηγμάτων, που φέρουν νερό, μέσω των ανωμαλιών VLF (Parasnis 1979)

Οι μετρήσεις VLF της κλίσης του πεδίου H, πάνω στο πεδίο πόλωσης της ηλεκτρικής συνιστώσας όπως απεικονίζεται στο Σχ. 2.7, είναι απλές και γρήγορες στην εκτέλεσή τους και χρησιμοποιούνται εκτεταμένα για τον εντοπισμό θραύσεων (ρηγμάτων) που φέρουν νερό, ειδικά σε περιοχές σκληρού πετρώματος. Ένα παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 2.9.

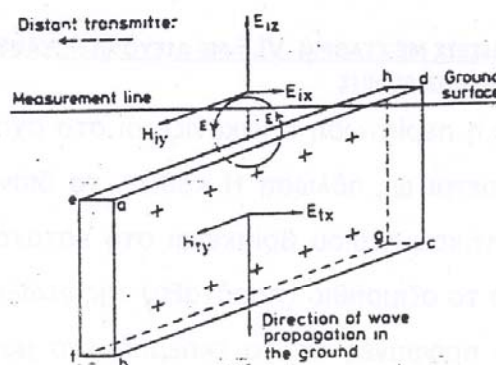
Τα δύο προφίλ έχουν διανυθεί σε αντίθετες κατευθύνσεις. Οι ανωμαλίες δεν είναι τέλεια αντισυμμετρικές και σε σχέση με ότι έχει ειπωθεί παραπάνω, οι ζώνες ρηγμάτων και στα δύο προφίλ θα παρουσιαστούν να κλίνουν προς τον Βορρά. Ακόμη, θα παρατηρηθεί ότι από τις δύο κάθετες οπές γεωτρήσεως σε καθεμιά από τις ρωγμές που δηλώθηκαν, η νούμερο I βρίσκεται στη σωστή πλευρά (είναι η θέση BI) και έχει μια απόδοση 6.000 λίτρων νερού την ώρα, ενώ η νούμερο II, που έγινε χωρίς την ωφέλεια των μετρήσεων VLF, βρίσκεται στην λάθος πλευρά και η απόδοσή της των 90 λίτρων την ώρα δεν είναι από τη βόρεια ρωγμή στο προφίλ 2. (Parasnis 1979).

2.2.6 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΣΤΑΘΜΟ VLF ΜΕ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΚΑΘΕΤΗ ΣΤΟ ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ

Αυτή η περίπτωση απεικονίζεται στο σχήμα 2.10. Μερικές φορές αναφέρεται ως πόλωση Η καθώς, το διάνυσμα του προσπίπτοντος μαγνητικού πεδίου βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που ορίζεται από το αζιμούθιο (παράταξη) της γεωλογικής δομής.

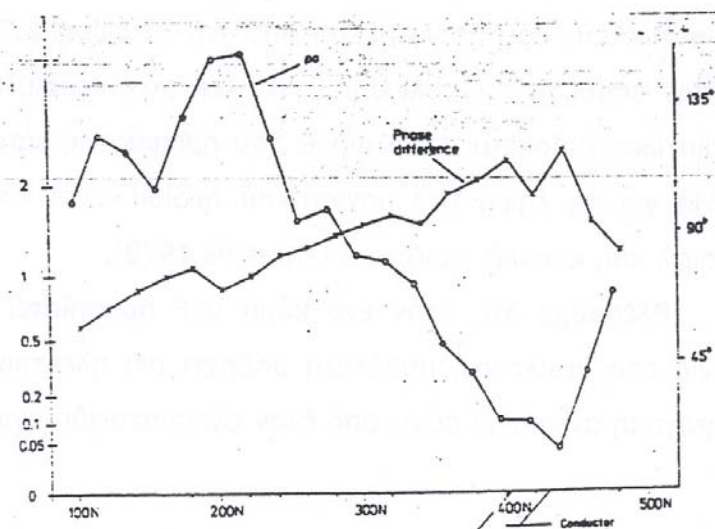
Είναι προφανές ότι το εκπεμπόμενο μαγνητικό πεδίο δεν θα επάγει ρεύματα, στο επίπεδο του αγωγού και δεν θα υπάρχει δευτερεύον μαγνητικό πεδίο κατά μήκος του προφίλ μέτρησης. Το εκπεμπόμενο ηλεκτρικό πεδίο E_{tx} (στην υποτιθέμενη στιγμή) επάγει μια πυκνότητα θετικού φορτίου στην επιφάνεια του αγωγού $abcd$ και μια αρνητική στην επιφάνεια $efgh$. Το δευτερεύον ηλεκτρικό πεδίο, εξαιτίας αυτών των φορτίων, είναι αντίθετο με το E_{ix} πάνω από τον αγωγό, ώστε ο αγωγός θα δηλώνεται με ένα ελάχιστο στη φαινόμενη αντίσταση που υπολογίζεται από την εξίσωση 2.5. Σε αντίθεση με την υπόθεση της πόλωσης Ε, η ηλεκτρική κεραία στην παρούσα περίπτωση βρίσκεται κατά μήκος του προφίλ της μέτρησης, ενώ το πηνίο για τη λήψη του μαγνητικού πεδίου είναι κάθετο προς το προφίλ και, φυσικά, οριζόντιο (Parasnis 1979).

Βλέπουμε ότι, όταν ένα κύμα VLF προσπίπτει με τη σωστή γωνία στη γεωλογική παράταξη υπάρχει μια ηλεκτρική αλλά καμία μαγνητική ανωμαλία πάνω από έναν ελασματοειδή αγωγό.



Σχήμα 2.10: Αγωγός με παράταξη κάθετη ως προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος εδάφους VLF (πόλωση H) (Parasnis 1979)

Το σχήμα 2.11 παρουσιάζει ένα προφίλ ρ_a που εξάγεται από τις μετρήσεις VLF διαμέσου ενός αγωγού μεταλλεύματος. Επίσης, στο σχήμα αυτό δείχνεται και η διακύμανση της διαφοράς φάσης, ανάμεσα στο E_x και στο H_y .



Σχ. 2.11: Φαινομένη αντίσταση ρ_a της λαμβάνεται από μετρήσεις της εμπέδησης των κυμάτων VLF H φυσιολογική διαφορά φάσης των 45° μεταξύ των E και H πεδίων, θα φανεί να επιτυγχάνεται στην νοτιότερη πλευρά, πολύ μακριά από τον αγωγό. (Parasnis 1979)

2.2.7 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΙΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ V.L.F

Στην επιφάνεια του εδάφους το ηλεκτρικό ρεύμα ακολουθεί αναγκαστικά την τοπογραφία. Μια καλωδιακή κεραία που κείται πάνω στην επιφάνεια, θα μετρήσει το πραγματικό εφαπτομενικό ηλεκτρικό πεδίο στην δική του κατεύθυνση, καθώς η άλλη ηλεκτρική συνιστώσα στην επιφάνεια είναι ακριβώς κάθετη, στην επιφάνεια, και δεν επηρεάζει το μετρούμενο πεδίο. Επομένως, η επίδραση της τοπογραφίας στις ανωμαλίες E_x με την μέθοδο VLF είναι αμελητέα.

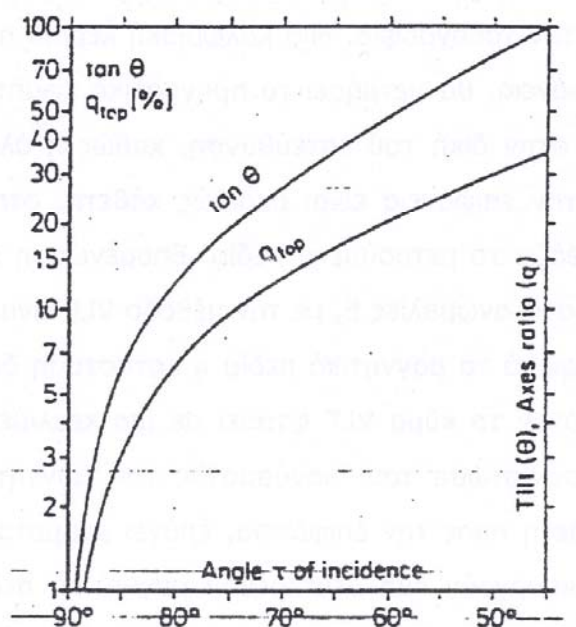
Όσον αφορά το μαγνητικό πεδίο η κατάσταση δεν είναι τόσο απλή, γιατί, όταν το κύμα VLF φτάσει σε μια κεκλιμένη επιφάνεια εδάφους, η συνιστώσα του διανύσματος του μαγνητικού πεδίου, που είναι κάθετη προς την επιφάνεια, επάγει ρεύματα στο έδαφος και αυτά δημιουργούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, που δεν βρίσκεται σε φάση με το προσπίπτον μαγνητικό πεδίο. Επομένως, το μαγνητικό πεδίο γίνεται ελλειπτικά πολωμένο και μια ανωμαλία κλίσης προκύπτει ακόμα και αν το έδαφος υποτίθεται ότι είναι ομογενές. Το σχήμα 2.12, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμήσουμε την κλίση θ και τον λόγο των αξόνων που προκλήθηκε από την τοπογραφία. Προς αυτόν τον σκοπό είναι απαραίτητο πρώτα να υπολογίσουμε το τ , δηλαδή τη γωνία της πρόσπτωσης του κύματος με την επιφάνεια του εδάφους. Αυτή υπολογίζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\tan \tau = \cot \beta \cdot \frac{\sin \xi_2}{\sin \xi_1} \quad (\text{Parasnis 1979})$$

Όπου: β είναι η κλίση της επιφάνειας εδάφους, κατά μήκος της γραμμής έρευνας, στο σημείο μέτρησης

ξ_1 είναι η οριζόντια γωνία ανάμεσα, στην διεύθυνση του εισερχόμενου μαγνητικού πεδίου και του αζιμουθίου (πάρταξη) της μορφολογίας του εδάφους

ξ_2 είναι η οριζόντια γωνία ανάμεσα στην γραμμή έρευνας και του αζιμουθίου (παράταξη) της μορφολογίας.



Σχήμα 2.12:
Τοπογραφικό
αποτέλεσμα στις
μετρήσεις
VLF του Η-πεδίου
(Parasnis 1979)

Σε γενικές

γραμμές, αν η διεισδυτικότητα σε βάθος του κύματος VLF στο έδαφος είναι μικρή, το αποτέλεσμα του τοπογραφικού αναγλύφου είναι ότι, οι ενδείξεις του οργάνου VLF είναι θετικές όταν ανεβαίνουμε μια πλαγιά και αρνητικές, όταν κατεβαίνουμε, με μια συνδετική παρακαμπτήριο στην κορυφή μιας οροσειράς ή στον πυθμένα μιας κοιλάδας. Επομένως, στο σχήμα του προφίλ κλίσης μιμείται αυτό της τοπογραφίας και είναι παρόμοιο με τις καμπύλες στο σχήμα 2.8 και 2.9. Η πιθανή επίδραση της τοπογραφίας πρέπει να εκτιμάται πριν η ανωμαλία κλίσης - γωνίας V.L.F, αποδοθεί σε έναν βαθύτερο αγωγό.

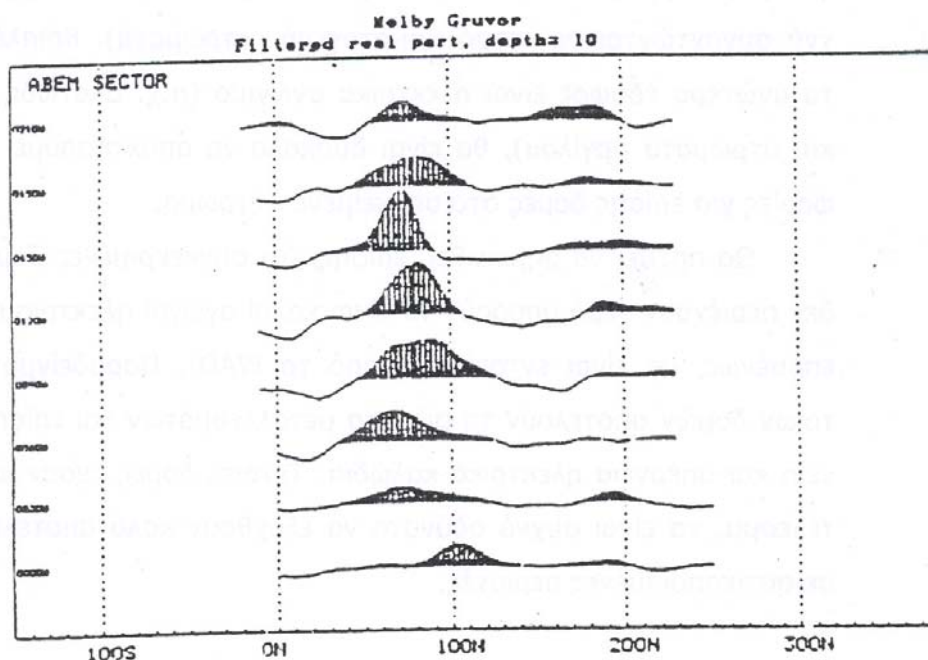
2.2.8 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΛΑΘΩΝ

Υπάρχουν συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπου δεν μπορούμε να περιμένουμε, η μέθοδος VLF να δουλέψει καλά. Τέτοιες περιπτώσεις περιλαμβάνουν περιοχές, οι οποίες έχουν οριζόντια στρώματα εδάφους και πετρωμάτων και πολύ λίγα συστήματα θραύσεων (που συχνά συναντώνται σε νεαρά ιζηματογενή πετρώματα). Επιπλέον, αν το ανώτερο έδαφος είναι ηλεκτρικά αγωγίμο (π.χ. αλατώδη εδάφη και στρώματα αργίλου), θα είναι δύσκολο να αποκτήσουμε πληροφορίες για επίσης δομές στο υποκείμενο πέτρωμα.

Θα πρέπει να σημειωθεί, επίσης, ότι συγκεκριμένες δομές που δεν περιέχουν νερό μπορούν να είναι καλοί αγωγοί ηλεκτρισμού και, επομένως, να είναι εντοπίσιμες από το WADl. Παραδείγματα, τέτοιων δομών αποτελούν τα σώματα μεταλλευμάτων και επίσης υπόγεια και υπέργεια ηλεκτρικά καλώδια. Τέτοιες δομές έχουν ως αποτέλεσμα, να είναι συχνά αδύνατο να εξαχθούν καλά αποτελέσματα σε αστικοποιημένες περιοχές.

2.2.9 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Σε περιοχή της Στοκχόλμης πραγματοποιήθηκαν οκτώ παράλληλα προφίλ σε μια γνωστή ζώνη διάρρηξης. Όλα τα προφίλ μαζί παρουσιάζονται στο διάγραμμα που εικονίζεται στο σχήμα παρακάτω (Σχ.2.13).



Σχήμα 2.13: Παράλληλα προφίλ τα οποία πραγματοποιήθηκαν κάθετα στην ζώνη διάρρηξης

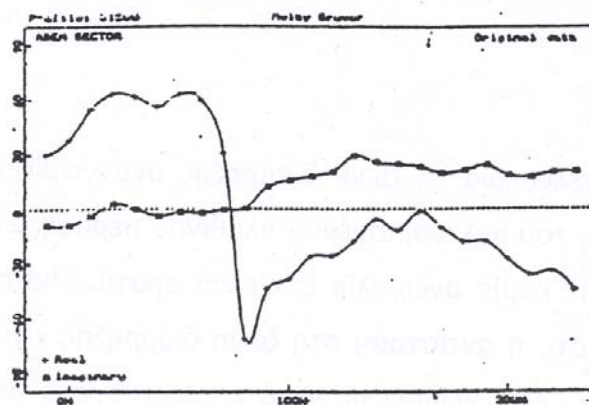
Πάνω σε όλα τα προφίλ, μια καθαρή ένδειξη (κορυφή) του αγώγιμου σώματος, φαίνεται γύρω από την συντεταγμένη 80N-100N. Επιπλέον, μια πολύ μικρή ανωμαλία φαίνεται γύρω από τη συντεταγμένη 200 N.

Σαν παράδειγμα θα εξετάσουμε το προφίλ 150 W. Στα τέσσερα σχέδια που εικονίζονται παρακάτω (Σχήμα 2.14), τα πραγματικά δεδομένα παρουσιάζονται στο πρώτο σχέδιο (σχέδιο α), τα φιλτραρισμένα στο δεύτερο, (σχέδιο β), και η κάθετη (εγκάρσια) τομή στα

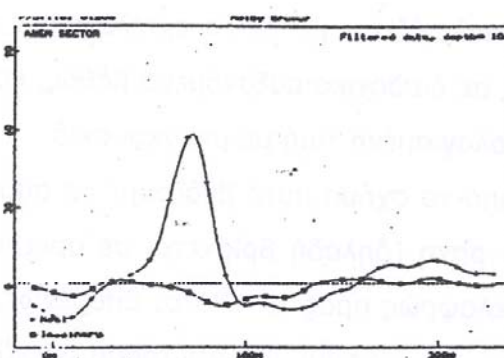
δύο τελευταία. Η ζώνη διάρρηξης αναγνωρίζεται εύκολα στην καμπύλη του φιλτραρισμένου αληθινού μέρους. Στο φανταστικό μέρος σχεδόν καμία ανωμαλία δεν είναι ορατή. Μια πολύ πιθανή εξήγηση είναι ότι, η αντίσταση στη ζώνη διάρρηξης είναι αρκετά μεγάλη. Αν η ζώνη είχε γεμίσει με νερό εμπλουτισμένο με άλατα, η ανωμαλία στο φανταστικό μέρος θα ήταν πολύ μεγαλύτερη.

Όπως αναφέραμε προηγουμένως τα δύο τελευταία σχέδια του σχήματος 2.14 απεικονίζουν την κάθετη (εγκάρσια) τομή. Η τομή αυτή υπολογίζεται με το να εκτελέσουμε την διαδικασία φιλτραρίσματος σε διαδοχικά αυξανόμενο βάθος, και να αντιπροσωπεύσουμε την υπολογισμένη τιμή με μια γκρι σκιά.

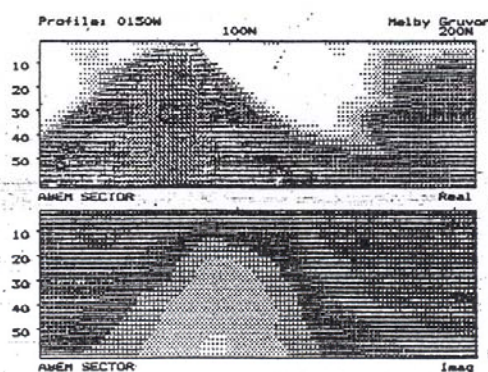
Από το σχήμα αυτό βγάζουμε το συμπέρασμα ότι η ζώνη είναι αρκετά ρηχή (δηλαδή βρίσκεται σε αρκετά μικρό βάθος), και αποκλίνει ελαφρώς προς τον Νότο. Επομένως, είναι πολύ εύκολο όπως φαίνεται, να κάνουμε μια γεώτρηση βασιζόμενοι σ' αυτήν την αναπαράσταση.



α) Αρχικά δεδομένα



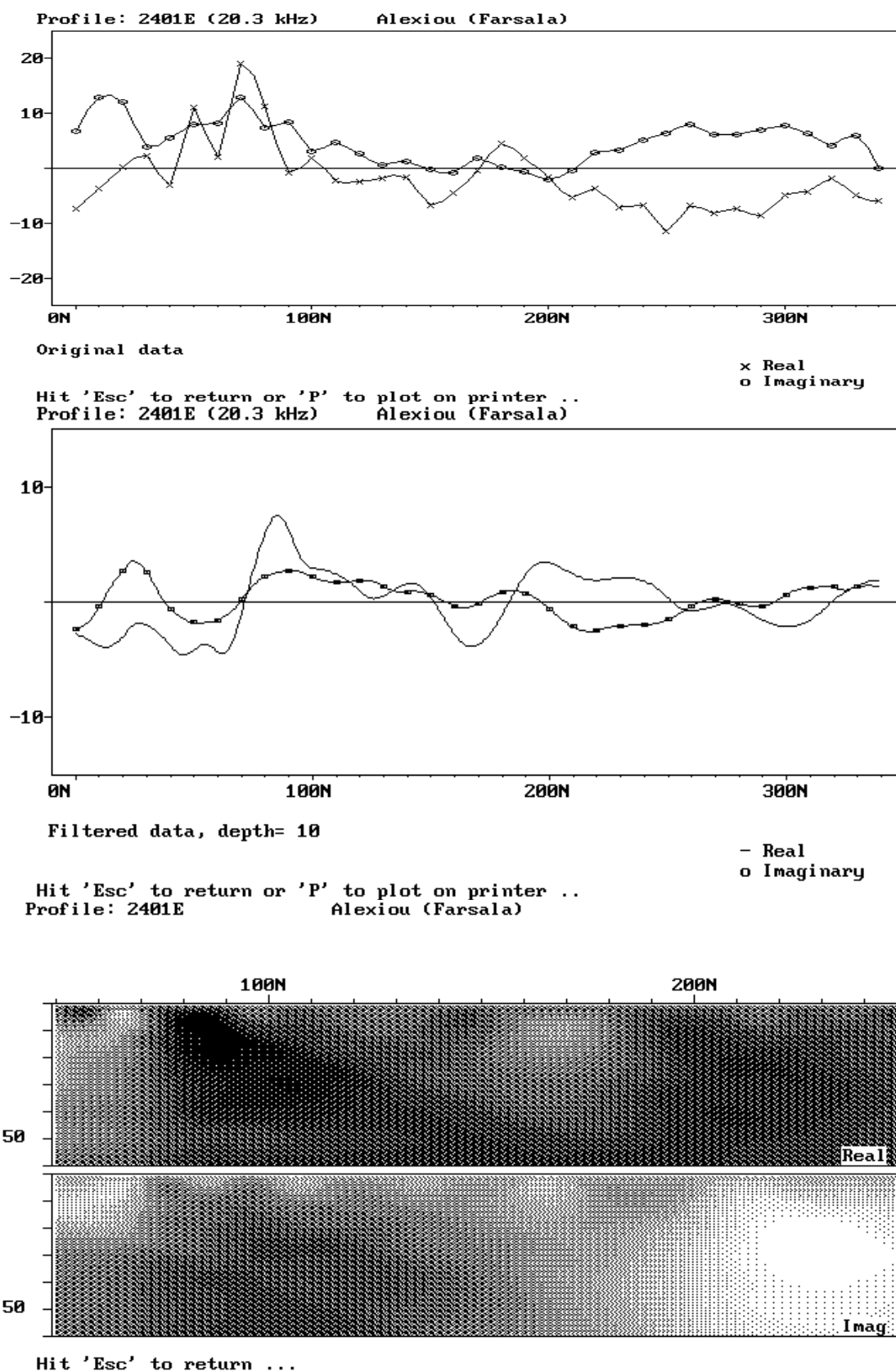
β) Φιλτραρισμένα δεδομένα



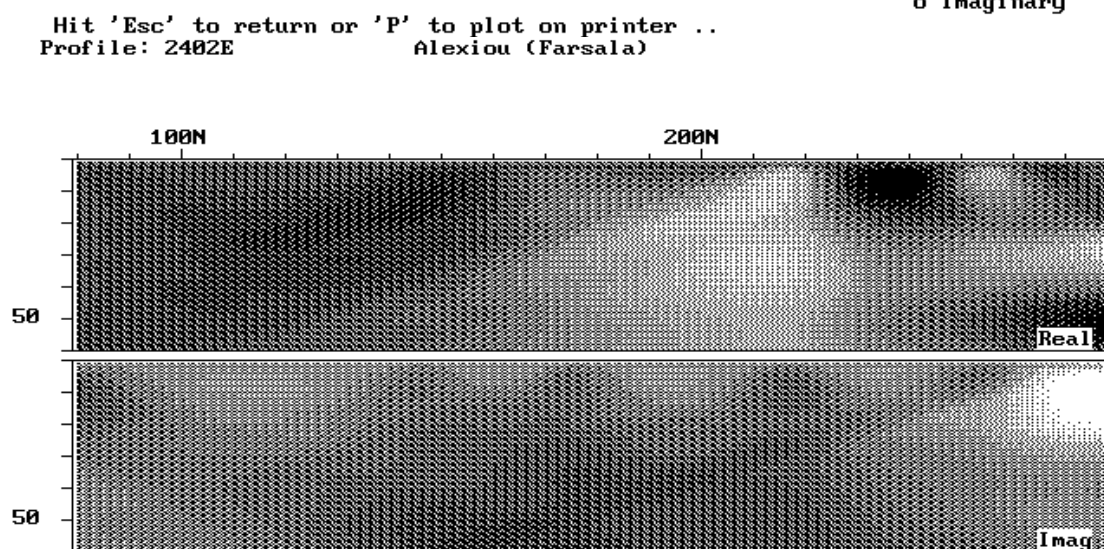
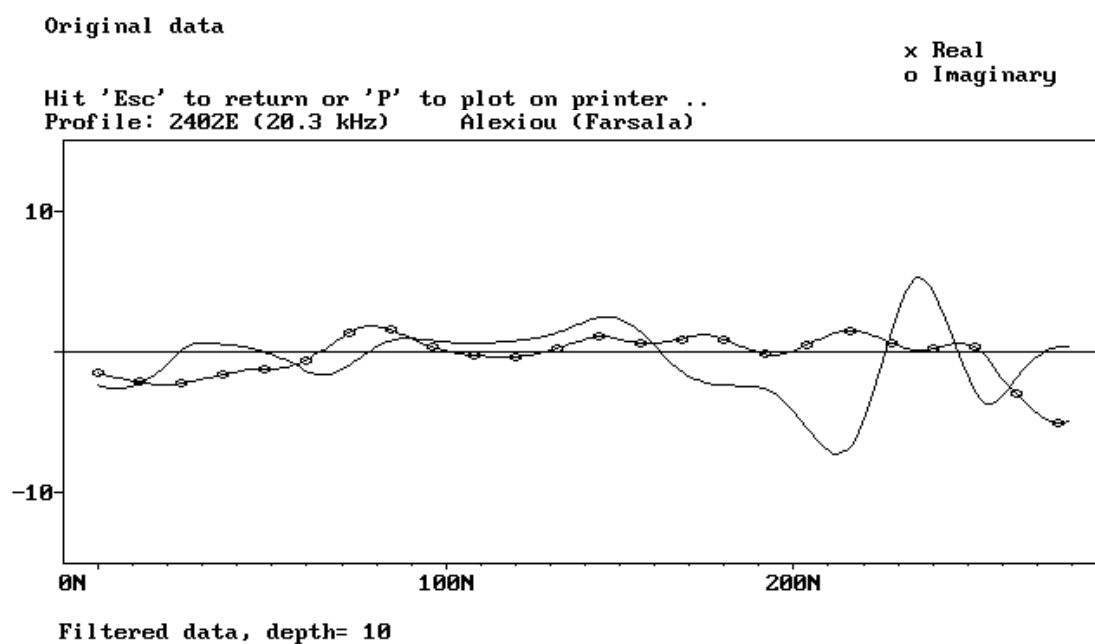
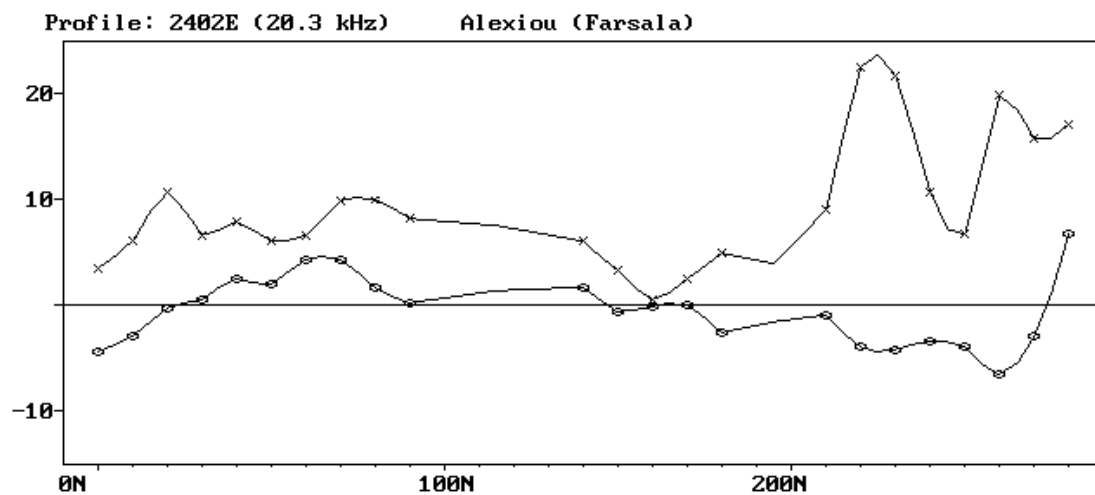
γ) εγκάρσια τομή

Σχήμα 2.14: Αρχικά και φιλτραρισμένα δεδομένα, εγκάρσια τομή από την έρευνα σε περιοχή της Στοκχόλμης.

3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΥ VLF ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

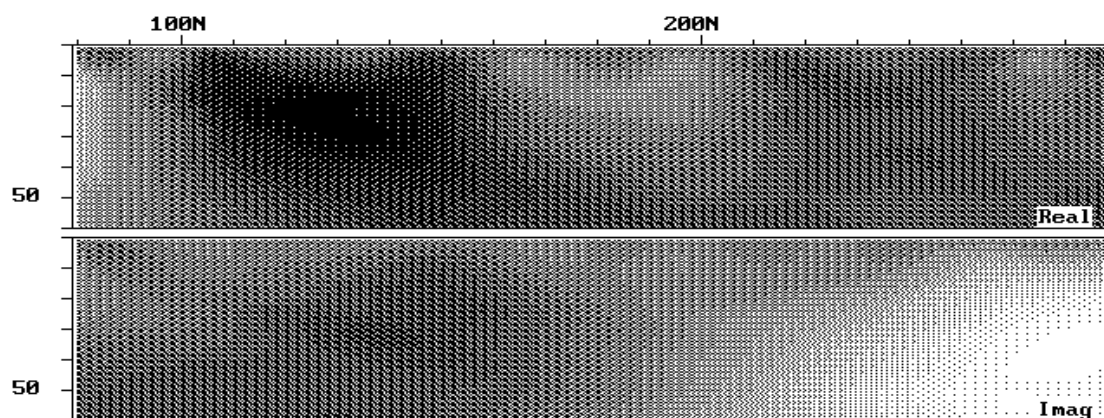
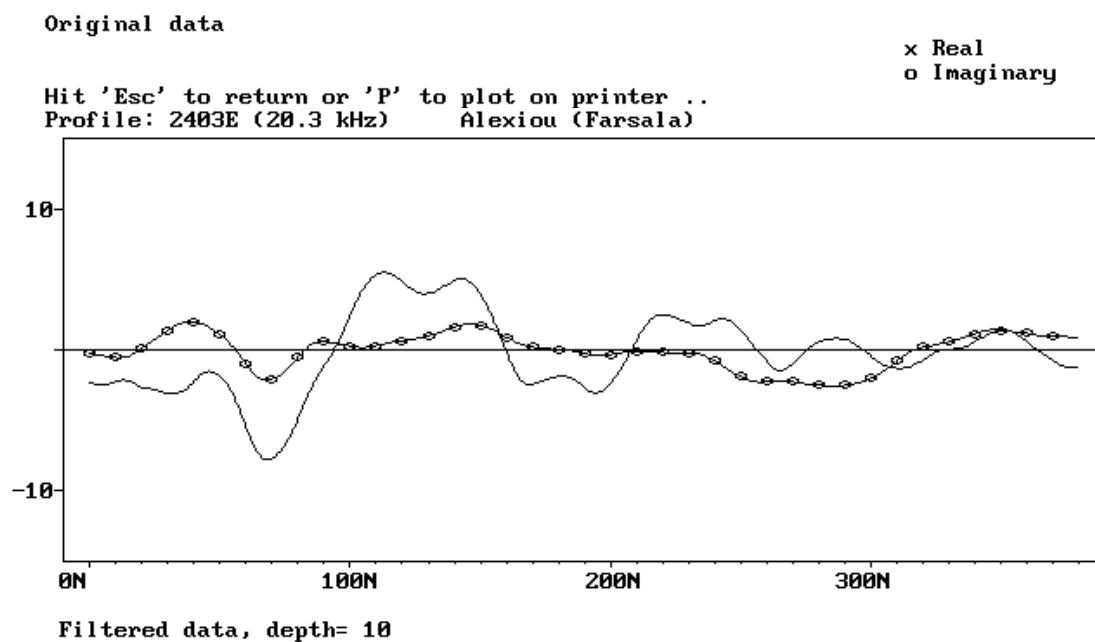
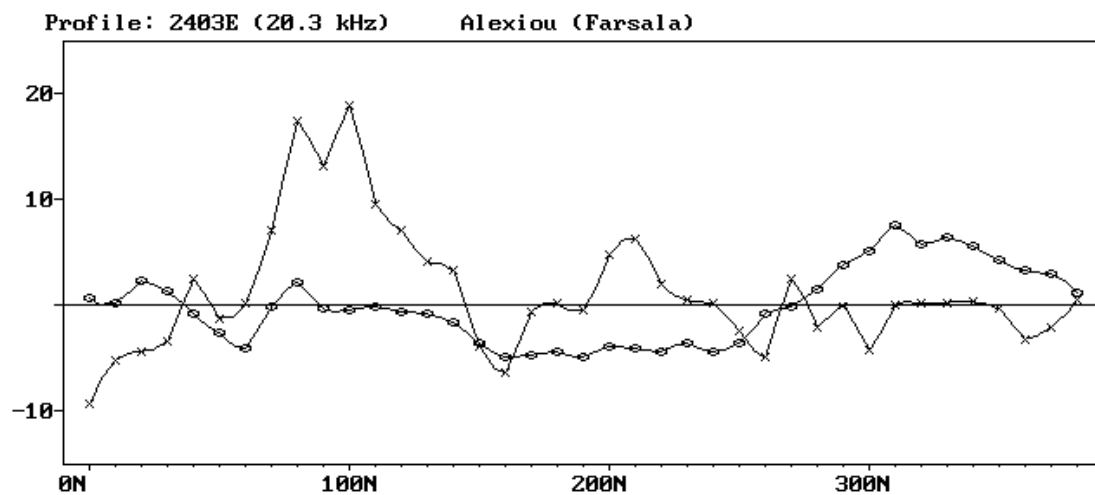


Σχ. 3.1 Επεξεργασία όδευσης 2401E



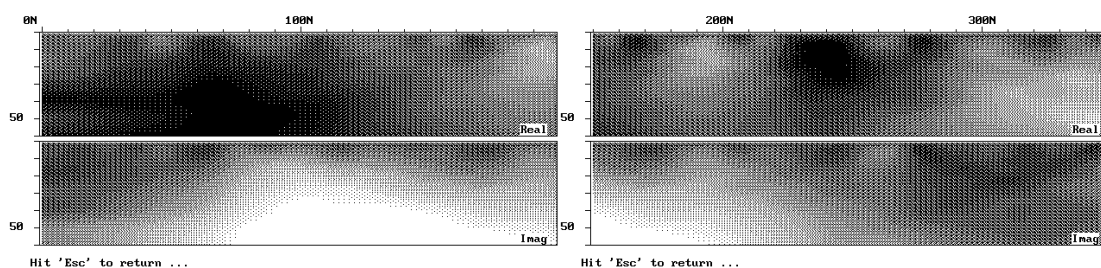
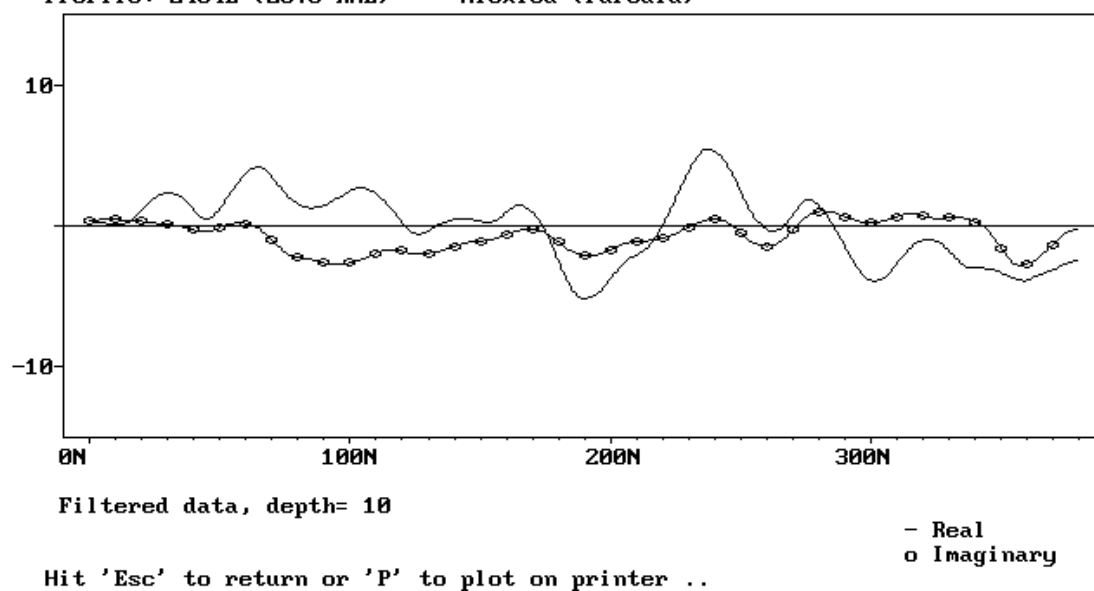
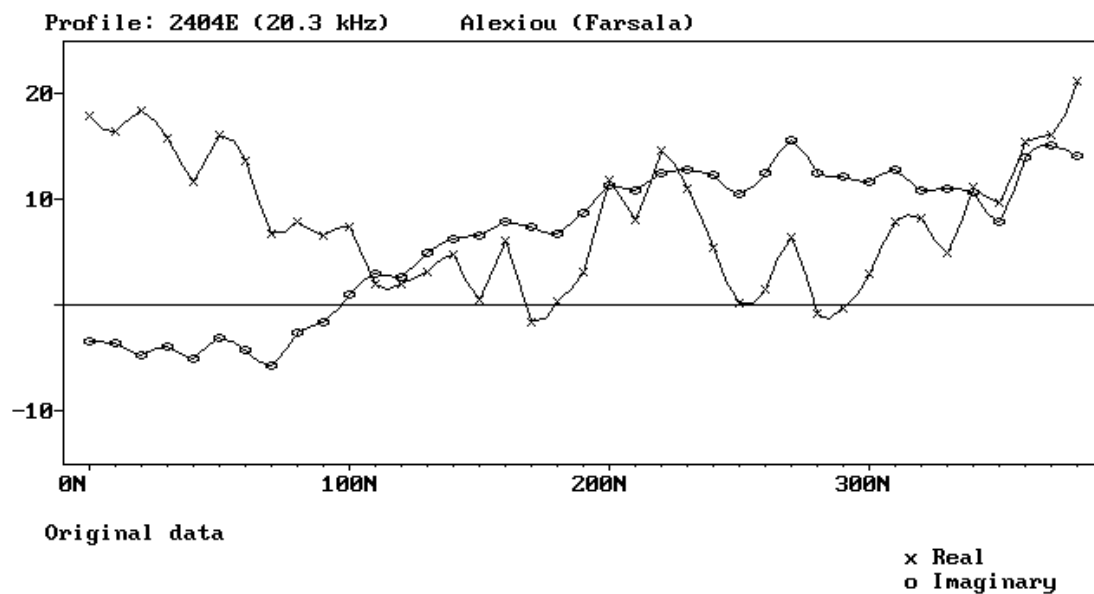
Hit 'Esc' to return ...

Σχ. 3.2 Επεξεργασία όδευσης 2402E

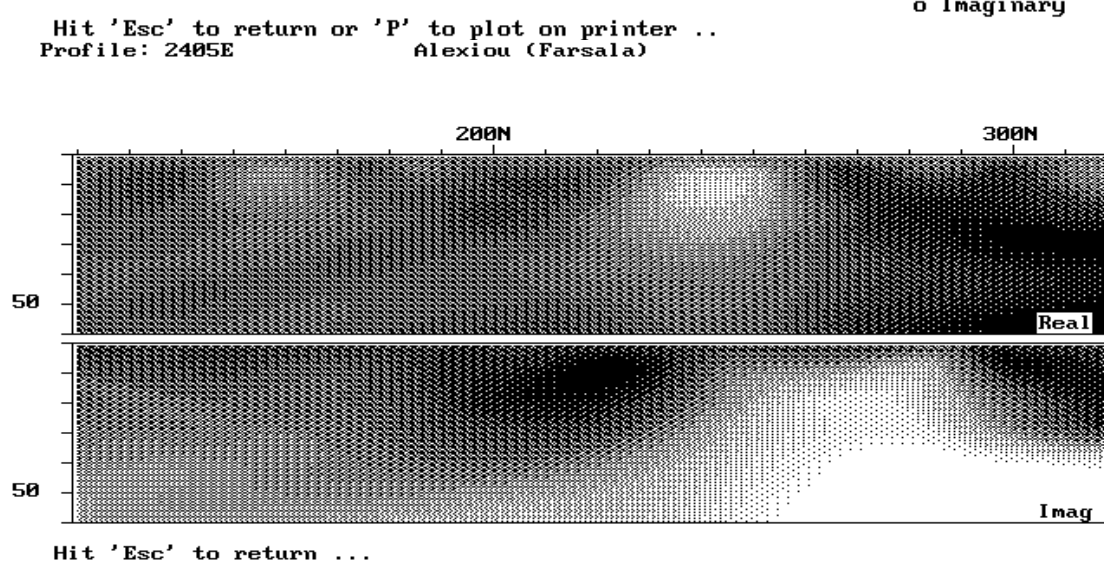
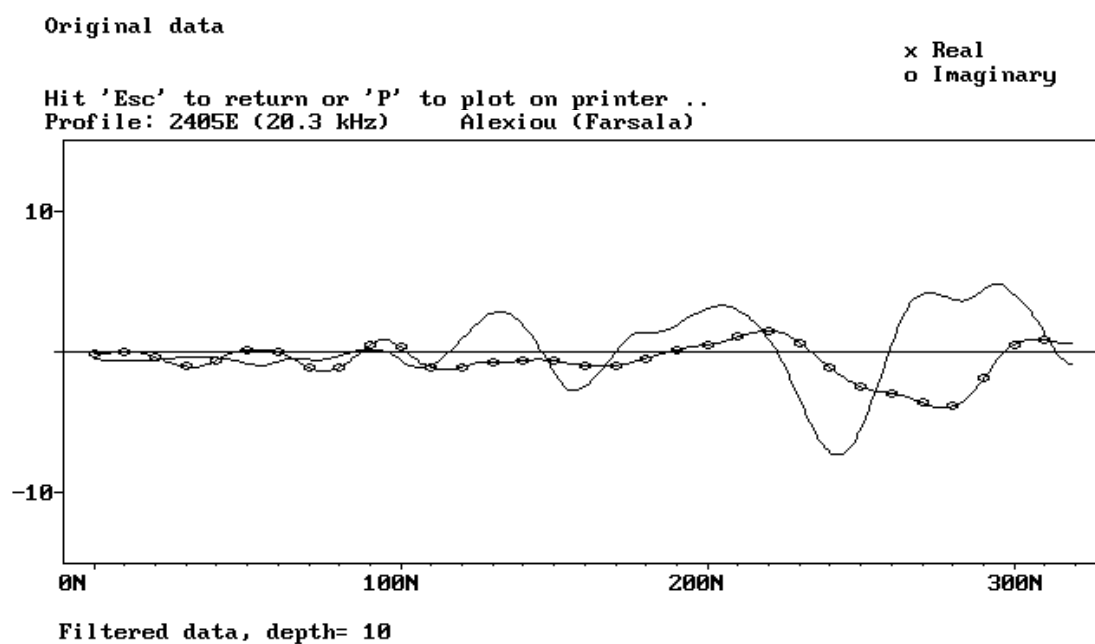
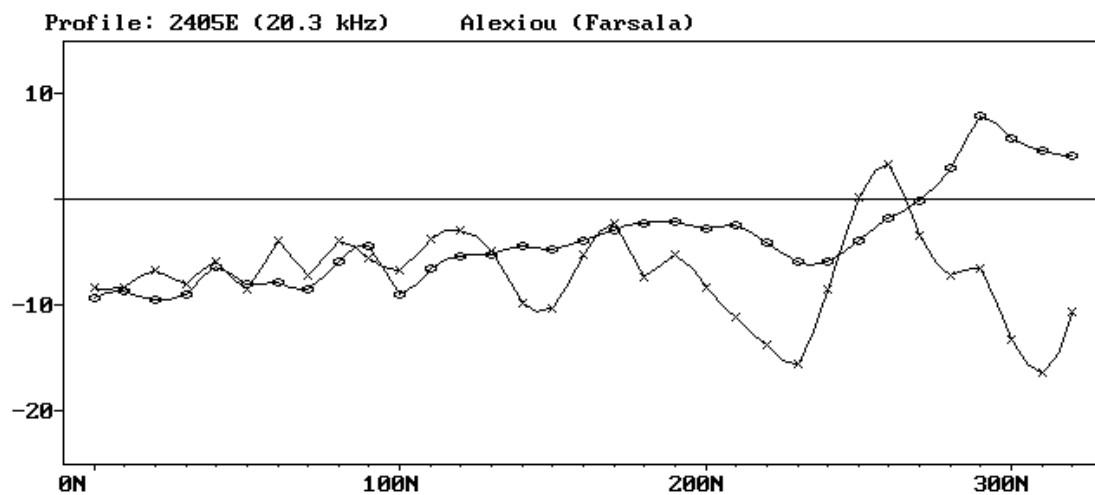


Hit 'Esc' to return ...

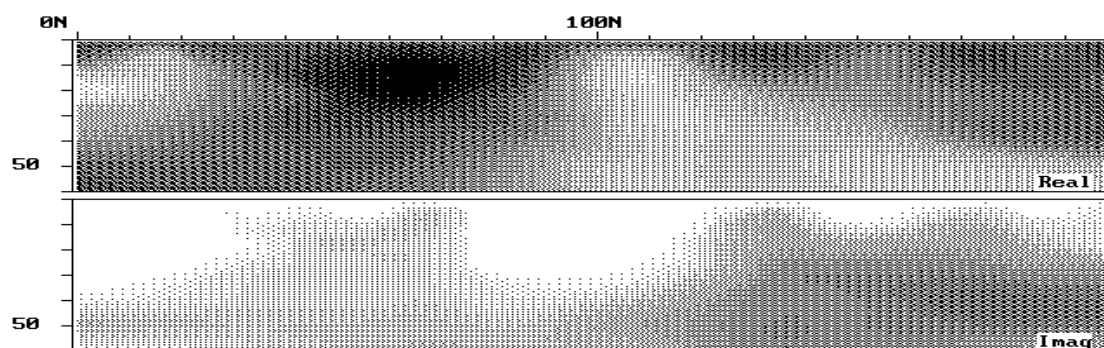
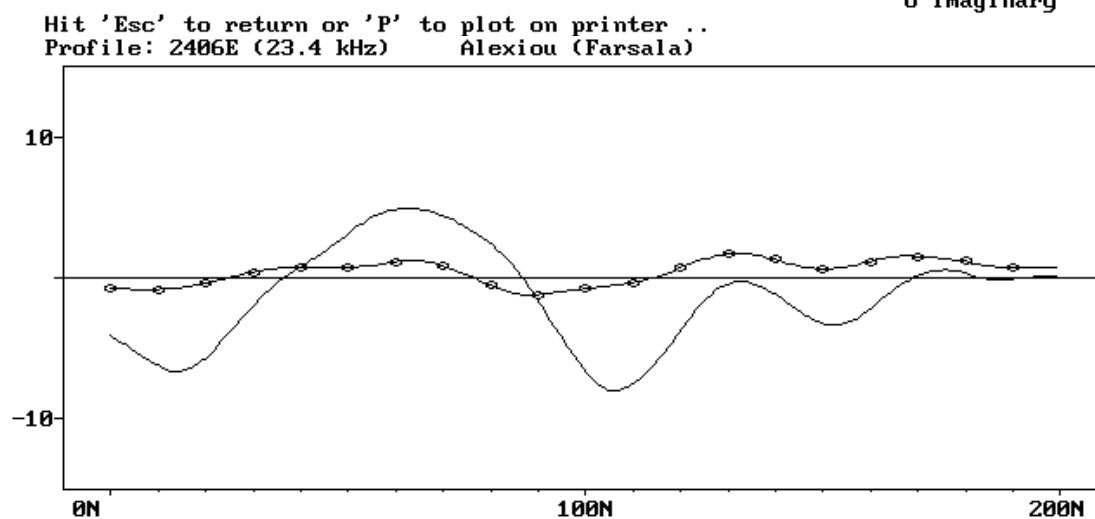
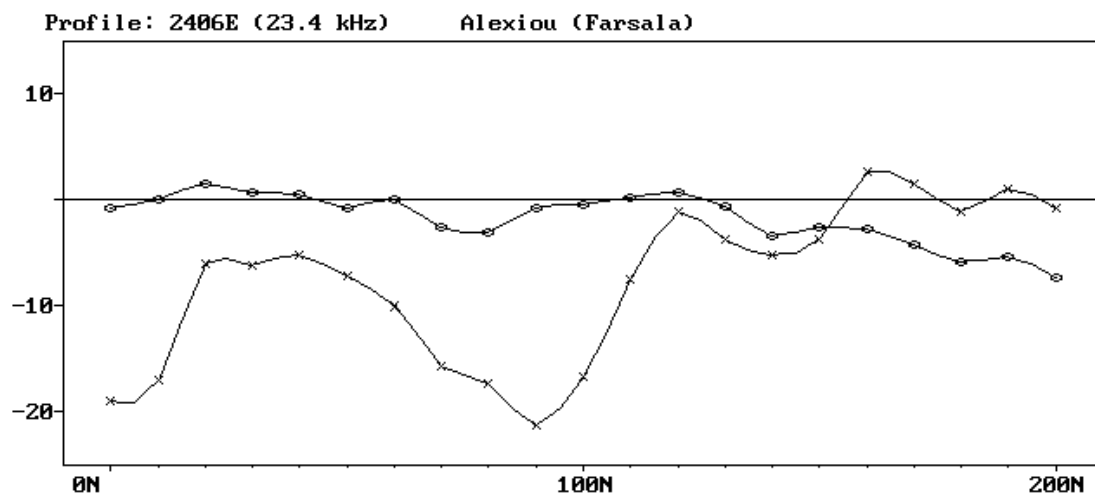
Σχ. 3.3 Επεξεργασία όδευσης 2403E



Σχ. 3.4 Επεξεργασία όδευσης 2404E

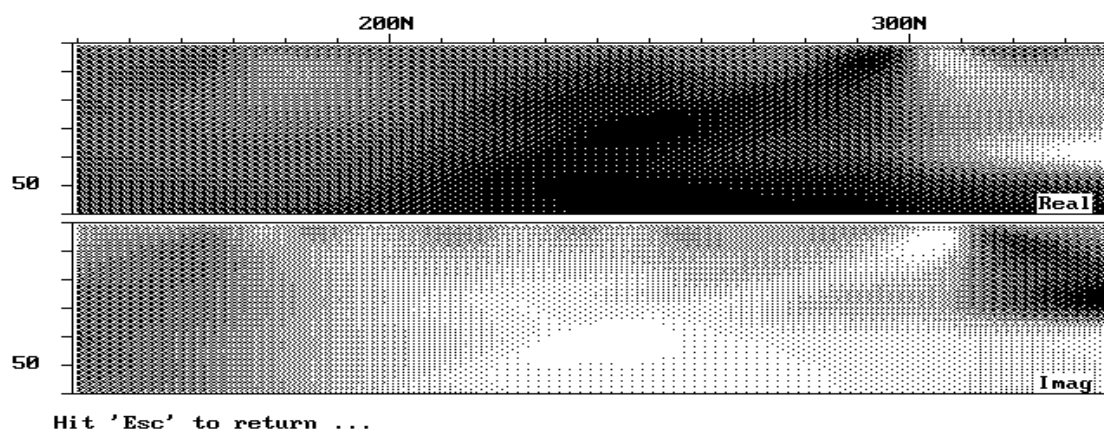
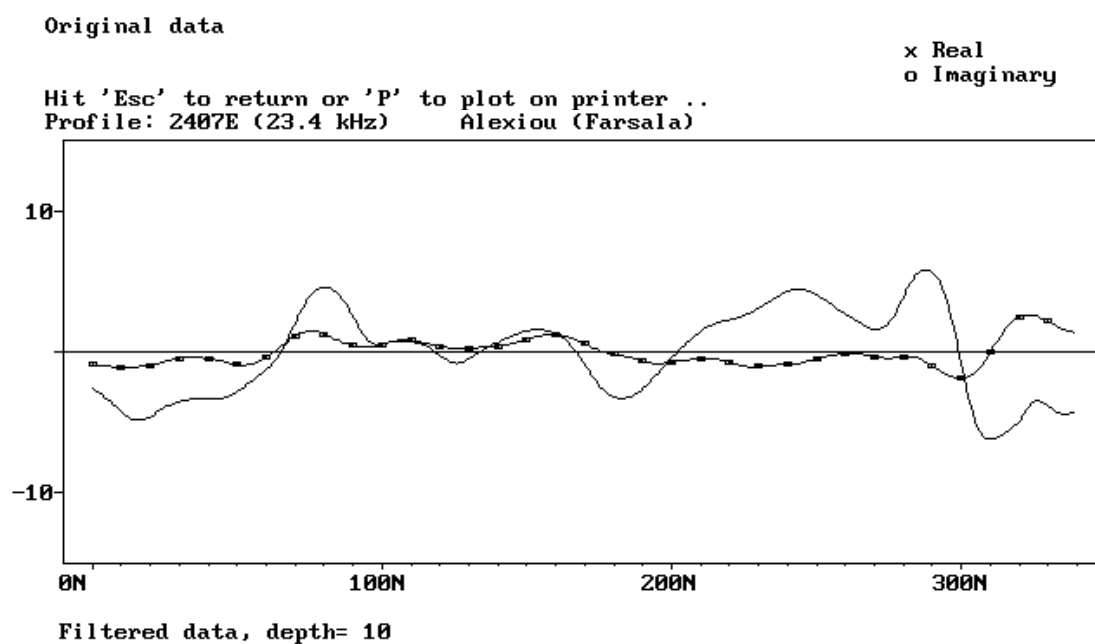
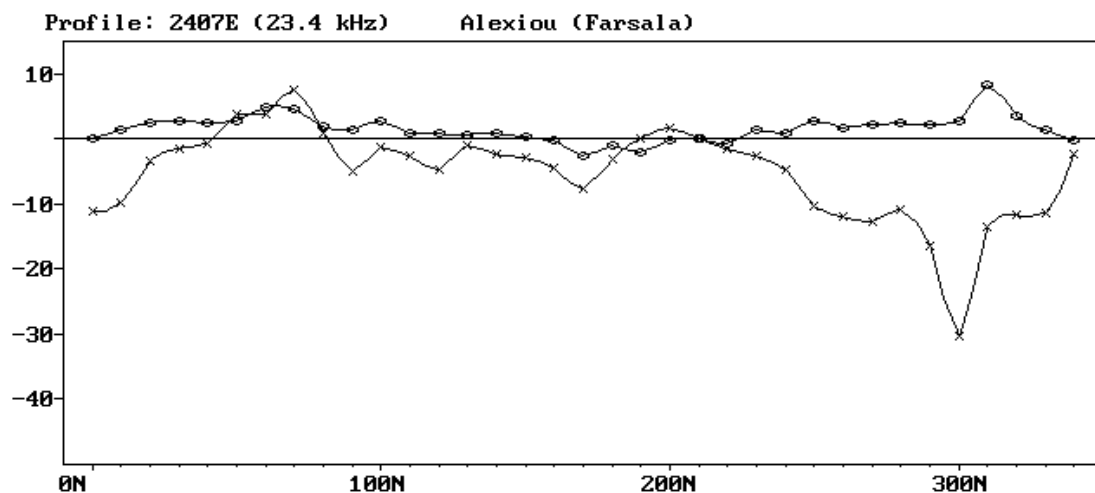


Σχ. 3.5 Επεξεργασία όδευσης 2405E

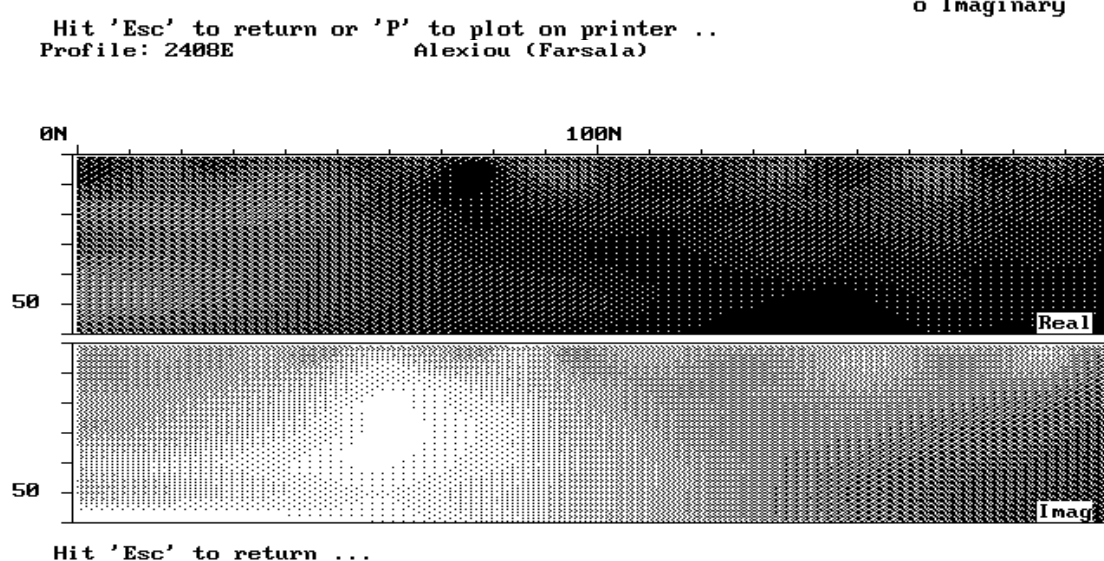
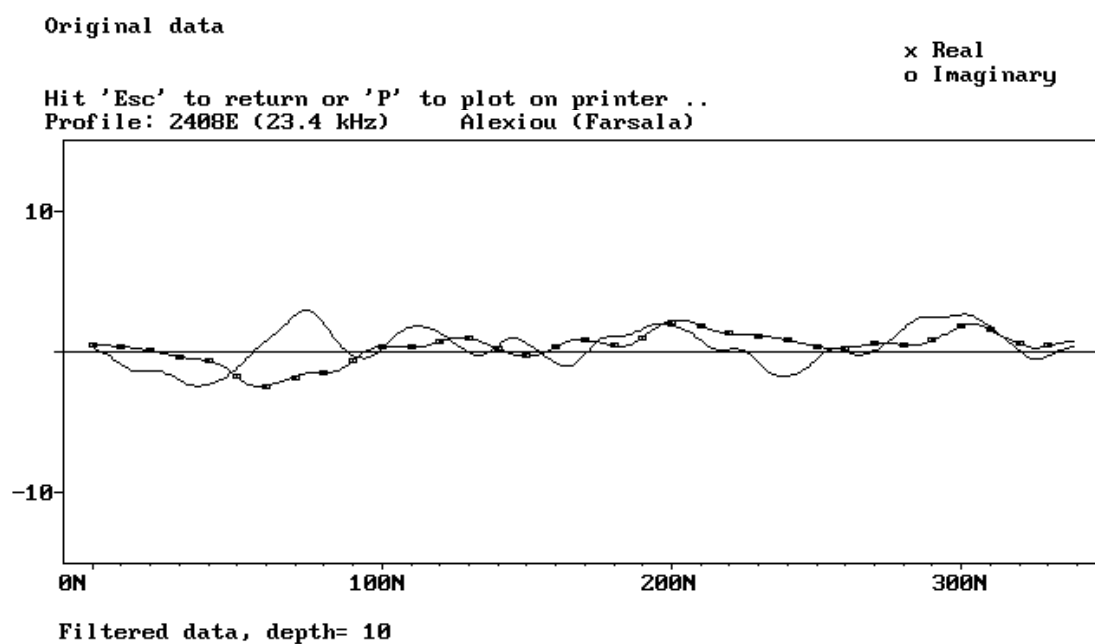
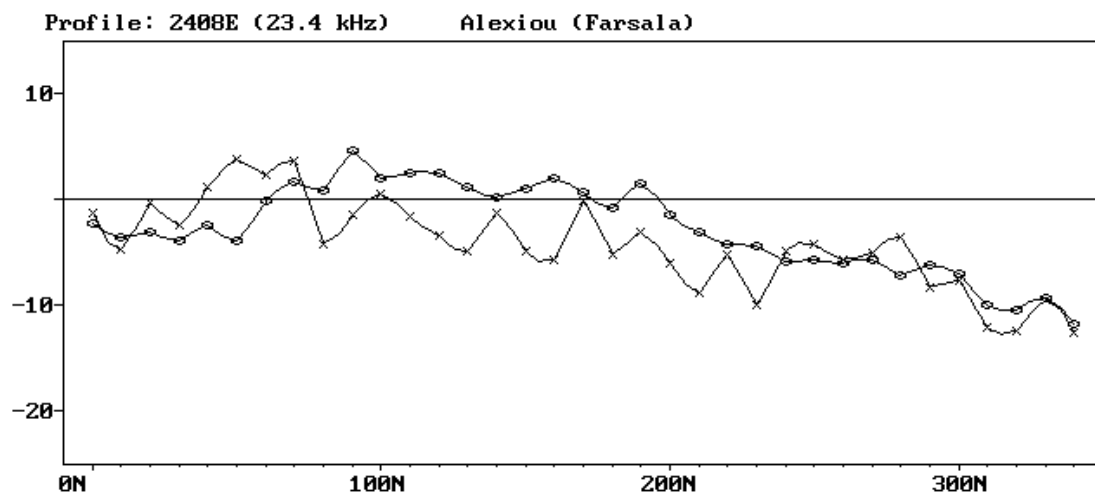


Hit 'Esc' to return ...

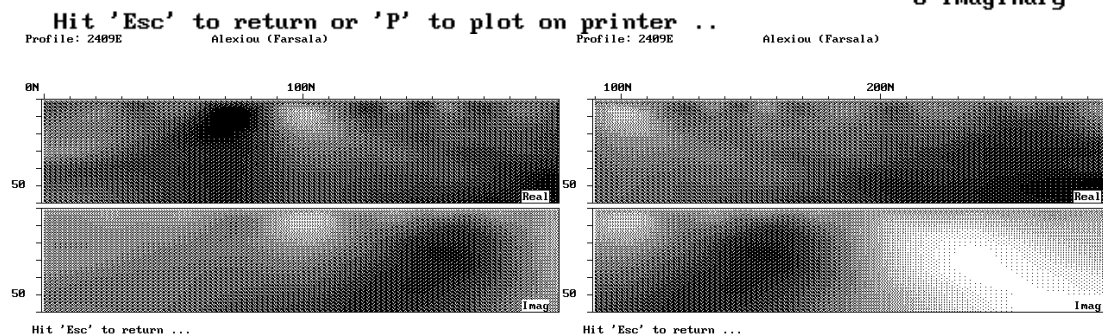
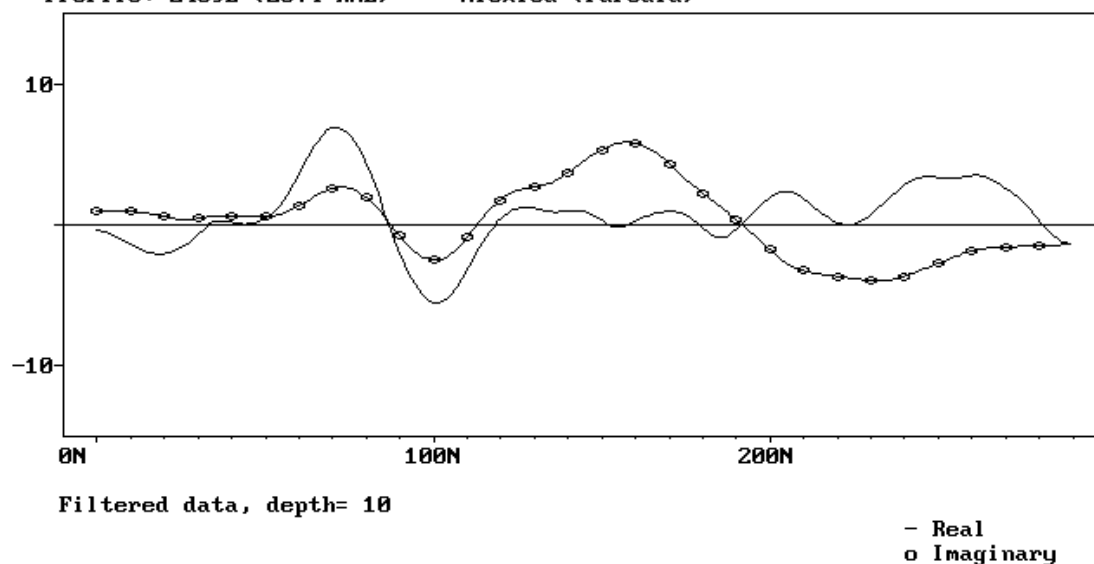
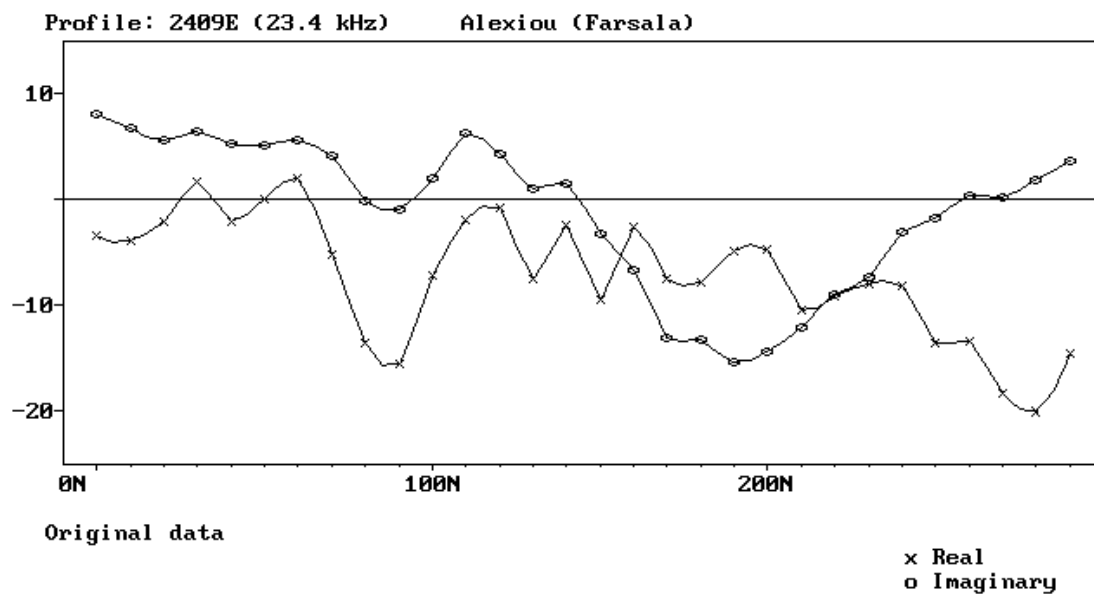
Σχ. 3.6 Επεξεργασία όδευσης 2406E



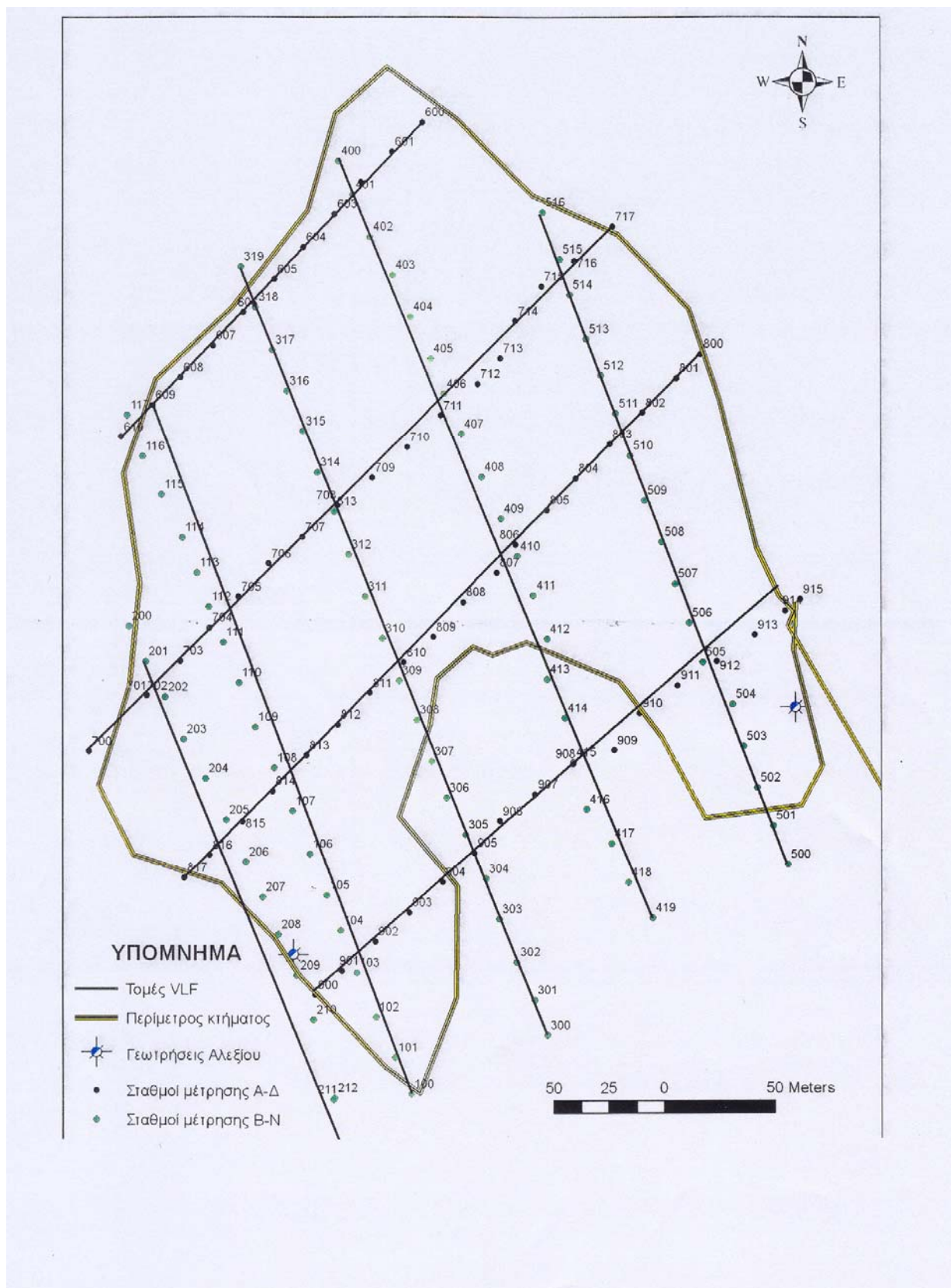
Σχ. 3.7 Επεξεργασία όδευσης 2407E

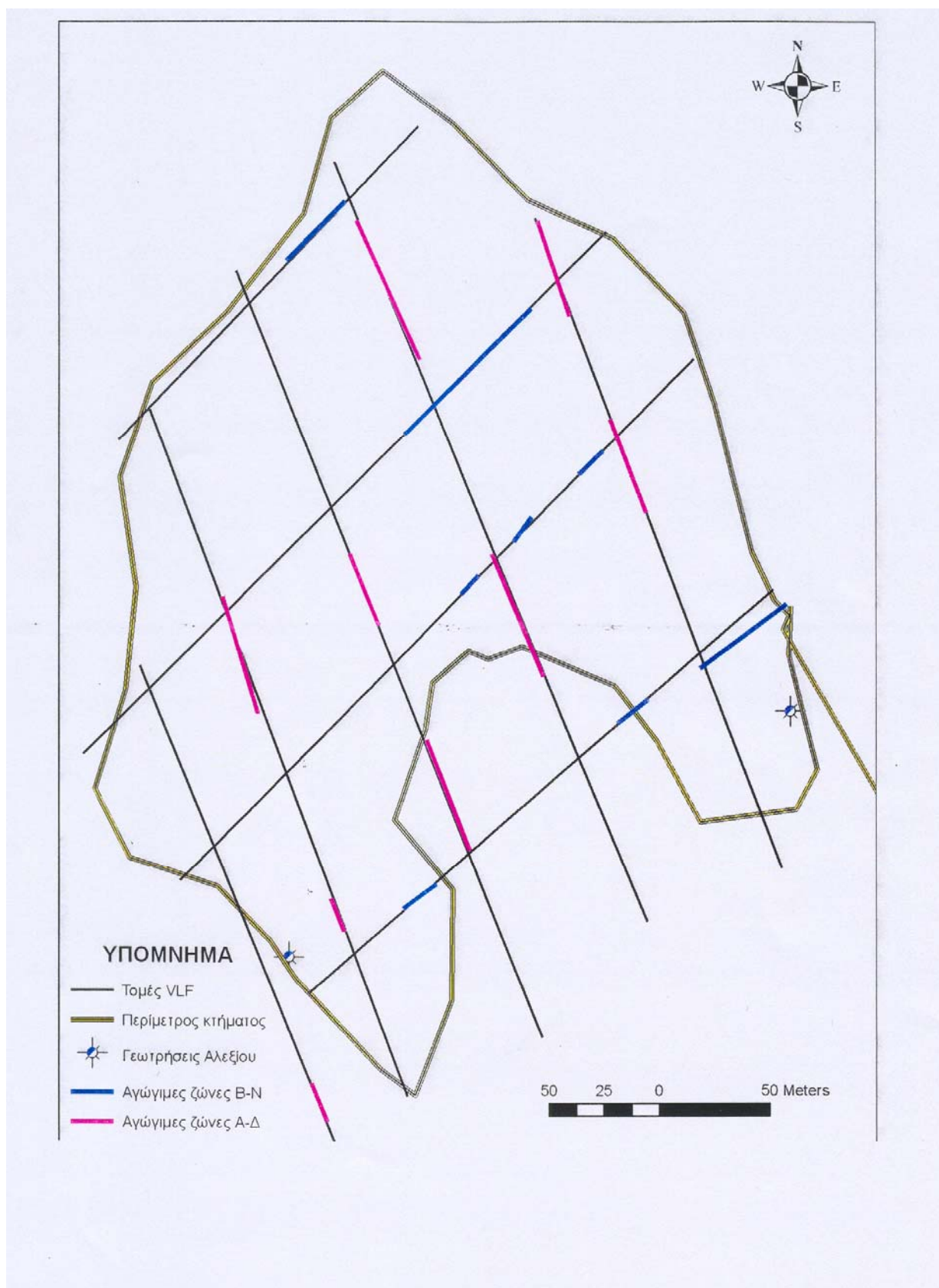


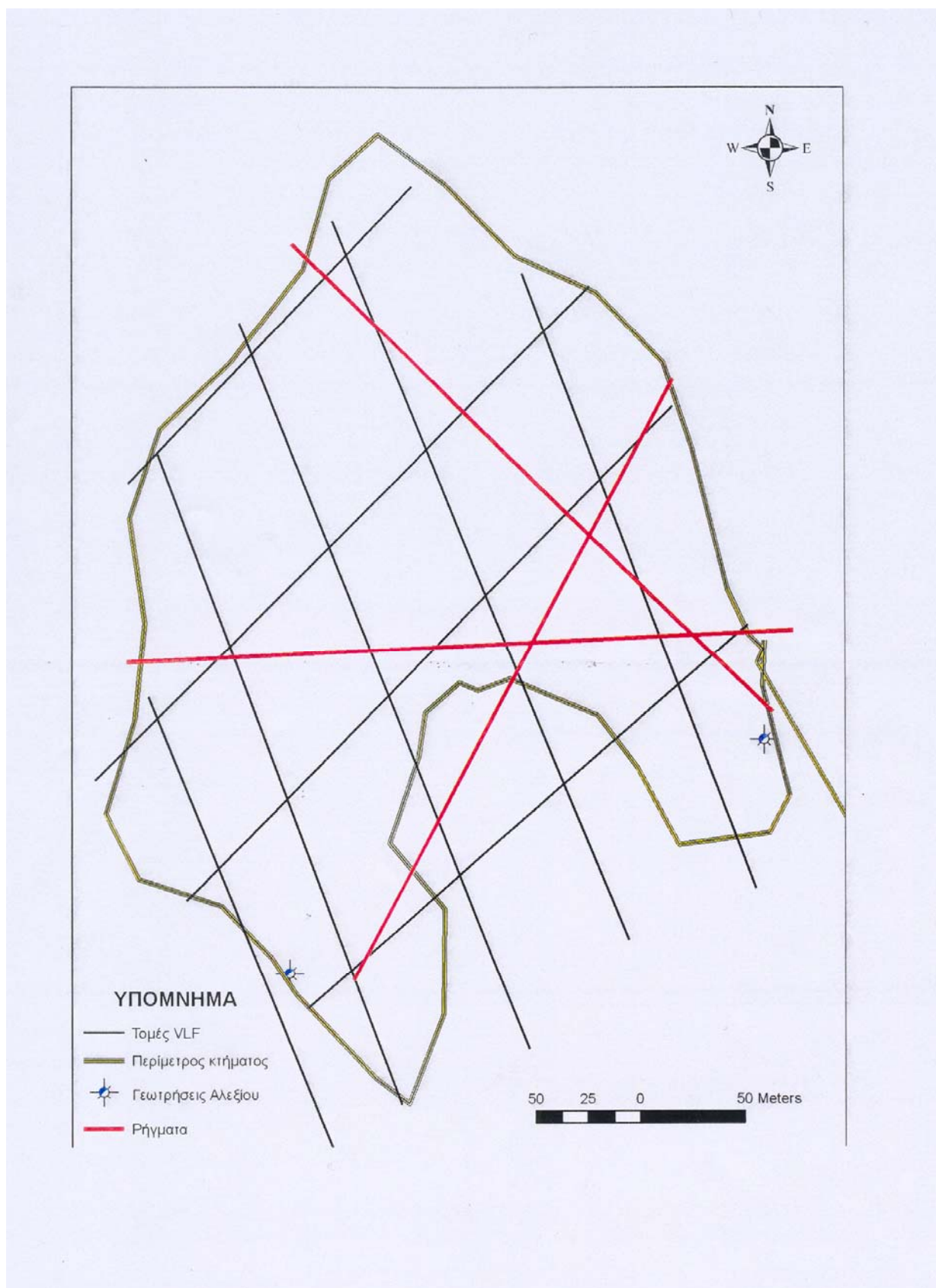
Σχ. 3.8 Επεξεργασία όδευσης 2408E

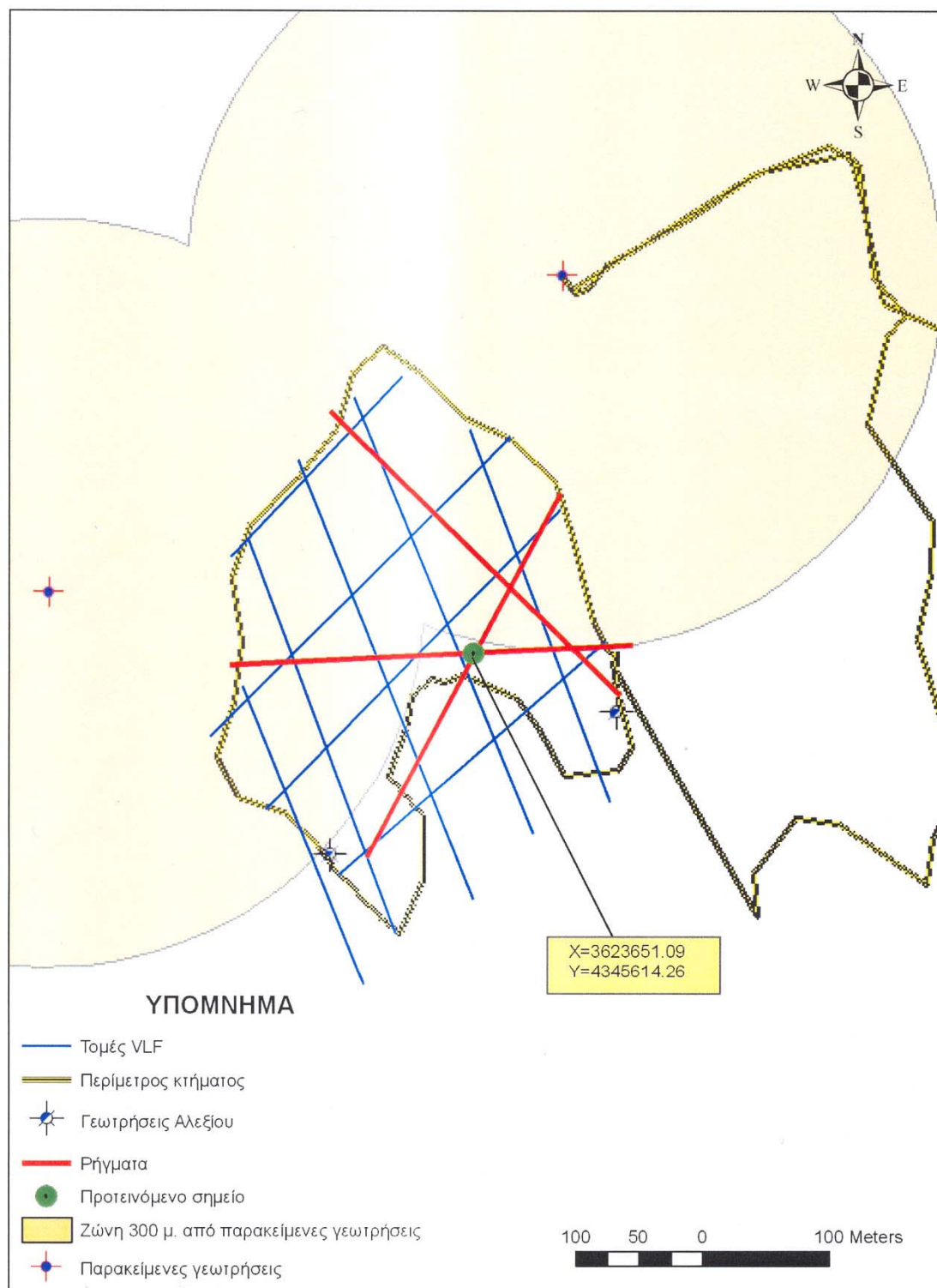


Σχ. 3.9 Επεξεργασία όδευσης 2409E









ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Μουντράκης , Δ., 1985, Γεωλογία της Ελλάδος , *EKA. UNIVERSITY STUDIO PRESS*,

Παπαζάχος, Β., 1986, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, *Εκδ.ΖΗΤΗ*,
σελ. 322.

Parasnis, D.S., 1979, Principles of Applied Geophysics, *A Halsted Press Book*,
3d Edition, pp.275.