



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ
ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ
ΛΙΜΝΟΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΚΟΥΝΤΟΥΡΑΣ ΧΑΝΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Α. ΓΙΑΛΑΜΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ, (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΑΓΙΟΥΤΑΝΤΗΣ
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΜΑΝΟΥΤΣΟΓΛΟΥ

ΧΑΝΙΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ, 2005

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή των μεθόδων σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, για τον εντοπισμό τυχόν ρηγμάτων και έγκοιλων μέχρι βάθους 30 m, στους γεωλογικούς σχηματισμούς της ευρύτερης περιοχής της Κουντούρας του δήμου Πελεκάνου, όπου πρόκειται να εδραστεί λιμνοδεξαμενή.

Για το σκοπό αυτόν χρησιμοποιήθηκαν έξι σεισμικές γραμμές και τρεις γραμμές ηλεκτρικής τομογραφίας, που πραγματοποιήθηκαν το καλοκαίρι του 2003. Μετά το πρώτο αυτό στάδιο της έρευνας αποφασίστηκε η ανόρυξη (σε συγκεκριμένες θέσεις που είχαν προταθεί) τεσσάρων (4) γεωτρήσεων, δειγματοληπτικών (O-1 και O-2) και ερευνητικών (O-3 και O-4) εντός των οποίων πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις διαγραφιών γεωτεχνικών εφαρμογών.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και ερμηνεία των σεισμικών και γεωηλεκτρικών δεδομένων χρησιμοποιώντας τα λογισμικά πακέτα SIP και RES2DINV αντίστοιχα. Στη συνέχεια έγινε αντιπαραβολή των αποτελεσμάτων γεωφυσικής διασκόπησης με τις γεωτρήσεις. Τέλος, ακολούθησε η απεικόνιση των γεωλογικού υπόβαθρου της υπό μελέτης περιοχής στις τρεις διαστάσεις με το λογισμικό πακέτο SURFER, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης και των γεωτρήσεων.

**Αφιερώνεται
στους γονείς μου,
στον αδερφό μου Γιώργο
καθώς και
στη θεία μου
Χαρίκλεια Ν. Στογιάννη**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον κ. Αντώνιο Βαφείδη Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης, τόσο για την ανάθεση του θέματος, όσο και για την άψογη συνεργασία και πολύτιμη καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο και τον Επίκουρο Καθηγητή κ. Εμμανουήλ Μανούτσογλου για την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή καθώς και τον τελικό έλεγχο και τις σημαντικές παρατηρήσεις που έκαναν επί της εργασίας.

Τέλος πρέπει να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Μηχανικούς Ορυκτών Πόρων Hamdan Hamdan και Γεώργιο Κρητικάκη, για την βοήθεια που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των μετρήσεων της εργασίας, καθώς και τις υποδείξεις τους κατά τη διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Γεωλογικά δεδομένα για τη περιοχή μελέτης	3
2.1 Εισαγωγή	3
2.2 Η γεωλογική δομή του νομού Χανίων	3
2.3 Περιοχή μελέτης.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Σεισμική διασκόπηση-Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης.....	9
3.1 Είδη σεισμικών κυμάτων	9
3.1.1 Κύματα χώρου	9
3.1.2 Επιφανειακά κύματα	10
3.2 Διάδοση των σεισμικών κυμάτων	11
3.2.1 Αρχή του Huygens	11
3.2.2 Αρχή του Fermat	11
3.3 Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης	12
3.3.1 Μετωπικά κύματα	12
3.3.2 Εκτίμηση του πάχους και της σεισμικής ταχύτητας	14
3.4 Περιγραφή εκτέλεσης της σεισμικής διάθλασης.....	17
3.4.1 Θέσεις των σεισμικών γραμμών.....	18
3.4.2 Εξοπλισμός.....	20
3.4.3 Διαδικασία εκτέλεσης σεισμικής διασκόπησης	20
3.4.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων	22
3.4.4.1 Επιλογή των πρώτων αφίξεων.....	23

3.4.4.2	Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων.....	23
3.4.4.3	Προσδιορισμός του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές)	24

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ηλεκτρικές μέθοδοι-Ηλεκτρική τομογραφία.....		26
4.1	Εισαγωγή.....	26
4.2	Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.....	26
4.2.1	Εφαρμογή της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης	30
4.2.2	Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση	31
4.2.3	Τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων	31
4.3	Ηλεκτρική τομογραφία.....	35
4.4	Περιγραφή εκτέλεσης της ηλεκτρικής τομογραφίας.....	36
4.4.1	Θέσεις των ηλεκτρικών γραμμών μελέτης.....	36
4.4.2	Εξοπλισμός γεωηλεκτρικής τομογραφίας.....	36
4.4.3	Διεξαγωγή της ηλεκτρικής τομογραφίας	39
4.5	Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας.....	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και διαγραφίες.....		41
5.1	Εισαγωγή.....	41
5.2	Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις.....	41
5.2.1	Εισαγωγή.....	41
5.2.2	Δειγματοληψία	42
5.3	Διαγραφίες.....	43
5.3.1	Εισαγωγή.....	43
5.3.2	Ραδιενεργές διαγραφίες.....	44
5.3.2.1	Διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας	44
5.3.2.2	Υπολογισμός αργλικών προσμίξεων.....	46
5.3.3	Ακουστικές διαγραφίες	47
5.3.4	Ηλεκτρικές διαγραφίες.....	49
5.3.4.1	Αρχές ηλεκτρικών διαγραφιών	50
5.4	Περιγραφή εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και των διαγραφιών	51
5.4.1	Θέσεις των γεωτρήσεων.....	51

5.4.2	Εξοπλισμός γεωτρήσεων.....	52
5.4.3	Εξοπλισμός διαγραφιών	52
5.4.4	Διεξαγωγή των μετρήσεων διαγραφίας.....	53
5.5	Επεξεργασία δεδομένων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και διαγραφιών	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ερμηνεία γεωφυσικών δεδομένων και σύγκριση των με γεωτρήσεις και διαγραφίες.....		57
6.1	Εισαγωγή	57
6.2	Ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων.	57
6.2.1	Σεισμική γραμμή 1	57
6.2.2	Σεισμική γραμμή 2	59
6.2.3	Σεισμική γραμμή 3	61
6.2.4	Σεισμική γραμμή 4	63
6.2.5	Σεισμική γραμμή 5	65
6.2.6	Σεισμική γραμμή 6	66
6.2.7	Σεισμική γραμμή 7	68
6.3	Ερμηνεία των ηλεκτρικών δεδομένων	70
6.3.1	Ηλεκτρική γραμμή 1	70
6.3.2	Ηλεκτρική γραμμή 2	72
6.3.3	Ηλεκτρική γραμμή 3	74
6.4	Αποτελέσματα διαγραφιών και δειγματοληπτικών γεωτρήσεων.....	76
6.4.1	Πρώτη γεώτρηση (O1)	76
6.4.2	Δεύτερη γεώτρηση (O2).....	78
6.4.3	Τρίτη γεώτρηση (O-3).....	80
6.4.4	Τέταρτη γεώτρηση (O-4).....	80
6.5	Συνδυασμένη ερμηνεία γεωφυσικής διασκόπησης.....	81
6.5.1	Υπέρθεση της πρώτης ηλεκτρικής και σεισμικής γραμμής αντίστοιχα.	83
6.5.2	Υπέρθεση της δεύτερης ηλεκτρικής και τρίτης σεισμικής γραμμής αντίστοιχα.....	85
6.6	Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου.....	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα – Προτάσεις.....	89
-------------------------------	----

7.1	Συμπεράσματα.....	89
7.2	Προτάσεις.....	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		92
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ		
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ		95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΘΟΥΣ.....		116

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

- Σχήμα 2.1:** Απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Οι κόκκινες και οι κίτρινες γραμμές απεικονίζουν τις γραμμές γεωφυσικής διασκόπησης 6
- Σχήμα 2.2:α)** Στρωματογραφική στήλη από βασικό γεωλογικό χάρτη της Ελλάδος, φύλλο Παλαιόχωρας, Βιδάκης και συνεργάτες, Ι.Γ.Μ.Ε.,2002 7
- Σχήμα 2.2:β)** Γεωλογικός χάρτης από βασικό χάρτη της Ελλάδος, φύλλο Παλαιόχωρας, Βιδάκης και συνεργάτες, Ι.Γ.Μ.Ε.,2002 8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

- Σχήμα 3.1:** Εδαφική κίνηση κατά τη διάδοση των κυμάτων χώρου. (a) P – κύματα, (b) S – κύματα (Sheriff and Geldart, 1995). 10
- Σχήμα 3.2:** Σχηματικός τρόπος διάδοσης των σεισμικών (a) Rayleigh και (b) Love επιφανειακών κυμάτων (Ραπτάκης, 1995). 11
- Σχήμα 3.3:** Σχηματική παράσταση της αρχής του Huygens για ισότροπο μέσο (Παπαζάχος, 1986). 12
- Σχήμα 3.4:** Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία α) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Reynolds, 1997). 13
- Σχήμα 3.5:** Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997). 13
- Σχήμα 3.6:** Σχηματική αναπαράσταση μιας σεισμικής ακτίνας ενός μετωπικού κύματος για μια δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων (Reynolds, 1997). 15
- Σχήμα 3.7:** Σεισμικές ακτίνες των απευθείας, των διαθλώμενων και των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων (πάνω) και οι αντίστοιχες καμπύλες διαδρομής των κυμάτων αυτών (κάτω). 15
- Σχήμα 3.8:** Καμπύλες διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων. 16

Σχήμα 3.9: Σχηματική παράσταση σεισμικών καταγραφών διάθλασης των οποίων οι πρώτες αφίξεις (διακεκομμένη γραμμή) αντιστοιχούν σε καταγραφές απευθείας (OC) και μετωπικών κυμάτων (CD).....	16
Σχήμα 3.10: Περιοχή μελέτης όπου απεικονίζονται τα όρια της λιμνοδεξαμενής, ο δρόμος όπως είναι διαμορφωμένος σήμερα και οι σεισμικές γραμμές μελέτης.....	19
Σχήμα 3.11: Γεωμετρία ενός αναπύγματος μιας σεισμικής γραμμής μελέτης όπου απεικονίζονται οι θέσεις των σεισμικών πηγών σε σχέση με τα γεώφωνα.....	21
Σχήμα 3.12: Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 2 της γραμμής μελέτης,7 όπως έχει εκτυπωθεί από τον σειсмоγράφο.	22
Σχήμα 3.13: Επιλογή των πρώτων αφίξεων για την καταγραφή κοινής πηγής 2 της γραμμής μελέτης 7.	23
Σχήμα 3.14: Δρομοχρονικά διαγράμματα της γραμμής μελέτης 7.	24
Σχήμα 3.15: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης 7.....	25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχήμα 4.1: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου.....	27
Σχήμα.4.2: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος, 2000, Σούρλας, 2000).....	30
Σχήμα 4.3: Διάταξη ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B) και δυναμικού (M, N) (Σούρλας, 2000).	30
Σχήμα 4.4: Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ), (Παπαζάχος, 1986).....	34
Σχήμα 4.5: Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας, 2000)	35
Σχήμα4.6: Θέσεις των ηλεκτρικών τομογραφιών (ΠΤ1, ΠΤ2, ΠΤ3).....	38
Σχήμα 4.7: Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομογραφία (κάτω) της γραμμής μελέτης ΠΤ1	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Σχήμα 5.1: Δείγματα της γεώτρησης O-1	43
Σχήμα 5.2: Εξοπλισμός διαγραφιών (Βαφείδης 1994).....	44

Σχήμα 5.3: Διαγραφία φυσικής ακτινοβολίας γάμμα στην υπό μελέτη περιοχή (ΓΕΩΤΕΚ, 2003).....	45
Σχήμα 5.4: Παράδειγμα μορφής κυμάτων από 8 σταθμούς (Βαφείδης, 1994).....	49
Σχήμα 5.5: Ηλεκτρική διαγραφία εστίασης στην υπό μελέτη περιοχή (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)....	50
Σχήμα 5.6: Θέσεις των γεωτρήσεων	51
Σχήμα 5.7: Γεωτρύπανο τύπου LONGYEAR-34.....	52
Σχήμα 5.8: Δείγματα της διατρηθείσας μάργας σε βάθος 12-19 m, στην γεώτρηση O-1.....	54
Σχήμα 5.9: α) Δείγματα της διατρηθείσας μάργας σε βάθος 5-10,70 m, στην γεώτρηση O-2	54
Σχήμα 5.9: β) Δείγματα της διατρηθείσας γκρίζας μάργας σε βάθος 10,70-16,55 m, στην γεώτρηση O-2.....	54
Σχήμα 5.9: γ) Δείγματα της διατρηθείσας γκρίζας μάργας σε βάθος 16,55-22,10 m, στην γεώτρηση O-2.....	55
Σχήμα 5.10: Τομή της πρώτης γεώτρησης (O-1), (Διαμαντάκης, 2003)	55
Σχήμα 5.11: Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην τέταρτη γεώτρηση (O-4), (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)	56

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Σχήμα 6.1: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	58
Σχήμα 6.1: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	58
Σχήμα 6.1: γ) Μοντέλο βάθους της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	59
Σχήμα 6.2: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	60
Σχήμα 6.2: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	60
Σχήμα 6.2: γ) Μοντέλο βάθους της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	61
Σχήμα 6.3: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	62

Σχήμα 6.3: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	62
Σχήμα 6.3: γ) Μοντέλο βάθους της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	63
Σχήμα 6.4: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	64
Σχήμα 6.4: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	64
Σχήμα 6.4: γ) Μοντέλο βάθους της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	65
Σχήμα 6.5: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα της έκτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	66
Σχήμα 6.5: β) Μοντέλο βάθους της έκτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	67
Σχήμα 6.6: Συντεταγμένες των σεισμικών γραμμών στο γεωδαιτικό σύστημα Hatt, κλίμακα 1:5000	68
Σχήμα 6.7: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα της έβδομης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)	69
Σχήμα 6.7: β) Μοντέλο βάθους της έβδομης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)	69
Σχήμα 6.8: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της πρώτης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ1)	71
Σχήμα 6.8: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την πρώτη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ1)	72
Σχήμα 6.9: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της δεύτερης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ2)	73
Σχήμα 6.9: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την δεύτερη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ2)	74
Σχήμα 6.10: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της τρίτης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ3)	75
Σχήμα 6.10: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την τρίτη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ3)	75
Σχήμα 6.11: α) Τομή της πρώτης γεώτρησης (O-1),(Διαμαντάκης, 2003)	77

Σχήμα 6.11: β) Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην πρώτη γεώτρηση (O-1) (ΓΕΩΤΕΚ,2003).....	78
Σχήμα 6.12: Τομή της δεύτερης γεώτρησης (O-2),(Διαμαντάκης, 2003).....	79
Σχήμα 6.13: Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην τέταρτη γεώτρηση (O-4) (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)	81
Σχήμα 6.14: Υπέρθωση της πρώτης σεισμικής γραμμής (line 1) πάνω στην πρώτη γεωηλεκτρική τομή.....	83
Σχήμα 6.15: Υπέρθωση της πρώτης σεισμικής γραμμής (line 1) πάνω στην πρώτη γεωηλεκτρική τομή σε αντιπαράβολή με τις γεωτρήσεις O-2 και O-3	84
Σχήμα 6.16: Υπέρθωση της τρίτης σεισμικής γραμμής (line 3) πάνω στη δεύτερη γεωηλεκτρική τομή.....	85
Σχήμα 6.17: Υπέρθωση της τρίτης σεισμικής γραμμής (line 3) πάνω στην δεύτερη γεωηλεκτρική τομή σε αντιπαράβολή με τη γεώτρηση O-1	86
Σχήμα 6.18: α) Τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας (τομή)	87
Σχήμα 6.18: β) Τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας υπό γωνία	88

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες σεισμικών γραμμών	18
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πίνακας 4.1: Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).....	28
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Πίνακας 6.1: Σύνοψη επεξεργασίας γεωφυσικών δεδομένων	82
Πίνακας 6.2: Γεωτεχνικές εργαστηριακές μετρήσεις (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)	82

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την μεθοδολογία και τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την γεωφυσική διασκόπηση, που έγινε στην ευρύτερη περιοχή της Κουντούρας του δήμου Πελεκάνου, όπου προγραμματίζεται να εκσκαφεί λιμνοδεξαμενή και ειδικότερα με τις μεθόδους σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας. Έχει ως στόχο την προσέγγιση του γεωλογικού υποβάθρου της περιοχής, καθώς και τον εντοπισμό τυχόν ρηγμάτων και έγκοιλων μέχρι βάθους 30 m. Αυτό επιτεύχθηκε με τον συσχετισμό των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης με πληροφορίες που προέρχονται από το γεωλογικό χάρτη και τέσσερις γεωτρήσεις (2 δειγματοληπτικές και 2 διαγραφιών) της περιοχής.

Η εργασία αυτή αποτελείται από επτά κεφάλαια. Τα περιεχόμενα του κάθε κεφαλαίου, έχουν συνοπτικά ως εξής:

Το πρώτο κεφάλαιο περιγράφει το σκοπό της εργασίας και περιέχει μια συνοπτική περιγραφή των περιεχόμενων όλων των κεφαλαίων.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται γενικότερα στις στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αποτελούν την γεωλογική δομή του νομού Χανίων. Κατόπιν γίνεται περιγραφή των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης. Στην αρχή του κεφαλαίου γίνεται αναφορά στα είδη των σεισμικών κυμάτων και τις αρχές διαδοσής των. Στη συνέχεια αναλύεται εκτενέστερα η σεισμική διάθλαση και η συνδρομή της στην εκτίμηση του πάχους και της σεισμικής ταχύτητας των γεωλογικών σχηματισμών. Τέλος, αναφέρεται ο τρόπος διεξαγωγής της σεισμικής διασκόπησης, ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε και η διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων αυτής.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιγράφει τη μέθοδο της ηλεκτρικής τομογραφίας. Στη αρχή του κεφαλαίου αναφέρονται οι διάφορες ηλεκτρικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης, όπου περιγράφεται αναλυτικά η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας, του τρόπου διεξαγωγής της, του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε και της διαδικασίας επεξεργασίας των μετρήσεων αυτής.

Το πέμπτο κεφαλαίο αναφέρεται στις γεωτρήσεις και τις μετρήσεις διαγραφιών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Αρχικά γίνεται μια γενική αναφορά στις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και τις διαγραφίες, ενώ στη συνέχεια αναλύεται ο τρόπος διεξαγωγής των μετρήσεων και του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε σε αυτές. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθεται φωτογραφικό υλικό και αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στο έκτο κεφαλαίο γίνεται αναφορά στα αποτελέσματα και στην ερμηνεία της γεωφυσικής διασκόπησης, καθώς και στο συσχετισμό των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης με πληροφορίες που προέρχονται από το γεωλογικό χάρτη και τις τέσσερις γεωτρήσεις. Τέλος, απεικονίζεται το γεωλογικού υπόβαθρου της υπό μελέτης περιοχής στις τρεις διαστάσεις, λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της γεωφυσικής διασκόπησης και των γεωτρήσεων.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την εργασία και γίνονται προτάσεις για την λεπτομερέστερη γεωφυσική διασκόπηση της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γεωλογικά δεδομένα για τη περιοχή μελέτης

2.1 Εισαγωγή

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται άμεσα με την γεωλογική εξέλιξη των σχηματισμών και ενοτήτων που δομούν τον Ελληνικό χώρο. Αυτοί ομοιογενοποιήθηκαν σε γεωτεκτονικές ζώνες με γενική διεύθυνση στον ηπειρωτικό χώρο της ΒΔ – ΝΑ.

Κάθε ζώνη, χαρακτηρίζεται από ορισμένη στρωματογραφική / λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην δημιουργία του ορογενούς της Ελλάδας.

2.2 Η Γεωλογική δομή του νομού Χανίων

Οι στρωματογραφικές και τεκτονικές ενότητες που αποτελούν την γεωλογική δομή του νομού Χανίων αρχίζοντας από τις νεώτερες και καταλήγοντας στις παλαιότερες, είναι:

1. Τεταρτογενείς αποθέσεις.

Αποτελούνται από χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά, πηλούς, ψαμμίτες, κροκάλες–λατύπες ποικίλης σύστασης, αναλόγως της προέλευσής τους, ασύνδετες έως συνεκτικά συνδεδεμένες, καθώς και από υλικά του αλλουβιακού μανδύα. Η εμφάνισή τους είναι κυρίως σε απολήξεις λεκανών ανοικτών προς τη θάλασσα, στις μείζονες κοίτες των ποταμών, σε μικρές εσωτερικές λεκάνες καθώς και σε μορφή πλευρικών κορημάτων και αναβαθμίδες χειμάρρων.

2. Νεογενείς αποθέσεις.

Αποτελούνται από εναλλασσόμενα στρώματα κίτρινων–κιτρινόλευκων μάργων με κλαστικούς μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, συχνά βιογενείς–υφαλογενείς, ομοιόμορφα στρωμένους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως 30–40 μέτρα. Επίσης, εντός των αποθέσεων αυτών συναντώνται και μαργαϊκοί ψαμμίτες, αμμώδεις άργιλοι, λατύπες και κροκαλοπαγή. Τα κροκαλοπαγή–λατυποπαγή εμφανίζονται κυρίως στην περιοχή Χοιροσπηλίου νοτιότερα της Αγιάς και στην περιοχή Τοπολίων. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα η έντονη συνεκτικότητα την οποία παρουσιάζουν, κυρίως ανθρακικής προέλευσης, με ανθρακικό συνδετικό υλικό. Οι λατύπες και κροκάλες που συνιστούν τις παραπάνω αποθέσεις, έχουν προέλθει από την διάβρωση και απόθεση των προϊόντων, τόσο

του τεκτονικού καλύμματος της ζώνης Τρίπολης όσο σε μικρότερο βαθμό και των άλλων ενοτήτων που αποτελούν υπόβαθρο των νεογενών αποθέσεων. Οι ενότητες που επίσης συμμετέχουν στην παραπάνω διεργασία είναι η Φυλλιτική–Χαλαζιτική, των Πλακωδών ασβεστόλιθων και της Πίνδου.

3. Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Πίνδου.

Οι ανθρακικοί σχηματισμοί του τεκτονικού αυτού καλύμματος παρουσιάζονται με μικρή επιφανειακή ανάπτυξη στον νομό Χανίων. Εμφανίζονται στο βορειοδυτικό τμήμα του νομού και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή Καστελίου, καθώς και στην ευρύτερη περιοχή της Παλαιόχωρας. Αποτελούνται από πελαγικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές κερατολίθων.

4. Τεκτονικό κάλυμμα της ζώνης Τρίπολης.

Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής καταλαμβάνουν σχετικά μεγάλη έκταση στον νομό Χανίων. Είναι συνηθισμένο φαινόμενο να είναι επωθημένοι αυτοί οι σχηματισμοί, είτε στην ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, είτε στην ενότητα των Φυλλιτών–Χαλαζιτών. Αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται οι σχηματισμοί της ζώνης Τρίπολης στην βάση τους έντονα κατακερματισμένοι λόγω τεκτονισμού. Οι σχηματισμοί της ενότητας που βρίσκονται στα χαμηλότερα στρώματα συνίστανται από δολομίτες–δολομιτικούς ασβεστόλιθους παχυστρωματώδεις μέχρι άστρωτους, έντονα τεκτονισμένους και καρστικοποιημένους με σπηλαιώδη υφή. Το χρώμα τους κυμαίνεται από τεφρό έως τεφρόλευκο.

Στους σχηματισμούς της ενότητας των υψηλότερων στρωμάτων εμφανίζονται ασβεστόλιθοι που το χρώμα τους κυμαίνεται από μαύρο έως τεφρόμαυρο. Το πάχος των σχηματισμών είναι μέσο και συνήθως παρουσιάζουν μικρολατυποπαγή υφή. Χαρακτηριστικό τους γνώρισμα είναι το έντονο ανάγλυφο και το φτωχό υδρογραφικό δίκτυο, που συμπίπτει με τεκτονικές ασυνέχειες. Εξίσου σημαντικό χαρακτηριστικό είναι το φαινόμενο καρστικής διάλυσης που εμφανίζεται με διάφορες μορφές, μεγέθη και σχήματα. Το πάχος της ζώνης φθάνει τις λίγες εκατοντάδες μέτρα και η ηλικία αυτής της σειράς κυμαίνεται από το Άνω Τριαδικό έως και το Άνω Κρητιδικό.

5. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας των Φυλλιτών–Χαλαζιτών.

Η ενότητα αυτή καταλαμβάνει σημαντική έκταση στο δυτικό τμήμα του νομού Χανίων. Οι σχηματισμοί που συναντώνται στο τεκτονικό κάλυμμα είναι κυρίως μαρμαρυγιακοί–ανθρακικοί ασβεστόλιθοι, σερικιτικοί–χλωριτικοί φυλλίτες και χαλαζιακοί μεταψαμμίτες. Στα πετρώματα αυτά παρεμβάλλονται τόσο ποσότητες χαλαζία σημαντικού πάχους υπό μορφή φλεβών, καθώς και ενστρώσεις μαύρων κρυσταλλικών

κατακερματισμένων ασβεστόλιθων μικρού πάχους. Χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της σειράς είναι οι εμφανίσεις γύψου σε αρκετές περιοχές, όπως στη Σούγια, στην Παλαιόχωρα κ.α. Η ηλικία της ενότητας εκτείνεται μεταξύ Περμίου και Άνω Τριαδικού, ενώ το πάχος της μπορεί και να ξεπερνάει σε ορισμένες περιπτώσεις τα 1.500 μέτρα στην ευρύτερη περιοχή της δυτικής Κρήτης.

6. Τεκτονικό κάλυμμα της ενότητας Τρυπαλίου.

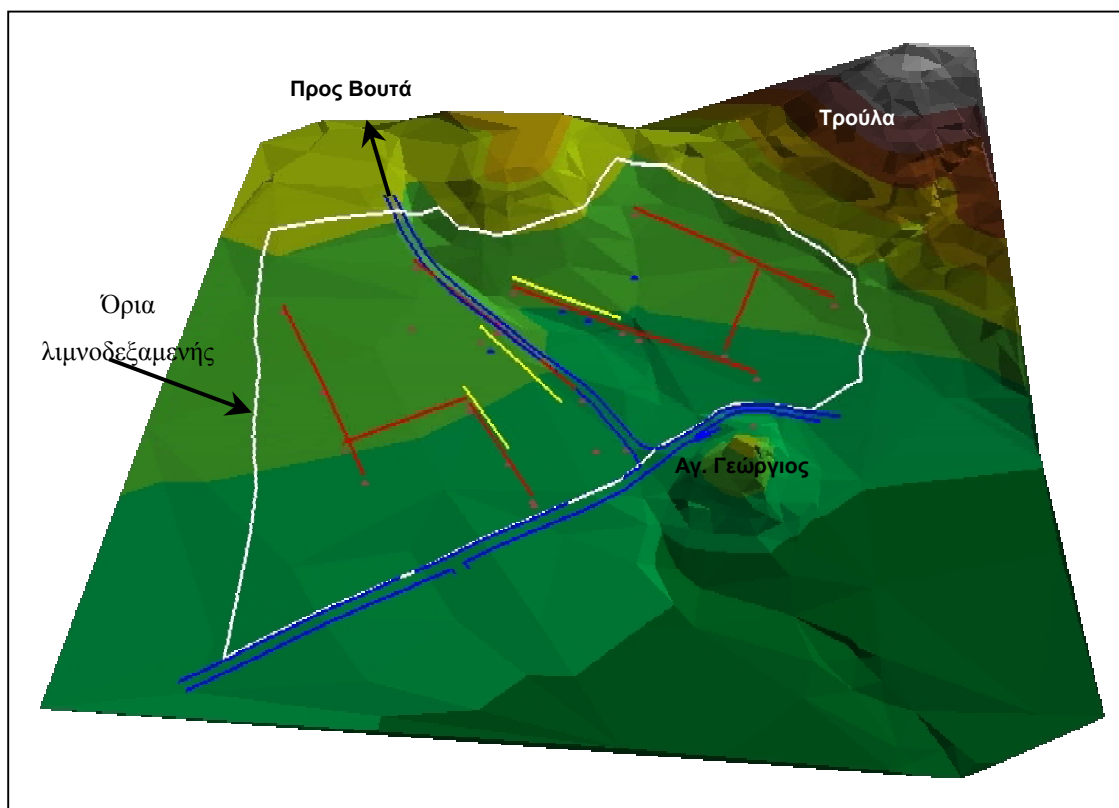
Οι σχηματισμοί της ενότητας αυτής βρίσκονται επωθημένοι στην ενότητα των Πλακωδών ασβεστόλιθων. Το κάλυμμα Τρυπαλίου αποτελεί το πρώτο τεκτονικό κάλυμμα της Κρήτης. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη του γίνεται στην περιοχή του Ομαλού των Λευκών Ορέων. Τα πετρώματα που εμφανίζονται σ' αυτή την σειρά είναι μάρμαρα, κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι, δολομίτες και δολομιτικοί ασβεστόλιθοι. Έτσι πιο συγκεκριμένα, στην βάση του σχηματισμού εμφανίζεται τεκτονικό λατυποπαγές με σημαντικό πάχος μερικές φορές. Στα κατώτερα πετρώματα της ενότητας επικρατούν κυψελώδεις δολομίτες. Συνήθως, αυτό το κάλυμμα περιέχει λεπτές κερατολιθικές ενστρώσεις ή βολβούς κερατολίθων πράγμα που το καθιστά όμοιο πετρογραφικά με την ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι. Το πάχος του καλύμματος φθάνει τα 400 μέτρα, ενώ η ηλικία του σχηματισμού κυμαίνεται μεταξύ Τριαδικού και Κάτω Ιουρασικού.

7. Η ενότητα Ταλέα Όρη–Πλακώδεις ασβεστόλιθοι.

Οι σχηματισμοί που εμφανίζονται στην ενότητα αυτή συνήθως είναι ανακρυσταλλωμένοι ασβεστόλιθοι. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι σχηματισμοί έχουν υποστεί μεταμόρφωση και έχουν μετατραπεί σε μάρμαρα. Εμφανίζονται καλοστρωμένοι σε πάγκους, που το πάχος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά έως και ένα μέτρο. Στα κατώτερα μέλη τους εμφανίζονται παχυστρωματώδεις, ενώ προς τα ανώτερα εξελίσσονται σε μεσοστρωματώδεις και στη συνέχεια σε λεπτοστρωματώδεις. Το χρώμα τους μπορεί να είναι από τεφρό έως και τεφρόμαυρο. Επίσης σημαντικό γεγονός αποτελεί η εμφάνιση πυριτικού υλικού είτε με την μορφή ενστρώσεων, είτε με την μορφή φακών. Η εμφάνιση του πυριτικού υλικού στα μεσαία μέλη του σχηματισμού είναι μεγάλη, σε αντιδιαστολή με τα υπόλοιπα μέλη όπου οι παρεμβολές αυτές περιορίζονται αισθητά. Η καρστικοποίηση του σχηματισμού είναι περιορισμένη και ανομοιόμορφη. Στο φαινόμενο αυτό συμβάλλουν οι πυριτικές παρεμβολές. Το πάχος της ενότητας φθάνει τα 1200 μέτρα και η ηλικία της προσδιορίζεται στο Μέσο Ιουρασικό–Ηώκαινο.

2.3 Περιοχή μελέτης

Η Κουντούρα βρίσκεται στο νοτιοδυτικό άκρο του νομού Χανίων, 7 km περίπου δυτικά της Παλαιόχωρας. Η περιοχή της Κουντούρας χαρακτηρίζεται από ήπιο ανάγλυφο και είναι ελαφρά επικλινής με κατεύθυνση προς τη θάλασσα. Συγκεκριμένα, η περιοχή μελέτης περιστοιχίζεται στα νότια από το εκκλησάκι του Αγ. Γεωργίου, στα ανατολικά από τον λόφο Τρούλα, στα δυτικά από την περιοχή Πλάτες και στα βόρεια από το εκκλησάκι του Αρχ. Μιχαήλ (σχήμα 2.1). Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η περιοχή μελέτης διαιρείται από τμήμα της επαρχιακής οδού που κατευθύνεται στο Βουτά. Στο σχήμα 2.2 (α-β) απεικονίζονται η στρωματογραφική στήλη και ο χάρτης της περιοχής μελέτης.



Σχήμα 2.1: Απεικόνιση του ανάγλυφου της περιοχής μελέτης. Οι κόκκινες και οι κίτρινες γραμμές απεικονίζουν τις γραμμές γεωφυσικής διασκόπησης (Βαφείδης και συνεργάτες, 2004)

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή είναι (Βαφείδης και συνεργάτες, 2004):

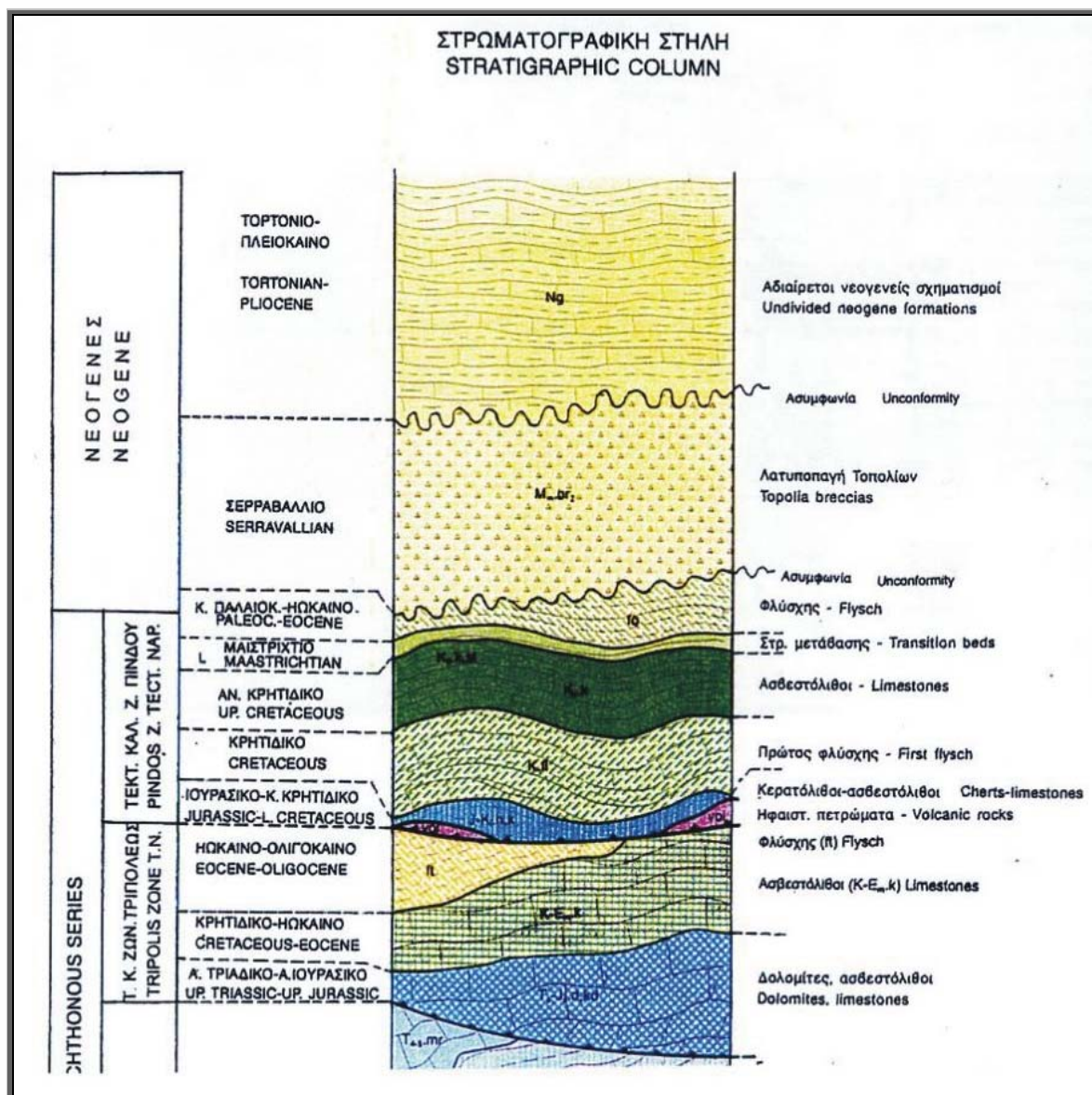
α) Τεταρτογενείς αποθέσεις: είναι οι νεότερες αποθέσεις της περιοχής και αποτελούνται από κροκάλες, άμμους και άλλα υλικά χαλαρής συνεκτικότητας. Το μέγιστο πάχος τους στο σχήμα 2.2α δίνεται περί τα 100 μέτρα. Εντός των ορίων της περιοχής μελέτης το ορατό τους πάχος ποικίλλει και κυμαίνεται από μερικά εκατοστά στην ανατολική

κλιτή, πάνω από τους ανθρακικούς σχηματισμούς, δύο περίπου μέτρα κατά μήκος μιας τομής στο κεντρικό τμήμα και περί τα 15 μέτρα κατά μήκος του δρόμου στο βόρειο τμήμα της περιοχής.

β) Νεογενείς αποθέσεις: αποτελούνται κυρίως από μάργες, ψαμμίτες, μαργαϊκούς ασβεστόλιθους, λατυποπαγή και κροκαλοπαγή.

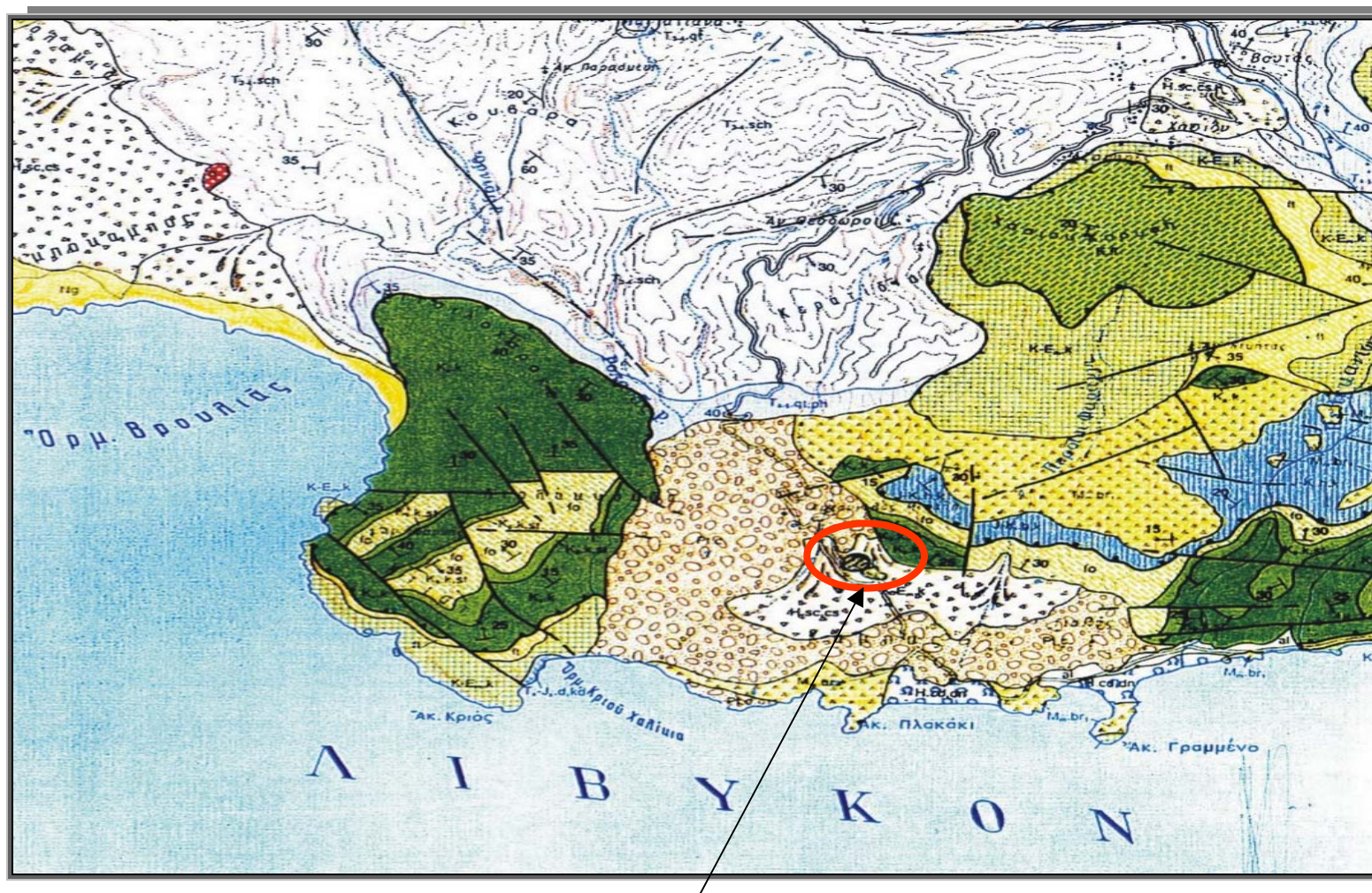
γ) Φυλλιτικοί-Χαλαζιτικοί σχηματισμοί: ανήκουν στην ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών που βρίσκεται επωθημένη πάνω στην σειρά Τρυπαλίου.

δ) Ανθρακικοί σχηματισμοί: αποτελούν τους πλέον διαδεδομένους για τα τεκτονικά καλύμματα της Πίνδου και Τρίπολης.



Σχήμα 2.2:α) Στρωματογραφική στήλη από βασικό γεωλογικό χάρτη της Ελλάδας, φύλλο

Παλαιόχωρα, Βιδάκης και συνεργάτες, Ι.Γ.Μ.Ε., 2002



Περιοχή μελέτης

Σχήμα 2.2:β) Γεωλογικός χάρτης από βασικό χάρτη της Ελλάδος, φύλλο Παλαιόχωρας, Βιδάκης και συνεργάτες, Ι.Γ.Μ.Ε., 2002

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Σεισμική διασκόπηση-Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης

3.1 Είδη σεισμικών κυμάτων

Τα σεισμικά κύματα διακρίνονται σε διαφορετικά είδη ανάλογα με τα χαρακτηριστικά διάδοσης τους. Διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες στην πρώτη ανήκουν τα κύματα χώρου και στην δεύτερη τα επιφανειακά κύματα.

3.1.1 Κύματα χώρου

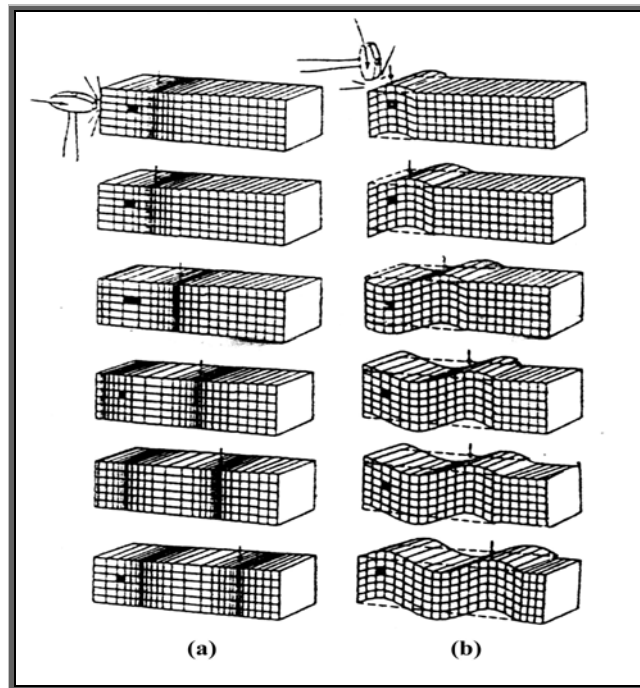
Τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις στο εσωτερικό των γεωλογικών σχηματισμών και διακρίνονται σε δύο τύπους κυμάτων, ανάλογα με το είδος της διαταραχής που προκαλούν στην ύλη, δηλαδή στα διαμήκη (ή επιμήκη ή συμπίεσης ή P) κύματα και στα εγκάρσια (ή διατμητικά ή στρέψης ή S) κύματα

Διαμήκη κύματα:

Τα διαμήκη (P) είναι τα ταχύτερα κύματα, καταγράφονται πρώτα στα σειсмоγράμματα (πρώτες αφίξεις) και διαδίδονται ακτινικά, προκαλώντας πυκνώματα και αραιώματα της ύλης κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης (σχήμα 3.1a). Η ταχύτητα διάδοσης τους, δίνεται σε συνάρτηση των σταθερών Lamé και έχει χαρακτηριστική τιμή στα κορεσμένα εδάφη, που – ανάλογα με το πορώδες – δεν ξεπερνάει τα 1600 – 1800 m/sec (Ραπτάκης, 1995).

Διατμητικά κύματα:

Τα διατμητικά κύματα S, εμφανίζονται στο σεισμόγραμμα μετά τα P και διαδίδονται εγκάρσια στη διεύθυνση διάδοσής τους, προκαλώντας διατμητική κίνηση στη δομή του υλικού (σχήμα 3.1b). Η τάξη μεγέθους των ταχυτήτων των S – κυμάτων, κυμαίνεται από μερικές δεκάδες μέτρα ανά δευτερόλεπτο για τα χαλαρά και μικρής ακαμψίας εδάφη (ιλύς, μαλακές άργιλοι κ.ά), μέχρι και χιλιάδες m/sec για το αποσαθρωμένο ή υγιές βραχώδες υπόβαθρο (γρανίτης, σχιστόλιθος, κ.ά) (Ραπτάκης, 1995). Στο νερό, το μέτρο διάτμησης μ (ή G) είναι μηδενικό, ως εκ τούτου τα S – κύματα δεν διαδίδονται.

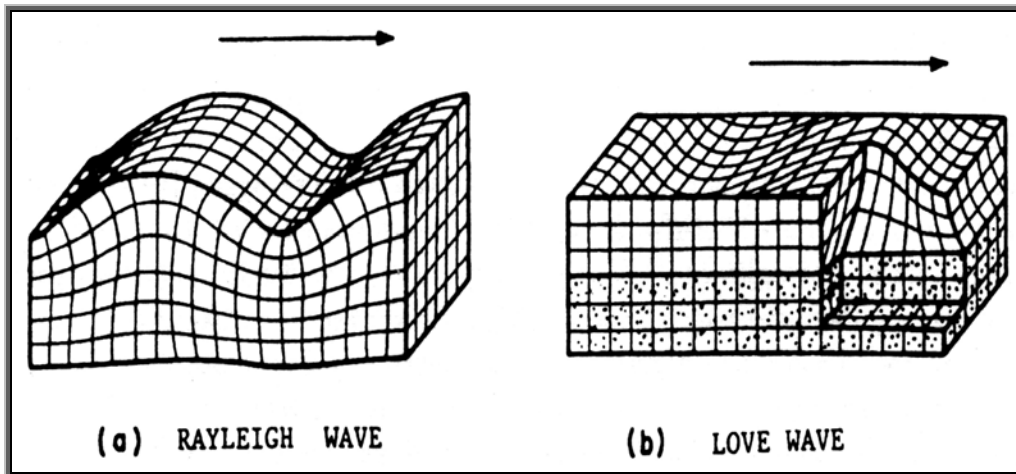


Σχήμα 3.1: Εδαφική κίνηση κατά τη διάδοση των κυμάτων χώρου. (a) P – κύματα, (b) S – κύματα (Sheriff and Geldart, 1995).

3.1.2 Επιφανειακά κύματα

Τα επιφανειακά κύματα μελετήθηκαν για πρώτη φορά από τον Rayleigh, ως κυματικό φαινόμενο (κύματα Rayleigh, σχήμα 3.2a) στην ελεύθερη επιφάνεια, ομογενούς ελαστικού ημίσφαιρου. Στη συνέχεια ο Love μελέτησε τα SH επιφάνειας (κύματα Love, Σχήμα 3.2b), σε ομογενές στρώμα υπερκείμενο σε ομογενή ημιχώρο, ενώ ο Stoneley, μελέτησε τα ομώνυμα κύματα Stoneley επιφάνειας, που διαδίδονται μεταξύ υδάτινου και εδαφικού στρώματος ή στη διαχωριστική επιφάνεια δύο εδαφικών ημιχώρων, όταν όμως ισχύει $\beta_1 \approx \beta_2$ και οι λόγοι ρ_1/ρ_2 και μ_1/μ_2 κυμαίνονται περίπου στη μονάδα (Sheriff and Geldart, 1995).

Ένας άλλος χαρακτηριστικός τύπος επιφανειακών κυμάτων, είναι τα σωληνοκύματα (tube waves), τα οποία διαδίδονται στη διεύθυνση του άξονα, πληρωμένης με νερό γεώτρησης και θεωρούνται σημαντικά για τις πληροφορίες που παρέχουν, για τις ελαστικές ιδιότητες του περιβάλλοντος μέσου.



Σχήμα 3.2: Σχηματικός τρόπος διάδοσης των σεισμικών (a) Rayleigh και (b) Love επιφανειακών κυμάτων (Ραπτάκης, 1995).

3.2 Διάδοση των σεισμικών κυμάτων

Όπως και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έτσι και κατά τη διάδοση των ελαστικών κυμάτων ισχύουν δυο βασικές αρχές. Αυτές είναι, η αρχή του Huygens και η αρχή του Fermat. Αυτές θεωρούνται βασικές αρχές, γιατί απ' αυτές προκύπτουν εύκολα άλλες αρχές άμεσα εφαρμόσιμες (νόμος διάθλασης, ανάκλασης, περίθλασης).

3.2.1 Αρχή του Huygens

Η αρχή του Huygens ορίζει ότι (Παπαζάχος, 1986) :

«Κάθε σημείο ενός μετώπου κύματος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί πηγή ενός νέου (δευτερογενούς) κύματος».

Με βάση την αρχή αυτή ορίζονται οι μελλοντικές θέσεις του μετώπου κύματος, όταν είναι γνωστή η θέση του σ' ορισμένη χρονική στιγμή (σχήμα 3.3).

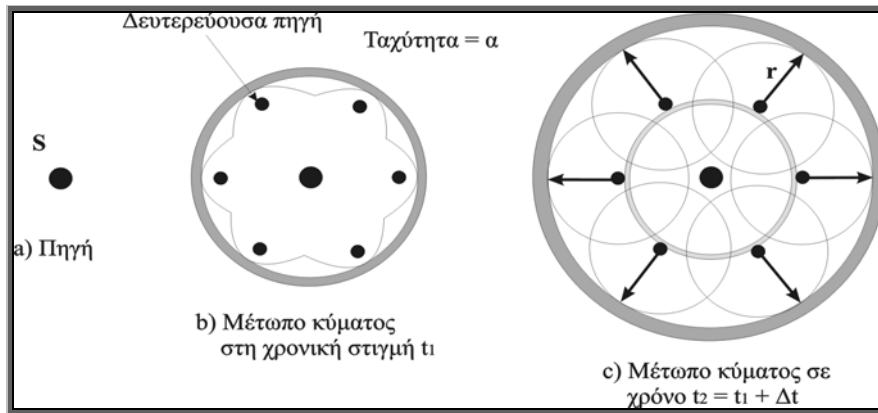
3.2.2 Αρχή του Fermat

Σύμφωνα με την αρχή αυτή (Παπαζάχος, 1986):

«Το κύμα το οποίο φτάνει σε ορισμένο σημείο από ορισμένη πηγή ακολουθεί το συντομότερο δρόμο από όλους τους δρόμους που είναι δυνατόν να ακολουθήσει, δηλαδή, ακολουθεί αυτόν που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο».

Αν για ένα ελαστικό μέσο δοθεί η κατανομή της ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, με βάση την αρχή του Fermat, χαράσσονται οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων. Συνέπεια της αρχής αυτής αποτελεί το γεγονός ότι οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων τα οποία διαδίδονται μέσα σε ομογενές μέσο είναι ευθείες γραμμές. Αποδεικνύεται επίσης ότι

οι νόμοι της ανάκλασης (Βαφείδης, 1993) και διάθλασης των ελαστικών κυμάτων μπορούν να προκύψουν από την εφαρμογή της αρχής αυτής.



Σχήμα 3.3: Σχηματική παράσταση της αρχής του Huygens για ισότροπο μέσο (Παπαζάχος, 1986).

3.3 Μέθοδος της σεισμικής διάθλασης

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στον πειραματικό προσδιορισμό των χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων και των κυμάτων διάθλασης και στη χρησιμοποίηση εν τέλει, των καμπύλων των χρόνων διαδρομής των κυμάτων αυτών, για τον καθορισμό των ταχυτήτων των κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα με θεωρητικές σχέσεις.

3.3.1 Μετωπικά κύματα

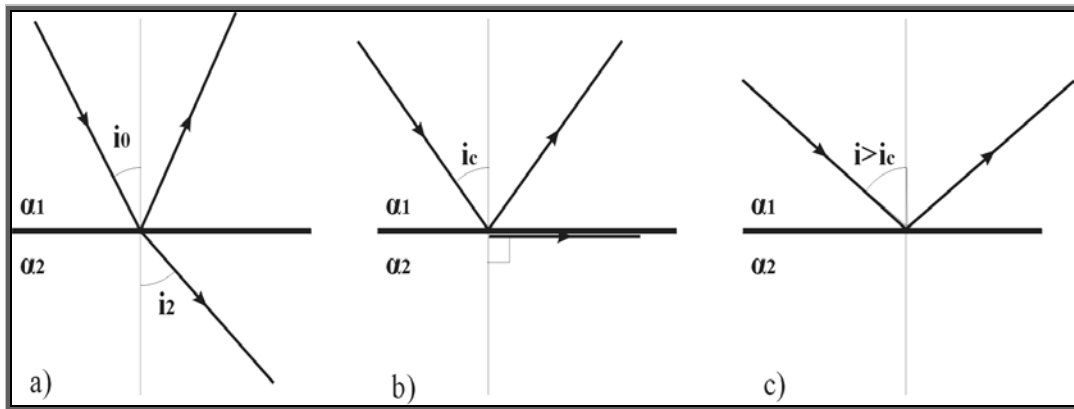
Τα σεισμικά κύματα υφίστανται διαδοχικές διαθλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες ή σε μέσο όπου η ταχύτητα μεταβάλλεται με το βάθος, με αποτέλεσμα την αλλαγή της πορείας της σεισμικής ακτίνας. Η γωνία πρόσπτωσης, i_0 , η γωνία διάθλασης, i_2 , και οι ταχύτητες α_1 και α_2 στα δύο επιφανειακά στρώματα συνδέονται μέσω του νόμου του Snell (Βαφείδης 1993) :

$$p = \frac{\sin(i_0)}{\alpha_1} = \frac{\sin(i_2)}{\alpha_2} \quad (3.1)$$

όπου p είναι η παράμετρος της σεισμικής ακτίνας.

Η σεισμική ακτίνα προσπίπτει στην διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία, όταν η διαθλώμενη ακτίνα έχει διεύθυνση παράλληλη προς τη διαχωριστική επιφάνεια (σχήμα 3.4b). Σε μια τέτοια περίπτωση ο νόμος του Snell τροποποιείται ως εξής :

$$\sin(i_c) = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \quad (3.2)$$

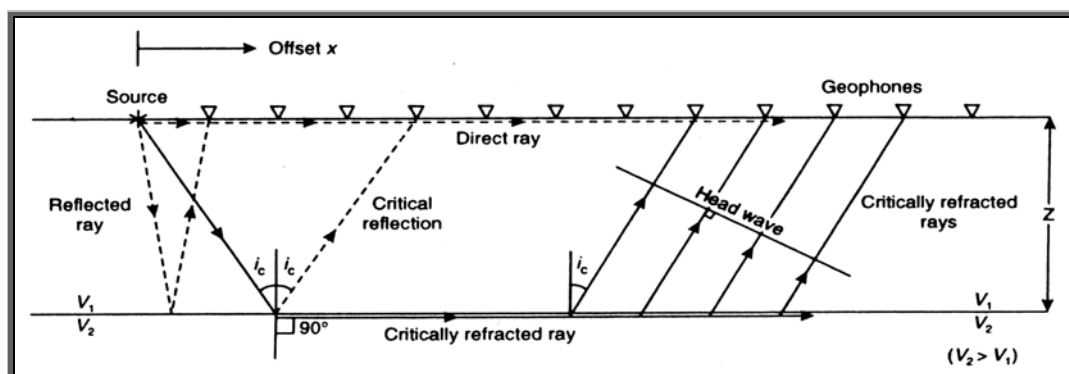


Σχήμα 3.4: Σχηματική παράσταση των τριών περιπτώσεων πρόσπτωσης μιας σεισμικής ακτίνας σε μια διεπιφάνεια. Κατά την πρόσπτωση υπό γωνία a) μικρότερη της ορικής δημιουργούνται ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα, b) ίση με την ορική γωνία δημιουργούνται ανακλώμενα και μετωπικά κύματα και c) με γωνία μεγαλύτερη της ορικής παρατηρείται ολική ανάκλαση (Reynolds, 1997).

Έστω σεισμική ακτίνα η οποία προσπίπτει σε διαχωριστική επιφάνεια υπό ορική γωνία. Τότε το διαθλώμενο κύμα διαδίδεται στο δεύτερο στρώμα παράλληλα προς τη διαχωριστική επιφάνεια (σχήμα 3.4b). Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, κάθε σημείο του διαθλώμενου μετώπου κύματος αποτελεί δευτερεύουσα πηγή σεισμικών κυμάτων. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα σεισμικά κύματα τα οποία προέρχονται από τις δευτερεύουσες αυτές πηγές και αναδύονται στο πρώτο στρώμα (σχήμα 3.5).

Η γωνία των αναδύομένων προς την επιφάνεια σεισμικών ακτίνων με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι ίση με την ορική γωνία. Αυτά τα αναδύομενα σεισμικά κύματα ονομάζονται **μετωπικά κύματα**.

Παρακάτω περιγράφεται η εφαρμογή της μεθόδου της διάθλασης για τον καθορισμό των πιο απλών δομών που εμφανίζονται στη φύση και παρουσιάζουν ενδιαφέρον σε γεωτεχνικές, αλλά και σε πολλές άλλες μελέτες.



Σχήμα 3.5: Σχηματική παράσταση της δημιουργίας των μετωπικών κυμάτων (Reynolds, 1997)

3.3.2 Εκτίμηση του πάχους και της σεισμικής ταχύτητας

Ας υποθεθεί ότι η δομή αποτελείται από ένα οριζόντιο στρώμα μέσα στο οποίο η ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων είναι σταθερή V_1 , και ότι κάτω από το στρώμα αυτό υπάρχει άλλο στρώμα μέσα στο οποίο η ταχύτητα είναι V_2 και ότι ισχύει $V_2 > V_1$. Καθορισμός της δομής στην περίπτωση αυτή σημαίνει προσδιορισμό των ταχυτήτων V_1 και V_2 και του πάχους, z , του επιφανειακού στρώματος.

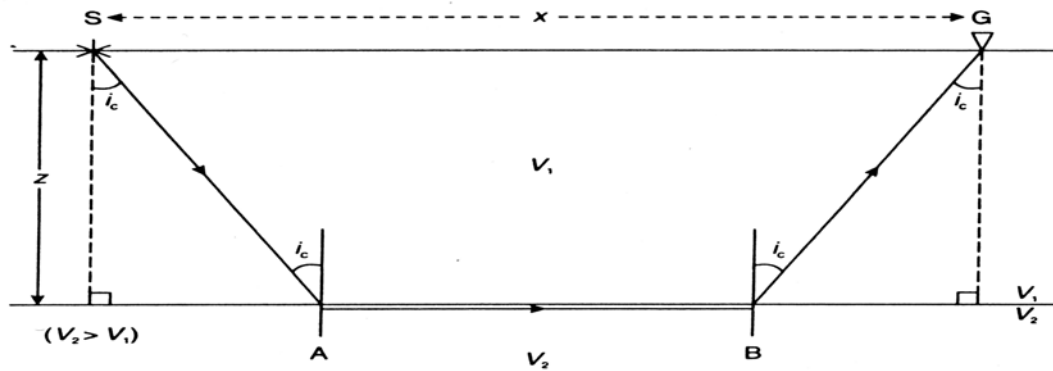
Για τον καθορισμό της δομής με τη μέθοδο της διάθλασης, πραγματοποιείται έκρηξη σε ορισμένο σημείο, S , της επιφάνειας της Γης και τοποθετούνται τα γεωφώνια σε διάφορα σημεία, G (σχήμα 3.6).

Από την σεισμική πηγή, S (σχήμα 3.6), αναχωρούν κύματα προς διάφορες διευθύνσεις. Απ' αυτά, εκείνα που φθάνουν πρώτα στις θέσεις των γεωφώνων είναι τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα (σχήμα 3.7). Τα απευθείας κύματα φτάνουν σε ορισμένο σταθμό, G , αφού διατρέξουν την απόσταση, SG , με σταθερή ταχύτητα, V_1 , δηλαδή, οι σεισμικές ακτίνες των κυμάτων αυτών είναι ευθείες γραμμές. Τα μετωπικά κύματα, που καταγράφονται στον ίδιο σταθμό, προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων υπό την ορική γωνία i_c και διατρέχουν την απόσταση SA με ταχύτητα V_1 . Μετά, διαδίδονται κατά μήκος της τομής, AB , της διαχωριστικής επιφάνειας και του κατακόρυφου επίπεδου, με ταχύτητα V_2 και φτάνουν στο σταθμό από το συμμετρικό δρόμο BG , τον οποίο διατρέχουν με ταχύτητα V_1 .

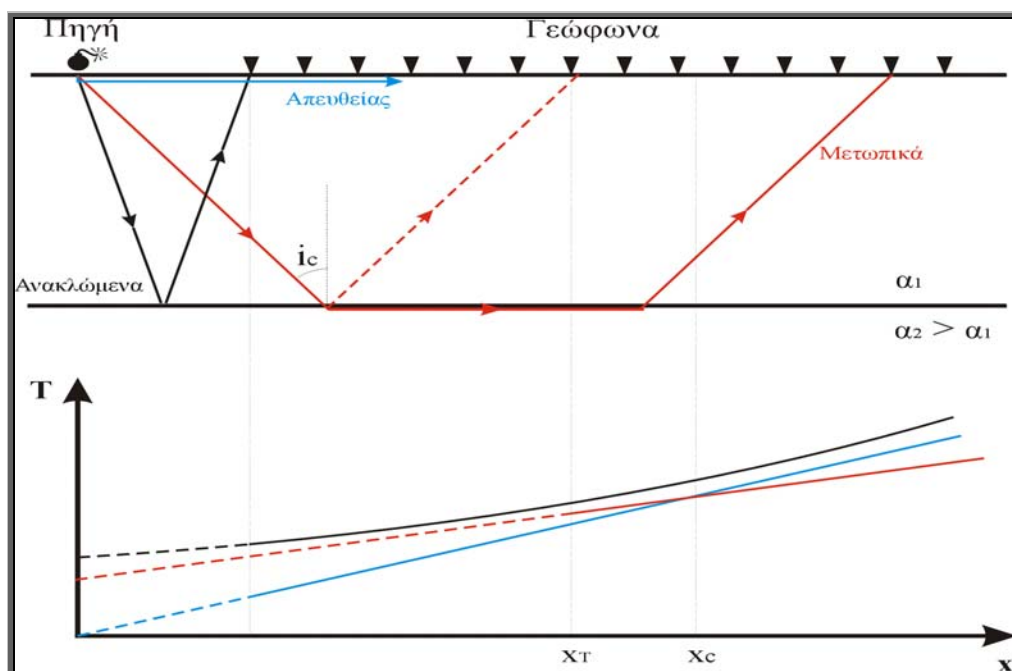
Τα απευθείας κύματα φτάνουν και καταγράφονται πρώτα στα γεωφώνια, που βρίσκονται μέχρι ορισμένη απόσταση x_c από το σημείο της έκρηξης. Η απόσταση αυτή λέγεται *ορική απόσταση* (σχήμα 3.7).

Αν x είναι η απόσταση κάποιου γεωφώνου, G , από το σημείο, S , της έκρηξης, ο χρόνος διαδρομής, t_1 , των απευθείας κυμάτων θα είναι :

$$t_1 = \frac{x}{V_1} \quad (3.3)$$



Σχήμα 3.6: Σχηματική αναπαράσταση μιας σεισμικής ακτίνας ενός μετωπικού κύματος για μια δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων (Reynolds, 1997).



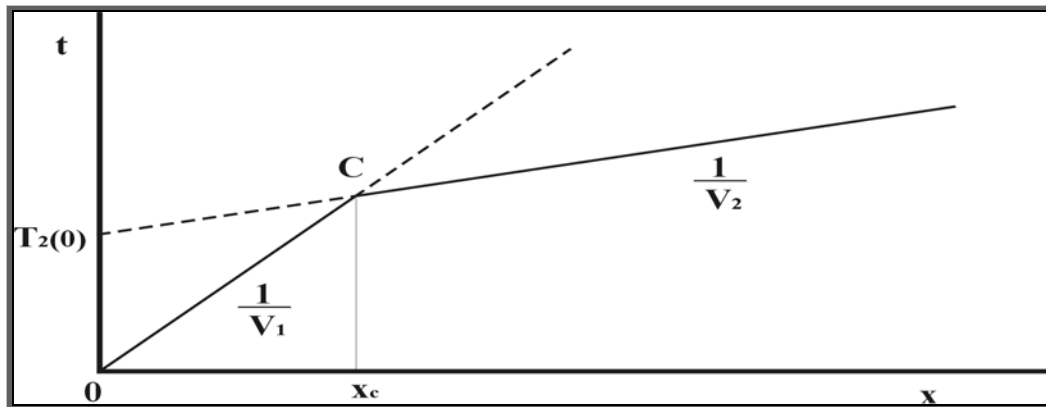
Σχήμα 3.7: Σεισμικές ακτίνες των απευθείας, των διαθλόμενων και των ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων (πάνω) και οι αντίστοιχες καμπύλες διαδρομής των κυμάτων αυτών (κάτω).

Στο σχήμα 3.7 παρατηρείται ότι οι πρώτες αφίξεις είναι τα απευθείας κύματα για $x < x_c$ και τα μετωπικά για $x > x_c$.

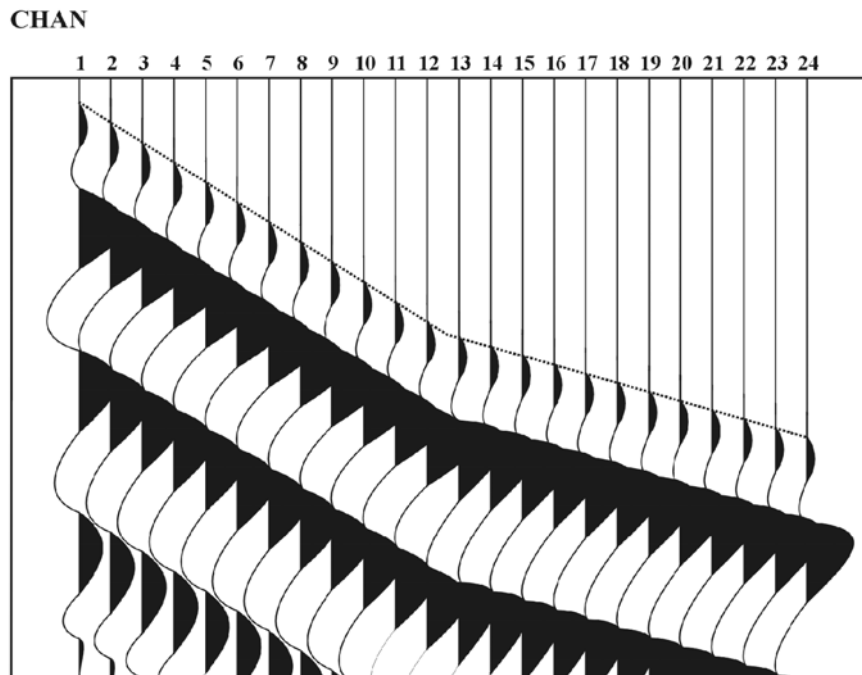
Παρατηρείται ότι ο χρόνος διαδρομής των απευθείας κυμάτων είναι γραμμική συνάρτηση της απόστασης. Συνεπώς, η καμπύλη χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων είναι ευθεία γραμμή. Αυτή παριστάνεται με την 0C στο σχήμα 3.8.

Από τη σχέση (3.3) προκύπτει ότι το αντίστροφο της κλίσης της καμπύλης χρόνων διαδρομής των απευθείας κυμάτων είναι ίσο με την ταχύτητα V_1 μέσα στο επιφανειακό στρώμα. Συνεπώς, για τον καθορισμό της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων μέσα στο

στρώμα αυτό, χαράζεται, με βάση τις παρατηρήσεις, η ευθεία και υπολογίζεται το αντίστροφο της κλίσης αυτής.



Σχήμα 3.8: Καμπύλες διαδρομής των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων.



Σχήμα 3.9: Σχηματική παράσταση σεισμικών καταγραφών διάθλασης των οποίων οι πρώτες αφίξεις (διακεκομμένη γραμμή) αντιστοιχούν σε καταγραφές απευθείας (OC) και μετωπικών κυμάτων (CD).

Γενικά, η διαδικασία υπολογισμού του πάχους και των ταχυτήτων των στρωμάτων από τις πρώτες αφίξεις των σεισμικών κυμάτων, για μια δομή δύο οριζόντιων στρωμάτων ακολουθεί τα εξής βήματα (Βαφείδης, 1993):

- Σε διάγραμμα $t - x$ τοποθετούνται οι μετρήσεις των διπλών χρόνων διαδρομής (πρώτες αφίξεις, σχήμα 3.8) και των αποστάσεων πηγής – γεωφώνου.
- Επιλέγονται τα σημεία που βρίσκονται σε ευθεία η οποία ξεκινά από την αρχή των αξόνων (ευθεία 0C σχήμα 3.8). Από την κλίση αυτής της ευθείας (απευθείας κύματα) υπολογίζεται η ταχύτητα του επιφανειακού στρώματος ($V_1 = 1 / \text{κλίση ευθείας απευθείας κυμάτων}$).
- Προσδιορίζεται η κλίση της ευθείας η οποία περνά από τα υπόλοιπα σημεία (μετωπικά κύματα) αλλά και την τομή της με τον άξονα των χρόνων (σημείο $T_2(0)$ στο σχήμα 3.8). Από την κλίση της ευθείας των μετωπικών κυμάτων, υπολογίζεται η ταχύτητα του δεύτερου στρώματος ($V_2 = 1 / \text{κλίση ευθείας μετωπικών κυμάτων}$).
- Προσδιορίζεται η ορική γωνία i_c από τη σχέση (3.2) : $\sin(i_c) = \frac{V_1}{V_2}$
- Υπολογίζεται το πάχος του επιφανειακού στρώματος z_1 από τη σχέση :

$$z_1 = \frac{T_2(0) \cdot V_1}{2 \cos(i_c)} \quad (3.4)$$

όπου $T_2(0)$ είναι ο χρόνος συνάντησης (σχήμα 3.8) και ισούται με το άθροισμα των χρόνων καθυστέρησης του σεισμικού κύματος στους κλάδους SA και BG του σχήματος 3.6. Ως *χρόνος καθυστέρησης* στον κλάδο SA (ή τον κλάδο BG) της σεισμικής ακτίνας SABG (σχήμα 3.6) ορίζεται ο πρόσθετος χρόνος που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει τον κλάδο αυτό, σε σχέση με το χρόνο που θα χρειαζόταν το κύμα για να διανύσει την οριζόντια προβολή του κλάδου με τη μέγιστη ταχύτητα που απέκτησε αυτό κατά τη διαδρομή του. Δηλαδή, ο χρόνος καθυστέρησης στον κλάδο SA (και στον BG) του σχήματος 3.6 είναι:

$$T_{12} = \frac{SA}{V_1} - \frac{OA}{V_a} \quad (= \frac{BG}{V_1} - \frac{BP}{V_a}) \quad (3.5)$$

Υπάρχουν βέβαια και πιο πολύπλοκες δομές στην φύση όπου δεν αναφέρονται στην παρούσα εργασία. Ενδελεχής αναφορά των δομών αυτών γίνεται στο σύγγραμμα ‘ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ’ (Βαφείδης, 1993).

3.4 Περιγραφή εκτέλεσης της σεισμικής διάθλασης

Στην ευρύτερη περιοχή της λιμνοδεξαμενής Κουντούρας σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν 7 σεισμικές γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 1012 m. Οι 4 από

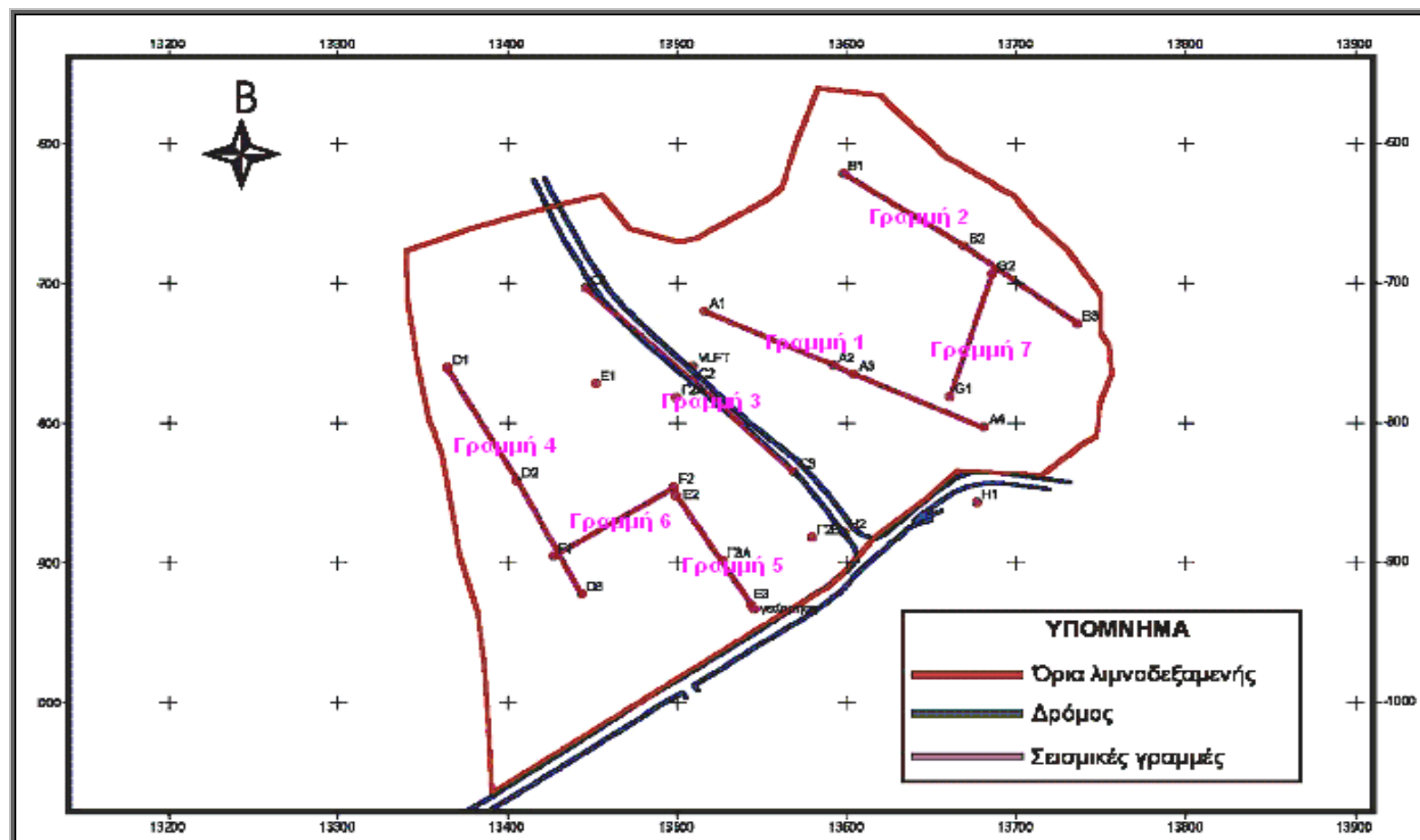
αυτές τις γραμμές μελέτης (σεισμικές γραμμές 1, 2, 3 και 4) αποτελούνται, η κάθε μία, από 2 αναπτύγματα των 92 m, ενώ οι άλλες 3 γραμμές (σεισμικές γραμμές 5, 6 και 7) αποτελούνται από 1 ανάπτυγμα των 92 m. Η γραμμή 5 δεν επεξεργάστηκε λόγω της παρουσίας θορύβου στα δεδομένα μας η οποία καθιστούσε αδύνατη την επεξεργασία αυτών.

3.4.1 Θέσεις των σεισμικών γραμμών

Οι θέσεις των σεισμικών γραμμών μελέτης φαίνονται στο σχήμα 3.10. Οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης αντιστοιχούν στο Γεωδαιτικό Σύστημα Hatt με προβολικό σύστημα την Εγκάρσια Μερκατορική. Οι ακριβείς συντεταγμένες και τα απόλυτα υψόμετρα των άκρων κάθε αναπτύγματος των σεισμικών γραμμών που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή παρατίθενται στο πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Συντεταγμένες σεισμικών γραμμών

Σημείο	X	Y	Z	Ανάπτυγμα	Γραμμή
A1	13515.82	-720.23	72.23	1ο	1
A2	13599.09	-759.29	68.14		
A3	13612.12	-765.31	67.74	2ο	
A4	13695.99	-803.21	65.32		2
B1	13605.45	-622.00	76.72	1ο	
B2	13683.39	-673.80	75.49	2ο	
B3	13756.54	-729.25	75.63		3
C1	13439.48	-703.67	79.53	1ο	
C2	13508.41	-770.76	73.16	2ο	
C3	13573.75	-835.21	67.02		4
D1	13350.13	-761.03	78.88	1ο	
D2	13394.58	-841.55	72.90	2ο	
D3	13436.45	-922.90	67.29		5
E1	13445.67	-772.04	75.49	1ο	
E2	13497.53	-852.64	69.83	2ο	
E3	13546.25	-930.60	63.92		6
F1	13418.28	-895.63	69.55	1ο	
F2	13496.01	-846.24	70.26		7
G1	13674.30	-781.37	66.65	1ο	
G2	13701.46	-693.42	72.49		



Σχήμα 3.10: Περιοχή μελέτης όπου απεικονίζονται τα όρια της λιμνοδεξαμενής, ο δρόμος όπως είναι διαμορφωμένος σήμερα και οι σεισμικές γραμμές μελέτης.

3.4.2 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε στην ύπαιθρο περιελάμβανε:

- Σεισμογράφο 24 καναλιών ES2401 της EG&G Geometrics ©.
- 24 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας ιδιοσυχνότητας 14 Hz της Mark Products ©.
- Μία μπαταρία 12 Volt για την τροφοδοσία του σεισμογράφου.
- Ένα καλώδιο σύνδεσης μπαταρίας - σεισμογράφου.
- Δύο καλώδια με 12 απολήξεις το καθένα ανά 10 m για την σύνδεση των γεωφώνων με το σεισμογράφο.
- Μία βαριοπούλα 5 kg για την δημιουργία σεισμικών δονήσεων.
- Μία σιδερένια πλάκα διαστάσεων 20 cm x 20 cm πάνω στην οποία κρούει η βαριοπούλα.
- Ένα πιεζοηλεκτρικό στοιχείο της Mark Products © προσαρτημένο στο στέλεχος της βαριοπούλας για την ενεργοποίηση (triggering) της καταγραφής του σεισμογράφου.
- Καλώδιο 100 m για την σύνδεση του πιεζοηλεκτρικού στοιχείου με τον σεισμογράφο.
- Δύο μεγάλα καρούλια για τα καλώδια των γεωφώνων και ένα μικρότερο για το καλώδιο της πηγής.
- Δύο μετροταινίες των 50 m και μία των 30 m.
- Σιδερένιοι πάσσαλοι για την οριοθέτηση της γραμμής μελέτης.
- Σπρέι χρώματος κόκκινου.
- Μαγνητικές δισκέτες 3.5'' για την αποθήκευση των καταγραφών.

3.4.3 Διαδικασία εκτέλεσης σεισμικής διασκόπησης

Κατά την εκτέλεση των γεωφυσικών διασκοπήσεων με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή μελέτης ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

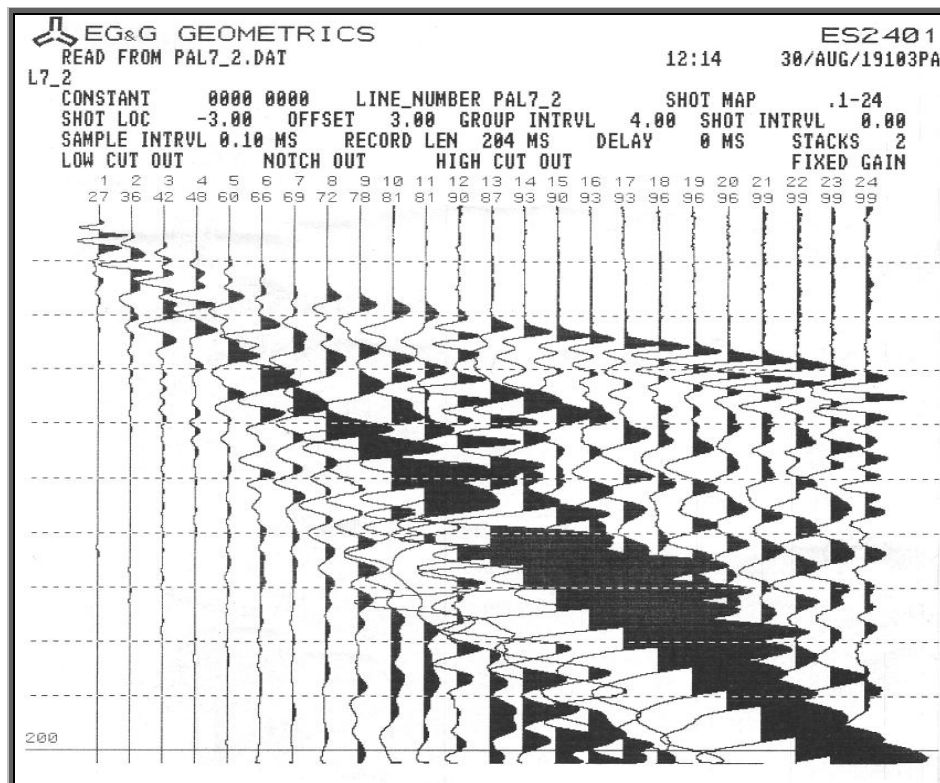
1. Οριοθετείται το πρώτο σημείο της γραμμής μελέτης και με την βοήθεια των μετροταινιών οριοθετείται και το επόμενο σημείο του αναπτύγματος της γραμμής μελέτης σε απόσταση 92 m από το πρώτο.
2. Τοποθετούνται τα 24 γεώφωνα σε ισαποστάσεις 4 m.

3.4.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων

Οι καταγραφές των σεισμικών δεδομένων (καταγραφές κοινής πηγής shot gather) αποτελούνται από σειсмоγράμματα, στα οποία απεικονίζεται για κάθε κανάλι του σειсмоγράφου (που αντιστοιχεί σε ένα γεώφωνο) η εδαφική ταλάντωση σε συνάρτηση με το χρόνο. Μια τέτοια καταγραφή για την θέση πηγής 2 της γραμμής μελέτης 7, όπως έχει εκτυπωθεί από τον σειсмоγράφο, απεικονίζεται στο σχήμα 3.12. Οι υπόλοιπες καταγραφές των σεισμικών γραμμών παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- Επιλογή των πρώτων αφίξεων
- Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων
- Προσδιορισμός των σεισμικών ταχυτήτων και των μοντέλων βάθους (σεισμικές τομές).



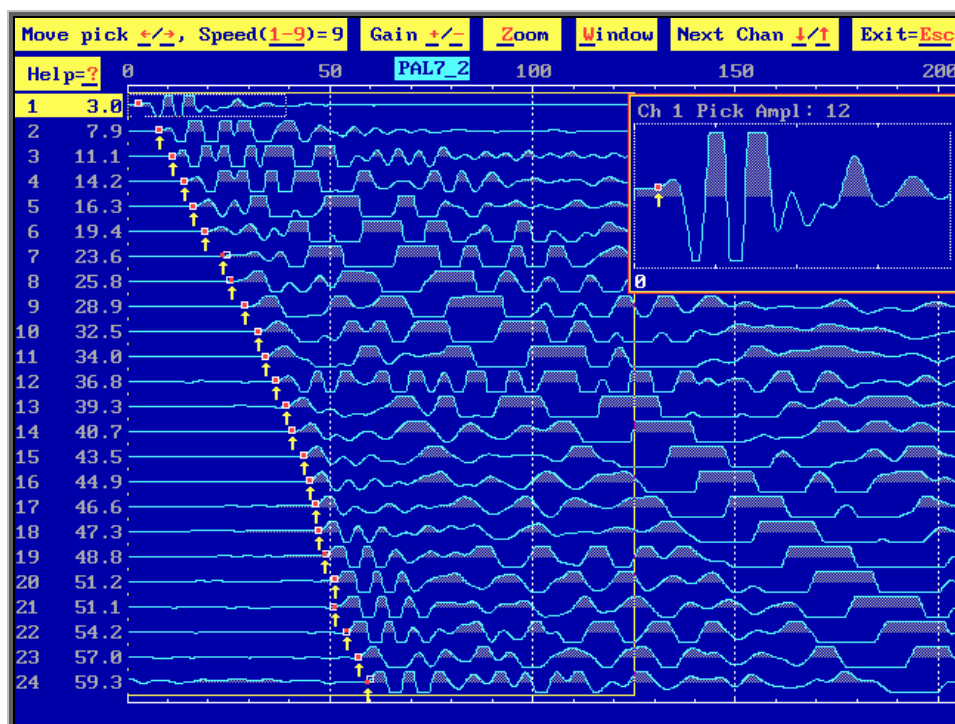
Σχήμα 3.12: Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 2 της γραμμής μελέτης 7, όπως έχει εκτυπωθεί από τον σειсмоγράφο.

Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, στον οριζόντιο άξονα τα 24 κανάλια (γεώφωνα), ενώ σε κάθε κανάλι, η απόκλιση από την κατακόρυφη ευθεία

αντιστοιχεί σε θετικές και αρνητικές τιμές του πλάτους ταλάντωσης των σωματιδίων του εδάφους.

3.4.4.1 Επιλογή των πρώτων αφίξεων

Η επιλογή των πρώτων αφίξεων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό SIPIK της EG&G GEOMETRICS © και περιλαμβάνει τον καθορισμό της χρονικής στιγμής όπου το έδαφος αρχίζει να ταλαντώνεται σε κάποιο γεώφωνο. Η διαδικασία αυτή για την καταγραφή κοινής πηγής 2 της γραμμής μελέτης 7 απεικονίζεται στο σχήμα 3.13.

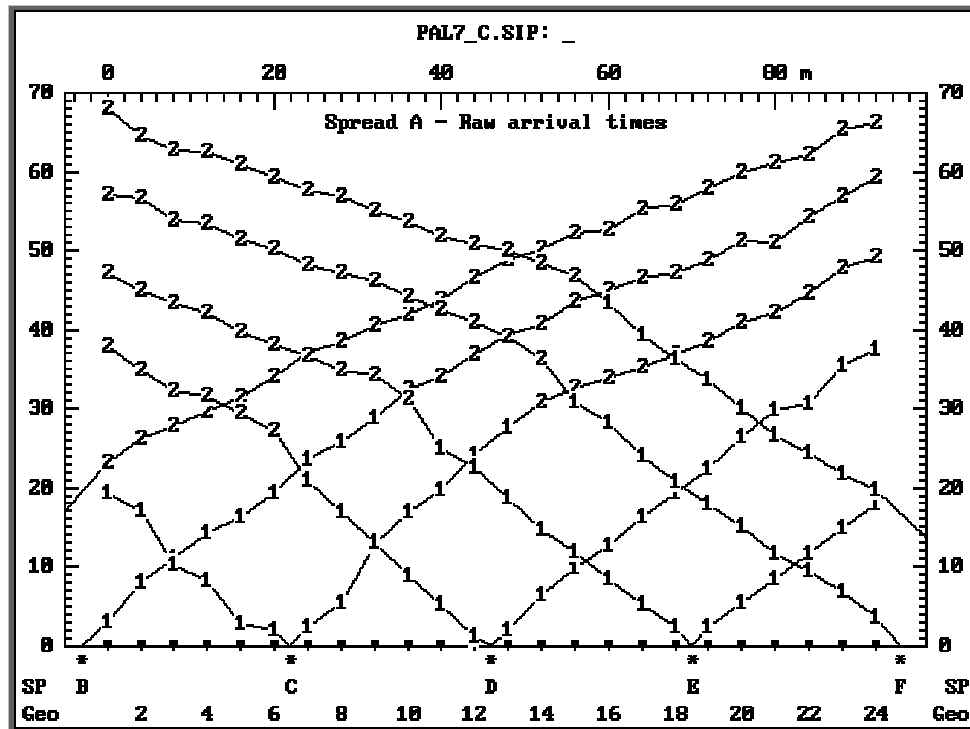


Σχήμα 3.13: Επιλογή των πρώτων αφίξεων για την καταγραφή κοινής πηγής 2 της γραμμής μελέτης 7.

3.4.4.2 Δημιουργία δρομοχρονικών διαγραμμάτων

Γνωρίζοντας την απόσταση του κάθε γεωφώνου από την πηγή είναι δυνατό να κατασκευαστεί ένα διάγραμμα πρώτων αφίξεων συναρτήσει της απόστασης από την σεισμική πηγή (δρομοχρονικό διάγραμμα). Στο διάγραμμα αυτό εντοπίζονται τα απευθείας και τα μετωπικά κύματα από κάθε διεπιφάνεια με τη βοήθεια του λογισμικού SIPIN της EG&G Geometrics © και αντιστοιχούνται σε εδαφικά στρώματα. Παράδειγμα δρομοχρονικών διαγραμμάτων για τη γραμμή μελέτης 7 αποτελεί αυτό του σχήματος 3.14.

Τα δρομοχρονικά διαγράμματα των υπόλοιπων γραμμών μελέτης παρατίθενται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

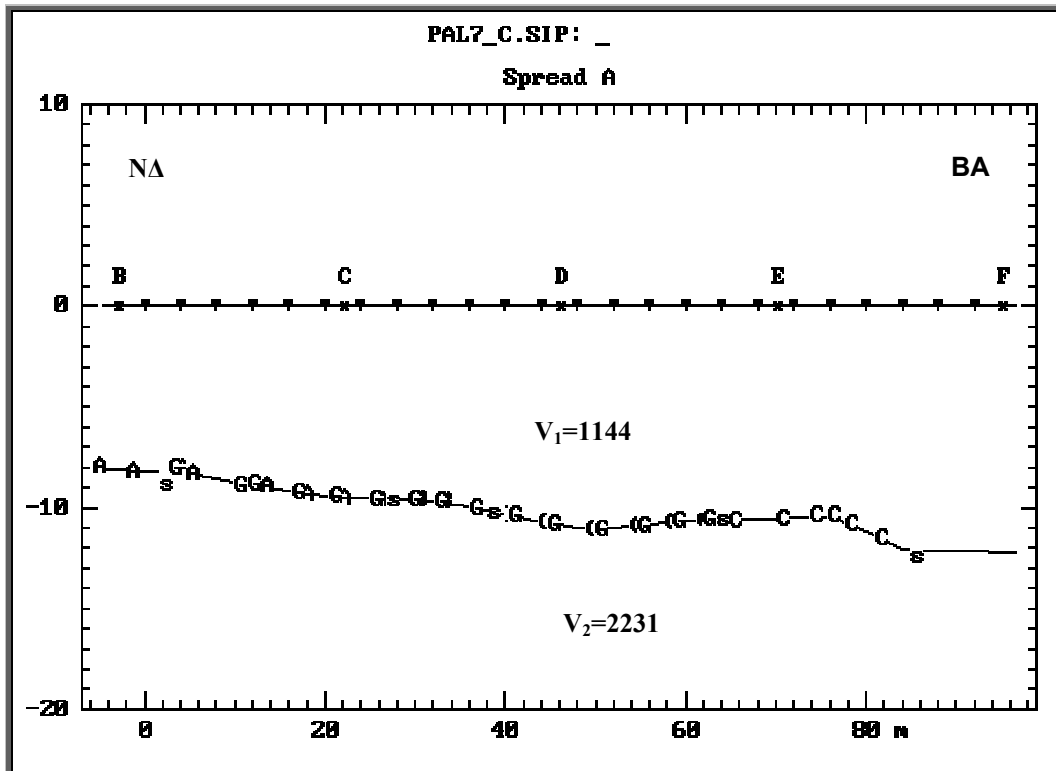


Σχήμα 3.14: Δρομοχρονικά διαγράμματα της γραμμής μελέτης 7.

Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο χρόνος σε msec, ενώ στον οριζόντιο, η απόσταση από κάθε σεισμική πηγή (σύμβολα B, C, D, E, F). Με '1' συμβολίζονται τα απευθείας σεισμικά κύματα (που διαδίδονται στο επιφανειακό στρώμα), ενώ με '2', τα μετωπικά κύματα (που διαδίδονται στην ανώτερη επιφάνεια του 2^{ου} στρώματος).

3.4.4.3 Προσδιορισμός του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές)

Ο προσδιορισμός του μοντέλου βάθους (σεισμικές τομές) προκύπτουν από το λογισμικό SIPT2 της EG&G Geometrics © χρησιμοποιώντας τη θεωρία επεξεργασίας των δεδομένων σεισμικής διάθλασης που περιγράφηκε στην παράγραφο 3.3 και την μέθοδο συν και πλην (delay-time method) (Haeni et al., 1987). Στο Σχήμα 3.15 απεικονίζεται το μοντέλο βάθους που προέκυψε για την γραμμή μελέτης 7, όπως προκύπτει από το λογισμικό SIPT2. Πάνω στο μοντέλο βάθους έχουν υπερτεθεί οι σεισμικές ταχύτητες που προέκυψαν για τα δύο εδαφικά στρώματα που προσδιορίστηκαν κατά την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων.



Σχήμα 3.15: Μοντέλο βάθους της γραμμής μελέτης 7.

Στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται το βάθος σε m, ενώ στον οριζόντιο, η απόσταση πάνω στη γραμμή μελέτης. Η ταχύτητα των P – κυμάτων στο πρώτο στρώμα βρέθηκε 1144 m/sec, ενώ στο δεύτερο, 2231 m/sec.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Ηλεκτρικές μέθοδοι-Ηλεκτρική τομογραφία.

4.1 Εισαγωγή

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης άρχισαν να εφαρμόζονται στη μελέτη του υπεδάφους με την αρχή του εικοστού αιώνα. Πρωτοπόροι στην έρευνα υπήρξαν ο Wenner και ιδιαίτερα ο Schlumberger που το βιβλίο του «Etude sur la Prospection Electrique du Sous-Sol» (Σούρλας, 2000) συνέβαλε σημαντικά στη διάδοση των ηλεκτρικών μεθόδων. Η συστηματική όμως εφαρμογή των ηλεκτρικών διασκοπήσεων άρχισε μετά το 1970 εκμεταλλευόμενη την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών που πρόσφεραν σημαντική βοήθεια τόσο στη συλλογή όσο και στην επεξεργασία των μετρήσεων.

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι της γεωφυσικής διασκόπησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Η πρώτη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων ή πεδίων, και περιλαμβάνει (Σούρλας, 2000):

- Μέθοδο του φυσικού δυναμικού
- Μέθοδο των τελλουρικών ρευμάτων

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε μετρήσεις ηλεκτρικών μεγεθών τα οποία εξαρτώνται από παραγόμενα τεχνητά ηλεκτρικά ρεύματα ή πεδία, και περιλαμβάνει:

- Μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης
- Μέθοδο της επαγόμενης πολικότητας
- Μέθοδο των ισοδυναμικών γραμμών

Οι ηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως στην αναζήτηση μεταλλευμάτων και γεωθερμικών πεδίων, στην Υδρογεωλογία, στη Γεωθερμία, στην Κοιτασματολογία, στην Τεχνική Γεωλογία(όπως στην παρούσα εργασία) και στην Αρχαιολογία.

4.2 Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Είναι μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους της γεωφυσικής διασκόπησης. Με τη μέθοδο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παράγεται στο έδαφος με τεχνητό τρόπο ηλεκτρικό πεδίο. Οι ιδιότητες του πεδίου διαμορφώνονται από τη δομή του υπεδάφους. Συνεπώς ο καθορισμός των ιδιοτήτων του πεδίου οδηγεί στον καθορισμό της δομής του υπεδάφους. Η ποσότητα που μετριέται είναι η ηλεκτρική τάση και τελικός σκοπός είναι ο

εντοπισμός δομών, οι οποίες παρουσιάζουν διαφορετική ειδική ηλεκτρική αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα.

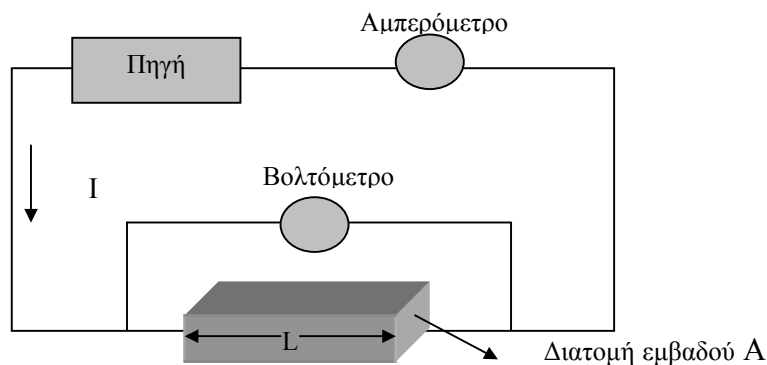
Η μέθοδος της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης βασίζεται στον νόμο που διατύπωσε το 1827 ο George Simon Ohm (Robinson, 1988), σύμφωνα με τον οποίο αντίσταση R (σε Ohm) ενός αγωγού ονομάζεται ο σταθερός λόγος της διαφοράς δυναμικού ΔV (σε Volt) που παρουσιάζεται στα άκρα του αγωγού, προς την ένταση I (σε Ampere) του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (4.1)$$

Η αντίσταση ενός ομογενούς αγωγού είναι ανάλογη με το μήκος L του αγωγού, αντιστρόφως ανάλογη με το εμβαδόν A της τομής του αγωγού και εξαρτάται από το υλικό και τη θερμοκρασία του (σχήμα 4.1).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (4.2)$$

όπου ρ είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υλικού του αγωγού



Σχήμα 4.1: Ηλεκτρικό κύκλωμα αποτελούμενο από πηγή και αγωγό σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου.

Στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) μονάδα ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης είναι το $1 \Omega\text{m}$. Πολλές φορές όμως χρησιμοποιείται και η μονάδα $1 \Omega\text{cm}$ και είναι $1 \Omega\text{m} = 100 \Omega\text{cm}$. Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των πετρωμάτων και ορυκτών είναι μια από τις περισσότερο μεταβαλλόμενες φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων και ορυκτών. Οι τιμές της κυμαίνονται από $10^{-6} \Omega\text{m}$ σε ορισμένα ορυκτά όπως είναι ο γραφίτης, μέχρι $10^{15} \Omega\text{m}$ σε ορισμένα ξηρά χαλαζιακά πετρώματα (πίνακας 4.1). Τα πετρώματα και τα ορυκτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^{-6} και $10^{-1} \Omega\text{m}$ χαρακτηρίζονται ως καλοί αγωγοί, ενώ κακοί αγωγοί θεωρούνται αυτά που έχουν ειδική ηλεκτρική αντίσταση μεταξύ 10^8 και 10^{15}

Ωm. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι: α) η λιθολογία, β) το πορώδες, γ) η γεωλογική ηλικία των πετρωμάτων, δ) η Θερμοκρασία.

Πίνακας 4.1: Τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πετρωμάτων (Βαφείδης και συνεργάτες, 1991, Βαφείδης και Αμολοχίτης 1992).

ΕΙΔΟΣ ΠΕΤΡΩΜΑΤΟΣ	ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ (Ohm.m)
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΕΣ ΠΡΟΣΧΩΣΕΙΣ	80-250
ΝΕΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Άργιλοι	2-20
Μάργες	20-60
Άμμοι και Χαλίκια (κορεσμένα)	50-500
Εβαπορίτες (Γύψοι)	200
Μαργαϊκοί Ασβεστόλιθοι	150-500
Κροκαλοπαγή βάσεως	200-300
Ψαμμίτες	50-70
ΑΛΠΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	
Φλύσχης	70-80
Σχιστόλιθοι-Οφιόλιθοι	100-300
Ασβεστόλιθοι	>500

Τοποθετώντας δύο ηλεκτρόδια στην επιφάνεια του εδάφους συνδεδεμένα με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, στο οποίο η γη αποτελεί τον αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον θετικό πόλο, ονομάζεται πηγή, ενώ το ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο, ονομάζεται γείωση. Επειδή ο αέρας είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού, όλο το ρεύμα από το ηλεκτρόδιο διοχετεύεται στη γη.

Για την κατανόηση της ροής του ηλεκτρικού ρεύματος θεωρείται ότι η γη είναι ομοιογενής και ισότροπη ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ . Επιπλέον τα ηλεκτρόδια θεωρούνται σημεία, δηλαδή οι εξισώσεις που προκύπτουν, ισχύουν για σημειακή πηγή και σημειακή γείωση.

Αρχικά η απόσταση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων θεωρείται πολύ μεγάλη, ώστε να μπορεί να μελετηθεί το κάθε ηλεκτρόδιο ξεχωριστά. Το ηλεκτρόδιο πηγή είναι θετικά φορτισμένο, με αποτέλεσμα η κίνηση των θετικών φορτίων να είναι από το ηλεκτρόδιο προς τη γη. Επειδή η γη θεωρείται ομοιογενής το ρεύμα ρέει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και οι γραμμές που απεικονίζουν τη ροή (γραμμές ρεύματος) μπορούν να θεωρηθούν ως ακτίνες ημισφαιρικών επιφανειών που έχουν κέντρο την πηγή. Η αντίσταση R στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος που παρουσιάζει μία ημισφαιρική δομή (αγωγός) ακτίνας d , δίνεται σύμφωνα με τη σχέση (4.2) από το γινόμενο της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ρ με τον λόγο της ακτίνας d προς το εμβαδόν $2\pi d^2$ της ημισφαιρικής επιφάνειας.

$$R = \rho \frac{d}{2\pi d^2} = \frac{\rho}{2\pi d} \quad (4.3)$$

Η διαφορά ΔV_d του δυναμικού V_0 της πηγής από το δυναμικό V_d όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από την πηγή που προκαλείται από τη ροή ρεύματος, έντασης I , μέσα από την ημισφαιρική δομή είναι:

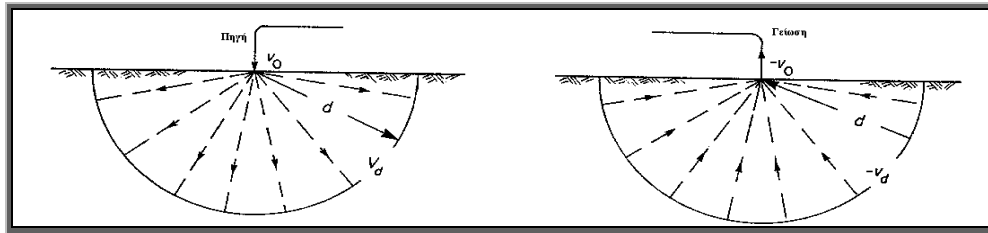
$$\Delta V_d = V_d - V_0 = I R = \frac{I\rho}{2\pi d} \quad (4.4)$$

Η επιφάνεια που περιλαμβάνει όλα τα σημεία με το ίδιο δυναμικό ονομάζεται ισοδυναμική επιφάνεια.

Το δυναμικό στη γείωση, το απομακρυσμένο ηλεκτρόδιο που συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της ηλεκτρικής πηγής είναι $-V_0$. Το αρνητικά φορτισμένο ηλεκτρόδιο έλκει τα θετικά ηλεκτρικά φορτία, με αποτέλεσμα οι γραμμές ρεύματος να συγκλίνουν προς αυτό από όλες τις διευθύνσεις. Μία ημισφαιρική δομή ακτίνας d με κέντρο τη γείωση θα παρουσιάζει αντίσταση R στη ροή του ρεύματος σύμφωνα με τη σχέση (4.3). Η διαφορά μεταξύ του δυναμικού $-V_d$ όλων των σημείων που απέχουν απόσταση d από τη γείωση και του δυναμικού της γείωσης $-V_0$ θα είναι:

$$-\Delta V_d = -V_d - (-V_0) = V_0 - V_d = -I R = -\frac{I\rho}{2\pi d} \quad (4.5)$$

Στην περίπτωση λοιπόν που το ηλεκτρόδιο είναι θετικά φορτισμένο, το ηλεκτρικό ρεύμα απομακρύνεται από αυτό, ενώ όταν το ηλεκτρόδιο είναι αρνητικά φορτισμένο, το ρεύμα συγκλίνει προς αυτό. Και στις δύο περιπτώσεις οι γραμμές ρεύματος αρχίζουν ακτινικά από το ηλεκτρόδιο, ενώ οι ισοδυναμικές επιφάνειες είναι ημισφαιρικές επιφάνειες με κέντρο το ηλεκτρόδιο (σχήμα 4.2). Οι γραμμές ρεύματος είναι κάθετες στις ισοδυναμικές επιφάνειες.



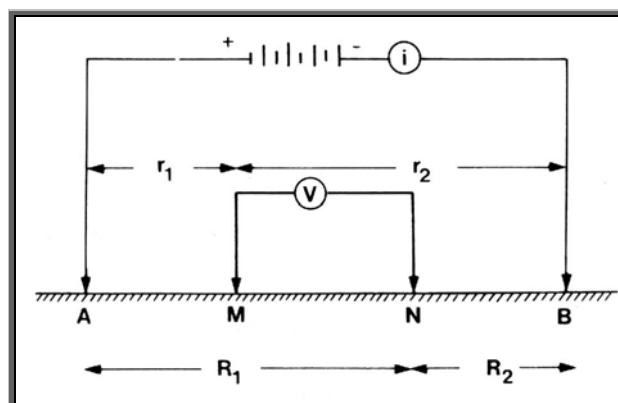
Σχήμα.4.2: Ροή ηλεκτρικού ρεύματος σε ομοιογενή και ισότροπη γη στην περίπτωση όπου δεν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (Γκανιάτσος, 2000, Σούρλας, 2000).

Όταν η απόσταση των δύο ηλεκτροδίων θεωρηθεί μικρή, τότε το δυναμικό όλων των σημείων στο έδαφος δίδεται από την σχέση 4.6 (Βαφείδης, 2001):

$$V = V_{d_1} + V_{d_2} = V_{d_1} - V_0 + V_0 + V_{d_2} = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2} \right) \quad (4.6)$$

4.2.1 Εφαρμογή της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης

Για την εφαρμογή της μεθόδου της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης δύο ηλεκτρόδια A, B συνδεόνται με τους πόλους μιας πηγής συνεχούς ρεύματος και εισάγονται στο έδαφος (σχήμα 4.3). Τα ηλεκτρόδια A, B λέγονται ηλεκτρόδια ρεύματος και τα ηλεκτρόδια M, N λέγονται ηλεκτρόδια δυναμικού. Συνήθως, αλλά όχι πάντα, και τα τέσσερα ηλεκτρόδια τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή.



Σχήμα 4.3: Διάταξη ηλεκτροδίων ρεύματος (A, B) και δυναμικού (M, N) (Σούρλας, 2000).

Το δυναμικό στο σημείο M που οφείλεται στο θετικό ηλεκτρόδιο A και στο αρνητικό ηλεκτρόδιο B, σύμφωνα με τη σχέση 4.6 είναι:

$$V_M = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) \quad (4.7)$$

Αντίστοιχα το δυναμικό στο σημείο N είναι:

$$V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \quad (4.8)$$

Η διαφορά δυναμικού $\Delta V = V_M - V_N$ που θα μετρηθεί από το βολτόμετρο, δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta V = V_M - V_N = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (4.9)$$

Λύνοντας ως προς ρ προκύπτει η σχέση που δίνει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση:

$$\rho = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (4.10)$$

Μετρώντας λοιπόν την τάση και γνωρίζοντας την ένταση του ρεύματος και τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων υπολογίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του υπεδάφους. Η τιμή της παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από τις αποστάσεις των ηλεκτροδίων, δηλαδή αν η ένταση του ρεύματος διατηρηθεί σταθερή και η θέση των ηλεκτροδίων μεταβληθεί τότε αλλάζει και η τιμή της τάσης ΔV , ώστε η ειδική ηλεκτρική αντίσταση να παραμείνει σταθερή.

4.2.2 Φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση

Στην περίπτωση όμως που το υπέδαφος είναι ανομοιογενές, όπως στην πραγματικότητα συμβαίνει, η τιμή του ρ από τη σχέση 4.10 μπορεί να υπολογιστεί μετρώντας τις ποσότητες που περιλαμβάνει το μέλος αυτό, αλλά δε θα είναι σταθερή. Η τιμή αυτή θα εξαρτάται όχι μόνο από τη δομή του υπεδάφους, αλλά και από τη διάταξη των ηλεκτροδίων, επομένως δεν εκφράζει πια την πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση, αλλά μία φυσικώς ανύπαρκτη ποσότητα, η οποία ονομάζεται φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση και συμβολίζεται ρ_a . Η φαινόμενη αντίσταση αν και είναι ενδεικτική των πραγματικών ειδικών αντιστάσεων του υπεδάφους, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αντιπροσωπεύει τη μέση τιμή των.

Η σχέση που δίνει την φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (4.11)$$

όπου $K = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$ είναι ο γεωμετρικός συντελεστής.

4.2.3 Τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι διάταξης των ηλεκτροδίων, το σχήμα 4.4 δείχνει τις τρεις πιο σημαντικές που είναι:

α) Διάταξη Wenner

Στη διάταξη Wenner τα ηλεκτρόδια διατάσσονται σε ίσες μεταξύ τους αποστάσεις, δηλαδή, $AM = MN = NB = a$, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.α, έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση ρ_a θα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho_a = 2\pi \frac{V_{MN}}{I} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right)^{-1} = 2\pi a \frac{V_{MN}}{I} \quad 4.12$$

Η ποσότητα

$$2\pi \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a} - \frac{1}{2a} + \frac{1}{a} \right) = 2\pi a \quad 4.13$$

ονομάζεται γεωμετρικός συντελεστής και συμβολίζεται με K . Η τιμή του μπορεί να υπολογιστεί αν οι αποστάσεις των ηλεκτροδίων είναι γνωστές.

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Wenner για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια αναπτύσσονται κάθε φορά συμμετρικά ως προς ένα σημείο, που θεωρείται κέντρο της διασκόπησης.

Στην περίπτωση της ηλεκτρικής χαρτογράφησης, το a παραμένει σταθερό και τα τέσσερα ηλεκτρόδια μεταφέρονται κατά μήκος γραμμής μελέτης. Η τιμή της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης χαρτογραφείται στο κέντρο κάθε διάταξης.

Η διάταξη Wenner παρά τη γεωμετρική της απλότητα παρουσιάζει ένα σημαντικό μειονέκτημα, αφού κατά την πραγματοποίηση κάθε νέας μέτρησης πρέπει να μετακινούνται όλα τα ηλεκτρόδια.

β) Διάταξη Schlumberger

Στη διάταξη Schlumberger, τα ηλεκτρόδια ρεύματος A και B βρίσκονται σε απόσταση L και σε συμμετρικές θέσεις ως προς το κέντρο της διάταξης. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού M και N είναι ανάμεσα στα A και B και σε απόσταση b από το κέντρο της διάταξης. Έτσι είναι $AB = 2L$ και $MN = 2b$ (σχήμα 4.4.b), η απόσταση $2b$ μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού είναι πολύ μικρότερη από την απόσταση $2L$ μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος. Έτσι ο γεωμετρικός συντελεστής K υπολογίζεται από την σχέση:

$$K = 2\pi \left(\frac{1}{L-b} - \frac{1}{L+b} - \frac{1}{L+b} + \frac{1}{L-b} \right)^{-1} = (L^2 - b^2) \frac{\pi}{2b} \quad (4.14)$$

Επειδή όμως $(L \gg b)$ τότε $(L^2 - b^2) \sim L^2$, και έτσι η φαινόμενη ειδική ηλεκτρική αντίσταση θα υπολογίζεται από την σχέση

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2b} \frac{\Delta V}{i} \quad (4.15)$$

Κατά την εφαρμογή της διάταξης Schlumberger για ηλεκτρική βυθοσκόπηση, τα ηλεκτρόδια δυναμικού παραμένουν σταθερά. Αντίθετα η απόσταση για τα ηλεκτρόδια ρεύματος αυξάνεται σταδιακά και συμμετρικά ως προς το κέντρο της διάταξης.

Στην ηλεκτρική χαρτογράφηση τα τέσσερα ηλεκτρόδια μετακινούνται κατά μήκος ορισμένης τομής, ενώ η απόστασή τους παραμένει σταθερή όπως και στη διάταξη Wenner.

Η διάταξη Schlumberger είναι η πιο διαδεδομένη διάταξη. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό χρόνο πραγματοποίησης των μετρήσεων, επειδή αντίθετα με τις άλλες διατάξεις απαιτεί μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων ρεύματος κατά την γεωηλεκτρική βυθοσκόπηση. Τα ηλεκτρόδια του δυναμικού παραμένουν σταθερά, γεγονός που βοηθάει επίσης στον περιορισμό των πιθανοτήτων ανεπιθύμητων επιδράσεων που μπορεί να οφείλονται σε τοπικές γεωλογικές ασυνέχειες.

γ) Διάταξη Διπόλου-Διπόλου

Από τις παραπάνω διατάξεις, η πιο σημαντική είναι αυτή του διπόλου-διπόλου, όπου η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια του ρεύματος είναι ίση με a . Ομοίως a είναι και το διάστημα μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η απόσταση μεταξύ των ζευγαριών των ηλεκτροδίων είναι μεγάλη και ίση με na ($n \gg 1$), όπως φαίνεται στο σχήμα (4.4.γ).

Ο γεωμετρικός συντελεστής K για την διάταξη διπόλου-διπόλου και για $n \gg 1$, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$K = \pi na(n+1)(n+2) \quad (4.16)$$

και η φαινόμενη ειδική αντίσταση από την σχέση

$$\rho_a = \pi na(n+1)(n+2) \frac{\Delta V}{i} \quad (4.17)$$

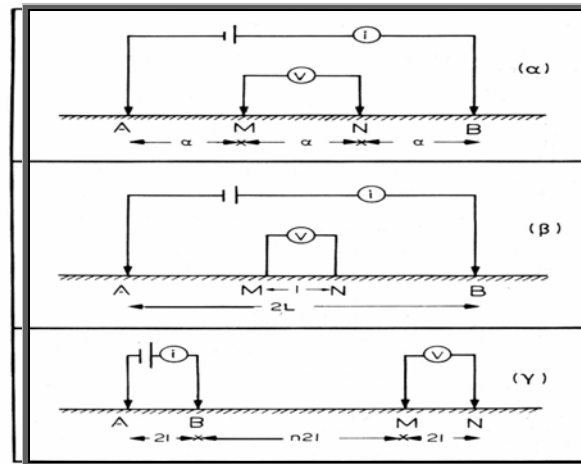
Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της διάταξης αποτελεί η απόσταση $2na$, ανάμεσα στα δίπολα ρεύματος και δυναμικού, που μπορεί να αυξηθεί αρκετά χωρίς να χρειάζονται μεγάλα μήκη καλωδίων. Η διάταξη περιορίζεται μόνο από τη δυνατότητα των καταγραφικών οργάνων και από τον εδαφικό θόρυβο.

Επίσης απλά αναφέρονται οι παρακάτω:

δ) Τετραγωνική διάταξη. Στη διάταξη αυτή τα τέσσερα ηλεκτρόδια βρίσκονται στις κορυφές τετραγώνου και αποτελούν τη βάση, πάνω στην οποία βρίσκεται το όργανο μέτρησης.

ε) Διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου. Μπορεί να θεωρηθεί ότι προέρχεται από τη Wenner, αν τα ηλεκτρόδια N και B τοποθετηθούν σε απόσταση από τα άλλα δύο. Το ένα ζευγάρι ηλεκτροδίων, τα A και M , παραμένει σταθερό και το άλλο, τα N και B , μετακινείται στην περιοχή μελέτης. Θεωρώντας σταθερό το ηλεκτρικό πεδίο μεγάλες μεταβολές στη

μετρούμενη τάση οφείλονται σε δομές που παρουσιάζουν αντίθεση ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με τα περιβάλλοντα πετρώματα, βρίσκονται κοντά στο κινούμενο ζευγάρι και ο εντοπισμός τους αποτελεί τον στόχο της μεθόδου.



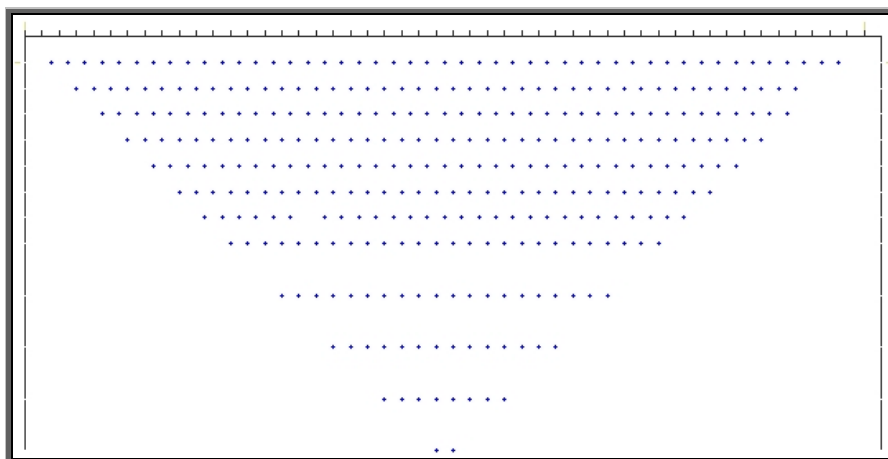
Σχήμα 4.4: Διατάξεις Wenner (α), Schlumberger (β), διπόλου-διπόλου (γ) (Παπαζάχος, 1986).

Κάθε διάταξη παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τη θέση και τον σκοπό, για τον οποίο εφαρμόζεται. Η διάταξη Wenner στη χαρτογράφηση δίνει την πιο έντονη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης, αλλά παρουσιάζει το φαινόμενο της διπλής κορυφής, δηλαδή μεγάλη τιμή πριν και μετά τη δομή, η οποία έχει μεγαλύτερη αντίσταση από τα περιβάλλοντα πετρώματα, ενώ δίνει μικρή τιμή ακριβώς πάνω από τη δομή. Το αντίθετο συμβαίνει στην περίπτωση που η δομή έχει μικρότερη αντίσταση. Το ίδιο πρόβλημα παρουσιάζει και η διάταξη Schlumberger με το επιπλέον πρόβλημα του μικρότερου σήματος, δηλαδή δε δίνει έντονα τη μεταβολή της αντίστασης. Το πρόβλημα της διπλής κορυφής δεν εμφανίζεται στις διατάξεις διπόλου – διπόλου και διδύμου ηλεκτροδίου. Η διάταξη διπόλου – διπόλου δίνει καθαρά τη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης, αλλά έχει το μειονέκτημα ότι, επειδή η απόσταση μεταξύ των ηλεκτροδίων ρεύματος είναι μικρή περιορίζεται το βάθος διεξόδου του ηλεκτρικού. Η διάταξη διδύμου ηλεκτροδίου έχει πλευρική διακριτική ικανότητα α , δηλαδή για να ξεχωρίσει δύο δομές πρέπει να απέχουν μεταξύ τους κατά την οριζόντια διεύθυνση απόσταση α , με α να είναι η απόσταση των ηλεκτροδίων κάθε ζευγαριού και απαιτεί τη μετακίνηση μόνο των δύο ηλεκτροδίων για κάθε μέτρηση. Η εύκολη και γρήγορη εφαρμογή της και η έντονη μεταβολή της φαινόμενης αντίστασης που δίνει, την έχουν κάνει μια από τις πιο διαδεδομένες διατάξεις.

4.3 Ηλεκτρική τομογραφία

Η ηλεκτρική τομογραφία ανήκει στις ηλεκτρικές μεθόδους γεωφυσικής διασκόπησης και συμβάλλει στη λεπτομερή απεικόνιση του υπεδάφους, καθώς είναι μέθοδος υψηλής διακριτικής ικανότητας. Στην ηλεκτρική τομογραφία, η περιγραφή της γεωλογικής δομής βασίζεται στη μελέτη των μεταβολών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κατά την οριζόντια και την κατακόρυφη διεύθυνση, εντοπίζοντας έτσι ασυνέχειες κατά την οριζόντια ανάπτυξη των σχηματισμών, όπως ρήγματα

Στην τομογραφία τα αποτελέσματα δίνονται με τη μορφή μιας ψευδοτομής (pseudosection). Στην ψευδοτομή οι φαινόμενες ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σχεδιασμένες σε μια τομή, με τέτοιο τρόπο, όπως οι πραγματικές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις σε σημεία ακριβώς κάτω από το κέντρο της διάταξης των ηλεκτροδίων και σε βάθος που εξαρτάται από τη συγκεκριμένη διάταξη (σχήμα 4.5).



Σχήμα 4.5: Διάταξη των δεδομένων στην ψευδοτομή του υπεδάφους (Σούρλας, 2000)

Αντιστροφή των δεδομένων

Ο προσδιορισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων πραγματοποιείται με την αντιστροφή των δεδομένων.

Ξεκινώντας από ένα αρχικό μοντέλο (αυθαίρετο) το πρώτο βήμα είναι η λύση του ευθέως προβλήματος, στο οποίο υπολογίζονται οι φαινόμενες αντιστάσεις που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό. Οι θεωρητικές αυτές τιμές, μαζί με τις πραγματικές μετρήσεις και τις παραμέτρους του μοντέλου καθορίζουν ένα σύστημα εξισώσεων. Ακολουθεί η διαδικασία της αντιστροφής, όπου επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων με αγνώστους τις παραμέτρους του μοντέλου. Υπολογίζεται με τη διαδικασία αυτή ένα νέο βελτιωμένο μοντέλο. Η

βελτίωση αφορά μόνο τις παραμέτρους του μοντέλου. Η διαδικασία συνεχίζεται υπολογίζοντας για το βελτιωμένο μοντέλο τις φαινόμενες αντιστάσεις, οι οποίες συγκρίνονται με τη σειρά τους με τις πραγματικές μετρήσεις. Σκοπός της αντιστροφής είναι να βρεθεί ένα μοντέλο που να δίνει φαινόμενες αντιστάσεις όσο το δυνατό πιο κοντά στις μετρήσεις.

Με την αντιστροφή γίνεται ο υπολογισμός των πραγματικών ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων από τις φαινόμενες αντιστάσεις. Στα περισσότερα γεωφυσικά προβλήματα που χρησιμοποιείται η αντιστροφή, τα δεδομένα συνδέονται με μη γραμμικές σχέσεις με τις παραμέτρους του μοντέλου. Έτσι και στην περίπτωση της αντιστροφής των φαινόμενων αντιστάσεων το πρόβλημα είναι μη γραμμικό. Επιπλέον το πρόβλημα είναι υπερπροσδιορισμένο, δηλαδή ο αριθμός των δεδομένων υπερβαίνει τον αριθμό των παραμέτρων του μοντέλου.

Για την επίλυση του προβλήματος εφαρμόζονται επαναληπτικές τεχνικές που χρησιμοποιούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων όπως η μέθοδος Zohdy και η μέθοδος Loke και Barker (Βαφείδης, 2001).

4.4 Περιγραφή εκτέλεσης της ηλεκτρικής τομογραφίας

Στην ευρύτερη περιοχή της λιμνοδεξαμενής Κουντούρας σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν 3 ηλεκτρικές γραμμές μελέτης συνολικού μήκους 252 m. Η πρώτη (ΠΤ1) γραμμή έχει μήκος 92 m, η δεύτερη 96 m (ΠΤ2) και η τρίτη 64 m (ΠΤ3).

4.4.1 Θέσεις των ηλεκτρικών γραμμών μελέτης

Οι θέσεις των ηλεκτρικών γραμμών μελέτης φαίνονται στο Σχήμα 4.6. Οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης αντιστοιχούν στο Γεωδαιτικό Σύστημα Hatt με προβολικό σύστημα την Εγκάρσια Μερκατορική.

4.4.2 Εξοπλισμός γεωηλεκτρικής τομογραφίας

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται συνήθως κατά την εφαρμογή της μεθόδου της ηλεκτρικής τομογραφίας αποτελείται από: πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όργανα μέτρησης του δυναμικού και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρόδια και μονωμένα καλώδια μεγάλου μήκους.

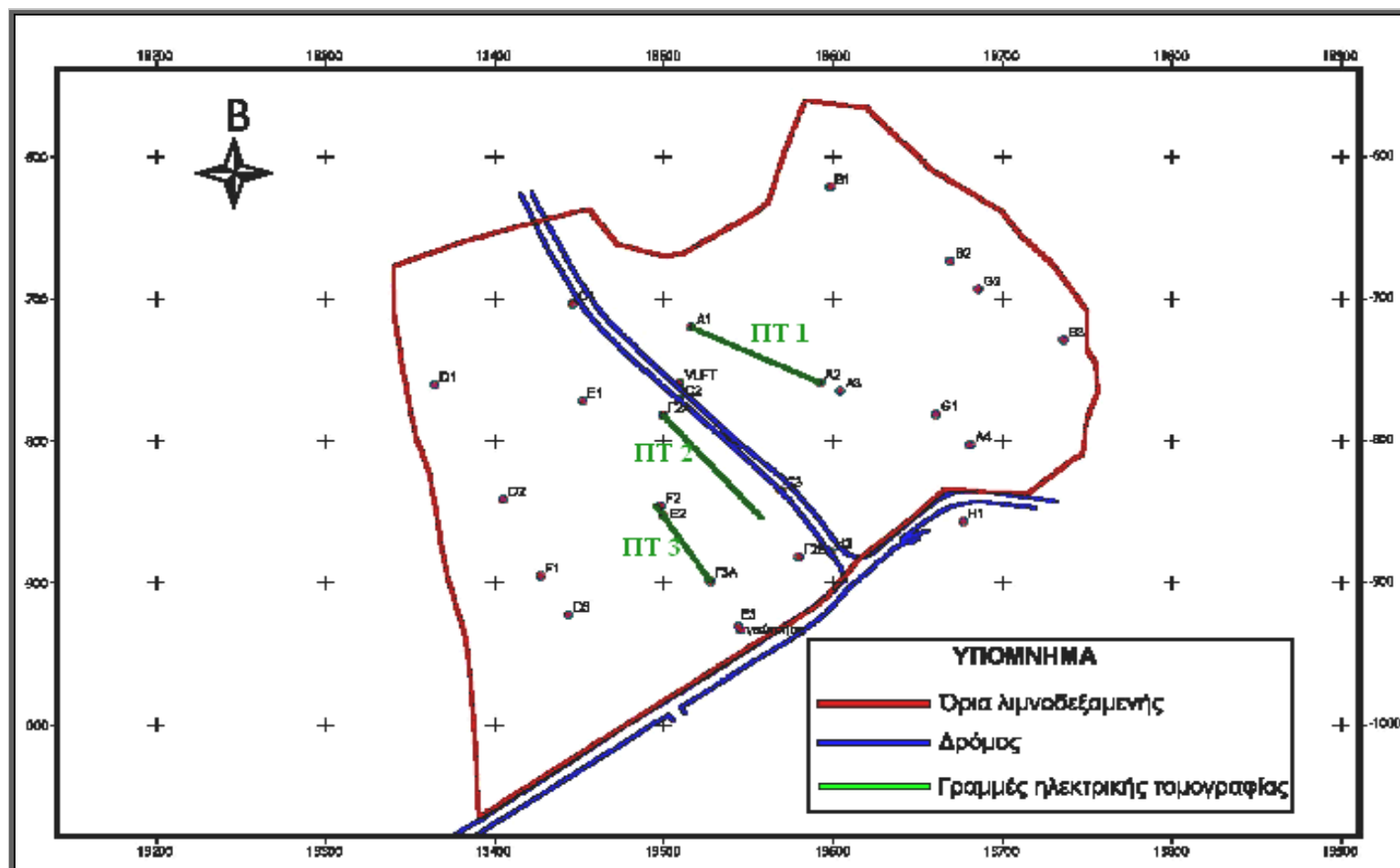
Κατά την πραγματοποίηση των γεωηλεκτρικών τομογραφιών ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε είναι:

1. Δύο καρούλια το καθένα με καλώδιο των 500 m για την ανάπτυξη της γραμμής ηλεκτροδίων ρεύματος AB.
2. Δύο καλώδια για τη σύνδεση των ηλεκτροδίων δυναμικού.
3. Τα ηλεκτρόδια ρεύματος και δυναμικού είναι απλές ανοξείδωτοι ράβδοι από χάλυβα.
4. Ακόντια και σημαίες για τη σήμανση της γραμμής ανάπτυξης των ηλεκτροδίων ρεύματος και δυναμικού.
5. Πολύμετρο για τη μέτρηση της αντίστασης επαφής του συστήματος "ηλεκτρόδιο - γη".
6. Πυξίδα για το προσανατολισμό της γραμμής μελέτης.
7. Δοχεία μεταφοράς αλατούχου ύδατος για τη βελτίωση επαφής του συστήματος "ηλεκτρόδιο - γη".
8. Όργανο Μέτρησης: Κατά την εκτέλεση της γεωηλεκτρικής τομογραφίας χρησιμοποιήθηκε όργανο μέτρησης ειδικών αντιστάσεων, STING-R1,
 - α) το οποίο εισάγει στην γη ρεύμα AC, που η ένταση του κυμαίνεται μεταξύ 0,1-200 mA και
 - β) μετράει τάση σε τάξη μεγέθους 0,05 Volt.

4.4.3 Διεξαγωγή της ηλεκτρικής τομογραφίας

Κατά την εκτέλεση των ηλεκτρικών τομογραφιών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

- Λαμβάνεται μέριμνα ώστε η ανάπτυξη των γραμμών μελέτης να γίνεται σε ευθεία και όσο το δυνατόν παράλληλα στην παράταξη των τοπογραφικών φαινομένων.
- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια κατά μήκος της γραμμής μελέτης, όπου το κάθε ηλεκτρόδιο απέχει απόσταση a από το άλλο. Ταυτόχρονα τοποθετούνται αριθμημένες σημαίες δίπλα στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια.
- Συνδέεται το όργανο με τα καλώδια, και τοποθετείται δίπλα στη γραμμή μελέτης.



Σχήμα 4.6: Θέσεις των ηλεκτρικών τομογραφιών (PT1, PT2, PT3).

- Τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια δυναμικού και ρεύματος εκατέρωθεν του επιλεγμένου κέντρο σε απόσταση $MN/2$ και $AB/2$ αντίστοιχα. Στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση των ηλεκτροδίων A , B με τα καλώδια, διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα και πραγματοποιείται η μέτρηση, όπου λαμβάνονται συγκεκριμένες τιμές ρεύματος i και δυναμικού V . Στη συνέχεια τα ηλεκτρόδια του ρεύματος σε μεγαλύτερη απόσταση $AB/2$ και επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.
- Το κέντρο μετακινείται κατά απόσταση a και επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις όπως στο προηγούμενο βήμα.
- Οι αποστάσεις των ημιαναπτυγμάτων $AB/2$ και οι μετρούμενες τιμές της έντασης του ρεύματος και της διαφοράς δυναμικού καταγράφονται σε ειδικά διαμορφωμένα έντυπα για την επεξεργασία τους

4.5 Επεξεργασία δεδομένων ηλεκτρικής τομογραφίας

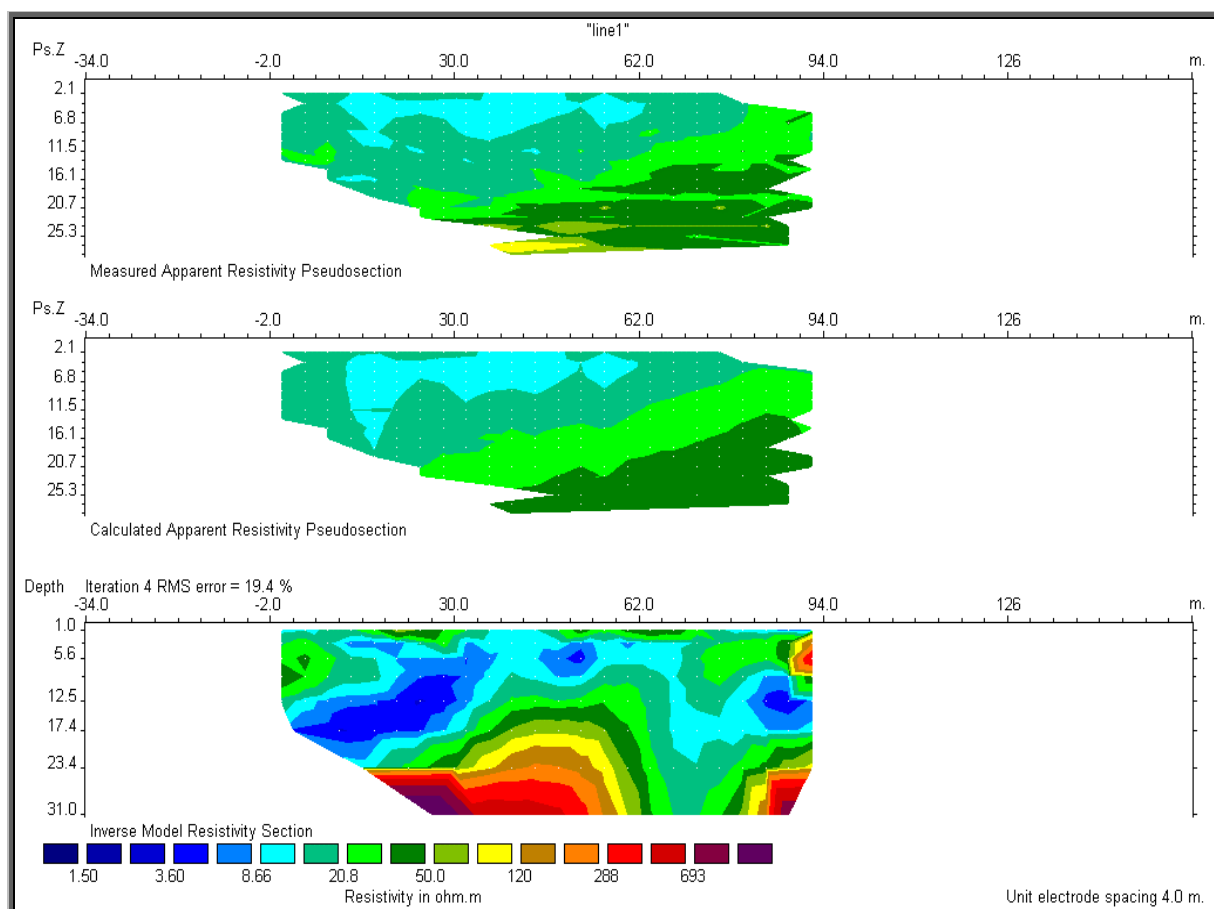
Το RES2DINV είναι ένα πρόγραμμα επεξεργασίας και μοντελοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων υπαίθρου, βάσει του οποίου έγινε η επεξεργασία των γεωηλεκτρικών τομογραφιών της υπό μελέτη περιοχής. Το πρόγραμμα RES2DINV παρέχει τη δυνατότητα έκφρασης του βάθους σε μέτρα (m), της οριζόντιας απόστασης όπου αναπτύσσεται η γραμμή σε μέτρα (m) και της φαινόμενης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε Ohm-m.

Πιο συγκεκριμένα το λογισμικό RES2DINV στηρίζεται στην αντιστροφή των δεδομένων όπως αναφέρεται αυτή στην παράγραφο 4.3.1. δηλαδή υπολογίζει τη πραγματική ηλεκτρική αντίσταση ρ .

Λεπτομερέστερα το πρόγραμμα αυτό χωρίζει το υπέδαφος σε έναν αριθμό παραλληλογράμμων και θεωρεί σταθερή την πραγματική ειδική αντίσταση σε κάθε ορθογώνιο. Ξεκινώντας από αρχικό μοντέλο υπολογίζονται οι τιμές της φαινόμενης ειδικής αντίστασης που αντιστοιχούν στο μοντέλο αυτό και συγκρίνονται με τις μετρημένες τιμές της φαινόμενης αντίστασης.

Κάνοντας διαδοχικές επαναλήψεις μειώνεται συνεχώς το σφάλμα, δηλαδή η διάφορα μεταξύ θεωρητικών και μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ειδικής αντίστασης. Τελικά επιλέγεται ένα μοντέλο με μικρό σφάλμα όταν οι επόμενες επαναλήψεις δεν μειώνουν σημαντικά το σφάλμα αυτό, δηλαδή όταν η επαναληπτική διαδικασία παρουσιάζει σύγκλιση. Χαρακτηριστικό των όσων προαναφέρθηκαν είναι το σχήμα 4.7 (όπως προέκυψε από το πρόγραμμα για την γραμμή μελέτης ΠΤ1) όπου διακρίνονται οι ψευδοτομές των

μετρούμενων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων.



Σχήμα 4.7: Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομογραφία (κάτω) της γραμμής μελέτης

ΠΤ1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και διαγραφές

5.1 Εισαγωγή

Κατά το πρώτο στάδιο έγινε η γεωφυσική διερεύνηση του υποβάθρου στο χώρο του έργου με την πραγματοποίηση επτά (7) σεισμικών γραμμών μελέτης και τριών (3) ηλεκτρικών τομογραφιών.

Μετά το πρώτο αυτό στάδιο της έρευνας αποφασίστηκε η ανόρυξη (σε συγκεκριμένες θέσεις που είχαν προταθεί) τεσσάρων (4) γεωτρήσεων, δειγματοληπτικών (Ο-1 και Ο-2) και ερευνητικών (Ο-3 και Ο-4) εντός των οποίων πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις διαγραφών γεωτεχνικών εφαρμογών.

5.2 Δειγματοληπτικές γεωτρήσεις

5.2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο "γεώτρηση" ονομάζεται η διαδικασία εκείνη κατά την οποία ανοίγεται διάτρημα με καθορισμένο βάθος, τελική διάμετρο και διεύθυνση. Η παραπάνω εργασία γίνεται είτε περιστροφικά, είτε κρουστικά με τη βοήθεια συνήθως νερού ή αέρα. Οι γεωτρήσεις χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους. Μερικές απ' αυτές τις κατηγορίες παρουσιάζονται παρακάτω (Παπαχαρίσης 2001) :

Ως προς το βάθος:

- Σε αβαθείς (μέγιστο βάθος 500 m)
- Σε βαθιές (μέγιστο βάθος 4000 m)
- Σε υπερβαθείς (βάθος 7000 m).

Ως προς τον σκοπό:

- Σε ερευνητικές, είτε για μεταλλειολογική έρευνα, είτε για γεωτεχνική μελέτη για τον καθορισμό των γεωτεχνικών δεδομένων
- Σε παραγωγικές ή εκμετάλλευσης, φυσικών αερίων ή υγρών καυσίμων

- Σε βοηθητικές, όπως στην περίπτωση τσιμεντενέσεων, αποστραγγίσεων, καταβιβασμού του υδροφόρου ορίζοντα κ.α.

Ως προς τη μέθοδο διάτρησης

- Σε περιστροφικές, όπου η διάτρηση γίνεται με υδραυλική πίεση και περιστροφή της στήλης δειγματοληψίας
- Σε κρουστικές, όπου η προχώρηση γίνεται κρουστικά χωρίς την λήψη καρότων.

Ως προς τη μέθοδο εξαγωγής του υλικού

- Με τη μέθοδο έκπλυσης, δηλαδή με τη διοχέτευση υγρού διάτρησης. Η διοχέτευση αυτή μπορεί να γίνει είτε μέσα από τα κοίλα στελέχη της διατρητικής στήλης υπό πίεση (κανονική έκπλυση), είτε μέσα από τα σωληνωμένα τοιχώματα και επιστροφή μέσα από τα κοίλα στελέχη της στήλης (αντίθετη έκπλυση)
- Με την ξηρή μέθοδο (φραγμός), με διακοπή των υγρών έκπλυσης

5.2.2 Δειγματοληψία

Σκοπός της δειγματοληψίας είναι η απόληψη δειγμάτων (καρότων) για τον προσδιορισμό των εδαφικών στρωμάτων, αλλά και τον καθορισμό των φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στο σχήμα 5.1 δείγματα από την γεώτρηση Ο-1 σε βάθος 5 m. Όσο η παραπάνω διαδικασία είναι πληρέστερη και αντιπροσωπευτικότερη, καθώς και όσο τα δείγματα είναι κατά το δυνατόν αδιατάρακτα, τόσο η επεξεργασία των αποτελεσμάτων θα είναι ακριβέστερη. Η προσπάθεια για την λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων σε όλο το βάθος της γεώτρησης δεν είναι εφικτή για τους παρακάτω λόγους (Παπαχαρίσης 2001):

1. Λόγω της κοκκομετρικής σύνθεσης ή της πυκνότητας του εδάφους.
2. Ακόμα και όταν είναι δυνατή η λήψη αδιατάρακτων δειγμάτων, η δαπάνη είναι αρκετά σημαντική.

Για να θεωρηθεί ένα δείγμα αδιατάρακτο θα πρέπει να ισχύουν οι παρακάτω προϋποθέσεις (Παπαχαρίσης 2001):

- Το γεώτρημα θα πρέπει να έχει καθαριστεί με επιμέλεια.
- Να χρησιμοποιείται κάθε φορά ο κατάλληλος δειγματολήπτης.
- Η καλή συντήρηση αυτού πριν και μετά τη δειγματοληψία.

- Η δειγματοληψία να γίνεται αργά και μόνο με την πίεση του υδραυλικού συστήματος.
- Να μην γίνεται άλλη ενέργεια για την πραγματοποίηση της δειγματοληψίας όπως για παράδειγμα ελαφρά κτυπήματα για την εισχώρηση του δειγματολήπτη σε σκληρό έδαφος.



Σχήμα 5.1: Δείγματα της γεώτρησης O-1

5.3 Διαγραφίες

5.3.1 Εισαγωγή

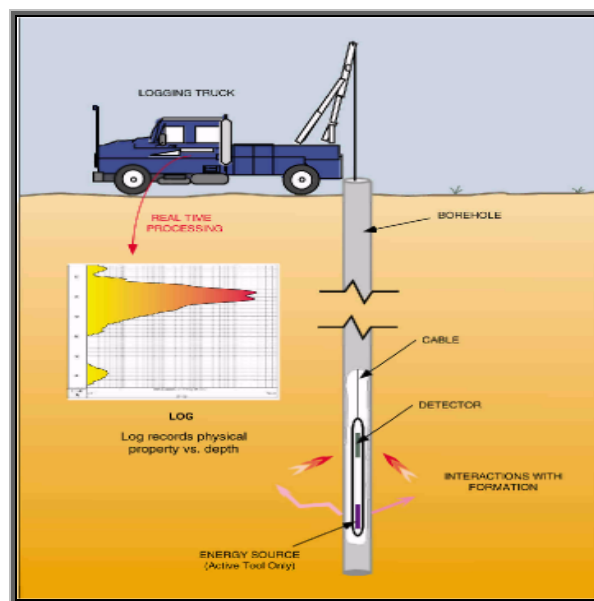
Οι μέθοδοι Γεωφυσικής διασκόπησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην μελέτη της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Σκοπός της γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών που ευνοούν το σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου, μεταλλευμάτων, ορυκτών ανθράκων κ.λ.π. Σε μία γεωφυσική διασκόπηση, οι μετρήσεις των φυσικών ποσοτήτων γίνονται σε ορισμένη απόσταση από τη δομή που πρόκειται να καθοριστεί.

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος των γεωφυσικών μεθόδων στην αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών. Στο γενικό όρο αξιολόγηση σχηματισμών περιλαμβάνονται ο καθορισμός της σύστασης και των φυσικών ιδιοτήτων των σχηματισμών, όπου διενεργούνται οι γεωτρήσεις, καθώς επίσης η εύρεση της φύσης και της ποσότητας των ρευστών που περιέχουν. Για την αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους χρησιμοποιούνται κατάλληλα όργανα τα οποία τοποθετούνται μέσα στη γεώτρηση και απέναντι από τον υπό μελέτη σχηματισμό όπως διακρίνεται στο σχήμα 5.2. Οι μέσα σε

γεωτρήσεις μετρούμενες φυσικές ποσότητες συνήθως παρίστανται σε διαγράμματα συναρτήσεως του βάθους, τα οποία ονομάζονται **διαγραφίες** (Well Logs). Η χρήση των διαγραφιών είναι ευρεία στην έρευνα υδρογονανθράκων ενώ παραμένει περιορισμένη στην έρευνα μεταλλευμάτων.

Οι διαγραφίες οι οποίες χρησιμοποιούνται στην έρευνα κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες (Βαφείδης, 1994) :

1. Ραδιενεργές διαγραφίες
2. Ακουστικές διαγραφίες
3. Ηλεκτρικές διαγραφίες



Σχήμα 5.2: Εξοπλισμός διαγραφιών (Βαφείδης, 1994)

5.3.2 Ραδιενεργές διαγραφίες

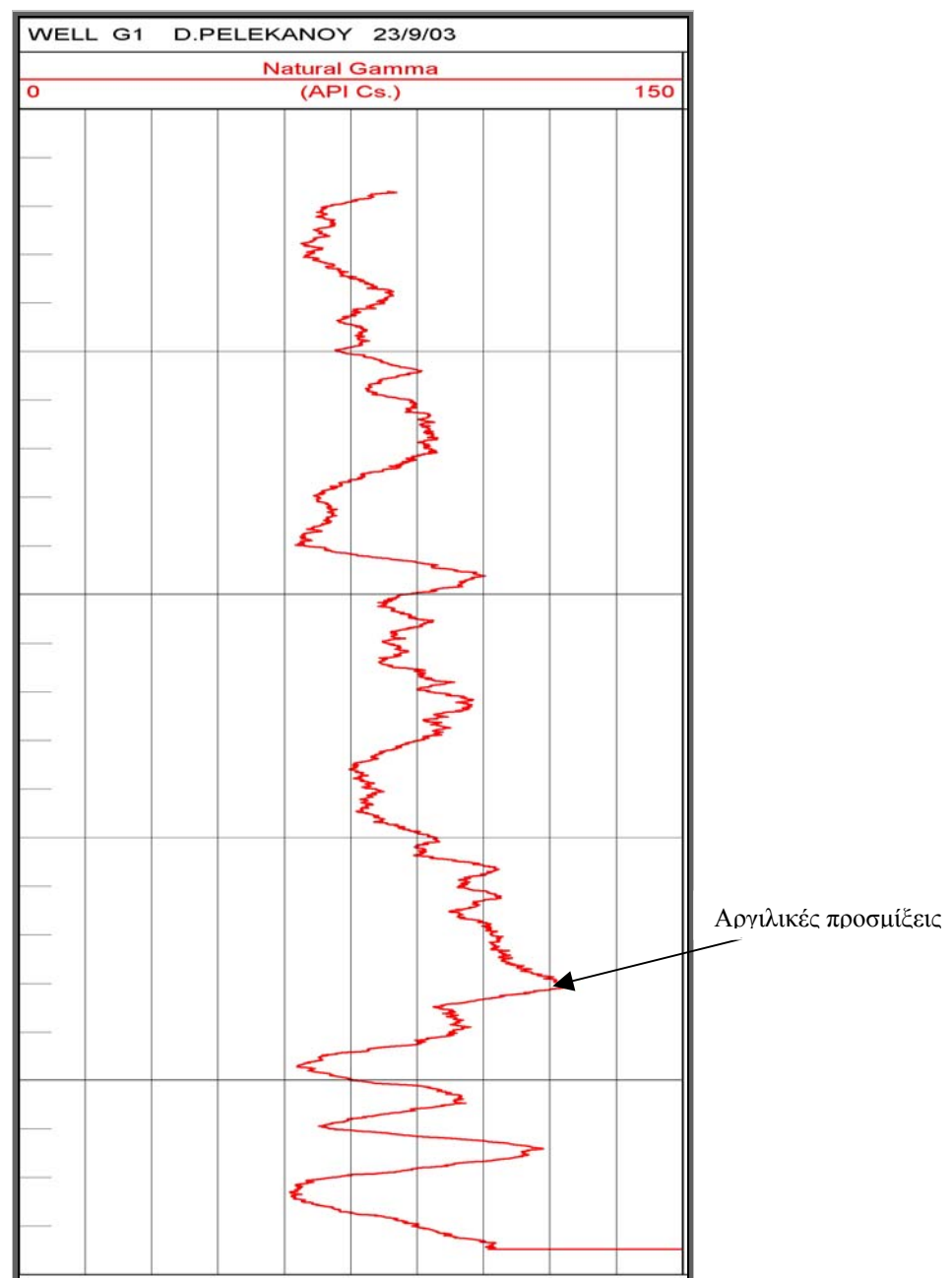
Τα κυριότερα είδη ραδιενεργών διαγραφιών είναι οι διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας (Gamma Ray Log), οι διαγραφίες νετρονίου (Neutron Log) και οι διαγραφίες πυκνότητας (Density Log). Οι μέθοδοι μέτρησης ραδιενέργειας έχουν το πλεονέκτημα να δίνουν αξιόπιστες μετρήσεις σε σωληνωμένες ή μη γεωτρήσεις και ανεξάρτητα από το είδος της γεωτρητικής λάσπης (Βαφείδης, 1994).

5.3.2.1 Διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας

Όλα τα ιζηματογενή πετρώματα περιέχουν μικρές ποσότητες ραδιενεργών στοιχείων. Η ποσότητα των ραδιενεργών στοιχείων ποικίλλει από ορίζοντα σε ορίζοντα. Η διαγραφή ακτινών γάμμα (Gamma Ray Log) και η διαγραφή φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα (Natural

Gamma Ray Spectrometry Log, NGS) αποτελούν τις κυριότερες διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας.

Η διαγραφή ακτινών γάμμα σε ιζηματογενείς σχηματισμούς συνήθως δίνει πληροφορίες σχετικά με την ύπαρξη αργλικών προσμίξεων. Αυτό οφείλεται στο ότι τα ραδιενεργά στοιχεία τείνουν να συγκεντρώνονται στα αργιλικά πετρώματα. Τα αργιλικά ορυκτά εμφανίζουν αυξημένες τιμές φυσικής ραδιενέργειας όπως διακρίνεται στο σχήμα 5.3. Ιζηματογενείς σχηματισμοί χωρίς αργλικές προσμίξεις εμφανίζουν χαμηλές τιμές φυσικής ραδιενέργειας εκτός αν το νερό του σχηματισμού περιέχει ραδιενεργά άλατα.



Σχήμα 5.3: Διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα στην υπό μελέτη περιοχή (ΓΕΩΤΕΚ, 2003.)

Η διαγραφία ακτίνων γάμμα είναι δυνατόν να καταγραφεί και σε σωληνωμένες γεωτρήσεις, γεγονός που την καθιστά πολύ χρήσιμη στο συσχετισμό διαγραφιών. Συχνά χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική της διαγραφίας φυσικού δυναμικού και επίσης αντικαθιστά την διαγραφία φυσικού δυναμικού όταν η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, ή έχει σαν βάση το πετρέλαιο. Η κυριότερη εφαρμογή των διαγραφιών φυσικής ραδιενέργειας είναι ο εντοπισμός στρωμάτων αργιλικών σχιστόλιθων και στρωμάτων που περιέχουν αργιλικές προσμίξεις. Με αυτόν τον τρόπο διαχωρίζονται οι περατοί από τους μη περατούς σχηματισμούς (οι αργιτικοί σχηματισμοί είναι μη περατοί). Η μονάδα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας η οποία χρησιμοποιείται στις διαγραφίες ακτίνων γάμμα είναι το API. Η μέτρηση της φυσικής ραδιενέργειας σε API εκφράζεται συναρτήσει της περιεκτικότητας σε κάλλιο (K %), ουράνιο (U σε ppm) και θόριο (Th σε ppm) ως εξής (Βαφειδής, 1994):

$$GR_{API} = \alpha U_{\text{ppm}}^{238} + \beta Th_{\text{ppm}}^{232} + \gamma K_{\%}^{40} \quad (5.1)$$

όπου α , β , γ είναι σταθερές της συσκευής.

5.3.2.2 Υπολογισμός αργιλικών προσμίξεων

Ο υπολογισμός της περιεκτικότητας σε αργιλικές προσμίξεις προκύπτει από τη συνεχή κατά βάθος μέτρηση της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα των διατρηθέντων υλικών στη γεώτρηση και ορίζεται ως:

$$V_{SH} = \frac{GR_{\log} - GR_{\min}}{GR_{\max} - GR_{\min}} \quad (5.2)$$

όπου $GR_{\max}$ και $GR_{\min}$ είναι οι τιμές της φυσικής ραδιενέργειας στους αργιλικούς σχιστόλιθους και σε σχηματισμό που δεν περιέχει αργιλικές προσμίξεις αντίστοιχα, ενώ $GR_{\log}$ είναι η μετρούμενη τιμή από την διαγραφία ακτίνων γάμμα του υπό μελέτη σχηματισμού.

Οι τιμές της φυσικής ραδιενέργειας στις διαγραφίες ακτίνων γάμμα αντιστοιχούν στο μέσο όρο μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε χρονικό διάστημα π.χ. 1 sec. Η διαγραφία ακτίνων γάμμα επηρεάζεται από την ταχύτητα με την οποία κινείται η συσκευή. Μια τυπική ταχύτητα είναι 1800 ft/hour. Μεγαλύτερη ταχύτητα χρησιμοποιείται όταν οι διαγραφίες ακτίνων γάμμα πραγματοποιούνται για συσχετισμό.

Η διακριτική ικανότητα των διαγραφιών ακτίνων γάμμα εξαρτάται κυρίως από τις διαστάσεις του απαριθμητή και λιγότερο από την πυκνότητα του σχηματισμού, τη διάμετρο του φρεατίου, την ενέργεια των ακτίνων γάμμα και το πάχος των στρωμάτων.

5.3.3 Ακουστικές διαγραφίες

Η ακουστική διαγραφή είναι η καταγραφή του χρόνου διαδρομής Δt , (Interval ή Transit time) τον οποίο χρειάζεται το κύμα για να διανύσει 1ft (ή 1m) του σχηματισμού, συναρτήσει του βάθους. Ο χρόνος διαδρομής, Δt , είναι αντιστρόφως ανάλογος της ταχύτητας διάδοσης των κυμάτων και εξαρτάται από το πορώδες και τη λιθολογία του σχηματισμού. Από τους χρόνους διαδρομής των κυμάτων τα οποία διαδίδονται μέσα στον υπό εξέταση σχηματισμό υπολογίζεται και η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων. Η εξάρτηση του Δt από το πορώδες καθιστά τις ακουστικές διαγραφίες πολύ χρήσιμες στην εκτίμηση του πορώδους όταν είναι γνωστή η λιθολογία. Στις ακουστικές διαγραφίες, εκτός από το χρόνο διαδρομής Δt , καταγράφεται και ο συνολικός χρόνος διαδρομής του ακουστικού κύματος (Integrated transit time) ο οποίος ισούται με το άθροισμα των χρόνων διαδρομής ΔT που αναφέρονται στον ίδιο σχηματισμό. Ο συνολικός χρόνος διαδρομής χρησιμοποιείται στην επεξεργασία και την ερμηνεία των σεισμικών καταγραφών ανάκλασης.

Εκτός από την λιθολογία και το πορώδες των σχηματισμών οι ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται στην διόρθωση της σεισμικής ταχύτητας, στην αναγνώριση των ανακλάσεων, στην εκτίμηση της διαπερατότητας σε σκληρά πετρώματα, καθώς και στον προσδιορισμό της αντοχής και των μέτρων ελαστικότητας των πετρωμάτων.

Βασικές αρχές

Η διάδοση των ακουστικών κυμάτων μέσα σε φρεάτια είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες του υπό μελέτη σχηματισμού, τη γεωτρητική λάσπη αλλά και την ίδια τη συσκευή ακουστικών διαγραφιών.

Το ακουστικό κύμα παράγεται από την πηγή, διαδίδεται μέσα στη γεωτρητική λάσπη και προσπίπτει στο τοίχωμα του φρεατίου όπου εμφανίζονται φαινόμενα ανάκλασης και διάθλασης. Μέσα στην γεωτρητική λάσπη διαδίδονται τα απευθείας κύματα και τα κύματα Stoneley, ενώ στον σχηματισμό διαδίδονται διαμήκη (P) και εγκάρσια (S) σεισμικά κύματα. Ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα μετωπικά κύματα τα οποία διαδίδονται στο τμήμα του σχηματισμού το οποίο βρίσκεται κοντά στο φρεάτιο (σχήμα 5.4).

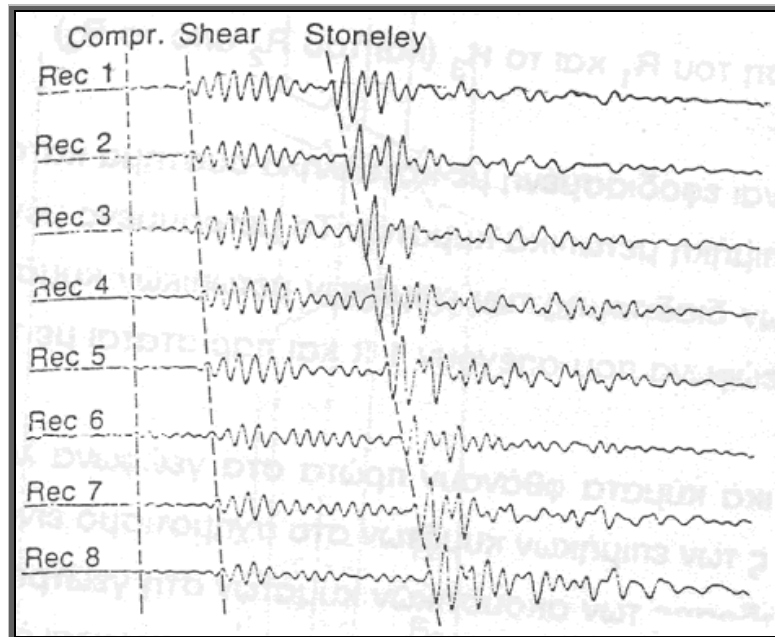
Επίσης κοντά στο φρέαρ εμφανίζονται φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης και μετατροπής από P σε S κύματα (ή S σε P) τα οποία οφείλονται στην ύπαρξη ασυνεχειών

όπως οι διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ των στρωμάτων, το τοίχωμα του φρεατίου, ασυνέχειες που δημιούργησαν οι γεωτρητικές εργασίες κ.ά. Έτσι στα γεώφωνα φθάνει ένας μεγάλος αριθμός κυμάτων, τα πιο συνήθη κύματα παρουσιάζονται στο σχήμα 5.4. Οι καταγραφές του σχήματος πραγματοποιήθηκαν με μία διάταξη 8 γεωφώνων σε αποστάσεις 8" έως 11 1/2". Εύκολα διακρίνονται τα διαμήκη (compressional), τα εγκάρσια (Shear) και τα Stoneley κύματα.

Τα "διαμήκη κύματα" (πρώτες αφίξεις) ξεκινούν από την πηγή, διαδίδονται σαν ακουστικά κύματα μέσα στη γεωτρητική λάσπη, σαν μετωπικά διαμήκη κύματα μέσα στο σχηματισμό κατά μήκος του τοιχώματος της γεώτρησης, και επιστρέφουν στο φρεάτιο όπου βρίσκονται τα γεώφωνα. Χαρακτηριστικό αυτών των κυμάτων είναι τα μικρά σχετικά πλάτη.

Τα "εγκάρσια κύματα" ξεκινούν από την πηγή διαδίδονται σαν ακουστικά κύματα μέσα στη γεωτρητική λάσπη σαν μετωπικά εγκάρσια κύματα μέσα στο σχηματισμό και επιστρέφουν στο φρεάτιο (στα γεώφωνα). Τα εγκάρσια κύματα εμφανίζουν μεγαλύτερο πλάτος.

Στο σχήμα 5.4 δεν εμφανίζονται τα απευθείας κύματα τα οποία διαδίδονται εξ' ολοκλήρου μέσα στην γεωτρητική λάσπη. Τα κύματα Stoneley είναι κύματα συμβολής πολλαπλά ανακλώμενων κυμάτων. Οι ανακλάσεις εμφανίζονται στο τοίχωμα του φρεατίου και στη συσκευή ακουστικών διαγραφιών. Τα κύματα Stoneley εμφανίζουν μεγάλα πλάτη ταλάντωσης και ταχύτητα διάδοσης μικρότερη της ταχύτητας των διαμηκών κυμάτων στη γεωτρητική λάσπη. Η ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων Stoneley εξαρτάται από την συχνότητα, τη διάμετρο του φρεατίου, την ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων στον σχηματισμό, τις πυκνότητες του σχηματισμού και της γεωτρητικής λάσπης και την ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων στη γεωτρητική λάσπη (Βαφείδης, 1994).



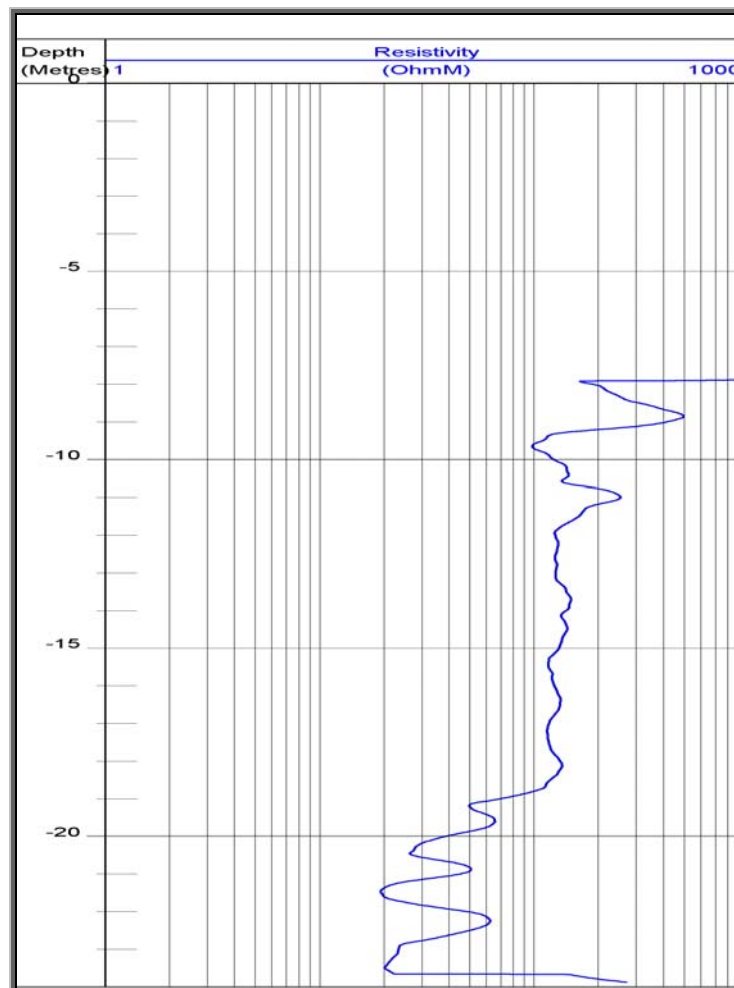
Σχήμα 5.4: Παράδειγμα μορφής κυμάτων από 8 σταθμούς (Βαφείδης, 1994)

5.3.4 Ηλεκτρικές διαγραφίες

Η πρώτη ηλεκτρική διαγραφή πραγματοποιήθηκε το 1927 σε κοίτασμα πετρελαίου στη βορειοανατολική Γαλλία. Το 1931 πραγματοποιούνται μετρήσεις του φυσικού δυναμικού (διαγραφίες φυσικού δυναμικού) παράλληλα με τις μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο σχήμα 5.5 διακρίνεται τυπική ηλεκτρική διαγραφή εστίασης η οποία μέτρα την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των σχηματισμών που διατρήθηκαν. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί τρεις μέθοδοι για την μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού:

1. Κλασσικές ηλεκτρικές διαγραφίες
2. Διαγραφίες εστίασης
3. Διαγραφίες επαγωγής

Οι ηλεκτρικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται κυρίως στον εντοπισμό κοιτασμάτων πετρελαίου και την αναγνώριση υδροφόρων οριζόντων. Βρίσκουν όμως και αλλού εφαρμογές ειδικότερα στον στρωματογραφικό συσχετισμό των γεωτρήσεων, στην αναγνώριση διακλάσεων και διαπερατών ζωνών και στον προσδιορισμό του πάχους και των ορίων των στρωμάτων.



Σχήμα 5.5: Ηλεκτρική διαγραφή εστίασης στην υπό μελέτη περιοχή (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)

5.3.4.1 Αρχές ηλεκτρικών διαγραφιών

Για την κατανόηση, από τον αναγνώστη, του τρόπου πραγματοποίησης των ηλεκτρικών διαγραφιών στη παράγραφο αυτή, γίνεται αναφορά στην αρχή λειτουργίας των κλασσικών διαγραφιών. Ηλεκτρικό ρεύμα διαβιβάζεται στον σχηματισμό με δυο ηλεκτρόδια ρεύματος και μετριέται η διάφορα δυναμικού που δημιουργεί το ρεύμα με δυο ηλεκτρόδια δυναμικού. Από τις μετρήσεις της διαφοράς δυναμικού υπολογίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Σε ομογενείς σχηματισμούς μεγάλου πάχους οι ισοδυναμίες επιφάνειες γύρω από το ηλεκτρόδιο ρεύματος (A) είναι σφαιρικές. Η διάφορα δυναμικού μεταξύ ενός ηλεκτρόδιου (M) το οποίο τοποθετείται σε μια από τις σφαιρικές ισοδυναμικές επιφάνειες και ενός άλλου ηλεκτρόδιου το οποίο βρίσκεται σε πολύ μεγάλη απόσταση από το ηλεκτρόδιο ρεύματος είναι ανάλογη της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του ομογενούς σχηματισμού (Βαφείδης, 1994).

Ενδελεχής αναφορά της αρχής λειτουργίας των ηλεκτρικών διαγραφιών (διαγραφίες

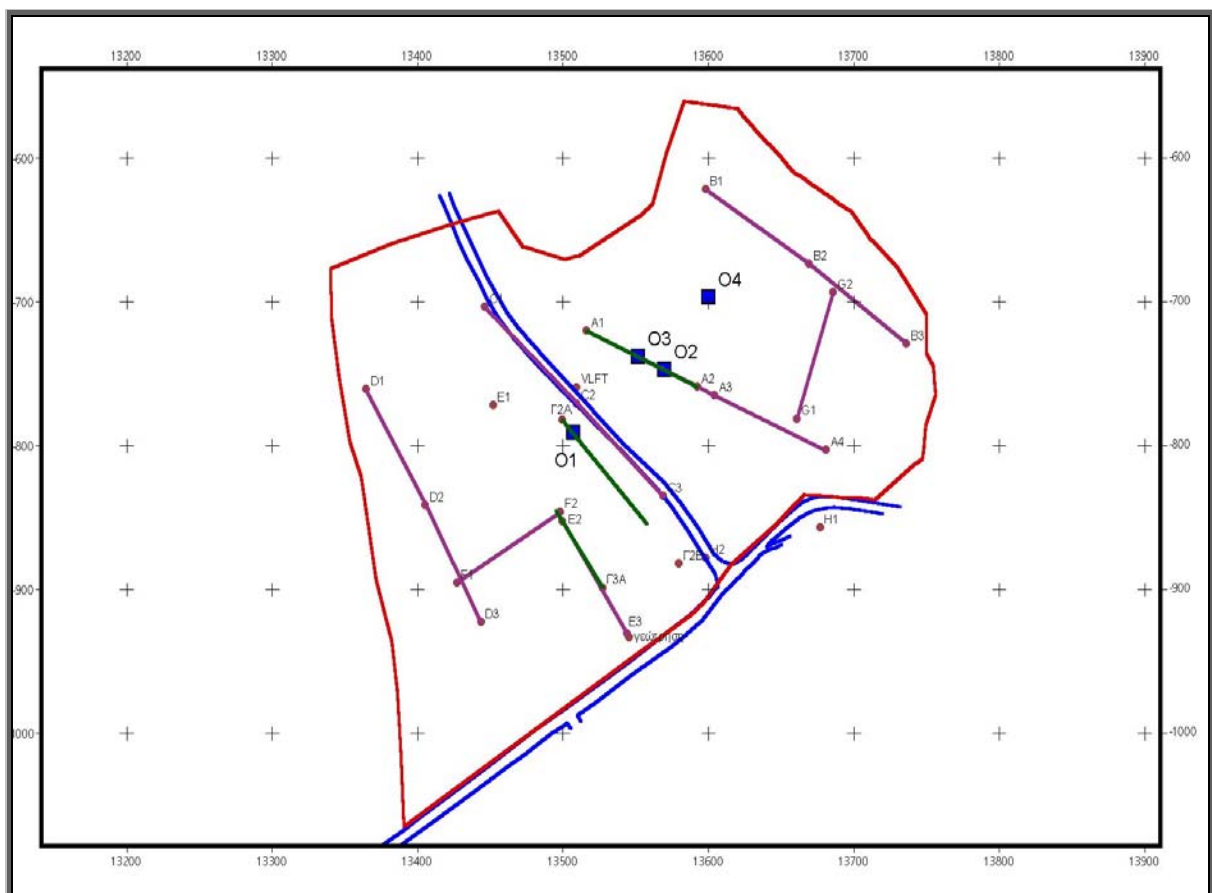
εστίασης και επαγωγής) γίνεται στο σύγγραμμα ‘ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ’ (Βαφείδης, 1994).

5.4 Περιγραφή εκτέλεσης των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και των διαγραφιών

Στην ευρύτερη περιοχή της λιμνοδεξαμενής Κουντούρας σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν 4 γεωτρήσεις βάθους 30 m η κάθε μια. Η πρώτη (O-1) και η δεύτερη γεώτρηση (O-2) είναι δειγματοληπτικές, ενώ η τρίτη (O-3) και η τέταρτη (O-4) είναι ερευνητικές. Λόγω προβλημάτων δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαγραφίων εντός των γεωτρήσεων O-2 και O-3.

5.4.1 Θέσεις των γεωτρήσεων

Οι θέσεις των γεωτρήσεων φαίνονται στο σχήμα 5.6. Οι συντεταγμένες της περιοχής μελέτης αντιστοιχούν στο Γεωδαιτικό Σύστημα Hatt με προβολικό σύστημα την Εγκάρσια Μερκατορική.



Σχήμα 5.6: Θέσεις των γεωτρήσεων

5.4.2 Εξοπλισμός γεωτρήσεων

Η όρυξη των γεωτρήσεων (O-1, O-2, O-3 και O-4) πραγματοποιήθηκε από γεωτρύπανο τύπου LONGYEAR-34 (σχήμα 5.7). Υπεύθυνος για την όρυξη των γεωτρήσεων ήταν ο μηχανικός Δ. Διαμαντάκης.



Σχήμα 5.7: Γεωτρύπανο τύπου LONGYEAR-34

5.4.3 Εξοπλισμός διαγραφιών

Οι διαγραφίες που πραγματοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις O-1 και O-4 είναι ακουστικές, φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και διαγραφίες εστιασμένης ηλεκτρικής αντίστασης. Υπεύθυνη για της μετρήσεις διαγραφιών ήταν η εταιρία ΓΕΩΤΕΚ Ε.Π.Ε.

Κατά την πραγματοποίηση των διαγραφιών ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε από την εν λόγω εταιρία είναι:

1. Φωρατής της Φυσικής Ακτινοβολίας Γάμμα για τον υπολογισμό της αργιλότητας των διατρηθέντων γεωλογικών σχηματισμών
2. Φωρατής εστιασμένης ηλεκτρικής αντίστασης που χρησιμοποιήθηκε στη μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των διατρηθέντων γεωλογικών σχηματισμών.
3. Φωρατής πλήρους ηχητικής κυματομορφής που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις των ταχυτήτων των κυμάτων (διαμήκη, εγκάρσια).

4. Συρματόσχοινο που συγκρατεί και μετακινεί τον εκάστοτε φωρατή μέσα στην γεώτρηση.
5. Καλώδιο (μέσα στο συρματόσχοινο) που συνδέεται με τον φωρατή για την μεταφορά του σήματος.
6. Βαρούλκο για την συγκράτηση και μετακίνηση του παραπάνω εξοπλισμού μέσα στην γεώτρηση.
7. Μικροεπεξεργαστής που συνδέεται με το βαρούλκο και καταγράφει το σήμα.

5.4.4 Διεξαγωγή των μετρήσεων διαγραφίας

Κατά την εκτέλεση των διαγραφιών ακολουθείται η εξής διαδικασία :

- Πραγματοποιείται πλήρωση της γεώτρησης με το γεωτρητικό ρευστό, στην προκείμενη περίπτωση με ‘αφρό’.
- Ο φωρατής εισέρχεται στην γεώτρηση μέχρι το βάθος που έχει προκαθοριστεί.
- Άνοδος του φωρατή στη γεώτρηση καταγράφοντας και στέλνοντας παράλληλα το σήμα στον επεξεργαστή.

5.5 Επεξεργασία δεδομένων δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και διαγραφιών

Η επεξεργασία των δεδομένων από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε από τον μεταλλειολόγο μηχανικό Δ. Διαμαντάκη και τον γεωλόγο Σ. Λαμπαθάκη, ενώ η επεξεργασία των διαγραφιών από την εταιρία ΓΕΩΤΕΚ Ε.Π.Ε. Ωστόσο για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μεθόδους σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας, χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα των δειγματοληπτικών γεωτρήσεων και των διαγραφιών.

Στα σχήματα 5.8 και 5.9 παρουσιάζεται φωτογραφικό υλικό από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις O-1 και O-2 αντίστοιχα, όπου διακρίνεται η μάργα που διατρήθηκε. Επιπλέον στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται ενδεικτικά, η τομή της γεώτρησης O-1 (Διαμαντάκης) (σχήμα 5.10), καθώς και τα αποτελέσματα των διαγραφιών φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην γεώτρηση O-4 (ΓΕΩΤΕΚ Ε.Π.Ε) (σχήμα 5.11). Τα αποτελέσματα των υπόλοιπων γεωτρήσεων και η ερμηνεία αυτών (δειγματοληπτικές γεωτρήσεις και διαγραφίες) παρουσιάζονται στο ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.



Σχήμα 5.8 : Δείγματα της διατρηθείσας μάργας σε βάθος 12-19 m, στην γεώτρηση O-1



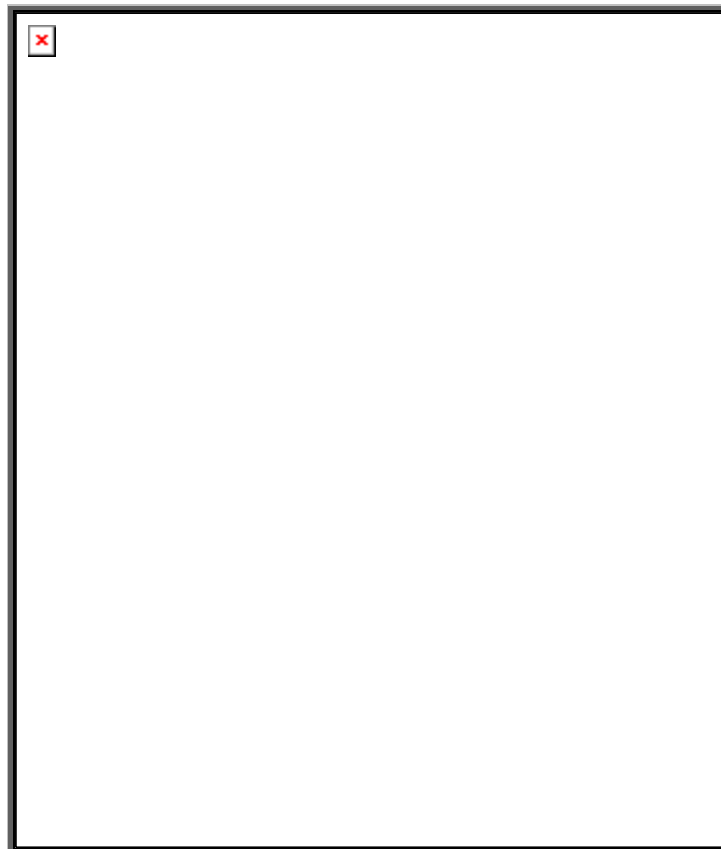
Σχήμα 5.9 : α) Δείγματα της διατρηθείσας μάργας σε βάθος 5-10,70 m, στην γεώτρηση O-2



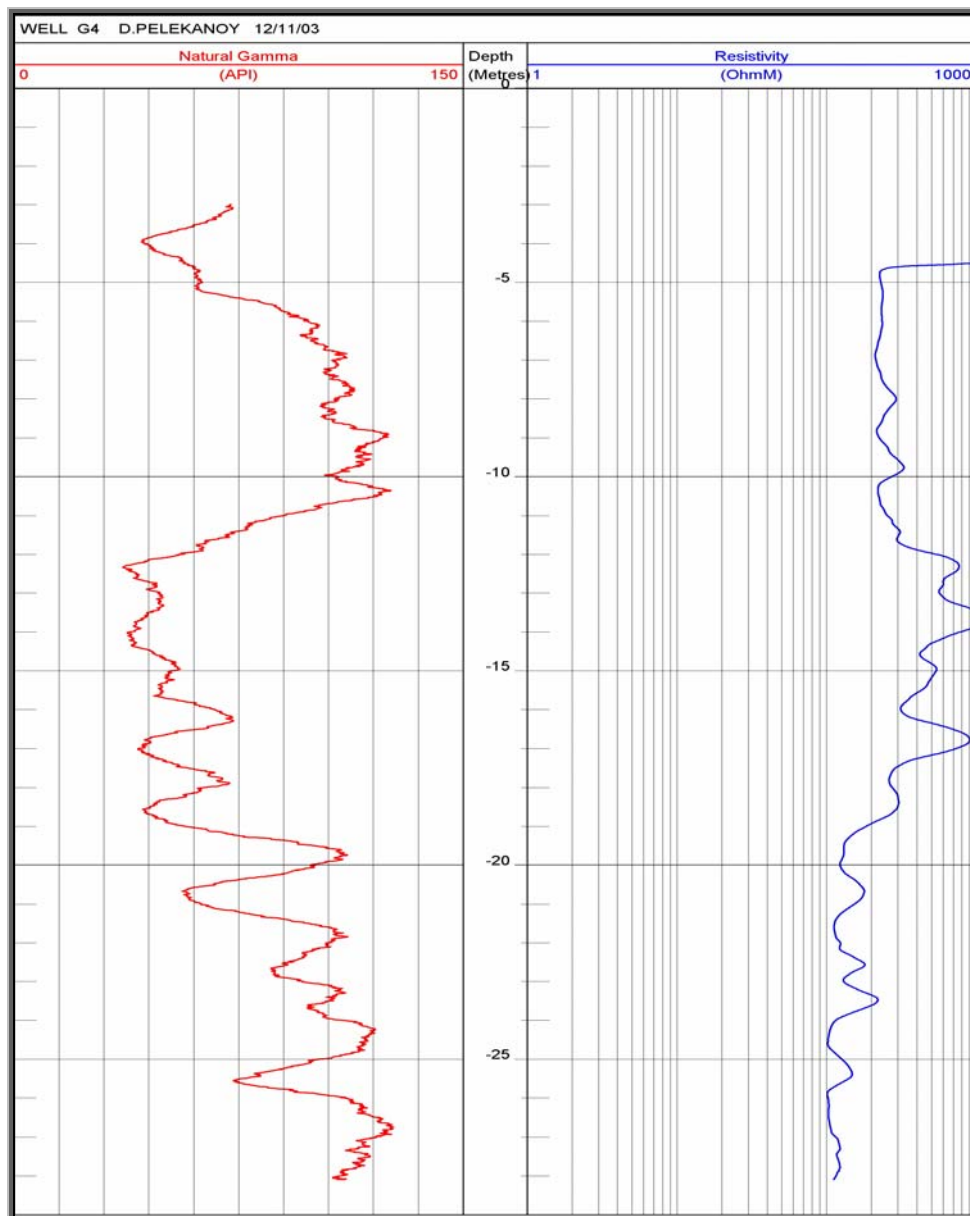
Σχήμα 5.9 : β) Δείγματα της διατρηθείσας γκρίζας μάργας σε βάθος 10,70-16,55 m, στην γεώτρηση O-2



Σχήμα 5.9 : γ) Δείγματα της διατρηθείσας γκρίζας μάργας σε βάθος 16,55-22,10 m, στην γεώτρηση O-2



Σχήμα 5.10 : Τομή της πρώτης γεώτρησης (O-1), (Διαμαντάκης, 2003)



Σχήμα 5.11: Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην τέταρτη γεώτρηση (O-4), (ΓΕΩΤΕΚ, 2003)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ερμηνεία γεωφυσικών δεδομένων και σύγκριση των με γεωτρήσεις και διαγραφίες

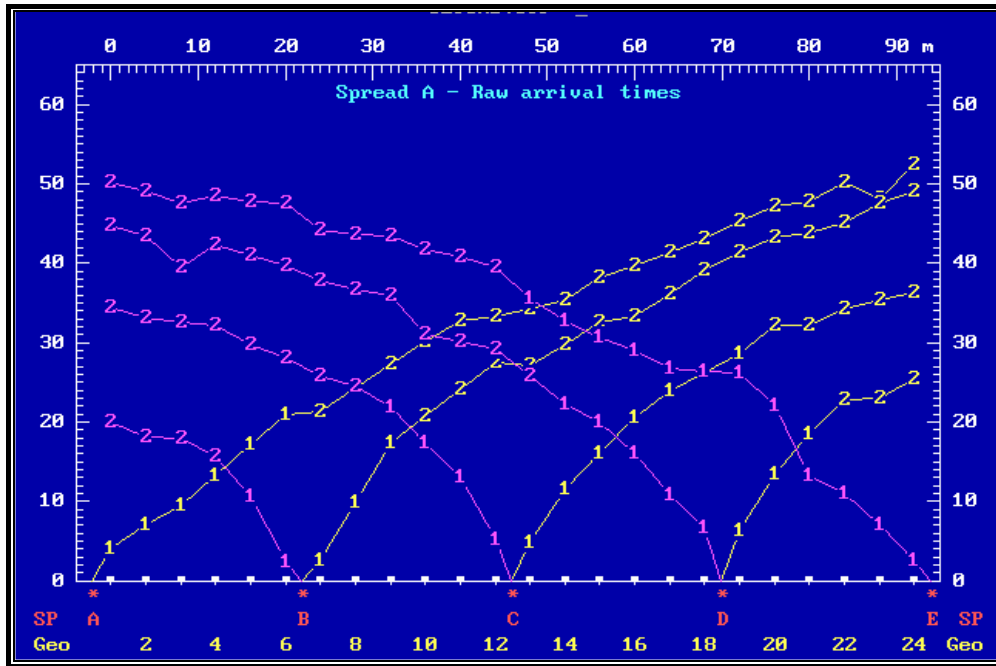
6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται και αξιολογούνται τα αποτελέσματα της γεωφυσικής έρευνας (εκτέλεση ηλεκτρικών τομογραφιών και σεισμικής διάθλασης), καθώς και των δειγματοληπτικών και ερευνητικών γεωτρήσεων. Στόχος της έρευνας είναι η χαρτογράφηση της γεωλογικής δομής μέχρι βάθους 30 m, για τον εντοπισμό τυχόν ρηγμάτων και έγκοιλων στην ευρύτερη περιοχή της Κουντούρας του δήμου Πελεκάνου, όπου πρόκειται να εδραστεί λιμνοδεξαμενή.

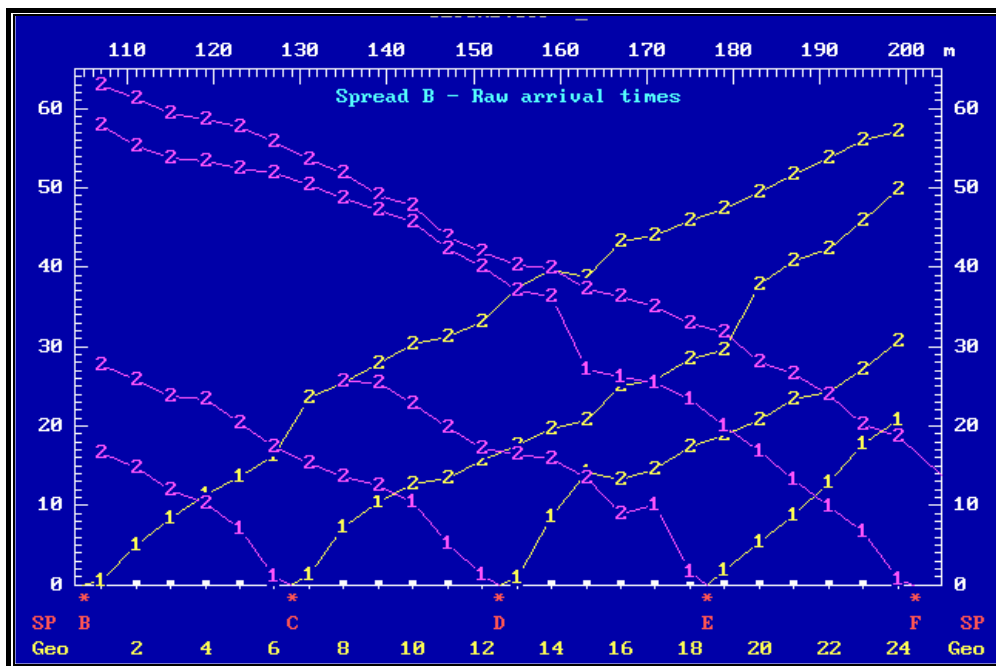
6.2 Ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων.

6.2.1 Σεισμική γραμμή 1

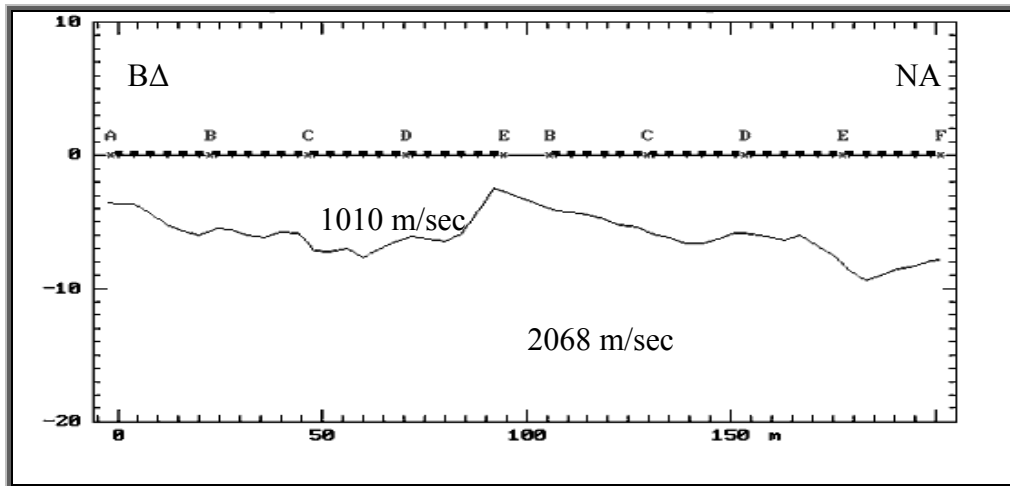
Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 1 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) γεωφώνων μήκους 92 m το κάθε ένα, ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών αναπτυγμάτων είναι 15 m. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία. Στο σχήμα 6.1 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα δυο αναπτυγμάτων, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής. Τα μοντέλα βάθους για κάθε ανάπτυγμα (spread) παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



Σχήμα 6.1: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



Σχήμα 6.1: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



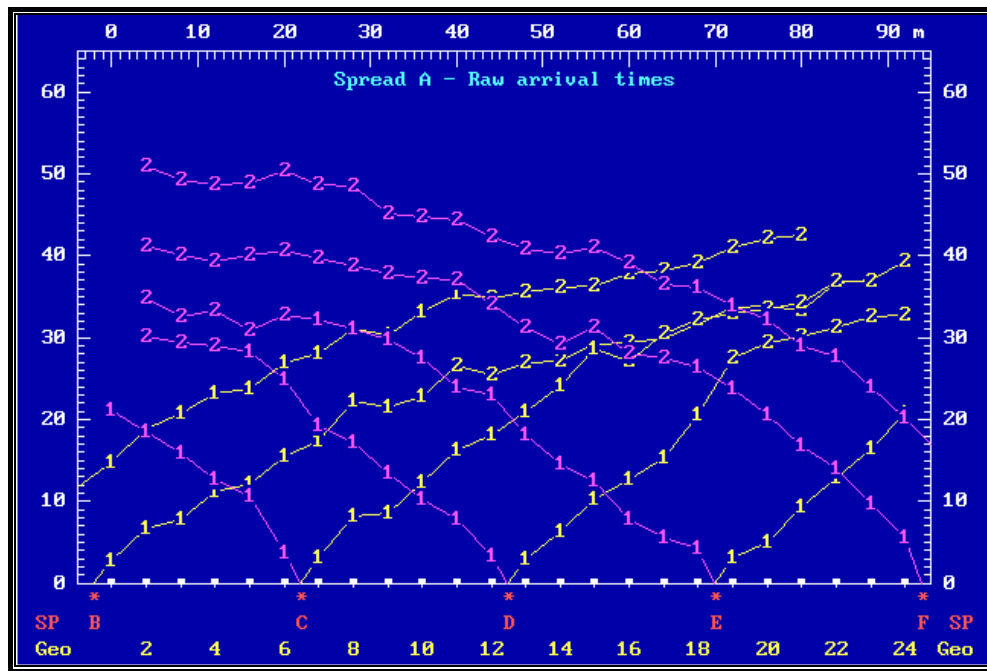
Σχήμα 6.1: γ) Μοντέλο βάθους της πρώτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 1010 m/sec και 2068 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.1γ).

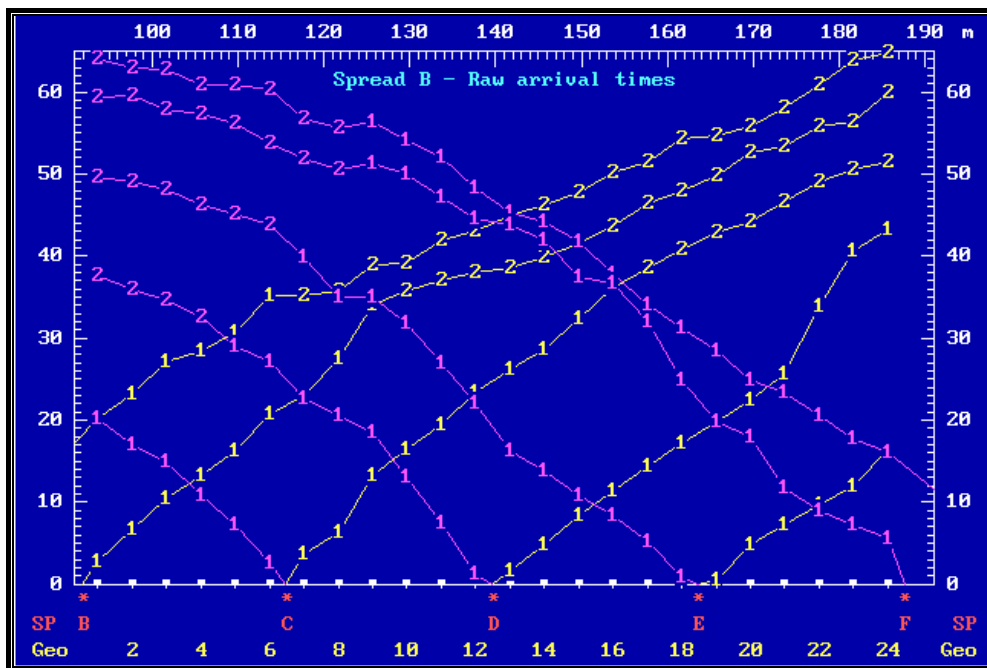
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.1γ το πάχος του πρώτου στρώματος κυμαίνεται από 4 m έως 9 m κατά μήκος της γραμμής μελέτης 1 από BΔ προς ΝΑ. Το μέσο πάχος του πρώτου στρώματος είναι 6 m.

6.2.2 Σεισμική γραμμή 2

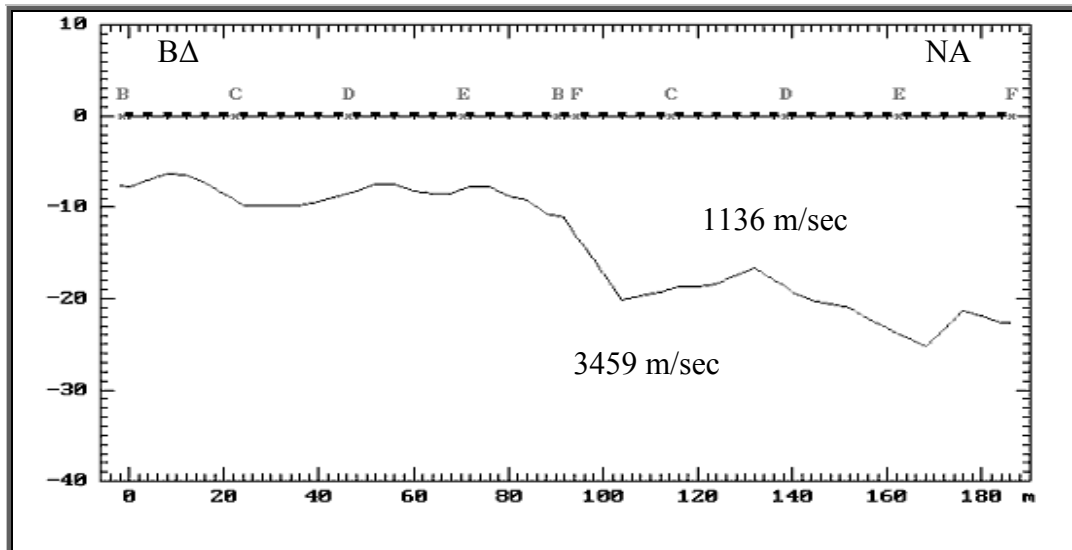
Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 2 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) γεωφώνων μήκους 92 m το κάθε ένα, ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών αναπτυγμάτων είναι 2 m. Στο σχήμα 6.2 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα δυο αναπτυγμάτων, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής. Τα μοντέλα βάθους για κάθε ανάπτυγμα (spread) παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



Σχήμα 6.2: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



Σχήμα 6.2: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



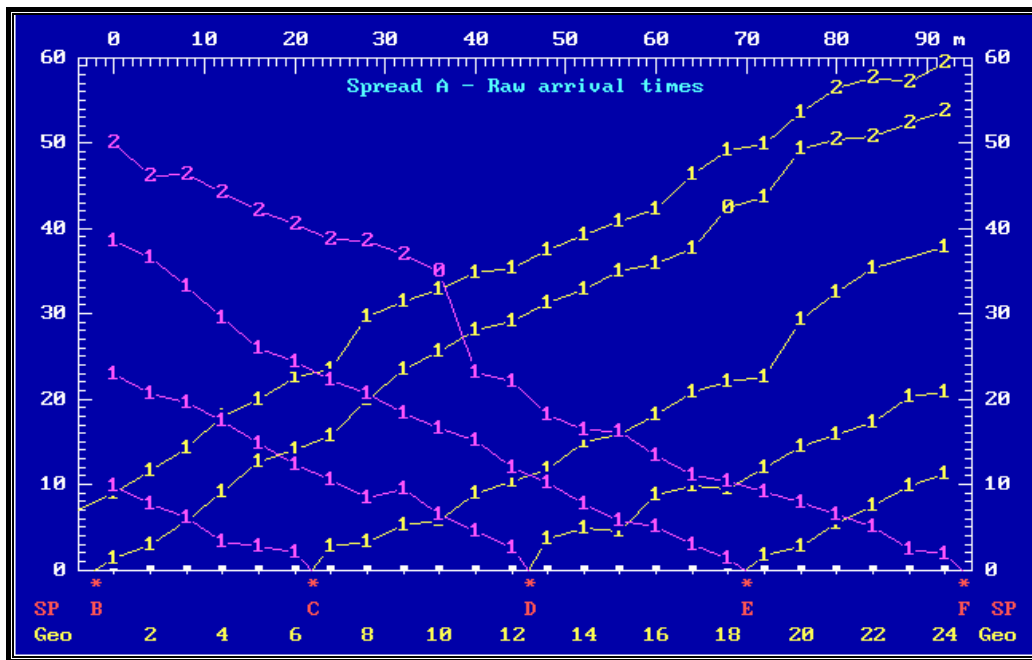
Σχήμα 6.2: γ) Μοντέλο βάθους της δεύτερης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 1136 m/sec και 3459 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.2β).

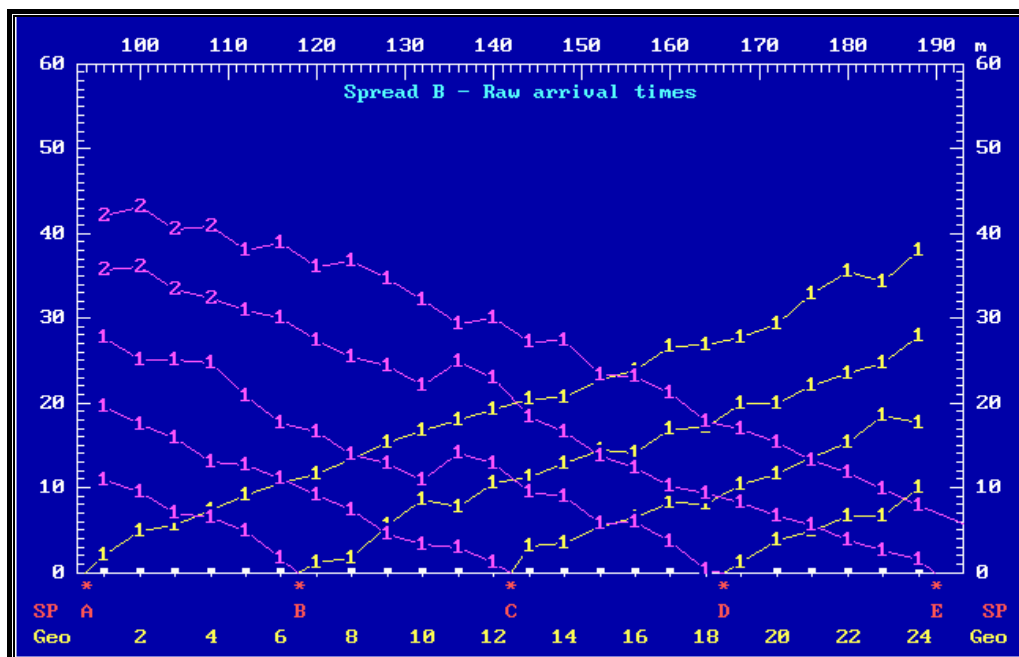
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.2β παρατηρείται μια τάση αύξησης του πάχους του πρώτου στρώματος κατά μήκος της γραμμής μελέτης από ΒΔ προς ΝΑ. Εκτείνεται σε βάθη 10 m έως 22 m περίπου.

6.2.3 Σεισμική γραμμή 3

Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 3 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και βρίσκεται στο δυτικό άκρο του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) γεωφώνων μήκους 92 m το κάθε ένα, ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών αναπτυγμάτων είναι 4 m. Στο σχήμα 6.3 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα δυο αναπτυγμάτων, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής. Τα μοντέλα βάθους για κάθε ανάπτυγμα (spread) παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



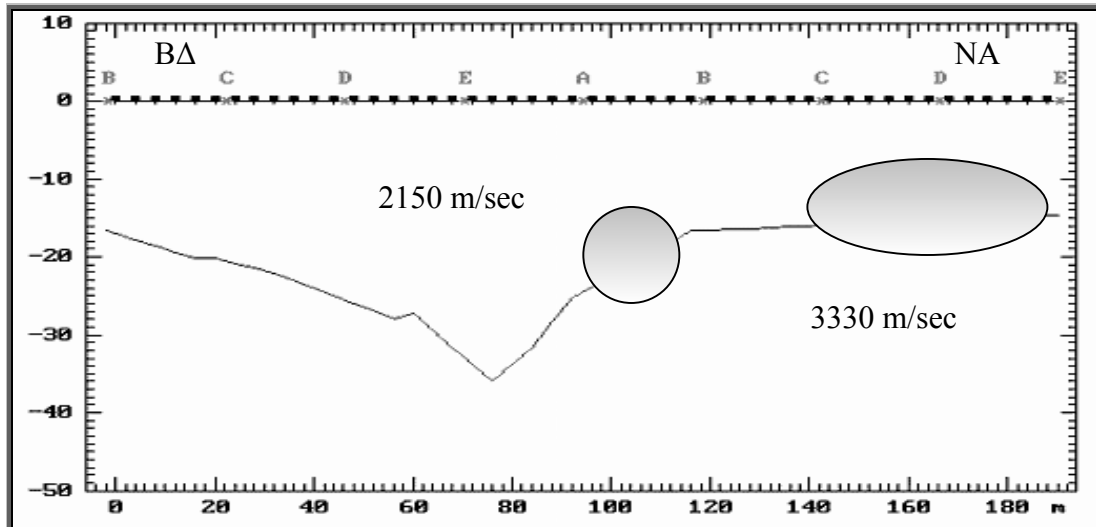
Σχήμα 6.3: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



Σχήμα 6.3: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)

Παρατηρείται στα δρομοχρονικά διαγράμματα της τρίτης σεισμικής γραμμής (σχήμα 6.3β), ότι δεν εντοπίζεται μεγάλος αριθμός μετωπικών κυμάτων (συμβολίζονται με 2) που να αντιστοιχούν στο δεύτερο εδαφικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην

καθορίζεται με ακρίβεια, από το λογισμικό πακέτο SIPT2 της EG&G Geometrics ©, η διεπιφάνεια των στρωμάτων (1° και 2°) του σεισμικού μοντέλου (σχήμα 6.3γ, γραμμοσκιασμένες περιοχές).



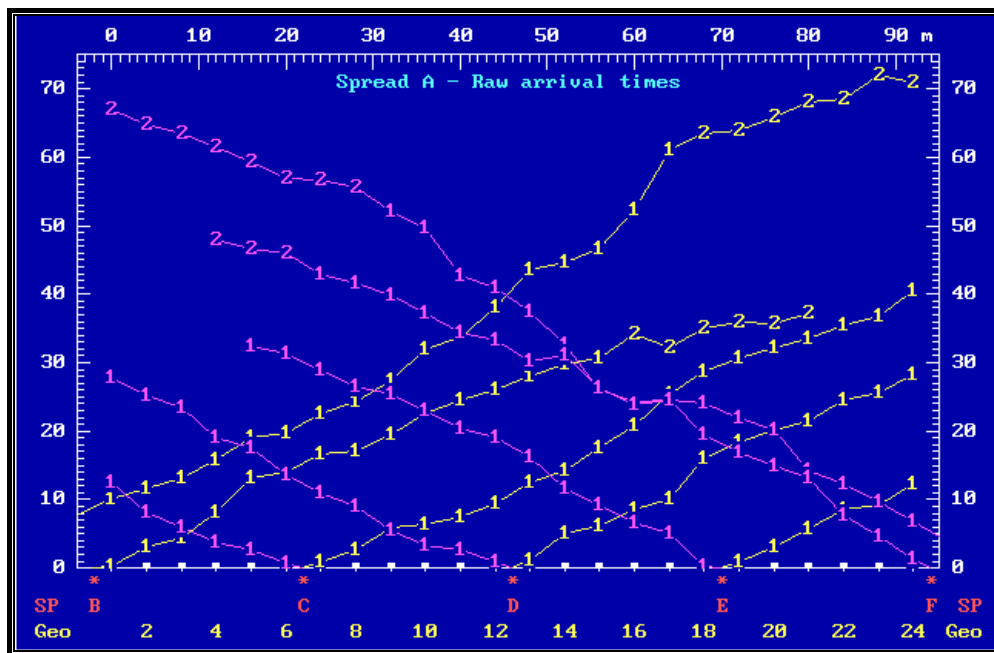
Σχήμα 6.3: γ) Μοντέλο βάθους της τρίτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 2150 m/sec και 3330 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.3γ).

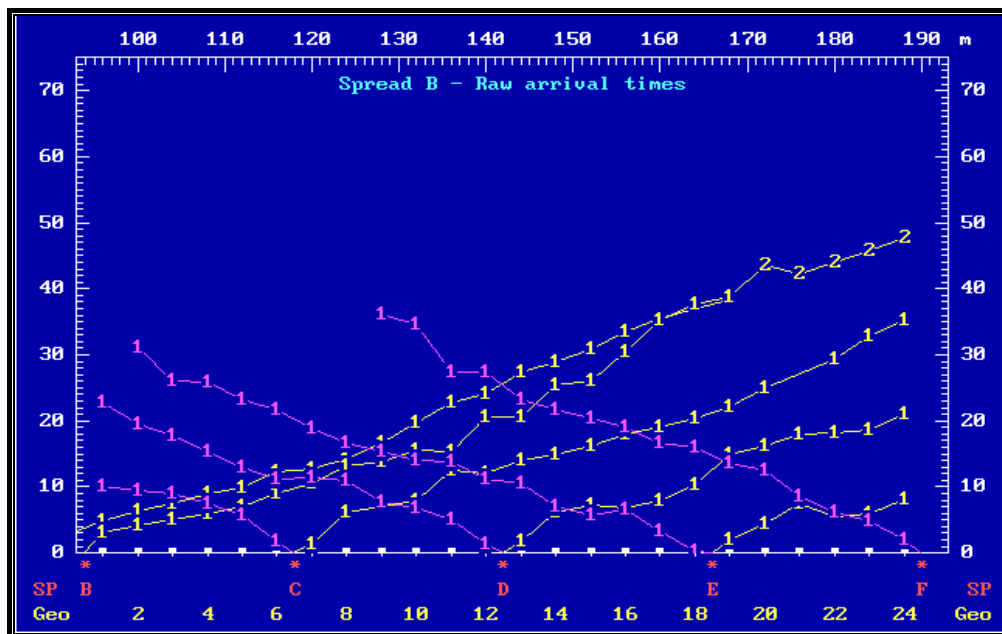
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.3γ παρατηρείται περίπου στο κέντρο της γραμμής μελέτης (80 m) ένα ύβωμα. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται σε βάθη 15 m έως 35 m περίπου. Σημειώνεται ότι οι γραμμοσκιασμένες περιοχές του σχήματος υποδηλώνουν αβεβαιότητα ως προς το βάθος της διεπιφάνειας, λόγω έλλειψης δεδομένων και για αυτό το λόγο η διεπιφάνεια καθορίστηκε από το πρόγραμμα με προέκταση της γραμμής.

6.2.4 Σεισμική γραμμή 4

Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 4 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και βρίσκεται δυτικά του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι. Αποτελείται από δύο αναπτύγματα (spreads) γεωφώνων μήκους 92 m το κάθε ένα, ενώ η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών αναπτυγμάτων είναι 4 m. Στο σχήμα 6.4 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα δυο αναπτυγμάτων, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής. Τα μοντέλα βάθους για κάθε ανάπτυγμα (spread) παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.



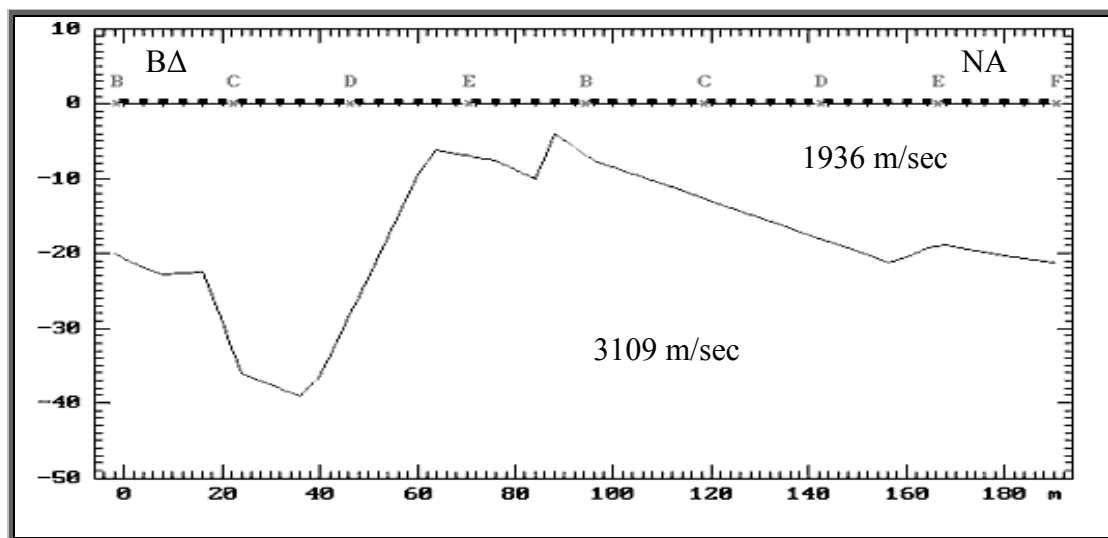
Σχήμα 6.4: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα του πρώτου αναπτύγματος της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



Σχήμα 6.4: β) Δρομοχρονικά διαγράμματα του δεύτερου αναπτύγματος της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)

Παρατηρείται στα δρομοχρονικά διαγράμματα της τέταρτης σεισμικής γραμμής (σχήμα 6.4β), ότι δεν εντοπίζεται μεγάλος αριθμός μετωπικών κυμάτων (συμβολίζονται με 2) που να αντιστοιχούν στο δεύτερο εδαφικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην

καθορίζεται με ακρίβεια, από το λογισμικό πακέτο SIPT2 της EG&G Geometrics ©, η διεπιφάνεια των στρωμάτων (1° και 2°) του σεισμικού μοντέλου (σχήμα 6.4γ)



Σχήμα 6.4: γ) Μοντέλο βάθους της τέταρτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 1936 m/sec και 3109 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.4γ).

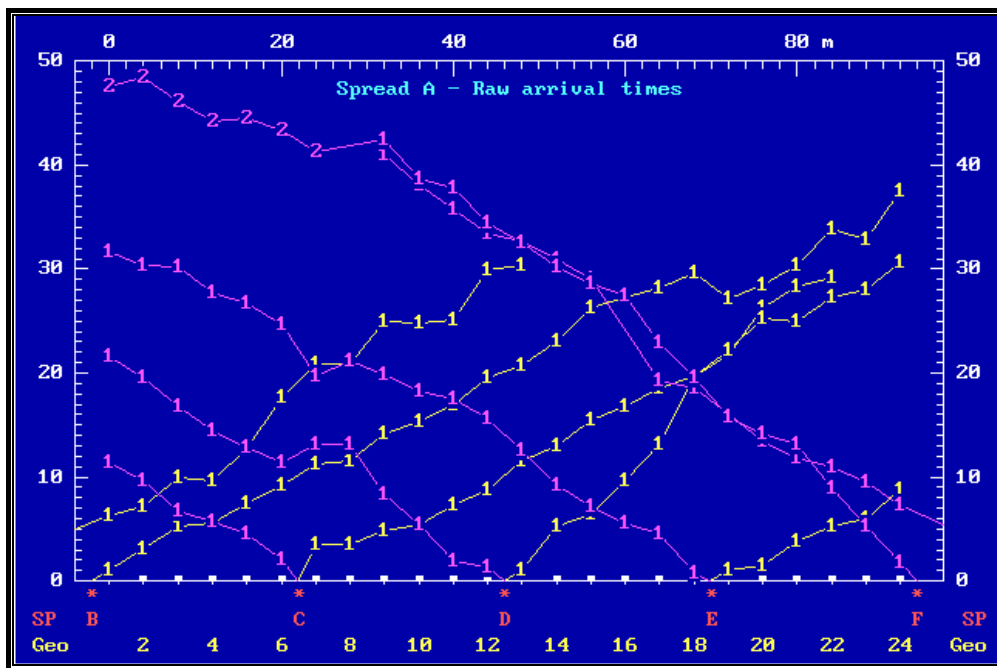
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.4γ σε απόσταση 70 m περίπου από την αρχή της γραμμής δημιουργείται ένα ύβωμα. Πιθανότατα το ύβωμα αυτό σχετίζεται με την απότομη άνοδο του δεύτερου στρώματος στην τρίτη γραμμή (σχήμα 6.3γ), που εμφανίζεται σε απόσταση 110 m από την αρχή αυτής. Τέλος παρατηρείται η τάση του πρώτου στρώματος να εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη προς τα NA της γραμμής.

6.2.5 Σεισμική γραμμή 5

Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 5 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και βρίσκεται δυτικά του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα γεωφώνων μήκους 92 m. Στην γραμμή αυτή πραγματοποιήθηκε και ηλεκτρική τομογραφία. Λόγω παρουσίας θορύβου κατά την διεξαγωγή των μετρήσεων στην γραμμή αυτή δεν κατέστη δυνατή η επεξεργασία της. Ήταν αδύνατο να προσδιοριστούν μετωπικά κύματα από τη διεπιφάνεια λατυποπαγών – μάργας και για αυτό το λόγο δεν προέκυψαν συμπεράσματα για το βάθος και τις ταχύτητες των στρωμάτων.

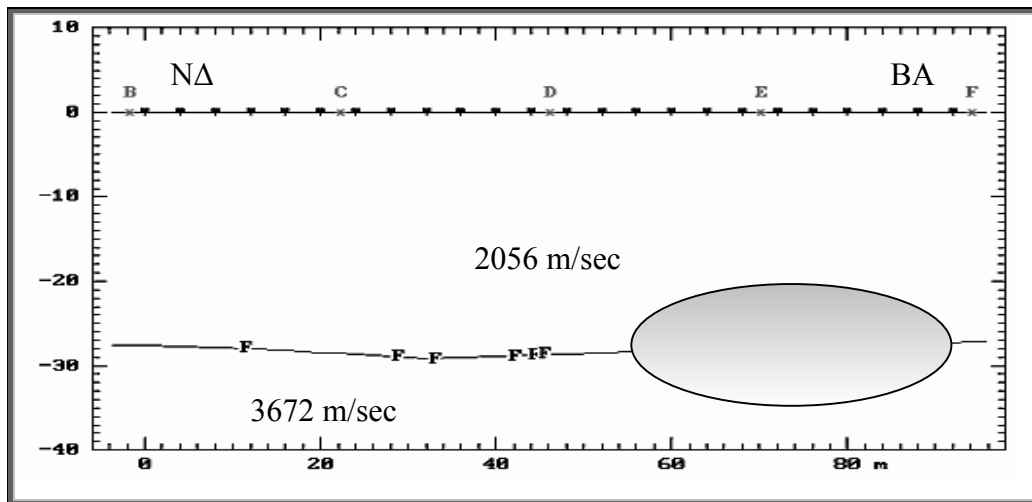
6.2.6 Σεισμική γραμμή 6

Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 6 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και βρίσκεται δυτικά του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα (spread) γεωφώνων μήκους 92 m. Στο σχήμα 6.5 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής.



Σχήμα 6.5: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα της έκτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)

Παρατηρείται στα δρομοχρονικά διαγράμματα της έκτης σεισμικής γραμμής (σχήμα 6.5α), ότι δεν εντοπίζεται μεγάλος αριθμός μετωπικών κυμάτων (συμβολίζονται με 2) που να αντιστοιχούν στο δεύτερο εδαφικό στρώμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην καθορίζεται με ακρίβεια, από το λογισμικό πακέτο SIPT2 της EG&G Geometrics ©, η διεπιφάνεια των στρωμάτων (1ο και 2ο) του σεισμικού μοντέλου (σχήμα 6.5β, γραμμοσκιασμένη περιοχή)



Σχήμα 6.5: β) Μοντέλο βάθους της έκτης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

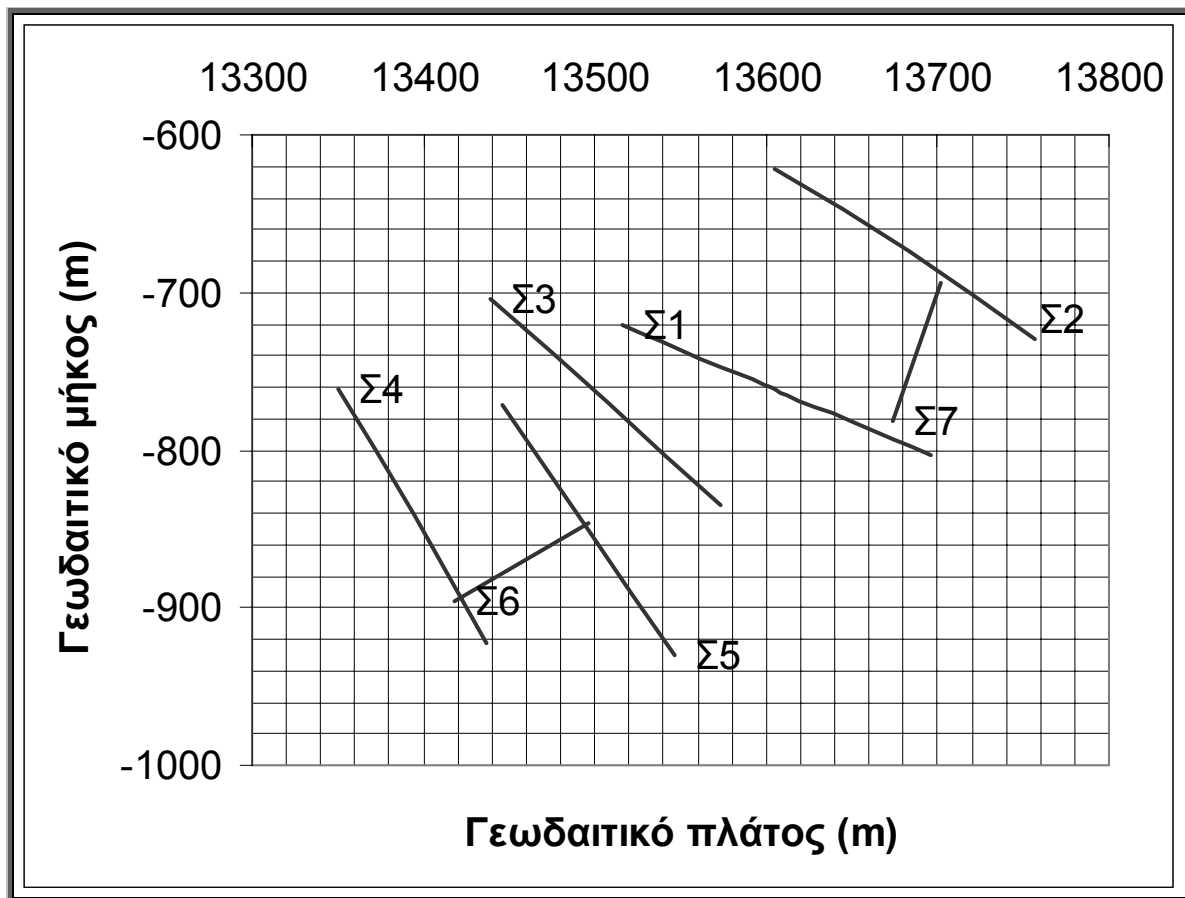
Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 2056 m/sec και 3672 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.5β).

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.5β το πρώτο στρώμα είναι οριζόντιο και εκτείνεται σε βάθος 27 m περίπου. Σημειώνεται ότι η γραμμοσκιασμένη περιοχή του σχήματος υποδηλώνει αβεβαιότητα ως προς το βάθος της διεπιφάνειας λόγω έλλειψης δεδομένων και για αυτό το λόγο η διεπιφάνεια καθορίστηκε από το πρόγραμμα με προέκταση της γραμμής.

Όπως προαναφέρθηκε οι σεισμικές γραμμές 3, 4 και 6 βρίσκονται δυτικά του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι, ενώ παράλληλα στην περιοχή αυτή (πλησίον της γραμμής 3) ορύχτηκε η δειγματοληπτική γεώτρηση O-1. Παρατηρείται ότι οι σεισμικές ταχύτητες των στρωμάτων (πίνακας 6.1) και για τις τρεις σεισμικές γραμμές είναι παραπλήσιες. Με βάση λοιπόν, την γεωλογία της περιοχής, τις ταχύτητες διάδοσης των P κυμάτων στο έδαφος και σύμφωνα με τα διατηρηθέντα στρωματά της γεώτρησης O-1, το πρώτο στρώμα για τις τρεις αυτές γραμμές (3, 4 και 6), αποτελείται από λατυποπαγείς σχηματισμούς ενώ το δεύτερο από μάργα μεγάλης συνεκτικότητας.

Το ΝΔ άκρο της γραμμής μελέτης 6 από την αρχή της, τέμνει την γραμμή μελέτης 4 στα 156 m αυτής, όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.6. Συγκρίνοντας λοιπόν, το ΝΔ τμήμα της γραμμής μελέτης 6 με το τμήμα της γραμμής 4 που αντιστοιχεί στα 156 m προκύπτει όπως προαναφέρθηκε, ότι τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια όσο αναφορά τις σεισμικές ταχύτητες. Παρατηρείται όμως μια απόκλιση στο βάθος εντοπισμού της μάργας σύμφωνα με τα μοντέλα βάθους της κάθε γραμμής. Στο σημείο τομής των δυο γραμμών η μάργα εντοπίζεται σε βάθος 22 m και 27 m για την τέταρτη και έκτη γραμμή αντίστοιχα. Η διαφοροποίηση οφείλεται αφενός στην έλλειψη δεδομένων της έκτης γραμμής, που

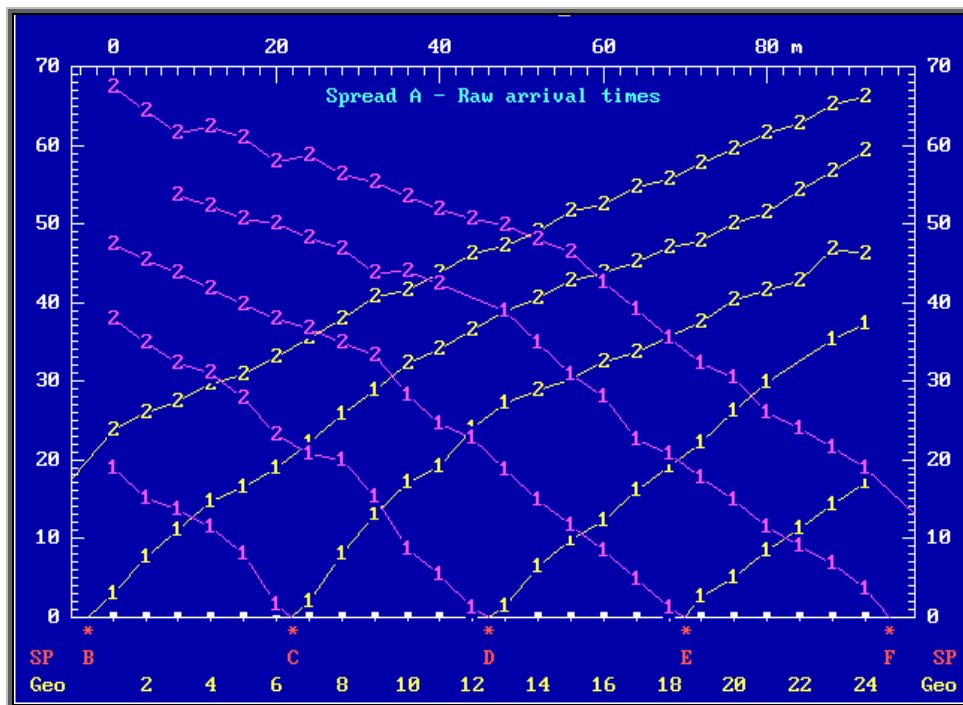
αντιστοιχούν στο σημείο τομής των δυο γραμμών και αφετέρου στην μικρή διαφορά των ταχυτήτων των μαργών στις δυο γραμμές (πίνακας 6.1).



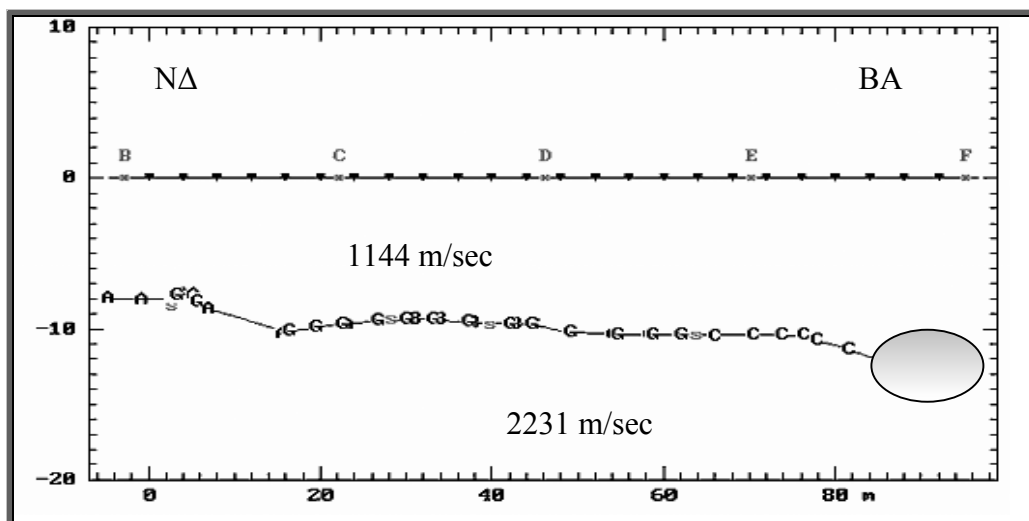
Σχήμα 6.6: Συντεταγμένες των σεισμικών γραμμών στο γεωδαιτικό σύστημα Hatt, κλίμακα 1:5000

6.2.7 Σεισμική γραμμή 7

Σύμφωνα με το σχήμα 3.10 η σεισμική γραμμή μελέτης 7 έχει διεύθυνση ΝΔ έως ΒΑ και βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά. Αποτελείται από ένα ανάπτυγμα (spread) γεωφώνων μήκους 92 m. Στο σχήμα 6.7 παρατίθενται τα δρομοχρονικά διαγράμματα, το μοντέλο βάθους και οι ταχύτητες των σεισμικών κυμάτων διάδοσης στα στρώματα όπως προέκυψαν από την επεξεργασία της γραμμής αυτής.



Σχήμα 6.7: α) Δρομοχρονικά διαγράμματα της έβδομης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – χρόνου (msec)



Σχήμα 6.7: β) Μοντέλο βάθους της έβδομης σεισμικής γραμμής σε άξονες οριζόντιας απόστασης (m) – βάθους (m)

Εντοπίστηκαν δυο εδαφικά στρώματα όπου οι ταχύτητες των P κυμάτων βρέθηκαν 1144 m/sec και 2231 m/sec για το πρώτο και δεύτερο στρώμα αντίστοιχα (σχήμα 6.7β).

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.7β παρατηρείται μια τάση αύξησης του πάχους του πρώτου στρώματος κατά την διεύθυνση της γραμμής μελέτης από ΝΔ προς ΒΑ. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται σε βάθη 8 m έως 12 m περίπου. Σημειώνεται ότι η γραμμοσκιασμενη περιοχή του σχήματος υποδηλώνει αβεβαιότητα ως προς το βάθος της διεπιφάνειας λόγω

έλλειψης δεδομένων και για αυτό το λόγο η διεπιφάνεια καθορίστηκε από το πρόγραμμα με προέκταση της γραμμής.

Η προέκταση του ΝΔ και του ΒΑ άκρου της γραμμής μελέτης 7 τέμνει την γραμμή μελέτης 1 στα 162 m και την γραμμή μελέτης 2 στα 114m αντίστοιχα, όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.6. Συγκρίνοντας λοιπόν, το ΝΔ τμήμα της γραμμής μελέτης 7 με το τμήμα της γραμμής 1 που αντιστοιχεί στα 162 m προκύπτει ότι τα αποτελέσματα συμφωνούν, τόσο στις σεισμικές ταχύτητες (πίνακας 6.1) όσο και στα μοντέλα βάθους. Αντίθετα, συγκρίνοντας το ΒΑ τμήμα της γραμμής μελέτης 7 με το τμήμα της γραμμής 2 που αντιστοιχεί στα 114 m προκύπτει μια ασυμφωνία, τόσο στις σεισμικές ταχύτητες όσο και στα μοντέλα βάθους. Στο σημείο τομής των δυο γραμμών το βάθος που εντοπίζεται το δεύτερο στρώμα είναι 18 m και 8 m για την δεύτερη και έβδομη γραμμή αντίστοιχα. Η διαφοροποίηση οφείλεται στην διαφορετική ταχύτητα του δεύτερου στρώματος που μεταβάλλεται από 2231 m/sec στην έβδομη γραμμή σε 3459 m/sec στη δεύτερη. Επιπλέον συμβάλλει στην διαφοροποίηση και το γεγονός ότι στην έβδομη σεισμική γραμμή δεν έχουμε δεδομένα, που να αντιστοιχούν στο σημείο τομής των δυο γραμμών.

Όπως προαναφέρθηκε οι σεισμικές γραμμές 1, 2 και 7 βρίσκονται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά. Επιπλέον ορύχτηκαν στο τμήμα αυτό οι γεωτρήσεις O-2 και O-3 (πάνω στην γραμμή 1), καθώς και η O-4 ανάμεσα στις σεισμικές γραμμές 1 και 2. Με βάση λοιπόν, την γεωλογία της περιοχής, τις ταχύτητες διάδοσης των P κυμάτων στο έδαφος (πίνακας 6.1) και σύμφωνα με τα διατρηθέντα στρώματα των γεωτρήσεων O-2, O-3 και O-4 το πρώτο στρώμα για τις σεισμικές γραμμές 1 και 7 ερμηνεύεται ως πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις, ενώ το δεύτερο αποτελείται από μάργα χαμηλής συνεκτικότητας. Αντίθετα για την σεισμική γραμμή 2 οι σεισμικές ταχύτητες που εντοπίστηκαν υποδεικνύουν (πίνακας 6.1), ότι το πρώτο στρώμα χαρακτηρίζεται από πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις ενώ όσο αναφορά το δεύτερο τίθεται ένα ερωτηματικό. Πιθανότατα η υψηλή σεισμική ταχύτητα που καταγράφηκε στο δεύτερο στρώμα, να οφείλεται σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται ως συνέχεια των ασβεστόλιθων από τους παράπλευρους λόφους.

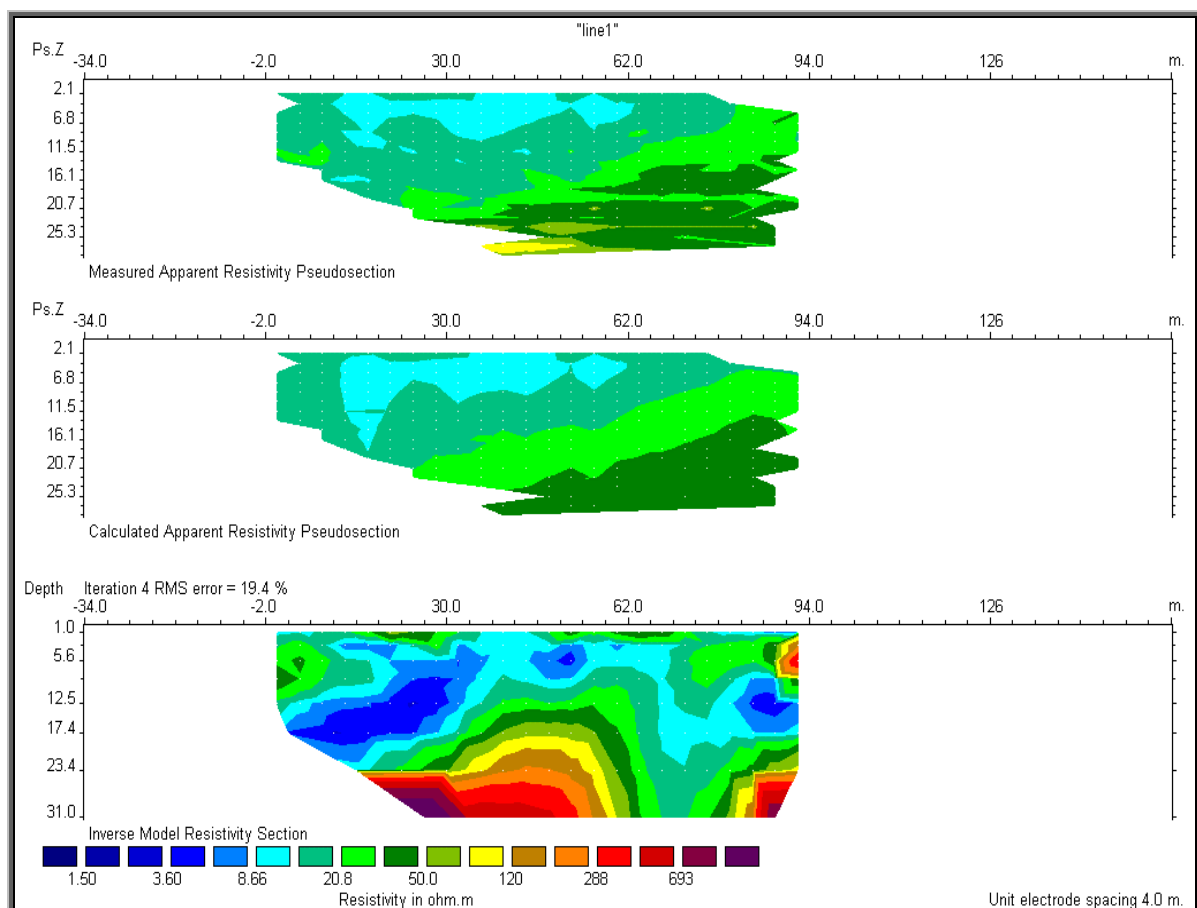
6.3 Ερμηνεία των ηλεκτρικών δεδομένων

6.3.1 Ηλεκτρική γραμμή 1

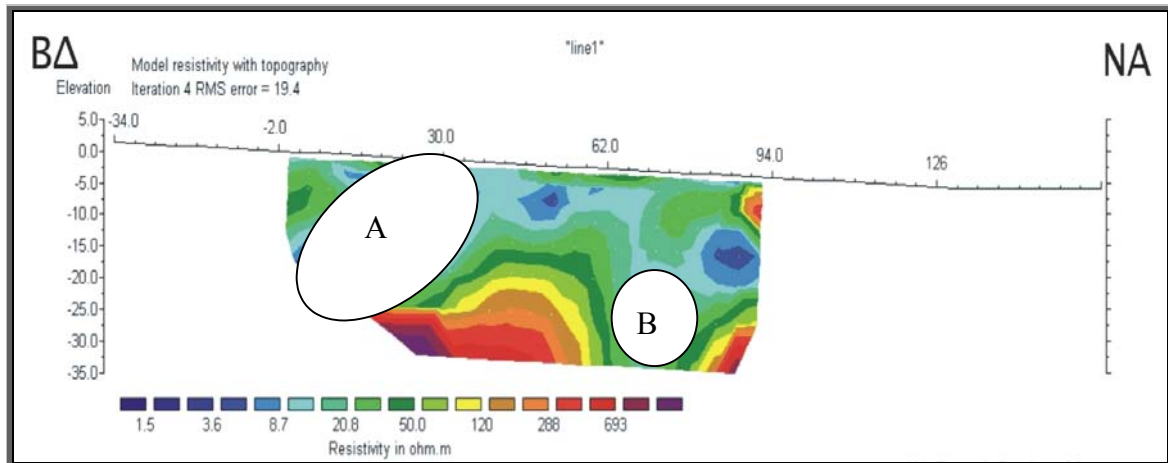
Σύμφωνα με το σχήμα 4.6 η ηλεκτρική γραμμή μελέτης 1 (ΠΤ1) έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ, μήκος 92 m και βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά. Στο σχήμα 6.8α παρατίθενται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης

και των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων, όπου δεν έχει συμπεριληφθεί το τοπογραφικό ανάγλυφο. Αντιθέτως στο σχήμα 6.8β παρατίθεται το τελικό μοντέλο των πραγματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων συμπεριλαμβανόμενου και του τοπογραφικού ανάγλυφου.

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.8β χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ($1 - 100 \text{ ohm.m}$) εμφανίζονται στην επιφάνεια και φτάνουν μέχρι βάθος 20 m περίπου. Όμως παρατηρείται πλευρική μεταβολή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε βάθος 5 m περίπου (ανωμαλία Α), όπου μειωμένες τιμές της ειδικής αντίστασης ($1-10 \text{ ohm.m}$) διακόπτουν τη συνέχεια του σχηματισμών αυτών. Επιπλέον σε απόσταση 10 m από την αρχή της γραμμής και σε βάθος 20 m περίπου εμφανίζονται σχετικά υψηλές τιμές της ειδικής αντίστασης ($150 - 700 \text{ ohm.m}$). Πολύ ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η περιοχή με τις πολύ χαμηλές τιμές των ειδικών αντιστάσεων ($20-50 \text{ ohm.m}$) που φαίνεται να διακόπτουν την συνέχεια των σχηματισμών που χαρακτηρίζονται από υψηλές αντιστάσεις. Οι χαμηλές αντιστάσεις αντιστοιχούν στην ανωμαλία Β του σχήματος.



Σχήμα 6.8: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της πρώτης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ1)



Σχήμα 6.8: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την πρώτη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ1)

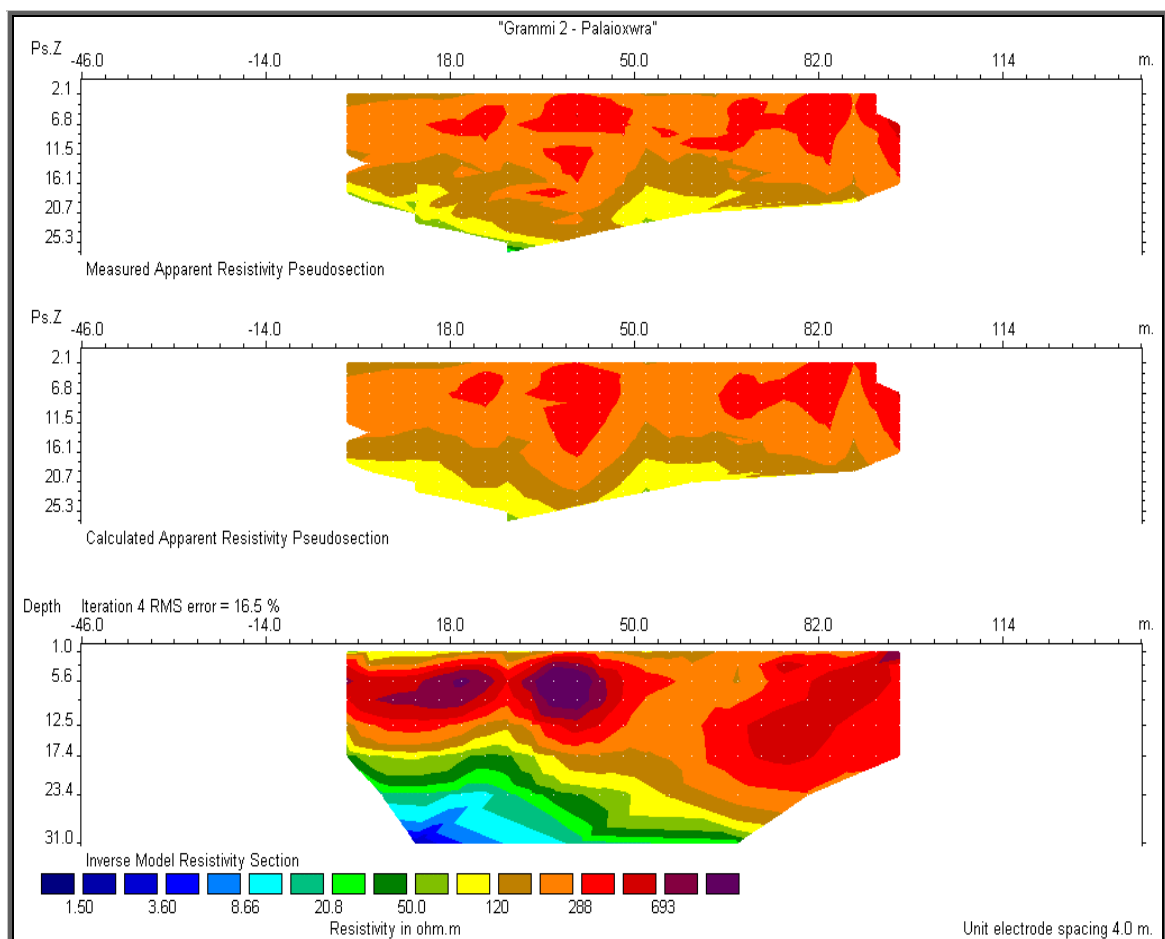
Όπως προαναφέρθηκε η ηλεκτρική γραμμή ΠΤ1 βρίσκεται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά, ενώ στο τμήμα αυτό ορύχτηκαν οι υποδειχθείσες από τη γεωφυσική έρευνα γεωτρήσεις O-2 και O-3 (πάνω στην γραμμή ΠΤ1, σχήμα 6.15). Με βάση λοιπόν την γεωλογία της περιοχής, τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σύμφωνα με τα διατηρηθέντα στρώματα των γεωτρήσεων O-2 και O-3 (παράγραφος 6.4), οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), που εμφανίζονται στην επιφάνεια μέχρι βάθους 5 m αντιστοιχούν σε πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις. Παράλληλα η ανωμαλία A, καθώς και οι χαμηλές αντιστάσεις (πίνακας 6.1) μέχρι βάθος 20 m περίπου, αντιστοιχούν στο στρώμα της μάργας. Όσον αφορά τις υψηλές τιμές ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων (πίνακας 6.1) που παρουσιάζονται σε απόσταση 10 m από την αρχή της γραμμής και σε βάθος 20 m περίπου τίθεται ένα ερωτηματικό, ενώ η ανωμαλία B που διακόπτει την συνεχεία αυτών, αντιστοιχεί (σύμφωνα με την O-2) σε εξαλλοιωμένους φυλλίτες και χαλαζίτες. Πιθανότατα οι υψηλές ειδικές αντιστάσεις να οφείλονται σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται ως συνέχεια των ασβεστόλιθων από τους παράπλευρους λόφους

6.3.2 Ηλεκτρική γραμμή 2

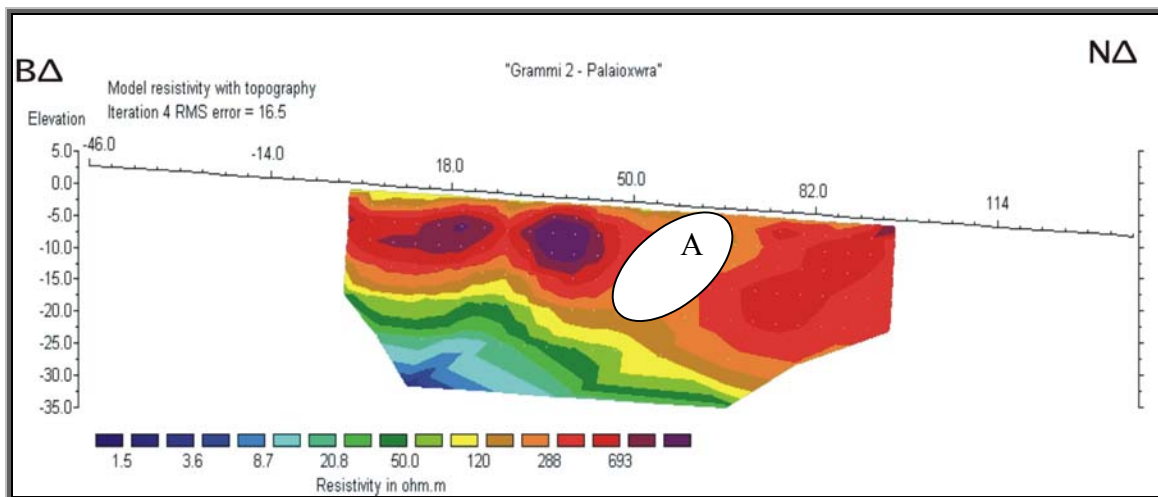
Σύμφωνα με το σχήμα 4.6 η ηλεκτρική γραμμή μελέτης 2 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ, μήκος 96 m και βρίσκεται δυτικά του δρόμου που κατευθύνεται για Ελαφονήσι. Στο σχήμα 6.9α παρατίθενται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης και των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων, όπου δεν έχει συμπεριληφθεί το τοπογραφικό ανάγλυφο. Αντιθέτως στο σχήμα 6.9β παρατίθεται το τελικό

μοντέλο των πραγματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων συμπεριλαμβανόμενου και του τοπογραφικού ανάγλυφου.

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.9β υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (150 – 700 ohm.m) εμφανίζονται κοντά στην επιφάνεια μέχρι βάθος 12 m περίπου προς τα βορειοδυτικά και φτάνουν σε βάθος 23 m στο τέλος της γραμμής. Αντίθετα οι σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), εμφανίζονται σε βάθος 13 m περίπου προς τα βορειοδυτικά, και σε βάθος 23 m προς το τέλος της γραμμής. Χαρακτηριστικό και της γραμμής αυτής αποτελούν οι χαμηλότερες αντιστάσεις, περίπου 150 ohm.m που παρατηρούνται (ανωμαλία Α) και διακόπτουν την συνέχεια της ζώνης των υψηλών αντιστάσεων.



Σχήμα 6.9: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της δεύτερης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ2)



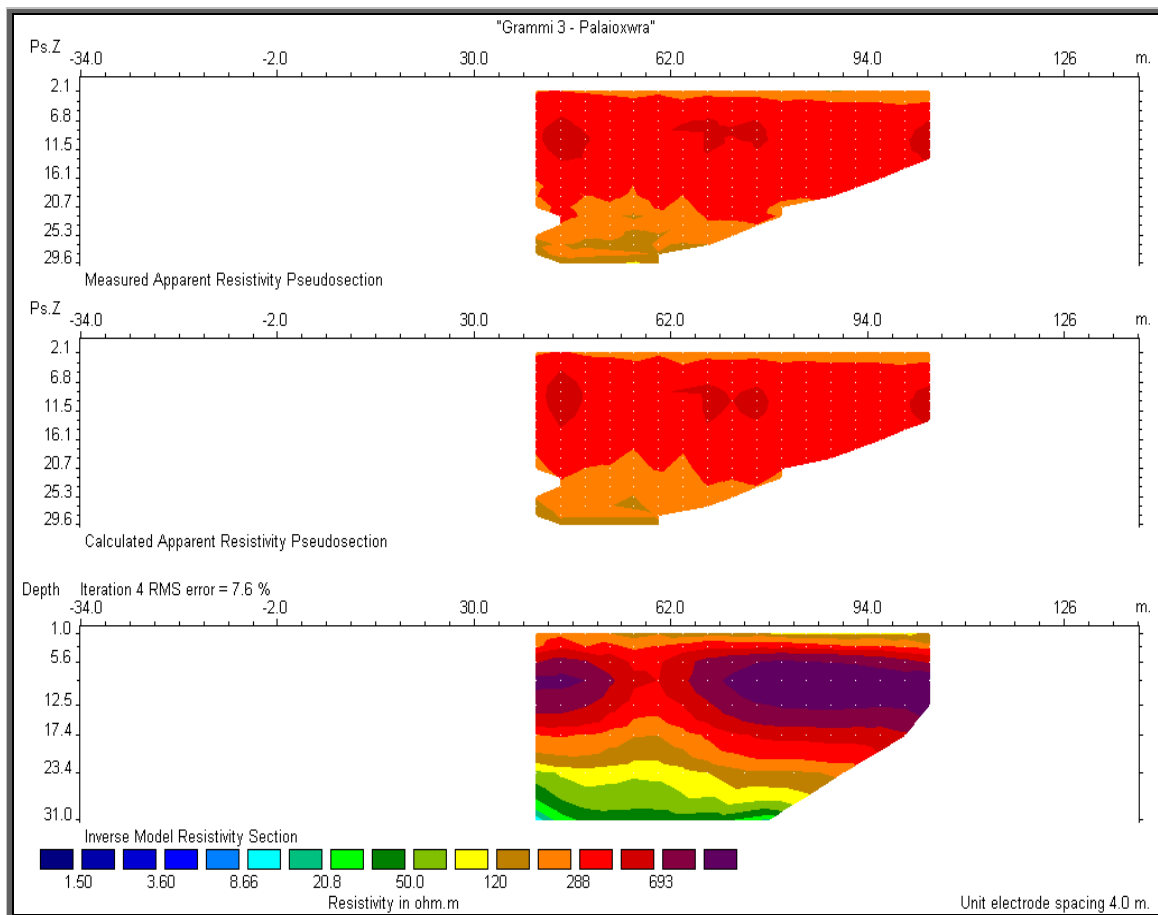
Σχήμα 6.9: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την δεύτερη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ2)

Όπως προαναφέρθηκε πάνω στην ηλεκτρική γραμμή ΠΤ2 ορύχτηκε η γεώτρηση Ο-1. Με βάση λοιπόν την γεωλογία της περιοχής, τις τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και σύμφωνα με τα διατηρηθέντα στρωματά της γεώτρησης Ο-1, οι υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (150 – 700 ohm.m) αντιστοιχούν στους λατυποπαγείς σχηματισμούς, ενώ η ανωμαλία Α που διακόπτει την συνεχεία αυτών πιθανότατα οφείλεται σε αυξημένη υγρασία. Αντίθετα οι σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), αντιστοιχούν στις μάργες.

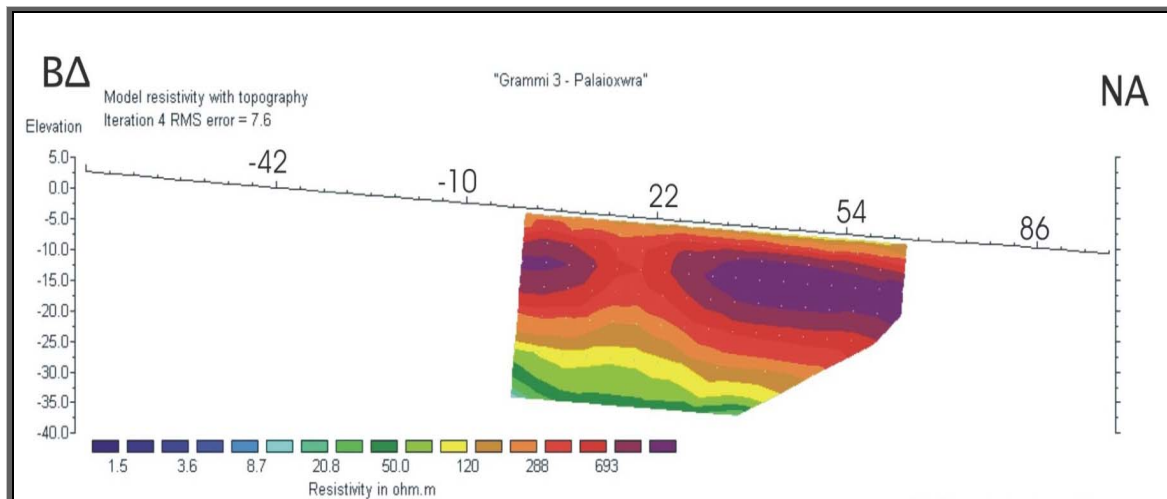
6.3.3 Ηλεκτρική γραμμή 3

Σύμφωνα με το σχήμα 4.6 η ηλεκτρική γραμμή μελέτης 3 έχει διεύθυνση ΒΔ έως ΝΑ και μήκος 64 m. Στο σχήμα 6.10α παρατίθενται οι ψευδοτομές των μετρούμενων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης και των υπολογισμένων τιμών της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, καθώς και το μοντέλο των πραγματικών αντιστάσεων, όπου δεν έχει συμπεριληφθεί το τοπογραφικό ανάγλυφο. Αντιθέτως στο σχήμα 6.10β παρατίθεται το τελικό μοντέλο των πραγματικών ηλεκτρικών αντιστάσεων συμπεριλαμβανόμενων και των υψομετρικών διαφορών κατά μήκος της γραμμής.

Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.10β υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (150 – 700 ohm.m) εμφανίζονται κοντά στην επιφάνεια μέχρι βάθος 20 m περίπου προς τα βορειοδυτικά και φτάνουν σε βάθος 23 m στο τέλος της γραμμής. Αντίθετα οι σχετικά χαμηλές τιμές της ειδικής αντίστασης (1 – 100 ohm.m), εμφανίζονται σε βάθος 21 m περίπου προς τα βορειοδυτικά, και φτάνουν σε βάθος 27 m προς το τέλος της γραμμής.



Σχήμα 6.10: α) Ψευδοτομές (πάνω, μεσαία) και γεωηλεκτρική τομή (κάτω) της τρίτης ηλεκτρικής γραμμής μελέτης (ΠΤ3)



Σχήμα 6.10: β) Γεωηλεκτρική τομή των ειδικών αντιστάσεων για την τρίτη ηλεκτρική γραμμή (ΠΤ3)

Όσον αφορά την ερμηνεία της τομής ΠΤ3 είναι παρόμοια με αυτή της ΠΤ2.

6.4 Αποτελέσματα διαγραφιών και δειγματοληπτικών γεωτρήσεων

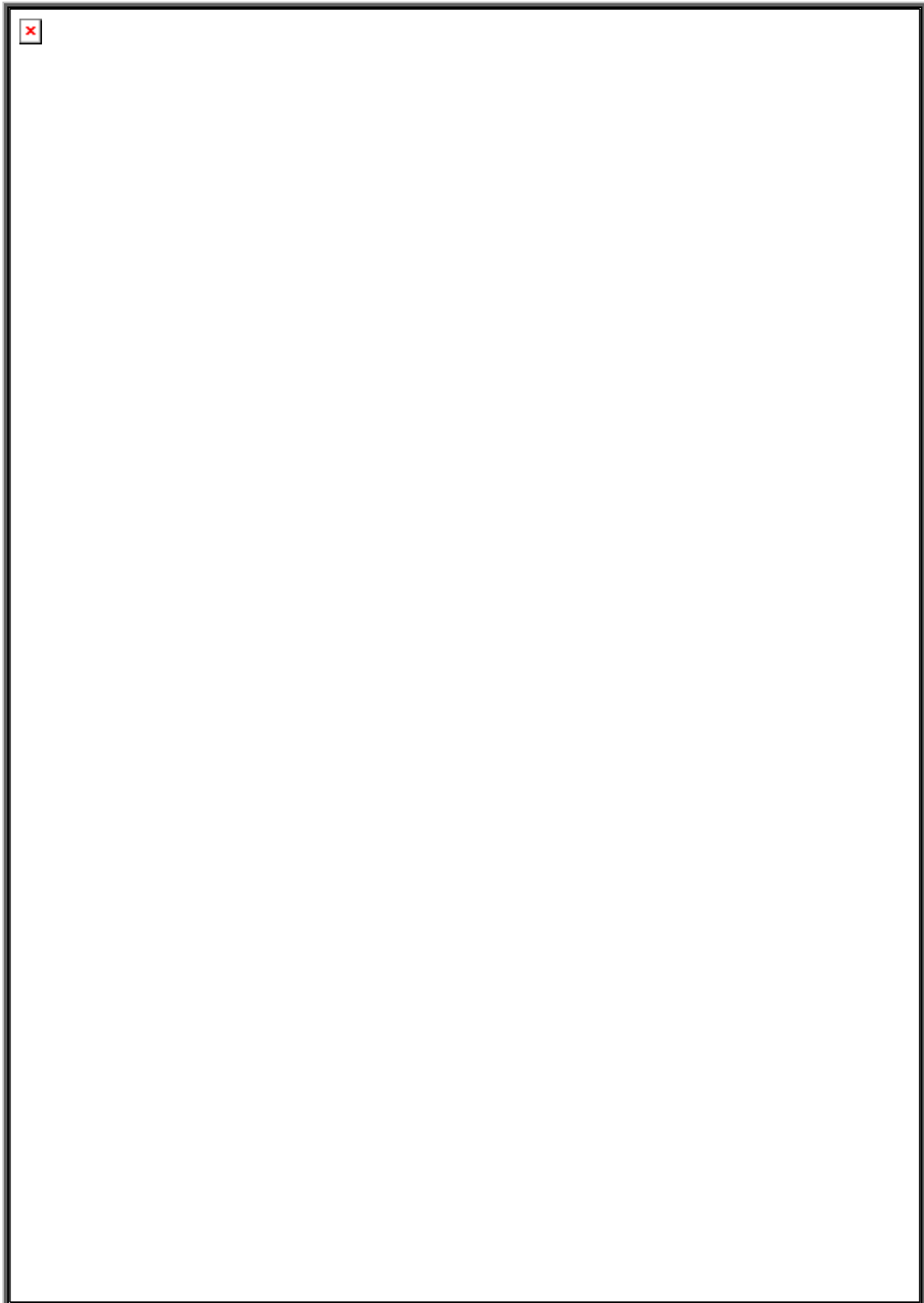
6.4.1 Πρώτη γεώτρηση (Ο1)

Σύμφωνα με το σχήμα 4.6 η πρώτη γεώτρηση ορύχτηκε 12 m από την αρχή της πρώτης ηλεκτρικής γραμμής (ΠΤ1) και έχει βάθος 30 m. Στην συγκεκριμένη γεώτρηση πάρθηκαν δείγματα (καρότα) ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις διαγραφιών (ηλεκτρικές, ακουστικές και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα). Στο σχήμα 6.11α παρατίθεται η τομή της γεώτρησης με τα διατηρηθέντα στρώματα, ενώ στο σχήμα 6.11β παρατίθενται οι διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5 η επεξεργασία των ακουστικών διαγραφιών δεν κατέστη δυνατή και για αυτό τον λόγο δεν παρατίθενται τα αποτελέσματα των στο κεφαλαίο αυτό.

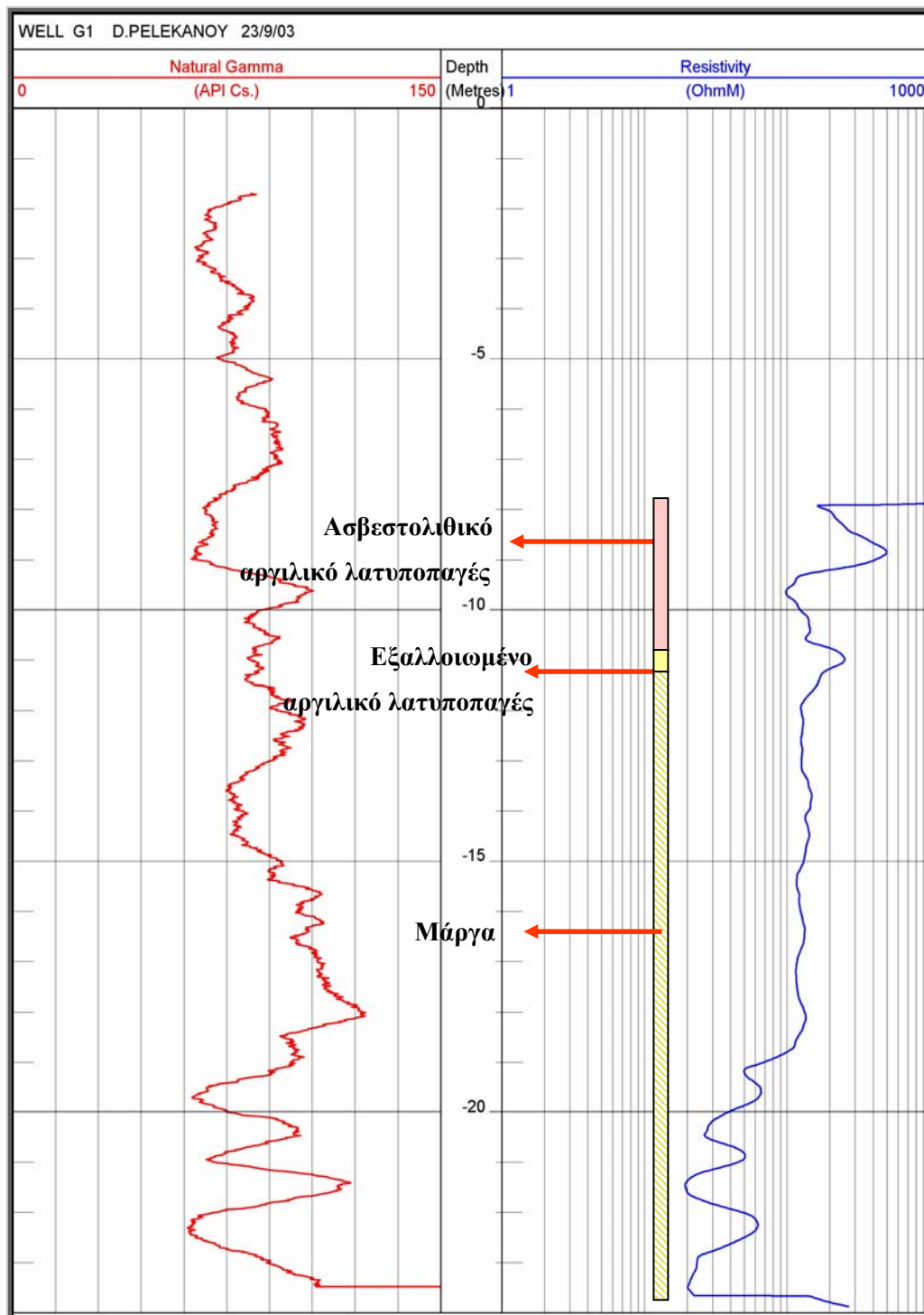
Όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.11α εντοπίζονται τρία στρώματα. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται μέχρι βάθους 12 m από την επιφάνεια και χαρακτηρίζεται ως αποσθρωμένο ασβεστολιθικό λατυποπαγές, ενώ το δεύτερο εκτείνεται από τα 12 m έως τα 13 m και αποτελείται από εξαλοιωμένο αργιλικό λατυποπαγές. Τέλος, το τρίτο στρώμα της μάργας εντοπίζεται σε βάθος μεγαλύτερο των 13 m.

Όπως διακρίνεται στη διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας (natural gamma), (σχήμα 6.11β) εμφανίζονται αυξημένες τιμές φυσικής ραδιενέργειας λόγω της παρουσίας αργιλικών ορυκτών από τα 14 m έως το τελικό βάθος διασκόπησης των 24 m. Οι σχηματισμοί αυτοί λοιπόν που παρουσιάζουν αυξημένο ποσοστό αργιλικών ορυκτών, σύμφωνα με την δειγματοληψία της γεώτρησης αντιστοιχούν στις μάργες.

Παράλληλα στη διαγραφή ηλεκτρικής εστίασης (σχήμα 6.11β) οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης επιβεβαιώνουν την παρουσία των τριών στρωμάτων (αποσθρωμένο ασβεστολιθικό λατυποπαγές, εξαλοιωμένο αργιλικό λατυποπαγές και μάργες), που προέκυψαν από την δειγματοληπτική γεώτρηση. Στο στρώμα της μάργας και σε βάθος 19-24 m παρουσιάζεται μείωση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης από τα 120 ohm.m στα 20 ohm.m.



Σχήμα 6.11: α) Τομή της πρώτης γεώτρησης (Ο-1), (Διαμαντάκης, 2003)

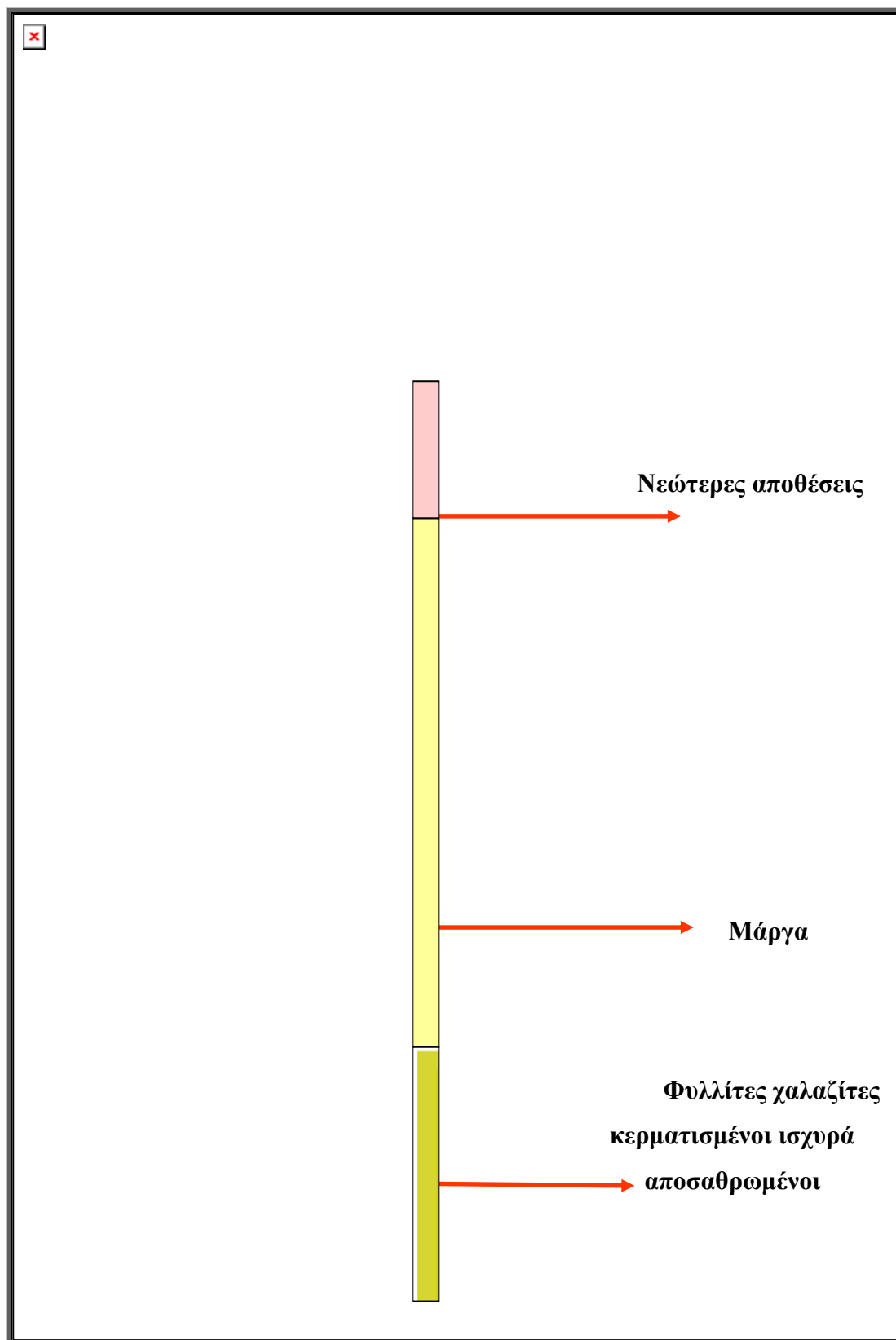


Σχήμα 6.11: β) Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην πρώτη γεώτρηση (O-1)(ΓΕΩΤΕΚ, 2003)

6.4.2 Δεύτερη γεώτρηση (O2)

Σύμφωνα με το σχήμα 5.6 η δεύτερη γεώτρηση ορύχτηκε 64 m από την αρχή της πρώτης σεισμικής και πρώτης ηλεκτρικής γραμμής αντίστοιχα και έχει βάθος 30 m. Στην

συγκεκριμένη γεώτρηση πάρθηκαν δείγματα (καρότα) Στο σχήμα 6.12 παρατίθεται η τομή της γεώτρησης με τα διατηρηθέντα στρώματα.



Σχήμα 6.12: Τομή της δεύτερης γεώτρησης (O-2), (Διαμαντάκης, 2003)

Παρατηρείται στην τομή της δεύτερης γεώτρησης (O-2), (σχήμα 6.12), η παρουσία τριών στρωμάτων. Μέχρι βάθους 5 m από την επιφάνεια το πρώτο στρώμα αποτελείται από νεώτερες αποθέσεις, ενώ το δεύτερο εκτείνεται από 5-22 m και χαρακτηρίζεται ως μάργα. Τέλος, το τρίτο στρώμα εντοπίζεται σε βάθος 23 m και αποτελείται από εξαλλοιωμένους φυλλίτες και χαλαζίτες.

6.4.3 Τρίτη γεώτρηση (O-3)

Η τρίτη γεώτρηση ορύχτηκε 42 m από την αρχή της πρώτης σεισμικής και ηλεκτρικής γραμμής αντίστοιχα και έχει βάθος 20 m. Στην συγκεκριμένη γεώτρηση, ενώ ήταν ερευνητική, λόγω προβλημάτων δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαγραφιών. Κατά την όρυξη της γεώτρησης όμως περισυνελέχθησαν τα 'θρύμματα' από όπου βρέθηκαν δυο στρώματα. Το πρώτο στρώμα εκτείνεται μέχρι βάθους 5 m περίπου και χαρακτηρίζεται ως πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις, ενώ το δεύτερο στρώμα που εκτείνεται από βάθος 5 m έως το τέλος της γεώτρησης αποτελείται από γκρίζα μάργα.

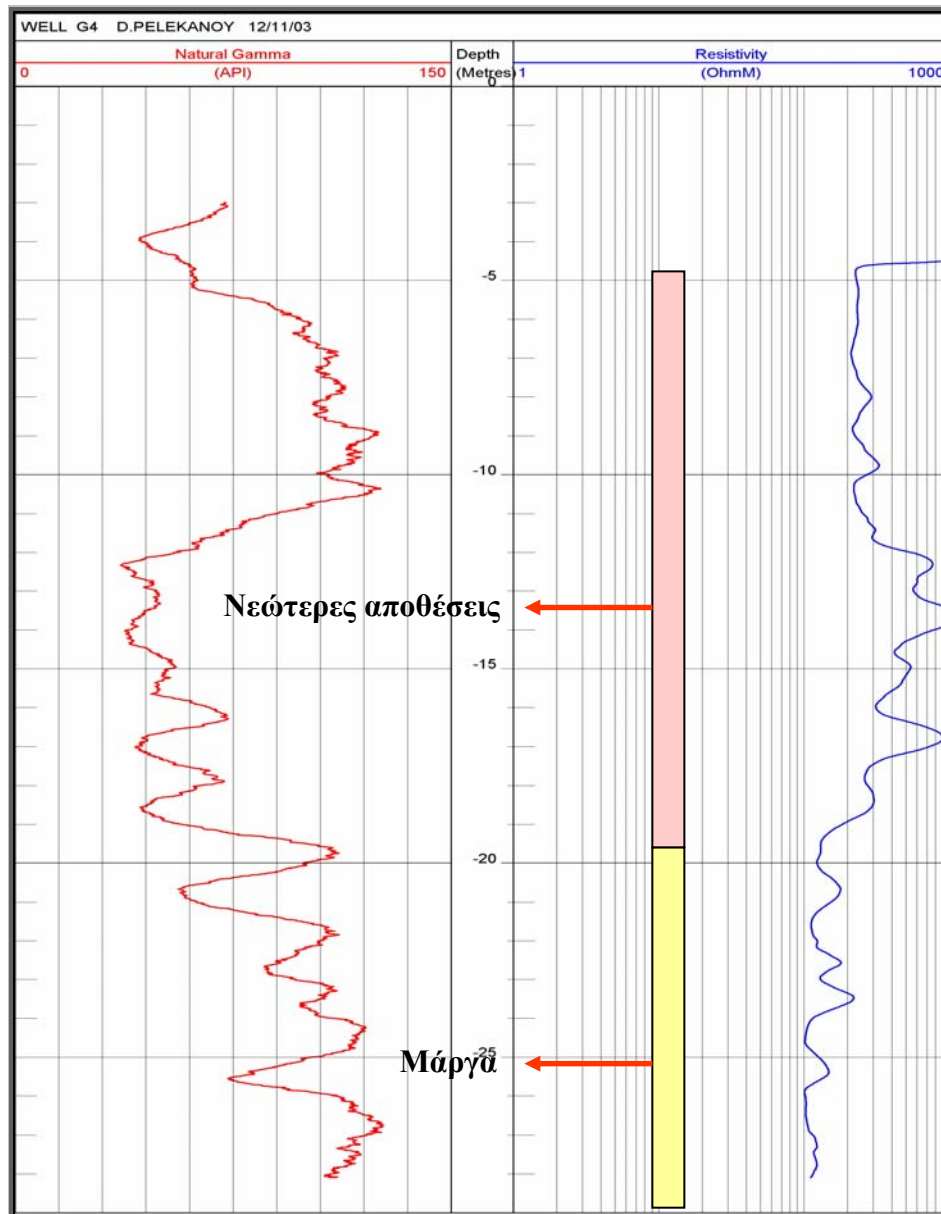
6.4.4 Τέταρτη γεώτρηση (O-4)

Η τέταρτη γεώτρηση ορύχτηκε ανάμεσα στην πρώτη και δεύτερη σεισμική γραμμή αντίστοιχα και έχει βάθος 30 m. Στην συγκεκριμένη γεώτρηση πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαγραφιών (ηλεκτρικές, ακουστικές και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα). Στο σχήμα 6.13 παρατίθενται οι διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης. Όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 5 η επεξεργασία των ακουστικών διαγραφιών δεν κατέστη δυνατή και για αυτό τον λόγο δεν παρατίθενται τα αποτελέσματα των στο κεφαλαίο αυτό.

Όπως διακρίνεται στη διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας (natural gamma), (σχήμα 6.13) εμφανίζονται αυξημένες τιμές φυσικής ραδιενέργειας στους σχηματισμούς, λόγω της παρουσίας αργιλικών ορυκτών, στα βάθη 5-11 m και 19-27 m.

Παράλληλα η διαγραφή ηλεκτρικής εστίασης (σχήμα 6.13) υποδεικνύει την ύπαρξη δυο διαφορετικών στρωμάτων. Το πρώτο στρώμα έχει υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση (200-800 ohm.m) και εκτείνεται από 5-19 m βάθος. Το στρώμα αυτό πιθανόν αποτελείται από νεώτερες αποθέσεις, ενώ οι αυξημένες τιμές της ειδικής αντίστασης που παρατηρούνται σε βάθος 11-19 οφείλονται στην μικρή οργιλότητα που παρουσιάζει ο σχηματισμός στο συγκεκριμένο βάθος (σχήμα 6.13). Το μεγάλο πάχος των προσχώσεων αποδίδεται ως συνέχεια αυτών από τους παράπλευρους λόφους. Αντιθέτως το δεύτερο στρώμα που

εμφανίζεται σε βάθος 20 m από την επιφάνεια παρουσιάζει χαμηλές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις, παρόμοιες με της γεώτρησης O-1 σε βάθος 12 m (100 ohm.m) και πιθανότατα το στρώμα αυτό αποτελείται από μάργα.



Σχήμα 6.13: Διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και ηλεκτρικής εστίασης στην τέταρτη γεώτρηση (O-4) (ΓΕΩΤΕΚ Ε.Π.Ε, 2003)

6.5 Συνδυασμένη ερμηνεία γεωφυσικής διασκόπησης

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των γεωφυσικών δεδομένων, στον πίνακα 6.1 παρατίθενται η σεισμική ταχύτητα των στρωμάτων για κάθε σεισμική γραμμή μελέτης και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση των στρωμάτων που καταγράφηκαν στις

ηλεκτρικές τομές ΠΤ1, ΠΤ2 και ΠΤ3. Παράλληλα παρατίθενται και τα βάθη των στρωμάτων όπως αυτά εντοπίστηκαν από τις δειγματοληπτικές γεωτρήσεις Ο-1 και Ο-2.

Στον πίνακα 6.2 παρατίθενται τα αποτελέσματα των γεωτεχνικών εργαστηριακών δοκιμών σε επιλεγμένα δείγματα πυρήνων στις γεωτρήσεις Ο-1 και Ο-2.

Πίνακας 6.1: Σύνοψη επεξεργασίας γεωφυσικών δεδομένων

	Ταχύτητα διάδοσης P κυμάτων (m/sec) για τις 6 σεισμικές γραμμές						Ειδική ηλεκτρική αντίσταση (Ohm.m) για τις 3 ηλεκ/κες γραμμές			Βάθος (m) διατρηθέντων σχημ/μών	
	1 ^η	2 ^η	3 ^η	4 ^η	6 ^η	7 ^η	ΠΤ1	ΠΤ2	ΠΤ3	Ο-1	Ο-2
Στρώμα 1	1010	1136	2150	1936	2056	1144	60	500	500	0-12	0-5
Στρώμα 2	2068	3459	3330	3109	3672	2231	40	100	60	12-13	5-22
Στρώμα 3							300	40		13-30	22-30

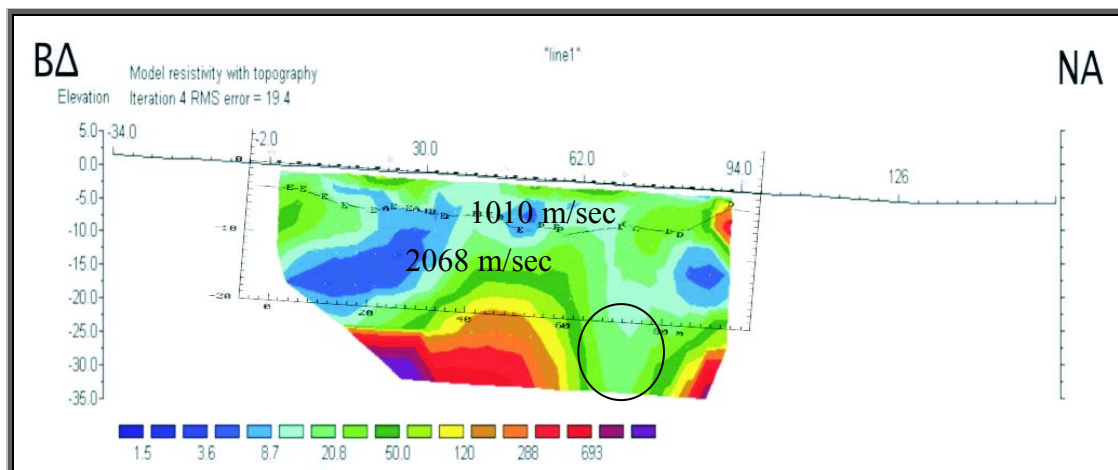
Πίνακας 6.2 : Γεωτεχνικές εργαστηριακές μετρήσεις (ΓΕΩΤΕΚ Ε.Π.Ε.)

Δείγμα βάθος (m)	Γεώτρηση	Τάση σ_c (MPa)	Ε.Μ.Ε E (MPa)	Πυκνότητα Gs (g/cm ³)	Παρ/φωση %	Αντοχή qu (kPa)	Υδατ/τότητα Kx 10 ⁻⁵
1.60	Ο-1	1.99	1197	2.39			
2.00	Ο-2						1.5
3.90	Ο-2			2.65	7.28	3.90	
4.00	Ο-1						6.7
4.50	Ο-1			2.35			
5.05	Ο-2				5.46	242.6	
7.10	Ο-2						5.9
8.60	Ο-2				4.12	318.95	
10.00	Ο-1						4.1
11.30	Ο-2						4.2 x10 ⁻³
17.00	Ο-1						5.4 x10 ⁻²

Τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά των διατηρηθέντων σχηματισμών συνηγορούν για την ασφαλή κατασκευή της λιμνοδεξαμενής. Ειδικότερα στα βάθη όπου διατρήθηκε η μάργα (πίνακας 6.2, γραμμοσκιασμένες περιοχές), η αντοχή της είναι υψηλότερη έναντι των άλλων σχηματισμών. Παράλληλα η υδατοπερατότητα των μαργών όντας πολύ μικρή καθιστά τους σχηματισμούς αυτούς υδατοστεγανούς (πίνακας 6.2, γραμμοσκιασμένες περιοχές).

6.5.1 Υπέρθεση της πρώτης ηλεκτρικής και σεισμικής γραμμής αντίστοιχα

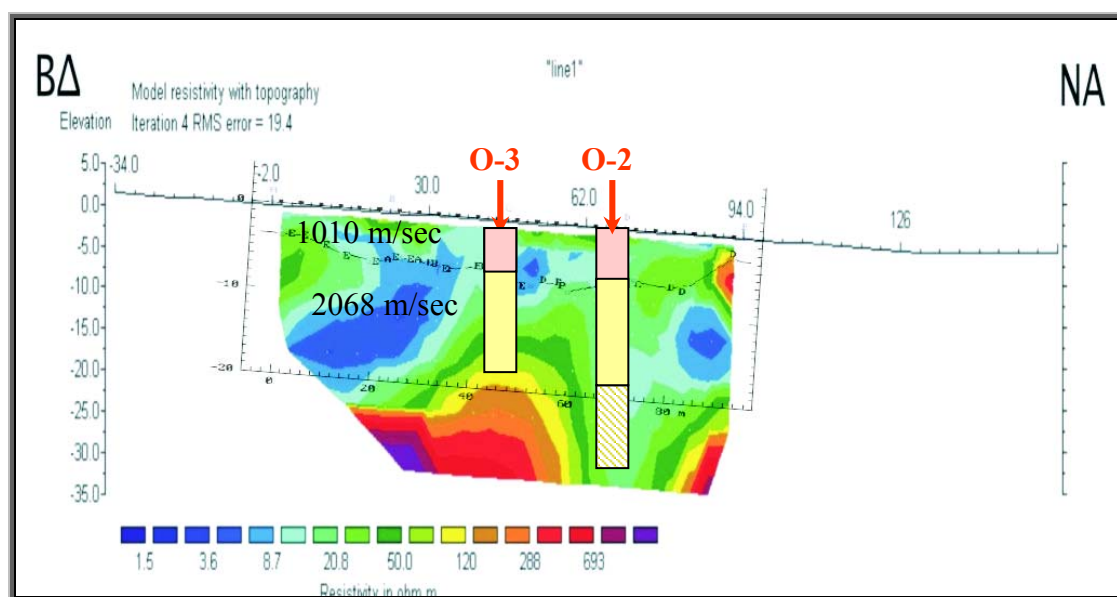
Στο σχήμα 6.14 φαίνεται η υπέρθεση του σεισμικού μοντέλου (γραμμή 1) πάνω στην γεωηλεκτρική τομή ΠΤ1. Τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης και ηλεκτρικής τομογραφίας συμφωνούν ως προς την ερμηνεία τους. Όσον αφορά το πρώτο στρώμα η σεισμική διάθλαση ότι αντιστοιχεί σε πρόσφατες επιφανειακές προσχώσεις και συμπίπτει με τις χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στην γεωηλεκτρική τομή. Το δεύτερο στρώμα στην σεισμική τομή έχει ταχύτητα που αντιστοιχεί σε μάργες χαλαρής συνεκτικότητας και έρχεται σε πλήρη συμφωνία με τη γεωηλεκτρική τομή, όπου το στρώμα αυτό χαρακτηρίζεται από χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (πίνακας 6.1). Επιπλέον, η ηλεκτρική τομογραφία όπως έχει προαναφερθεί, υποδεικνύει ένα τρίτο στρώμα με υψηλές αντιστάσεις όπως διακρίνεται στο σχήμα 6.14, όπου διακόπτεται από μια πλευρική μεταβολή χαμηλών αντιστάσεων (περιοχή σε κύκλο).



Σχήμα 6.14: Υπέρθεση της πρώτης σεισμικής γραμμής (line 1) πάνω στην πρώτη γεωηλεκτρική τομή

Η συμφωνία που παρατηρείται μεταξύ της πρώτης σεισμικής και πρώτης ηλεκτρικής γραμμής, επιβεβαιώνεται από τις γεωτρήσεις O-2 και O-3, (σχήμα 6.15) που πραγματοποιήθηκαν σε απόσταση 64 m και 42 m αντίστοιχα από την αρχή της γραμμής

μελέτης. Πιο συγκεκριμένα τα θρύμματα της γεώτρησης O-3 έδειξαν ότι το πρώτο στρώμα αποτελείται από νεώτερες αποθέσεις που εκτείνονται μέχρι 5 m βάθος από την επιφάνεια. Το δεύτερο στρώμα που εντοπίστηκε από την γεώτρηση σε βάθος 5 m και εκτείνεται μέχρι το τέλος της γεώτρησης (20 m) αποτελείται από γκρίζα μάργα. Οι υψηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης που εμφανίζονται σε βάθος 20 m περίπου στην θέση της γεώτρησης (σύμφωνα με την γεωηλεκτρική τομογραφία) πιθανότατα οφείλονται σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που εμφανίζονται ως συνέχεια των ασβεστόλιθων από τους παράπλευρους λόφους



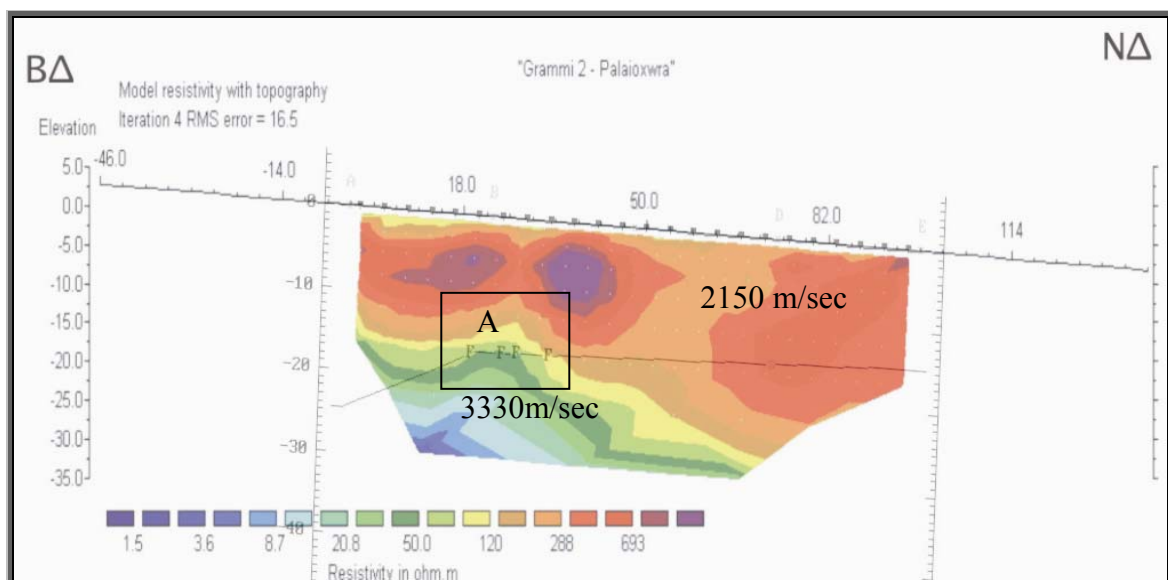
Σχήμα 6.15: Υπέρθεση της πρώτης σεισμικής γραμμής (line 1) πάνω στην πρώτη γεωηλεκτρική τομή σε αντιπαράθεση με τις γεωτρήσεις O-2 και O-3

Η γεώτρηση O-2 επιβεβαιώνει την ύπαρξη των προσχώσεων μέχρι βάθος 5 m από την επιφάνεια. Επιπλέον και σε αυτή τη γεώτρηση βρέθηκε ότι το δεύτερο στρώμα αποτελείται από μάργα και εκτείνεται μέχρι βάθους 17 m. Τέλος, εντοπίστηκε τρίτο στρώμα από φυλλίτες και χαλαζίτες σε βάθος 18 m από την επιφάνεια, επαληθεύοντας την διακοπή της συνέχειας των υψηλών ειδικών αντιστάσεων που παρουσιάζονται σε εκείνο το βάθος στην ηλεκτρική τομή ΠΤ1.

6.5.2 Υπέρθεση της δεύτερης ηλεκτρικής και τρίτης σεισμικής γραμμής αντίστοιχα

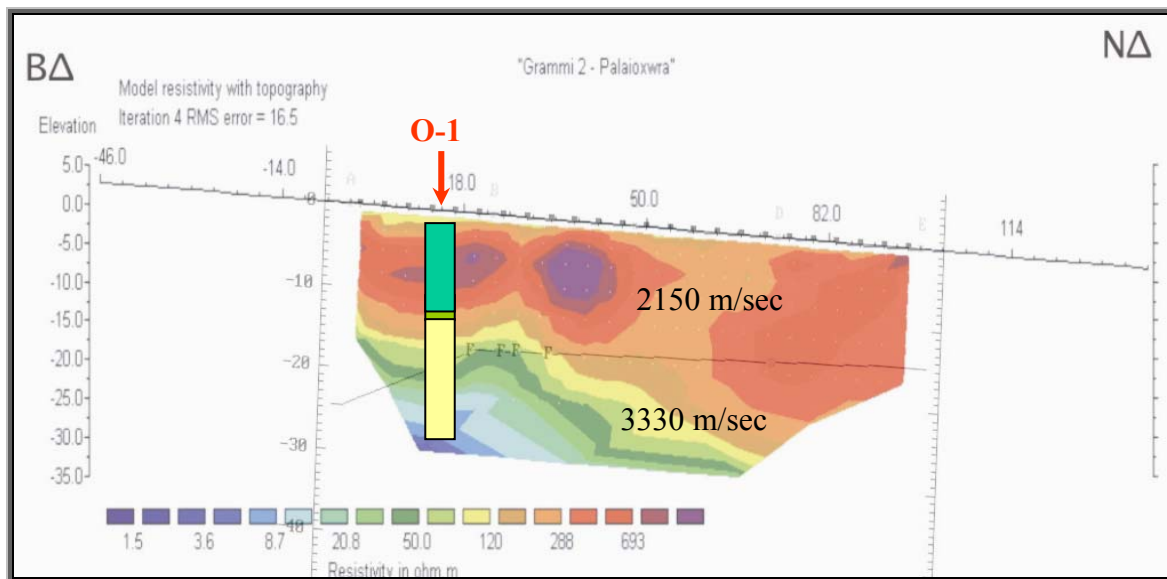
Η δεύτερη και η τρίτη ηλεκτρική γραμμή είναι σχεδόν παράλληλες, και δείχνουν ότι οι μάργες εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη προς τα βορειοδυτικά. Παράλληλα προς την

δεύτερη ηλεκτρική γραμμή και σε απόσταση 18 m προς τα ανατολικά από αυτήν υπάρχει η σεισμική γραμμή 3. Στο Σχήμα 6.16 φαίνεται η υπέρθεση της σεισμικής τομής 3 πάνω στην γεωηλεκτρική τομή ΠΤ2. Όπως προαναφέρθηκε στη σεισμική γραμμή 3 παρουσιάστηκε έλλειψη δεδομένων στο μεγαλύτερο τμήμα του δευτέρου αναπτύγματος. Παρατηρείται ότι η διεπιφάνεια των στρωμάτων καθορίστηκε από τα δεδομένα μόνο στην περιοχή Α του σχήματος 6.16. Παρόλα αυτά τα αποτελέσματα της σεισμικής διάθλασης και της ηλεκτρικής τομογραφίας δείχνουν να συμφωνούν στο τμήμα αυτό. Δηλαδή, η σεισμική διάθλαση υποδεικνύει ένα επιφανειακό στρώμα με ταχύτητα που αντιστοιχεί στους λατυποπαγείς σχηματισμούς και συμπίπτει με το στρώμα των υψηλών αντιστάσεων που υποδεικνύει η ηλεκτρική τομογραφία (πίνακας 6.1). Το δεύτερο στρώμα στην σεισμική τομή έχει ταχύτητα που αντιστοιχεί στις μάργες, ενώ συμπίπτει στο τμήμα Α, με το στρώμα χαμηλών τιμών της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης της γεωηλεκτρικής τομής.



Σχήμα 6.16: Υπέρθεση της τρίτης σεισμικής γραμμής (line 3) πάνω στη δεύτερη γεωηλεκτρική τομή

Την συμφωνία των αποτελεσμάτων της υπέρθεσης επιβεβαιώνει η γεώτρηση Ο-1 που πραγματοποιήθηκε σε απόσταση 12 m από την αρχή αυτής. Η γεώτρηση διέτρησε το στρώμα των μαργών σε βάθος περίπου 13 m, λίγο μικρότερο δηλαδή, από το βάθος που υπεδείξε η υπέρθεση 15 m (σχήμα 6.17). Τέλος, η Ο-1 υπέδειξε ένα στρώμα πάχους 1 m σε βάθος 12 m που αντιστοιχεί σε εξαλλοιωμένο αργιλικό λατυποπαγές. Λόγω του μικρού πάχους του δεν εντοπίζεται στη σεισμική διάθλαση, ενώ στην ΠΤ2 αντιστοιχεί σε ειδικές αντιστάσεις 120 Ohm.m.



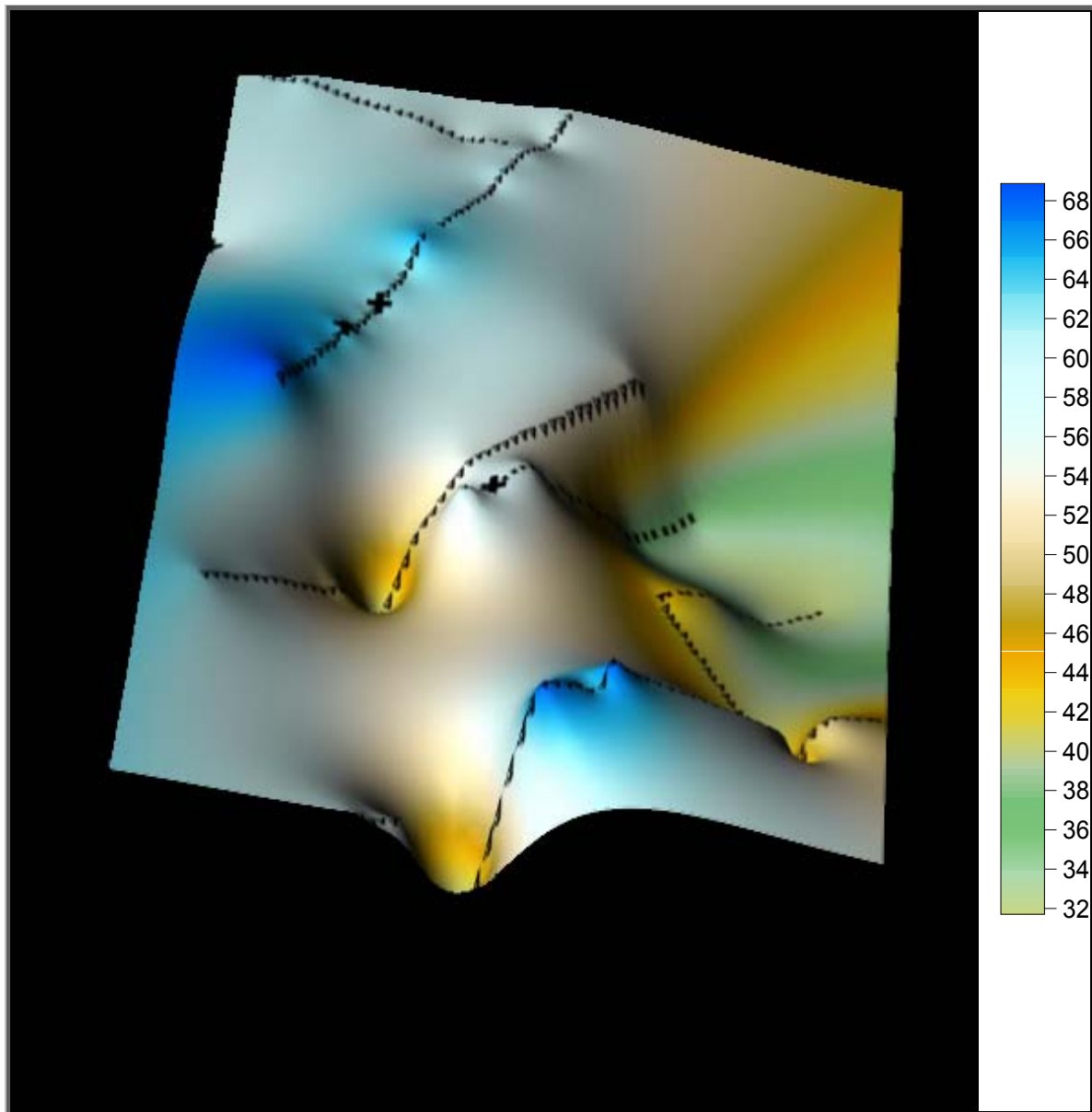
Σχήμα 6.17: Υπέρθωση της τρίτης σεισμικής γραμμής (line) πάνω στην δεύτερη γεωηλεκτρική τομή σε αντιπαραβολή με τη γεώτρηση O-1

6.6 Δημιουργία τρισδιάστατου μοντέλου

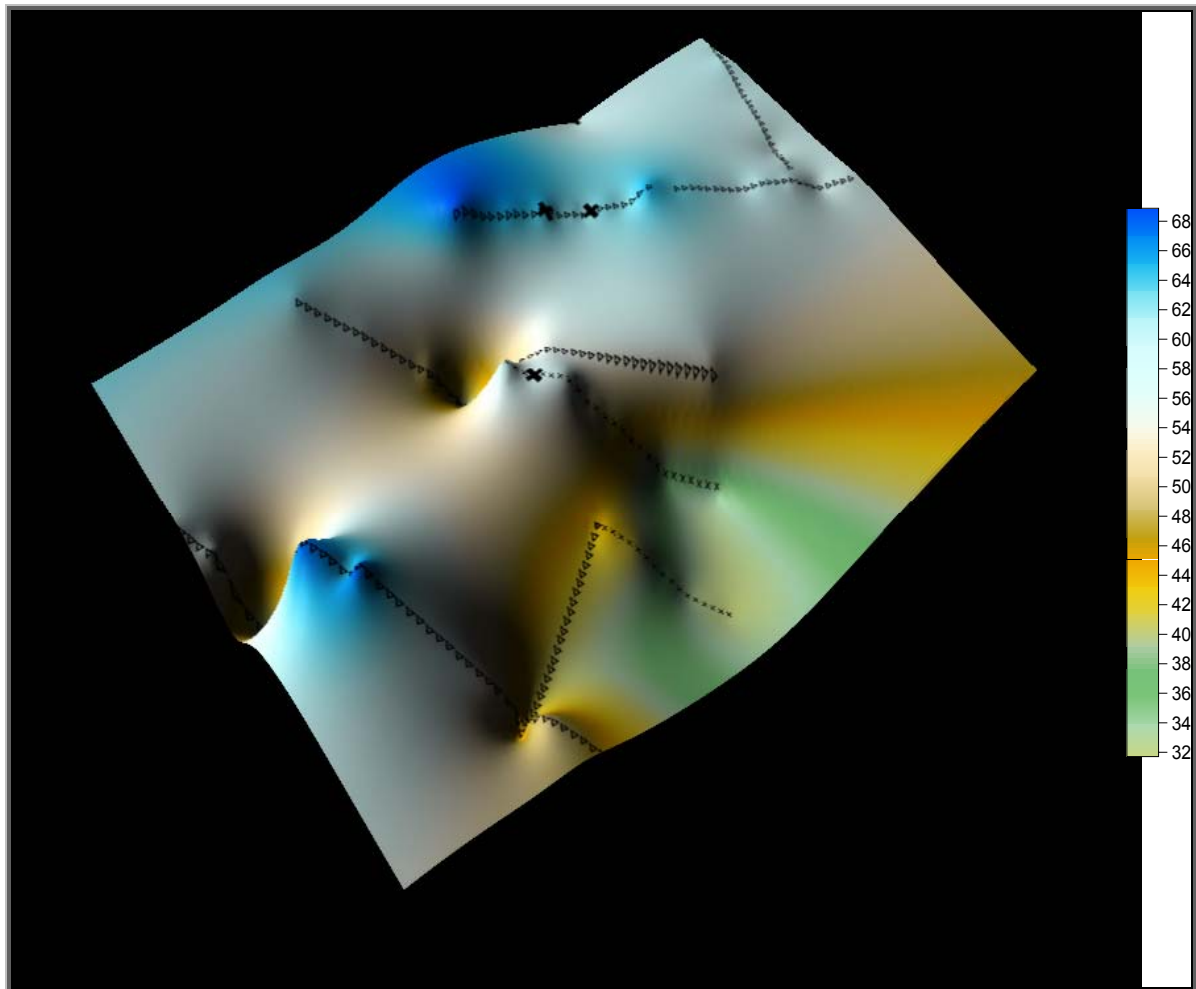
Από το σύνολο των αποτελεσμάτων της έρευνας δημιουργήθηκε τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής των μαργών του Νεογενούς της περιοχής της λιμνοδεξαμενής (σχήμα 6.18). Συγκεκριμένα, το βάθος της οροφής της μάργας κάτω από κάθε γεώφωνο μετατράπηκε σε απόλυτο υψόμετρο. Ομοίως, από τις γεωηλεκτρικές τομές, υπολογίστηκε το βάθος της οροφής της μάργας (σημείο εναλλαγής υψηλών και χαμηλών τιμών ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης) κάτω από κάθε κέντρο της ηλεκτρικής γραμμής. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν γεωλογικά και γεωφυσικά δεδομένα από τις γεωτρήσεις. Με την εισαγωγή των δεδομένων αυτών στο λογισμικό πακέτο Surfer © δημιουργήθηκε το ανάγλυφο της οροφής των μαργών του Νεογενούς.

Παρατηρείται στα σχήματα 6.18α και 6.18β το τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας. Το απόλυτο υψόμετρο της οροφής της μάργας κυμαίνεται από 32 έως 68 m. Μεγαλύτερα απόλυτα υψόμετρα παρατηρούνται προς τα ΒΑ. Στο τρισδιάστατο μοντέλο της μάργας έχουν τοποθετηθεί οι γεωτρήσεις (σταυροί), οι σεισμικές και ηλεκτρικές γραμμές (τρίγωνα). Στο μοντέλο παρατηρείται ότι δεν εμφανίζονται ρήγματα που να επηρεάζουν τις μάργες του νεογενούς. Επίσης, διακρίνεται ένα ύβωμα κοντά στην θέση της γεώτρησης O-1, το οποίο συνεχίζει προς τα Δ-ΝΔ προσδιορίζοντας το ύβωμα που είχε υποδειχθεί στην σεισμική τομή 4, 70 m από την αρχή της. Αυτή η γεωλογική μορφή διαιρεί την περιοχή μελέτης σε δύο τμήματα. Στο νοτιότερο τμήμα αυξάνεται η κλίση του μαργαϊκού

σχηματισμού, ενώ στο βορειότερο, οι μάργες εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη και με μικρότερη κλίση.



Σχήμα 6.18: α) Τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας (τομή)



Σχήμα 6.18: β) Τρισδιάστατο μοντέλο της οροφής της μάργας από ΝΔ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Συμπεράσματα – Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν η προσεγγισή του γεωλογικού υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής της Κουντούρας του δήμου Πελεκάνου, όπου προγραμματίζεται να εκσκαφεί λιμνοδεξαμενή, για τον εντοπισμό τυχόν ρηγμάτων και έγκοιλων μέχρι βάθους 30m. Η γεωφυσική διασκόπηση πραγματοποιήθηκε με τις μεθόδους της σεισμικής διάθλασης (7 γραμμές μήκους 1012 m) και ηλεκτρικής τομογραφίας (3 γραμμές μήκους 248 m), ενώ παράλληλα έγινε συσχετισμός των αποτελεσμάτων της γεωφυσικής διασκόπησης με πληροφορίες που προέρχονταν από το γεωλογικό χάρτη και τέσσερις γεωτρήσεις (2 δειγματοληπτικές και 2 διαγραφιών) της περιοχής, που πραγματοποιήθηκαν από τον κ. Διαμαντάκη και την εταιρία ΓΕΩΤΕΚ αντίστοιχα.

Από την ερμηνεία λοιπόν, των αποτελεσμάτων των γεωφυσικών μεθόδων και τον συσχετισμό των με πληροφορίες που προέρχονται από το γεωλογικό χάρτη και τις τέσσερις γεωτρήσεις προσεγγίζεται το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής:

- Τόσο τα αποτελέσματα της Σεισμικής Διάθλασης όσο και αυτά της Ηλεκτρικής Τομογραφίας συμφωνούν μεταξύ τους και επιβεβαιώνονται από τα γεωτρητικά στοιχεία. Στους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχή μελέτης, μέχρι βάθους 30 m, δεν εντοπίζονται ρήγματα ή έγκοιλα. Η στρωματογραφική διαδοχή που παρατηρείται δυτικά του δρόμου προς Ελαφονήσι χαρακτηρίζεται από την επιφανειακή εμφάνιση λατυποπαγούς στρώματος το οποίο επικάθεται πάνω στο μαργαϊκό σχηματισμό. Η στρωματογραφική διαδοχή που παρατηρείται ανατολικά του δρόμου προς Βουτά χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση επιφανειακών προσχώσεων που επικάθονται πάνω στο μαργαϊκό σχηματισμό. Παράλληλα στο τμήμα αυτό στην σεισμική γραμμή 2 εντοπίζεται στρώμα με υψηλή σεισμική ταχύτητα και πιθανολογείται ότι αντιστοιχεί σε ασβεστόλιθους, που αποτελούν συνέχεια των ασβεστόλιθων που εμφανίζονται στην επιφάνεια νότια και

εκτός των ορίων της περιοχής μελέτης. Οι ασβεστόλιθοι φαίνεται να εμφανίζονται και στην ηλεκτρική γραμμή ΠΤ1 (υψηλές ειδικές ηλεκτρικές αντιστάσεις), ενώ παράλληλα στην συγκεκριμένη γραμμή (γεώτρηση O-2) εμφανίζονται αποσπασμένοι φυλλίτες και χαλαζίτες. Δεν είναι σαφές λοιπόν, αν υποκείμενα του συνεκτικού νεογενούς μαργαϊκού στρώματος παρεμβάλλεται η αποσπασμένη ζώνη φυλλιτών - χαλαζιτών σε ολόκληρο το τμήμα αυτό. Στο τρισδιάστατο μοντέλο της μάργας (σχήμα 6.18) προκύπτει ότι το απόλυτο υψόμετρο της οροφής της κυμαίνεται από 32 έως 68 m. Μεγαλύτερα απόλυτα υψόμετρα παρατηρούνται προς τα ΒΑ. Επίσης, διακρίνεται ένα ύβωμα κοντά στην θέση της γεώτρησης O-1, το οποίο συνεχίζει προς τα Δ-ΝΔ. Αυτή η γεωλογική μορφή διαιρεί την περιοχή μελέτης σε δύο τμήματα. Στο νοτιότερο τμήμα αυξάνεται η κλίση του μαργαϊκού σχηματισμού, ενώ στο βορειότερο, οι μάργες εμφανίζονται σε μικρότερα βάθη και με μικρότερη κλίση. Οι μεγάλες κλίσεις της μάργας λοιπόν, στα ΝΑ της περιοχής μελέτης σε συνδυασμό με την πιθανή συνέχεια εμφάνισης της αποσπασμένης ζώνης φυλλιτών – χαλαζιτών στο τμήμα εκείνο αποτελεί ένα ενδεχόμενο παράγοντα κινδύνου για την έδραση της λιμνοδεξαμενής.

- Τα γεωμηχανικά χαρακτηριστικά (πίνακας 6.2) των διατρηθέντων σχηματισμών συνηγορούν στην ασφαλή κατασκευή της λιμνοδεξαμενής.

7.2 Προτάσεις

Από τα προαναφερόμενα συμπεράσματα προκύπτουν ορισμένα κύρια ερωτήματα για την ολοκληρωμένη γνώση των γεωλογικών σχηματισμών του υπεδάφους της περιοχής μελέτης. Προτείνονται λοιπόν, για την πληρέστερη χαρτογράφηση του γεωλογικού υποβάθρου της ευρύτερης περιοχής τα εξής:

- Η πραγματοποίηση επιπλέον γεωφυσικής έρευνας στο Α – ΝΑ τμήμα της περιοχής. Όπως προαναφέρθηκε στο τμήμα αυτό παρατηρείται εξωτερικά των ορίων εμφάνιση ασβεστόλιθων οι οποίοι όμως δεν εμφανίστηκαν σε καμία γεώτρηση, ενώ παράλληλα πιθανολογείται ότι εμφανίζονται στην σεισμική γραμμή 2. Είναι επίσης, απαραίτητη η πραγματοποίηση επιπλέον γεωτρήσεων ώστε να καθοριστεί η στρωματογραφία και οι κλίσεις των σχηματισμών στην προαναφερόμενη περιοχή.

- Η οριοθέτηση της εμφάνισης της ζώνης των φυλλιτών - χαλαζιτών (γεώτρηση Ο-2 και ηλεκτρική γραμμή ΠΤ1) και ο καθαρισμός των κλίσεων της διεπιφάνειας επαφής τους με το υπερκείμενο μαργαϊκό στρώμα, με την πραγματοποίηση γεωφυσικής έρευνας κοντά και παράλληλα στην ηλεκτρική γραμμή ΠΤ1, τις οποίες ενδεχομένως θα ακολουθήσουν γεωτρήσεις σε συγκεκριμένα σημεία.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. **Βαφείδης, Α., (1993)**, “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι”, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. **Βαφείδης, Α., (1994)**, “Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους”, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
3. **Βαφείδης, Α., (2001)**, “Εφαρμοσμένη Γεωφυσική ΙΙ”, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
4. **Βαφείδης, Α., Αμολοχίτης, Γ., (1992)**, “Γεωφυσική Έρευνα με Γεωηλεκτρικές και Σεισμικές Διασκοπήσεις στον Οικισμό Άνω Μέρους, Ν. Ρεθύμνης”, Έκθεση, Νομαρχιακό Ταμείο Ρεθύμνης, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
5. **Βαφείδης, Α., Μονόπωλης, Δ., Αμολοχίτης, Γ., Στειακάκης Μ., (1991)**, “Γεωφυσική Έρευνα με Γεωηλεκτρικές Διασκοπήσεις στην Κοιλάδα του Κερίτη Ποταμού”, Έκθεση, “Ανάπτυξη Μεθόδων Αξιοποίησης Των Υπόγειων Νερών Δυτικής Κρήτης”, ΓΓΕΤ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
6. **Βαφείδης, Α., Hamdan, H., Ανδρονικίδης, Ν., Δασύρας, Α., Κρητικάκης, Γ., Κουκαδάκη, Μ., Κουμάκης, Ν., Λαμπαθάκης, Σ., Μανούτσογλου, Ε., Οικονόμου, Ν., Παπακωνσταντίνου, Κ., Σπανουδάκης, Ν., (2004)**, “Συμβολή της Ηλεκτρικής Τομογραφίας και της Σεισμικής Διάθλασης στην Επιλογή Θέσης για την Δημιουργία Λιμνοδεξαμενης στην Κουντούρα, Δ. Πελεκάνου, Ν. Χανίων”, Έκθεση, ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, ΟΑΔΥΚ, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
7. **Γκανιάτσος, Ι., (2000)**, “Γεωηλεκτρική Τομογραφία σε τρεις Διαστάσεις”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
8. **Καβουσάνος, Ε.,(2003)**, “Αξιολόγηση Γεωτρητικών Δεδομένων και Εξαγωγή Γεωτεχνικών Παραμέτρων για την Αριθμητική Προσομοίωση Ευστάθειας Πρανών”, Διπλωματική Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
9. **Παπαζάχος, Β., (1986)**, “Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική”, Εκδόσεις “Ζήτη”, Θεσσαλονίκη.
10. **Παπαχαρίσης, Π., (2001)**, “Εργαστηριακές Μετρήσεις Εδαφομηχανικής”, Εκδόσεις, “Αφοί Κυριακίδη”, Θεσσαλονίκη.

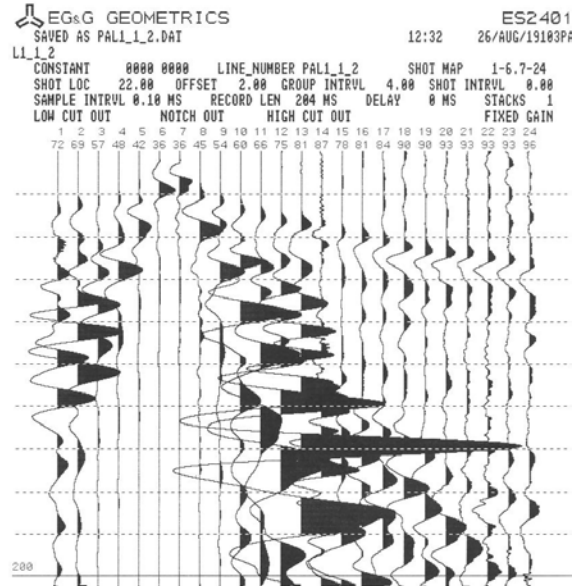
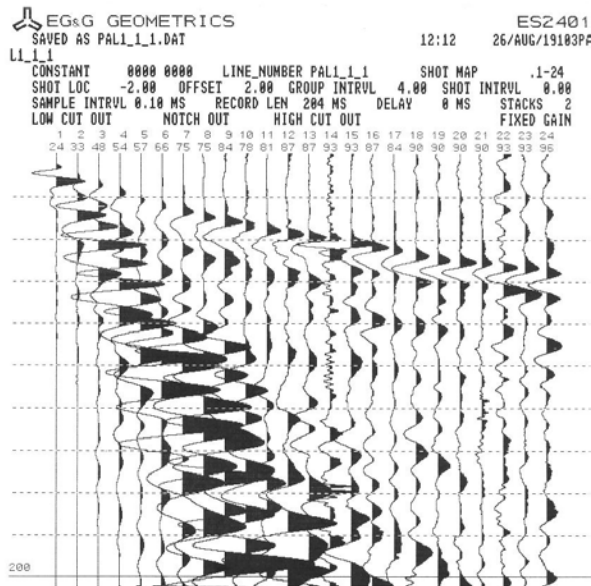
11. **Ραπτάκης, Δ., (1995)**, “Συμβολή στον Προσδιορισμό της Γεωμετρίας και των Δυναμικών Ιδιοτήτων των Εδαφικών Σχηματισμών και στη Σεισμική Απόκριση τους”, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
12. **Σούρλας, Γ., (2000)**, “Συμβολή της Γεωφυσικής Διασκόπησης στην Αναζήτηση Θαμμένων Αρχαιοτήτων στην Ίτανο, Λασιθίου.”, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Διεθνής Βιβλιογραφία

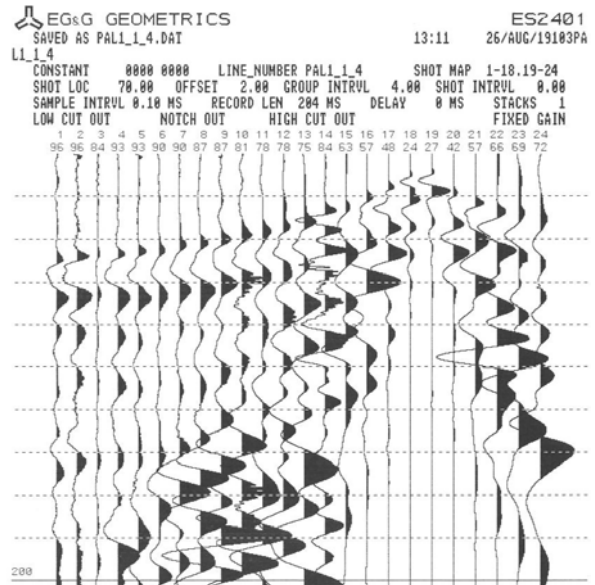
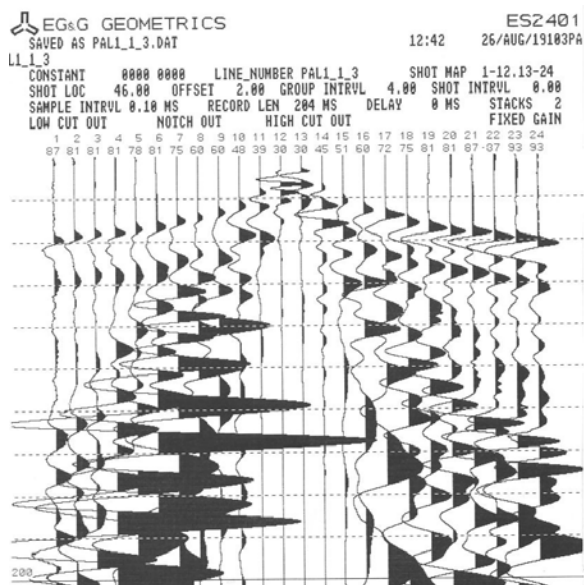
13. **Haeni FP, Grantham DG, And Ellefsen K., (1987)**, “Microcomputer-Based Version Of SIPT-. A Program For The Interpretation Of Seismic-Refraction Data”, Open File Report 87-103-A. Harford, Connecticut.
14. **Reynolds, M. J., (1997)**, “An Introduction To Applied And Environmental Geophysics”, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, ISBN 0-471-95555-8.
15. **Robinson, E. S. & Coruh, C., (1988)**, “Basic Exploration Geophysics”, New York: John Wiley.
16. **Sheriff, R. E., Geldart, L. P., (1995)**, “Exploration Seismology”, 2nd Edition, Cambridge University Press, ISBN 0-521-46282-7.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

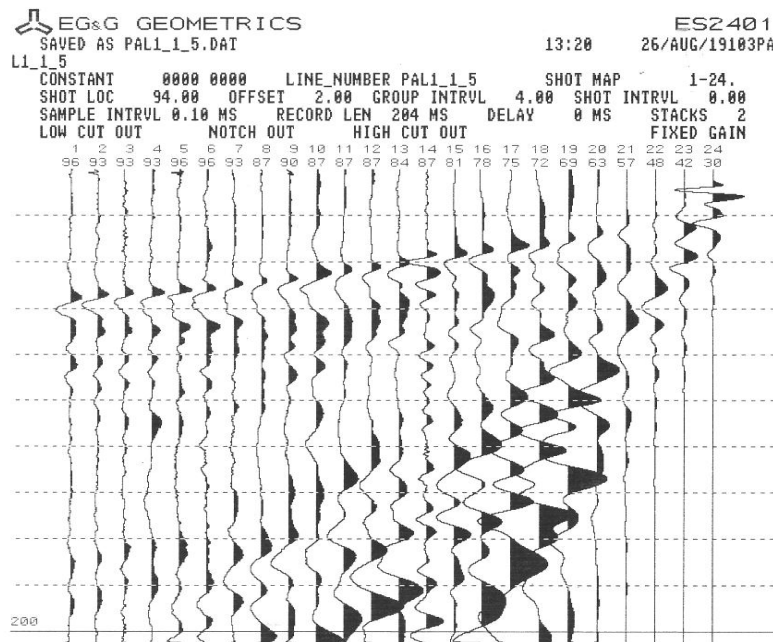
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α
ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΚΟΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1: 1^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 2 (αριστερά) και 3 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1. Οι καταγραφές στις θέσεις 1 και 7 δεν πραγματοποιήθηκαν για αυτό το ανάπτυγμα

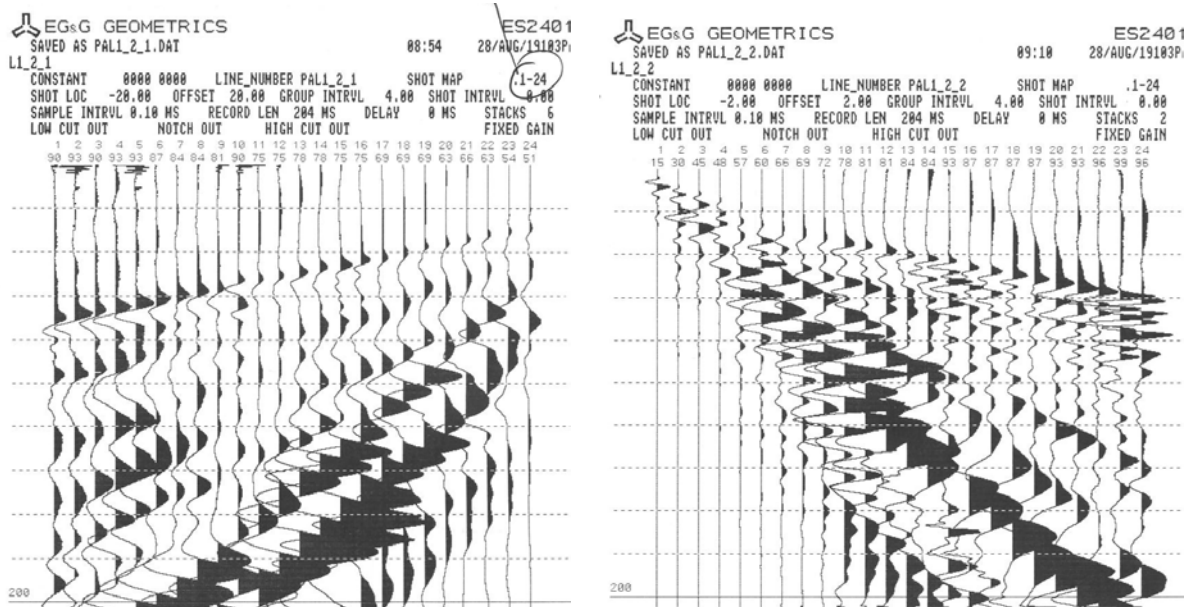


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 4 (αριστερά) και 5 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1. Οι καταγραφές στις θέσεις 1 και 7 δεν πραγματοποιήθηκαν για αυτό το ανάπτυγμα

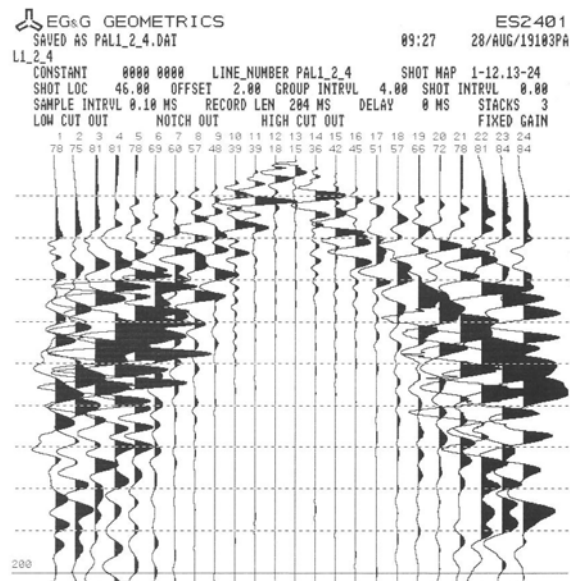
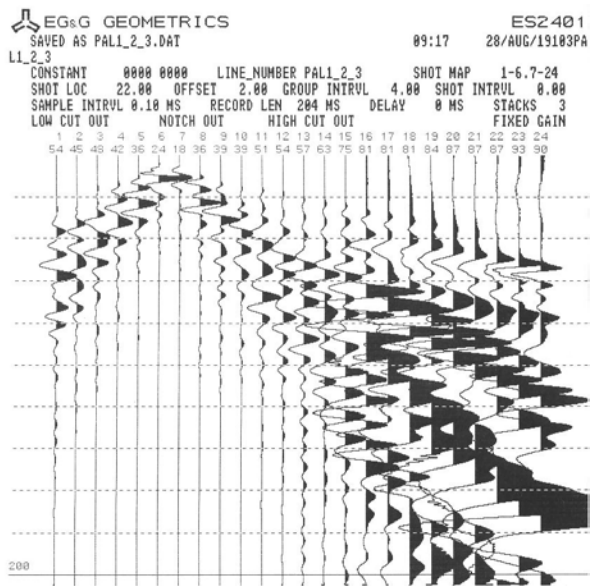


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 6 του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1. Οι καταγραφές στις θέσεις 1 και 7 δεν πραγματοποιήθηκαν για αυτό το ανάπτυγμα

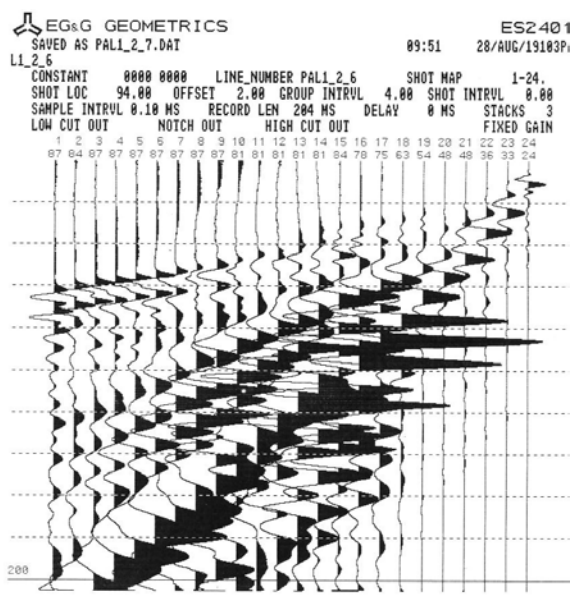
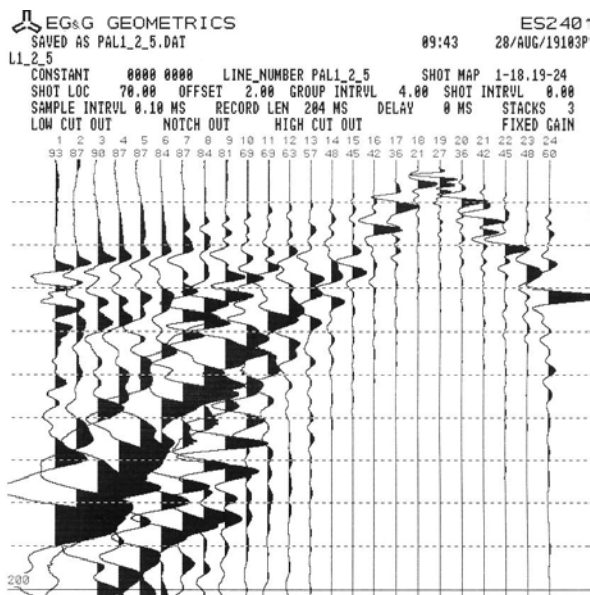
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1: 2^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



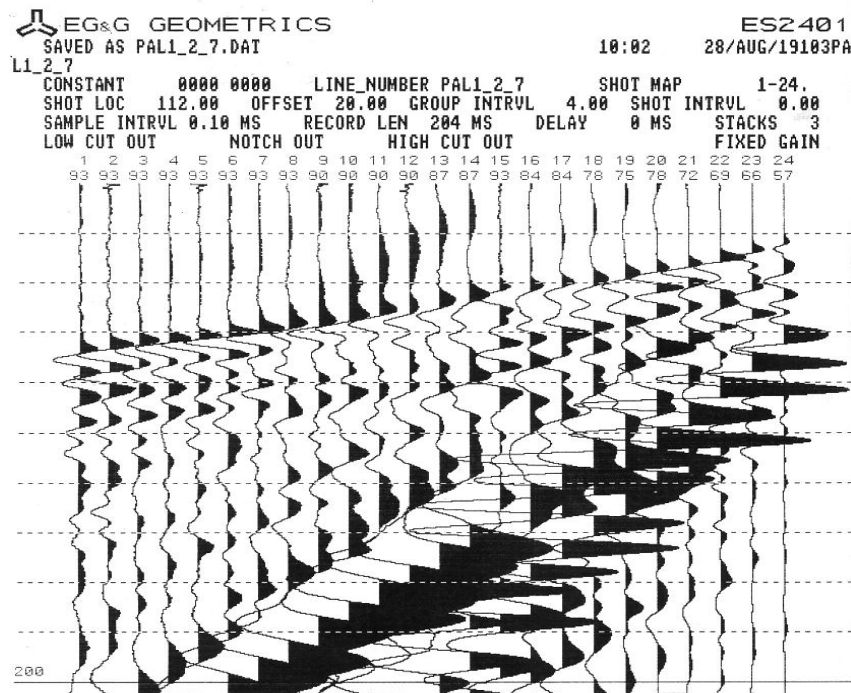
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1. Η καταγραφή στη θέση 1 έχει προσανατολισμένα ανάποδα τα κανάλια γεγονός που διορθώθηκε στην επεξεργασία



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής Ι.

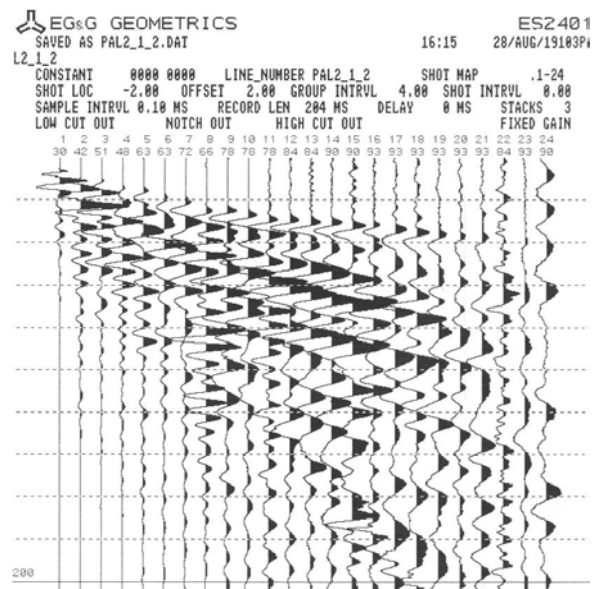
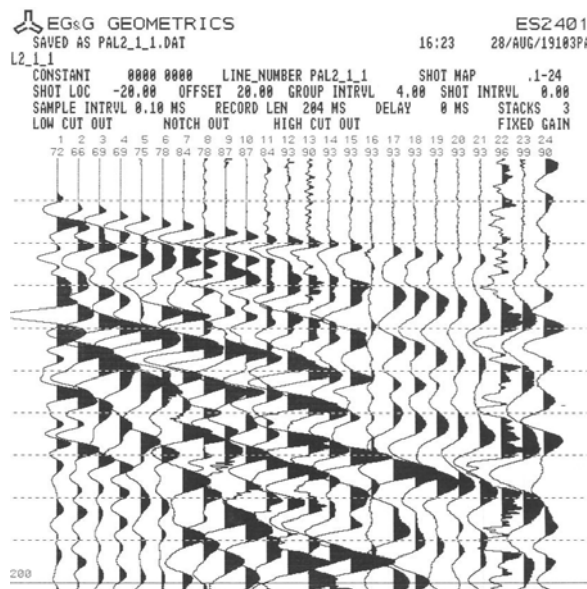


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής Ι.

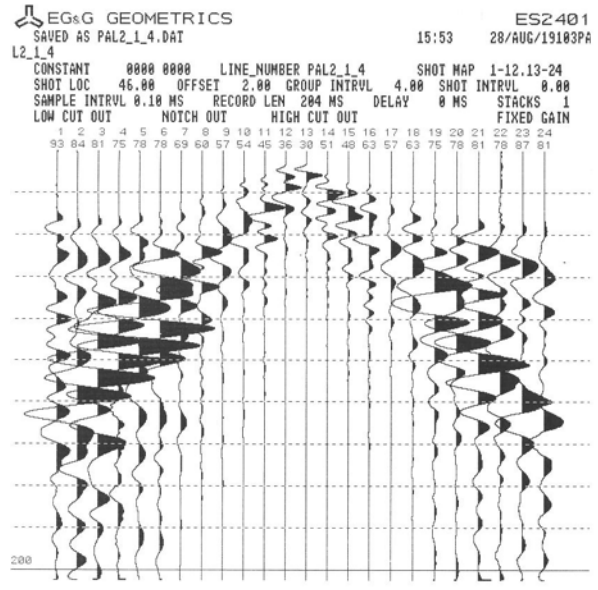
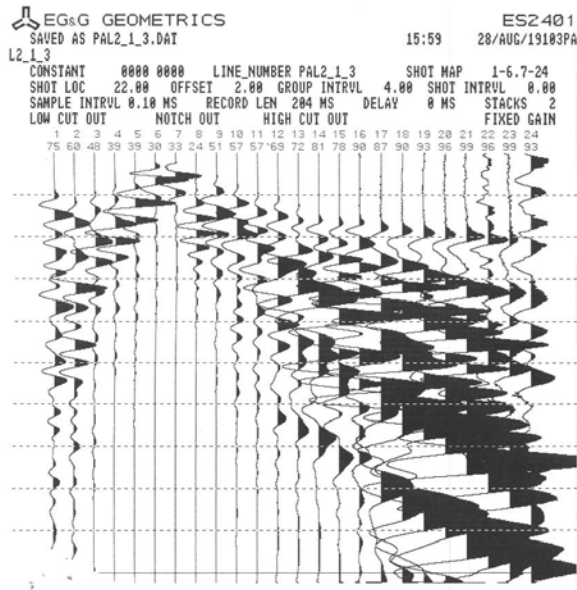


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1.

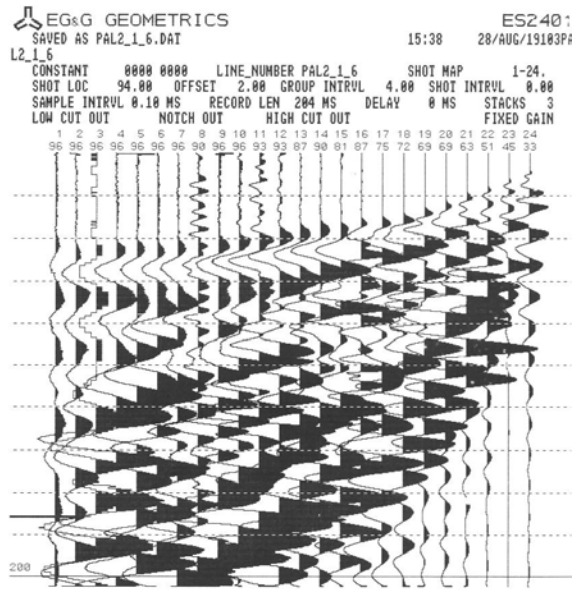
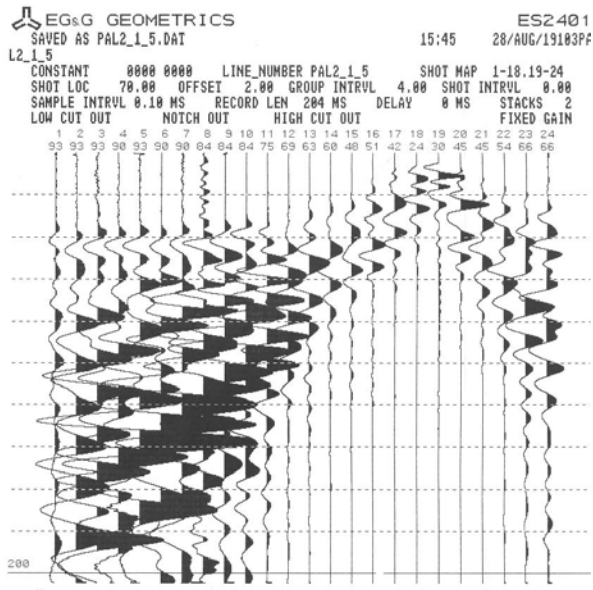
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2: 1⁰ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



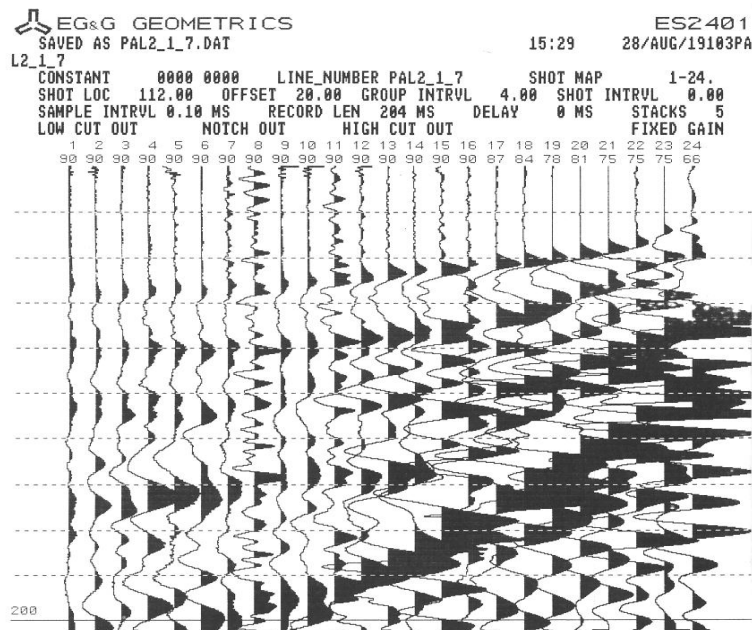
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

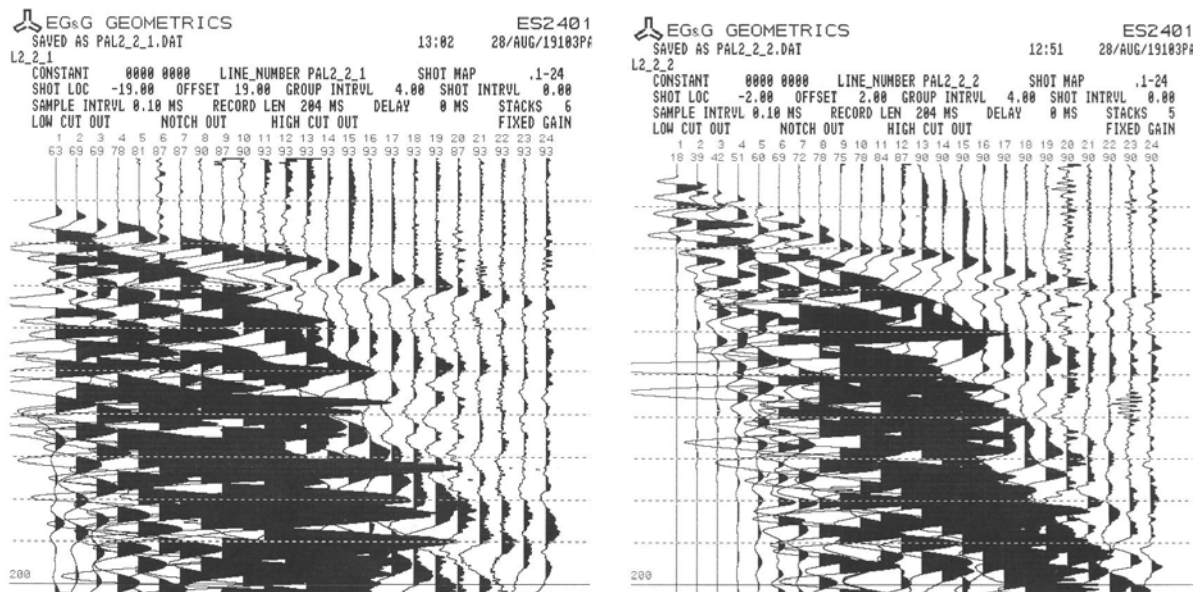


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

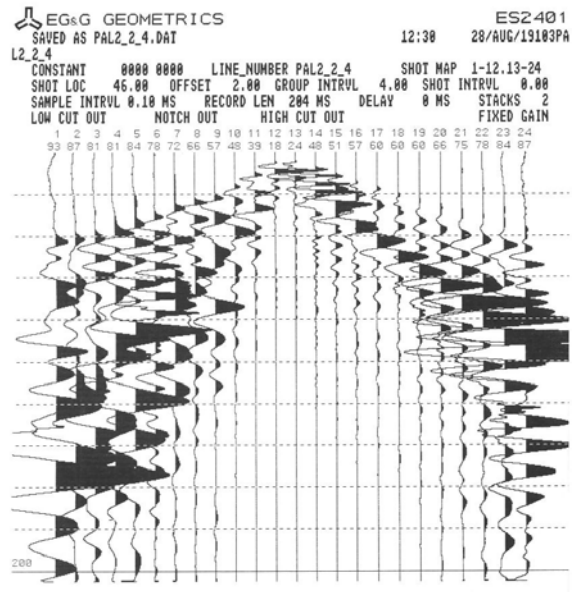
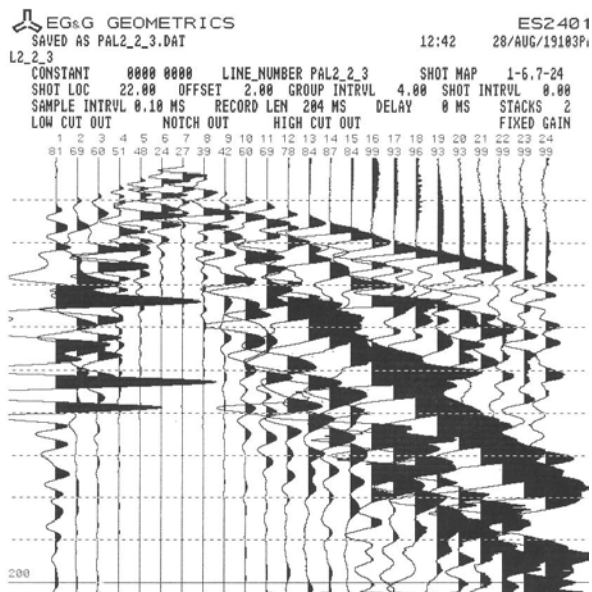


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

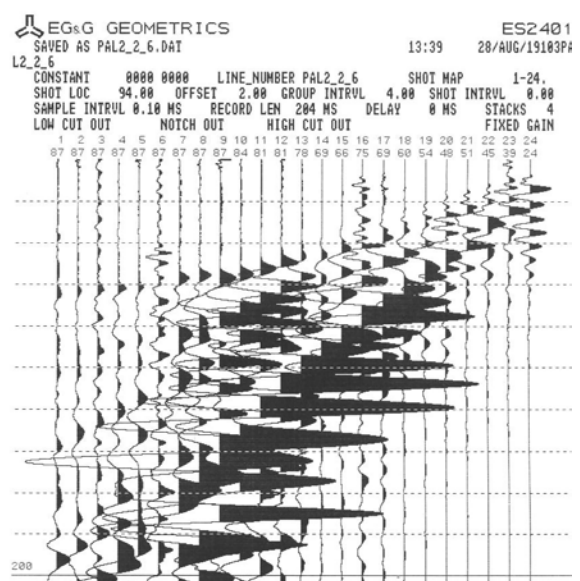
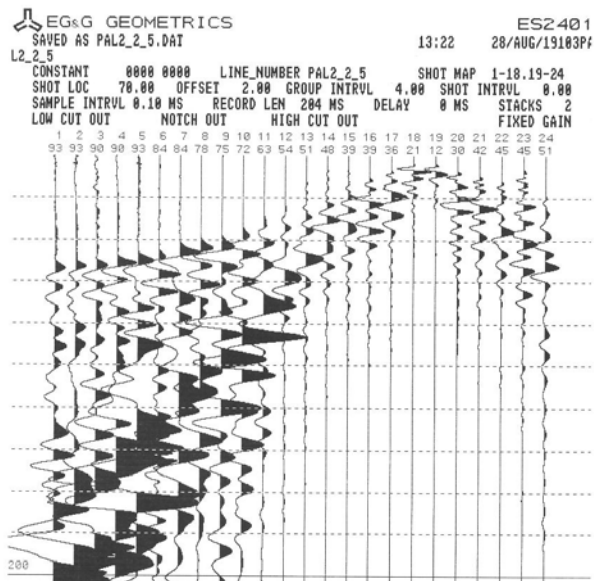
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2: 2^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



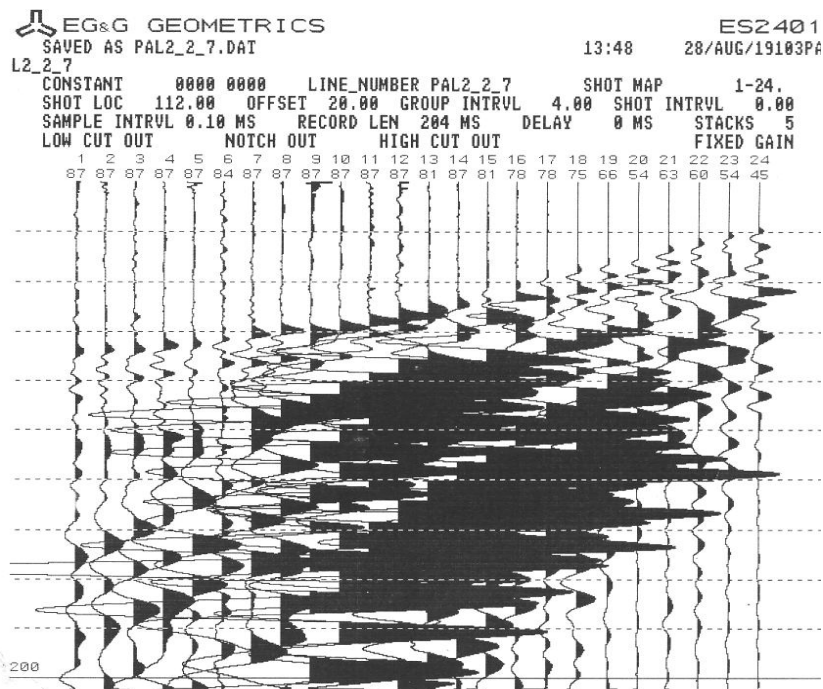
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

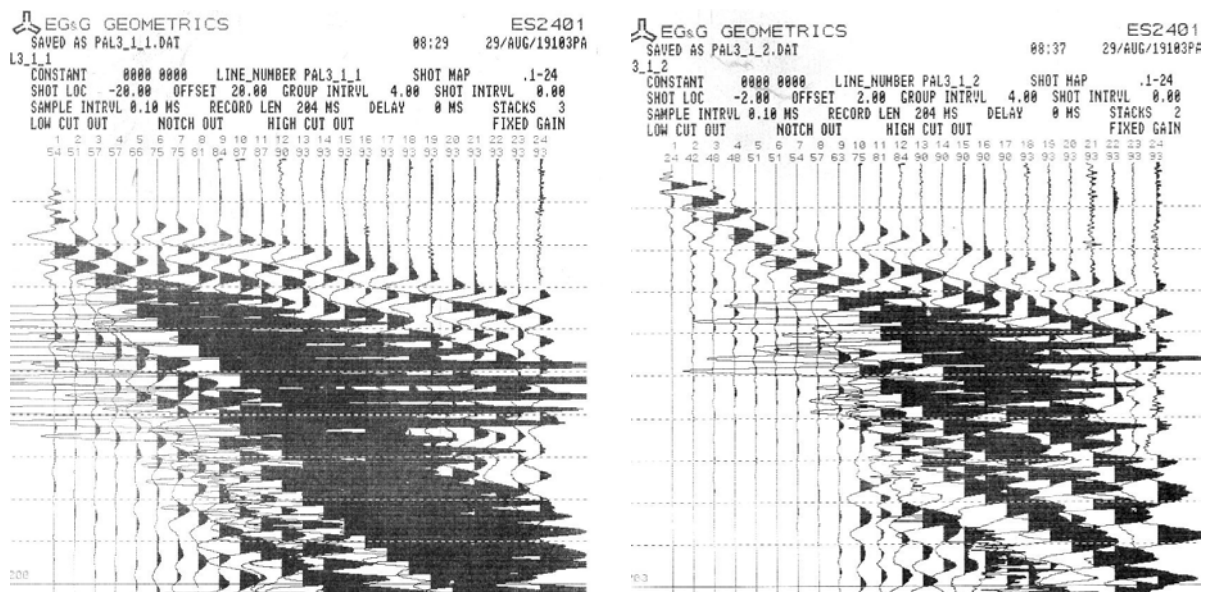


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

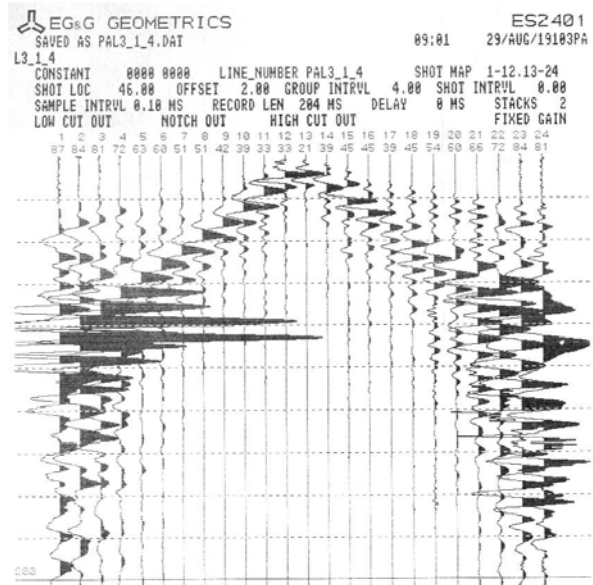
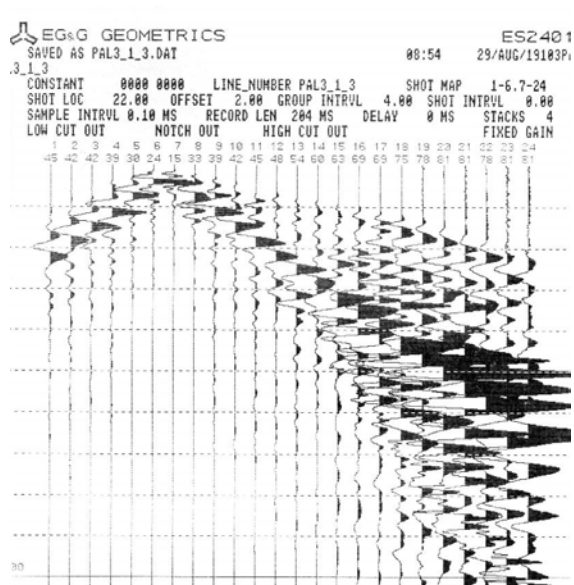


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2.

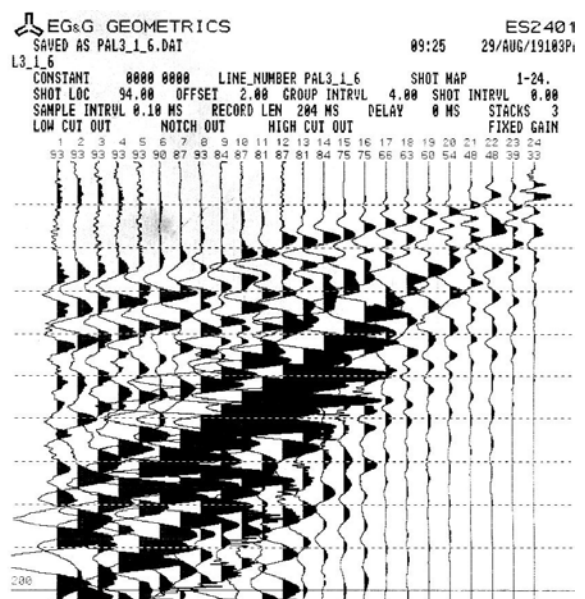
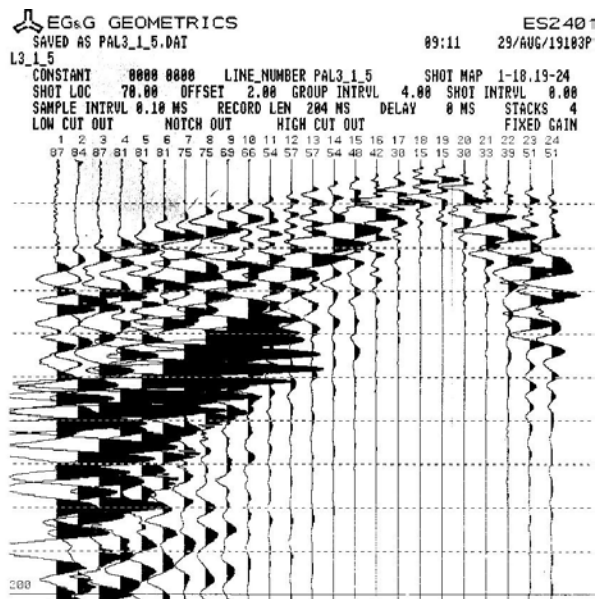
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3: 1^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



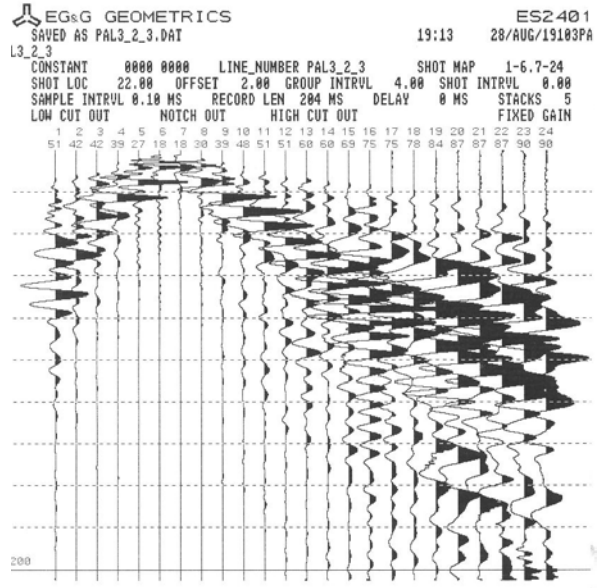
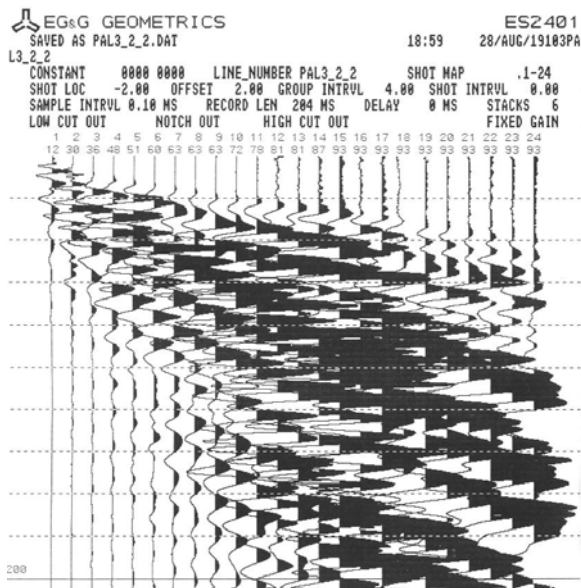
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3.



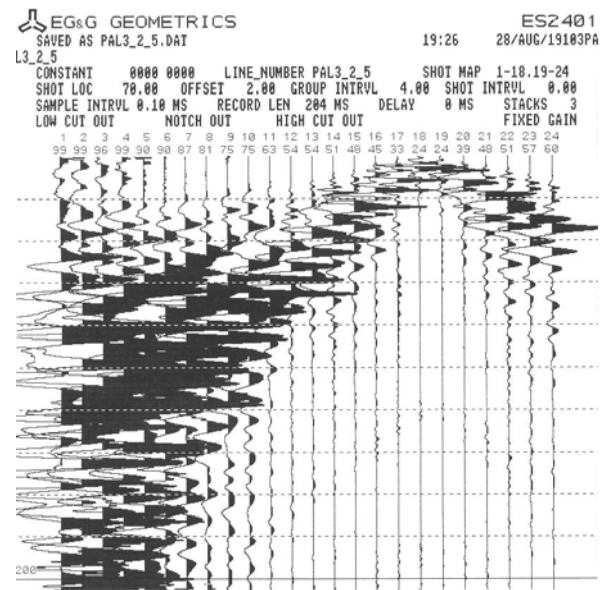
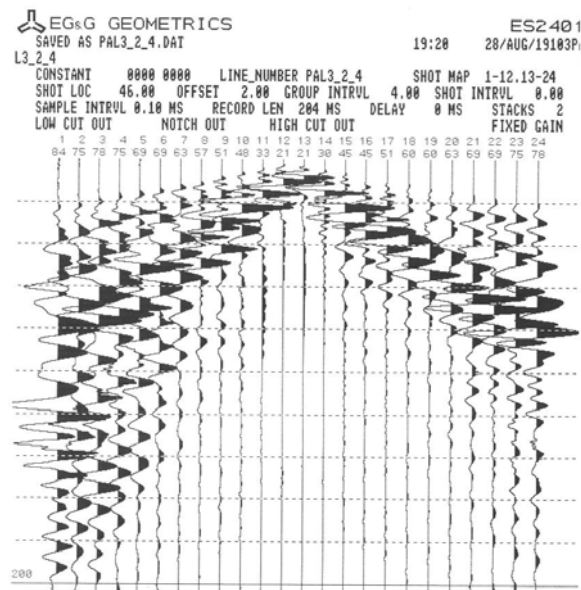
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3.



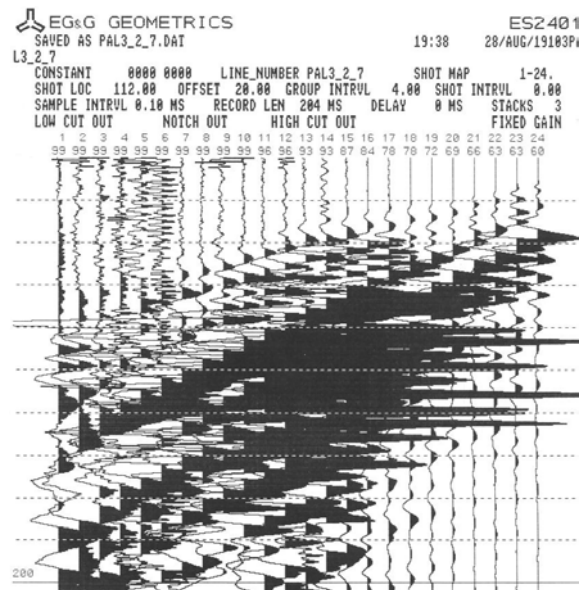
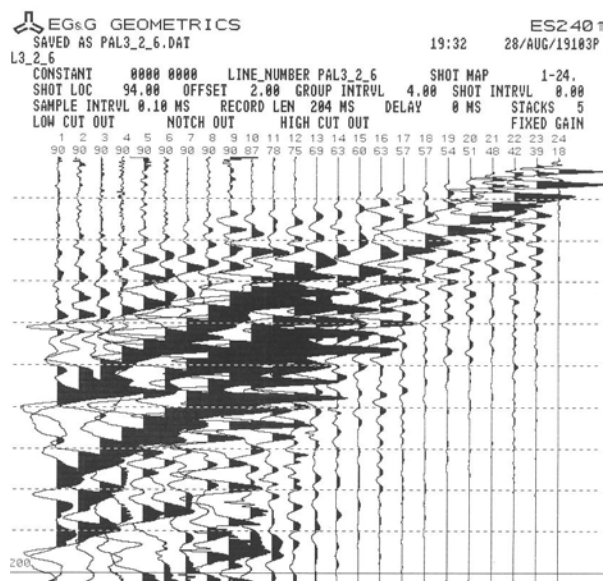
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3. Η καταγραφή στη θέση 7 δεν πραγματοποιήθηκε.

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3: 2^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 2 (αριστερά) και 3 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3. Η καταγραφή στη θέση 1 δεν πραγματοποιήθηκε.

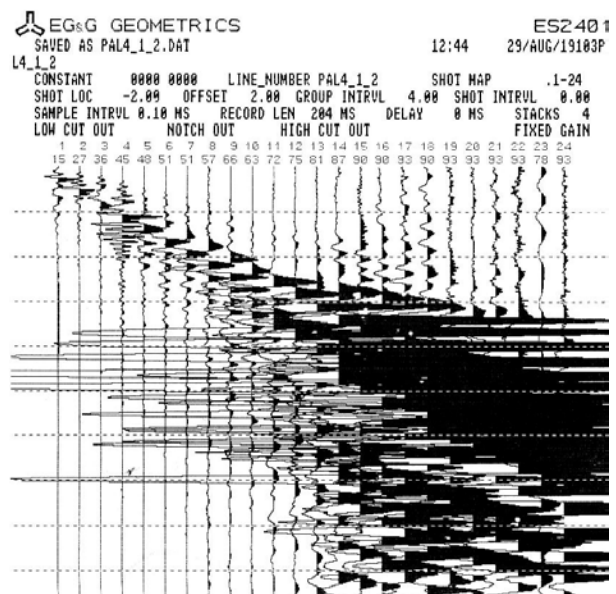
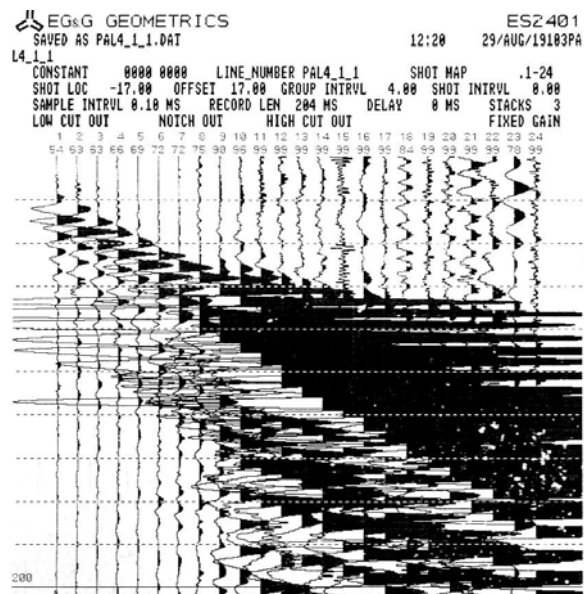


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 4 (αριστερά) και 5 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3.

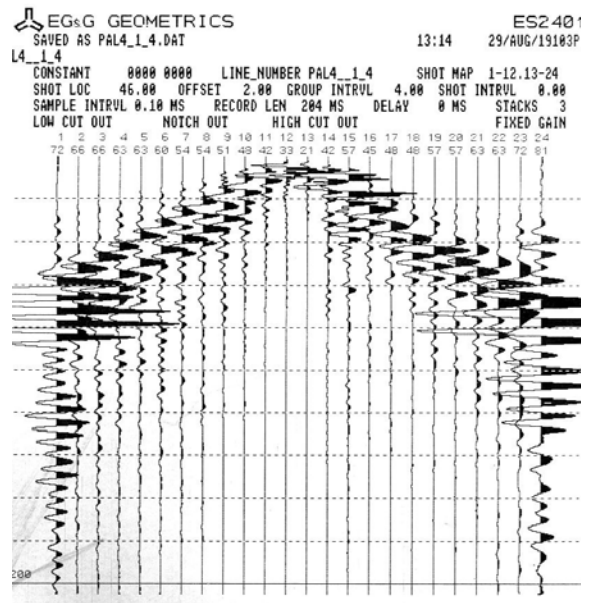
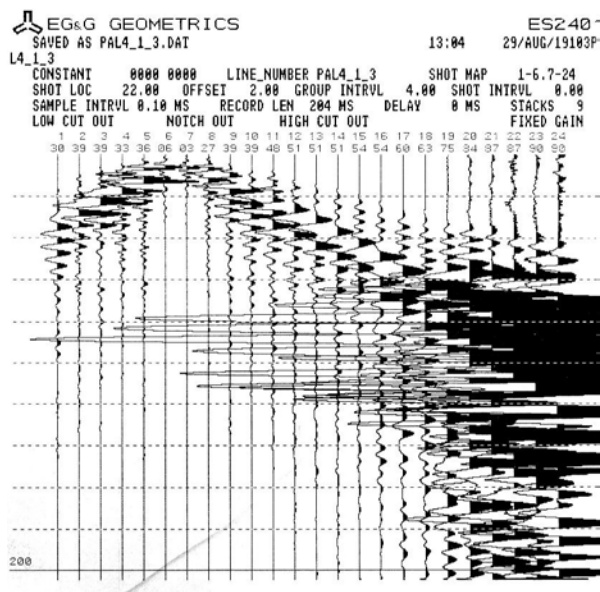


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 6 (αριστερά) και 7 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3.

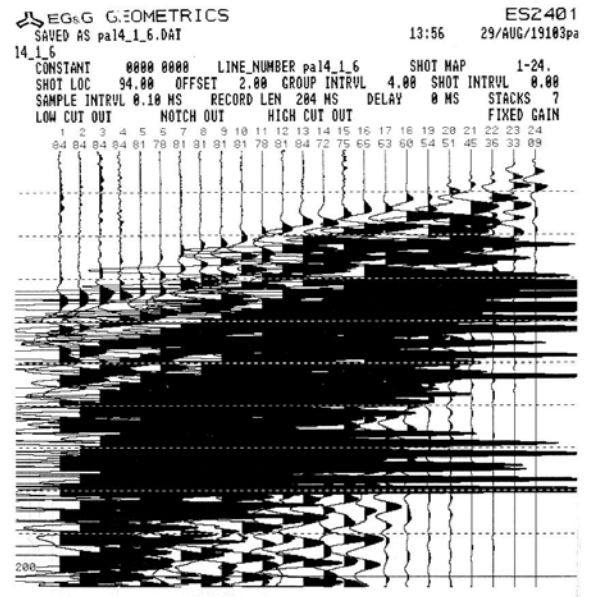
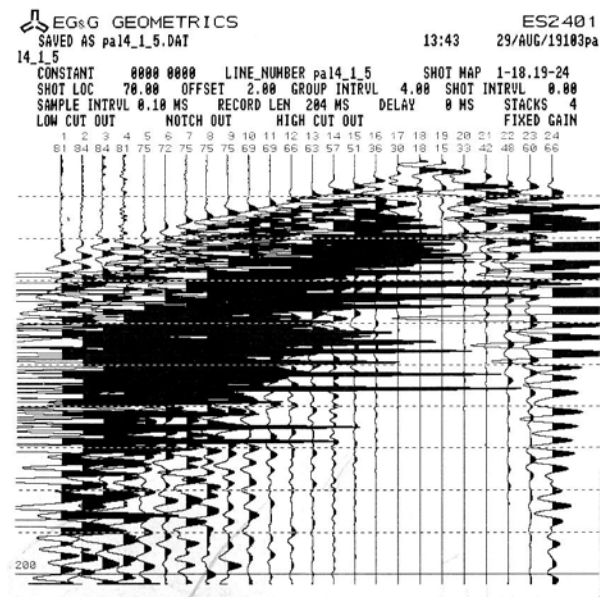
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 4: 1^Ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



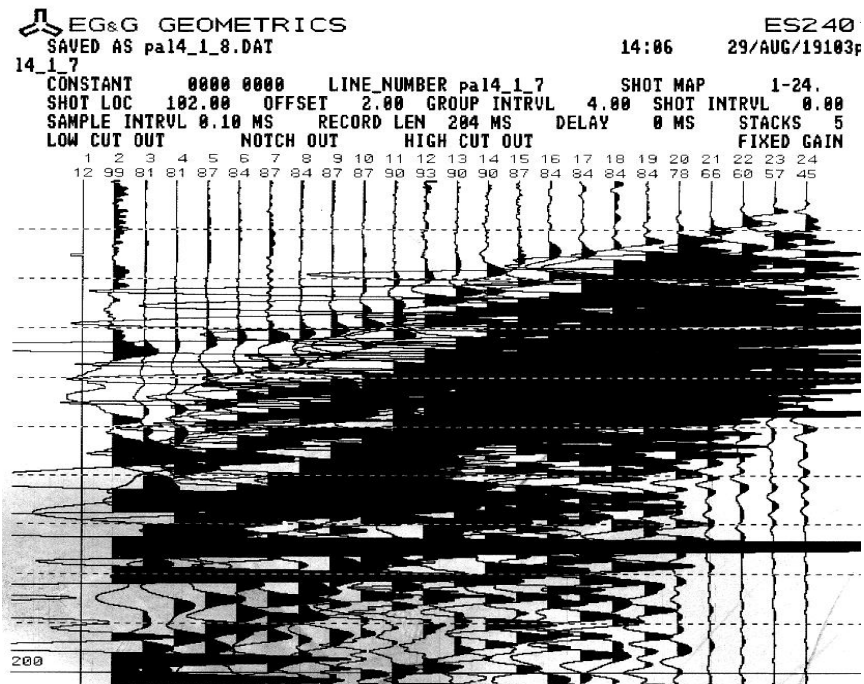
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.

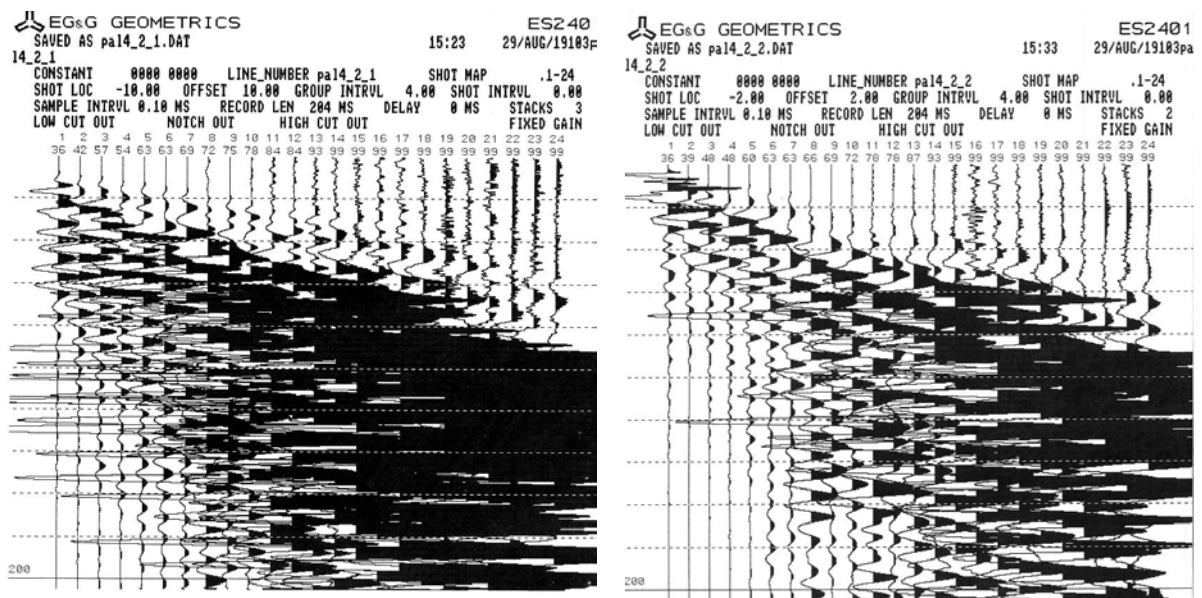


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.

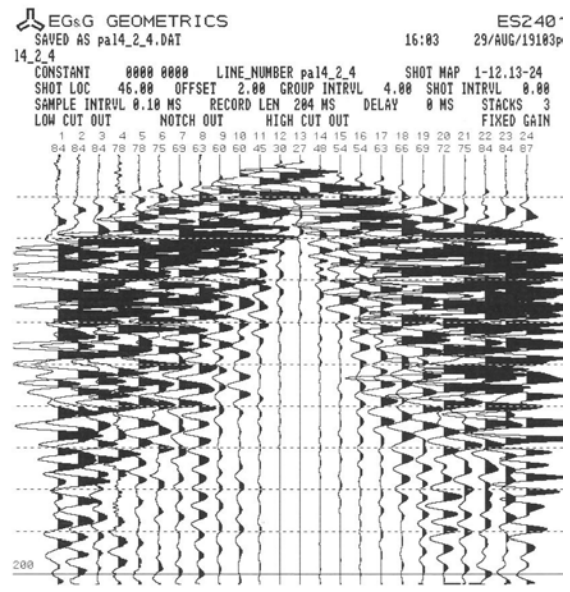
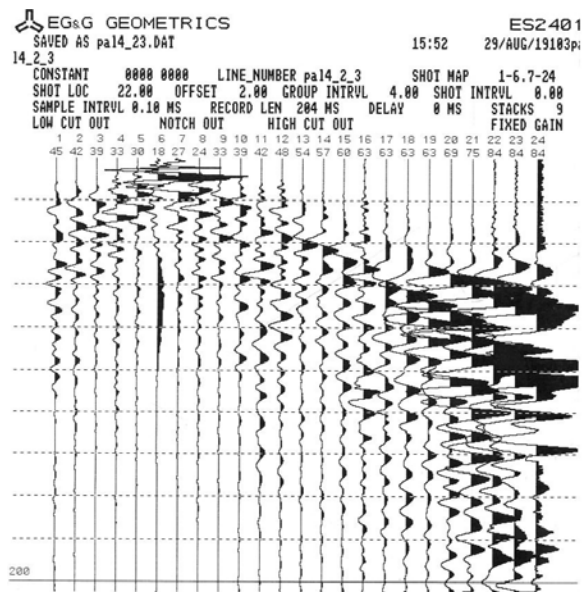


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.

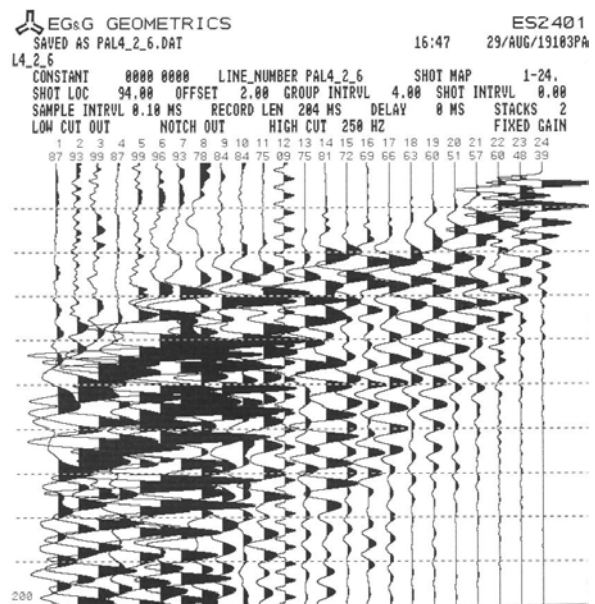
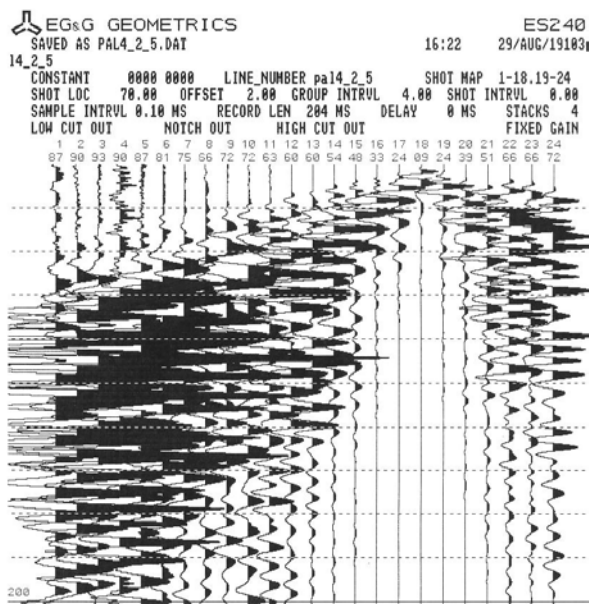
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 4: 2⁰ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.

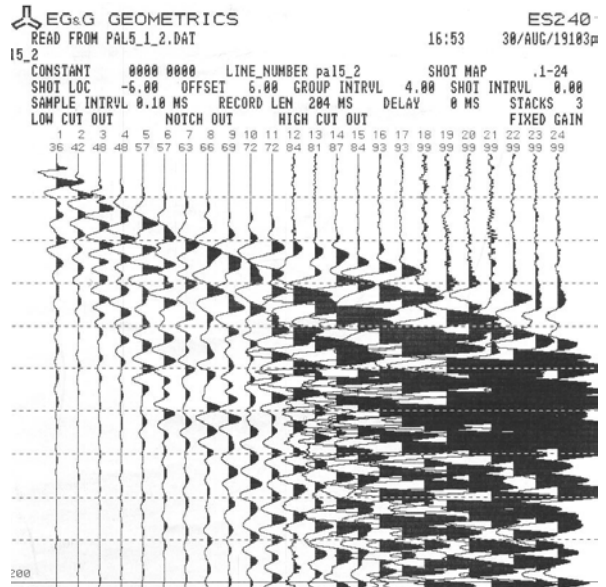
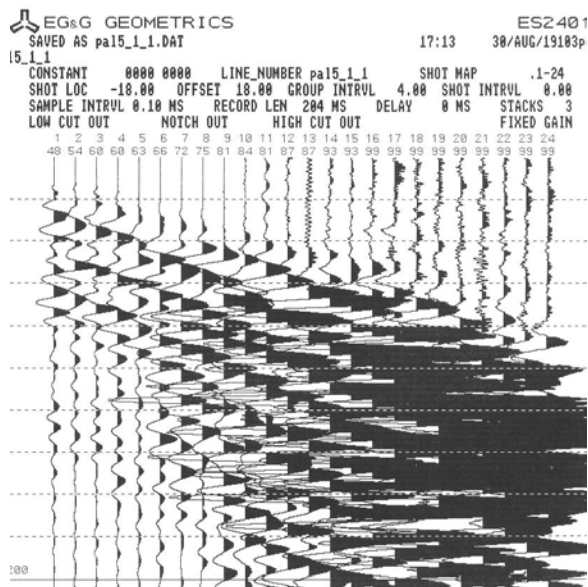


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4.

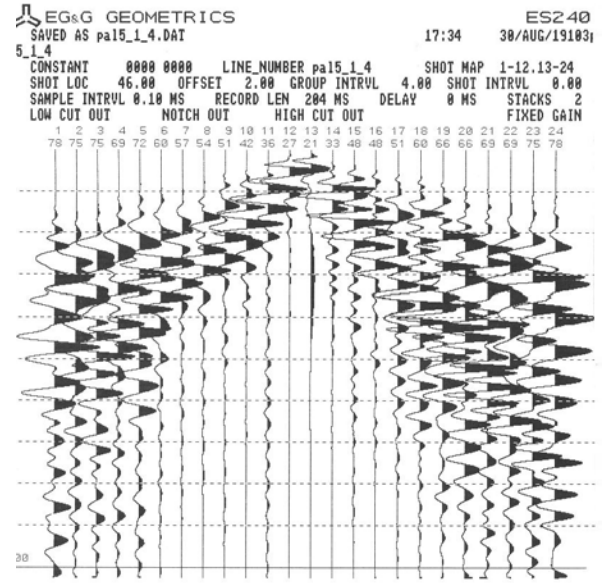
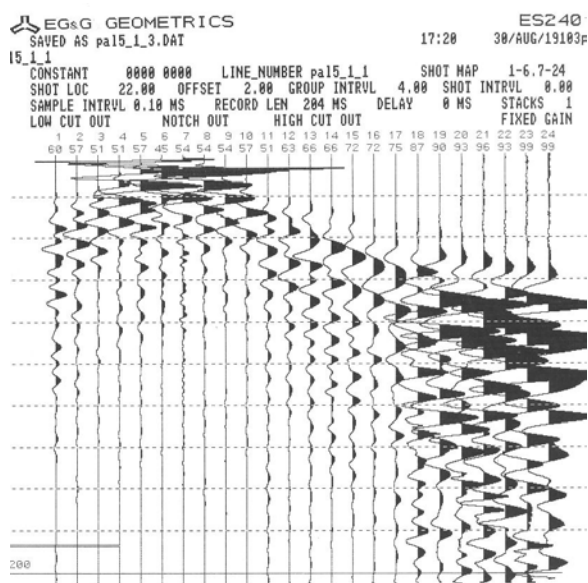


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4. Η καταγραφή στη θέση 7 δεν πραγματοποιήθηκε.

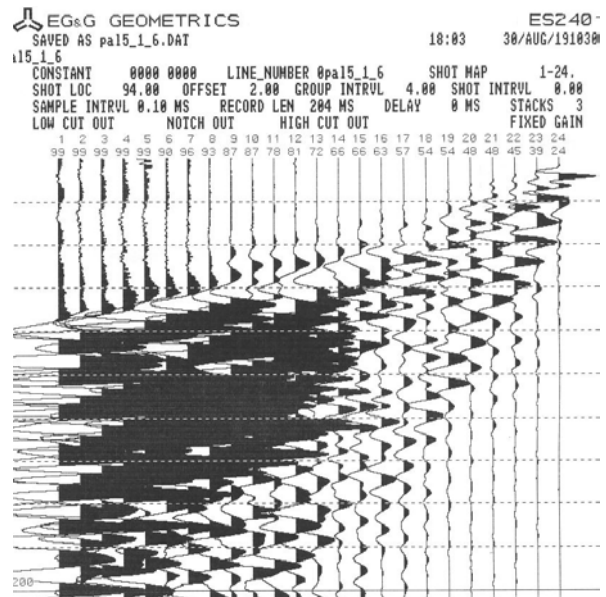
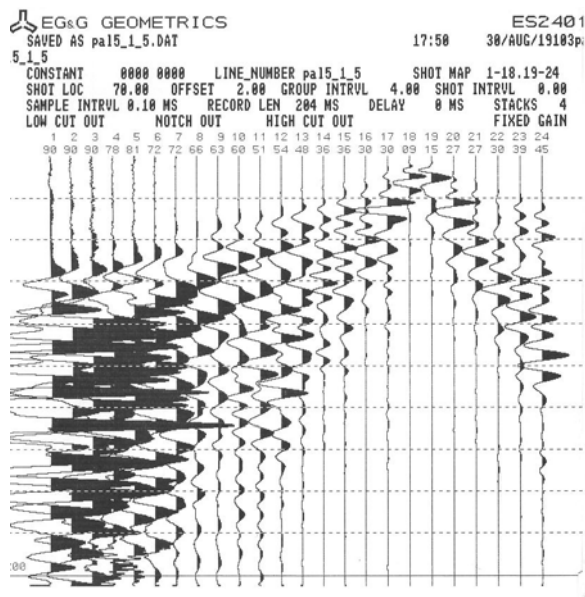
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 5



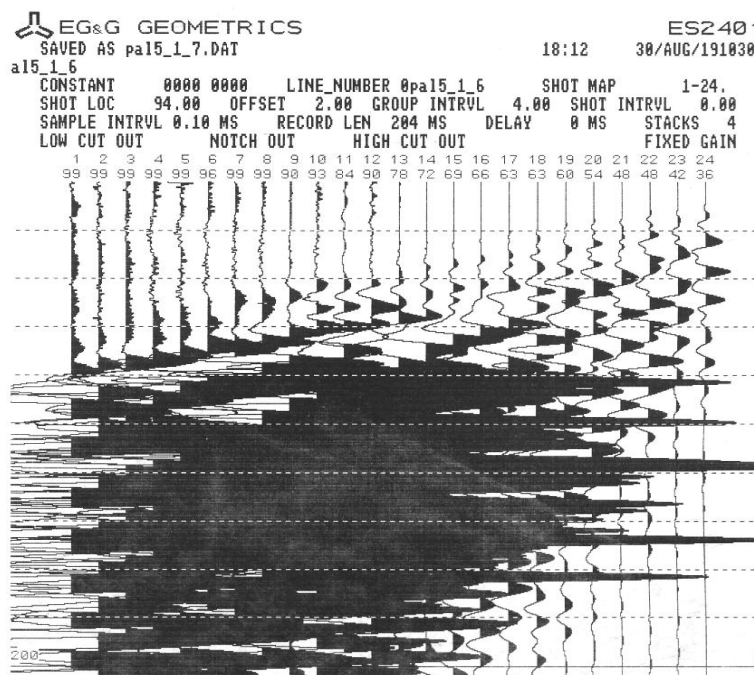
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 5.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 5.

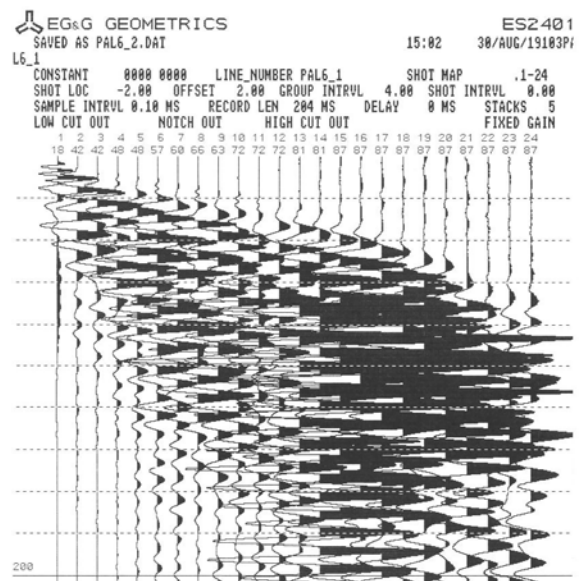
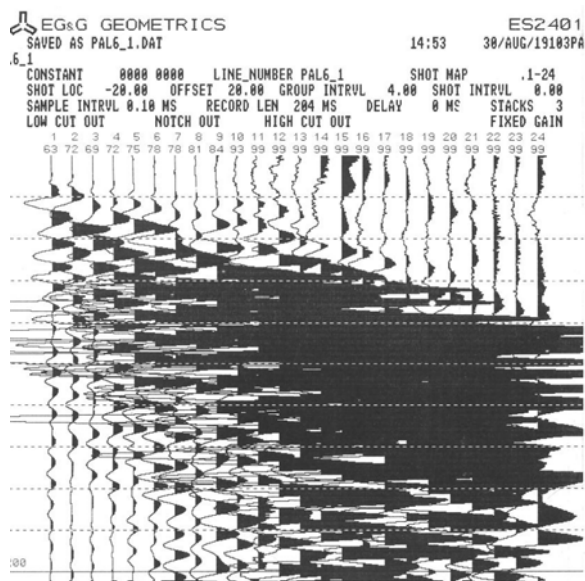


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 5.

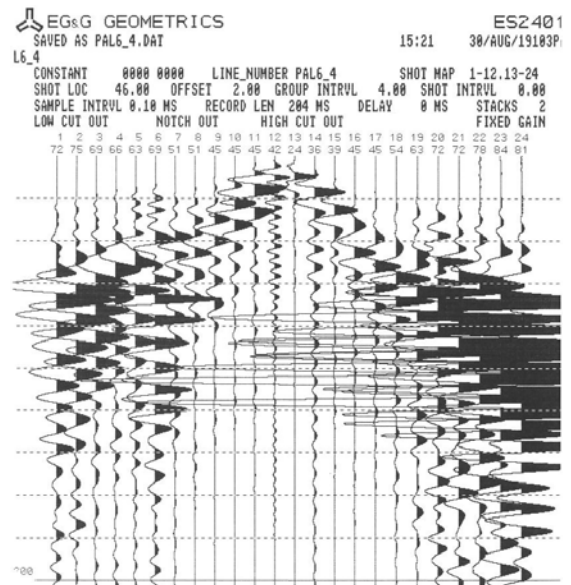
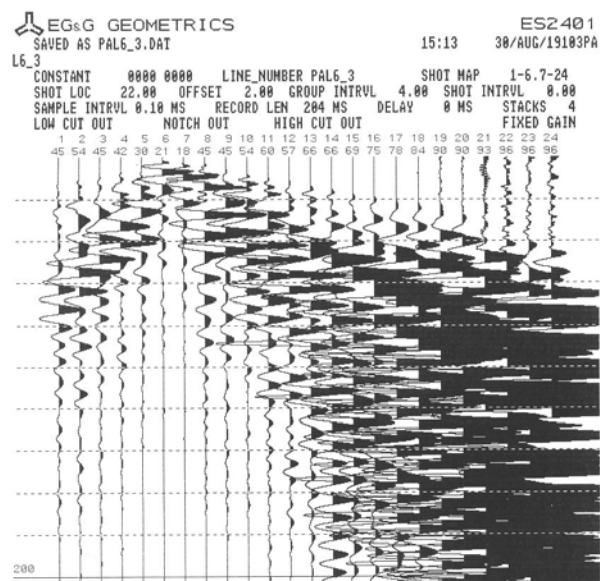


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 της σεισμικής γραμμής 5.

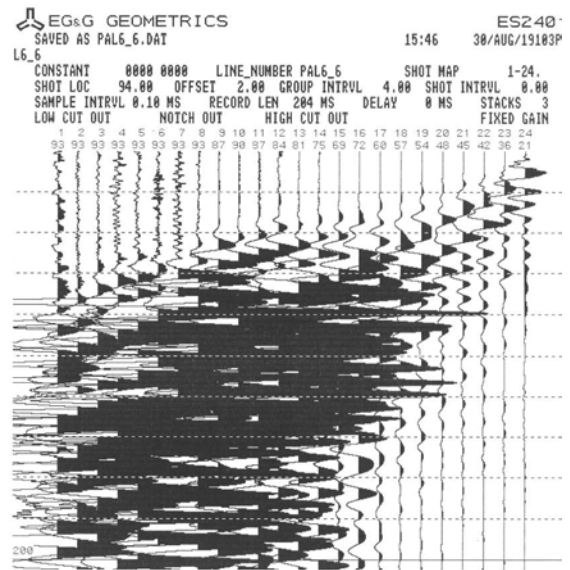
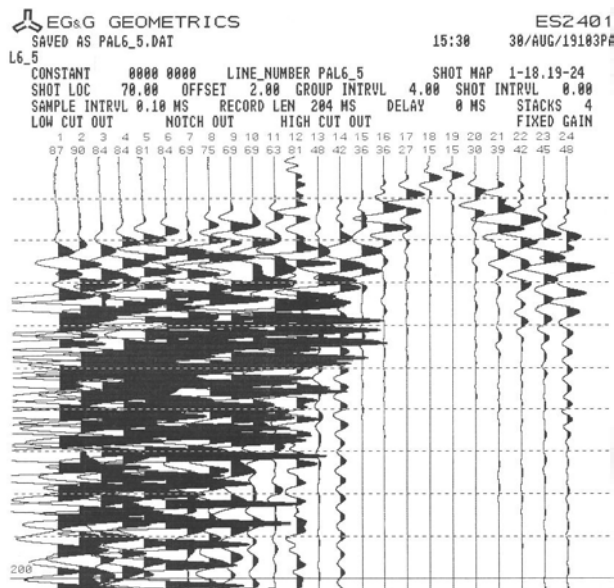
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 6



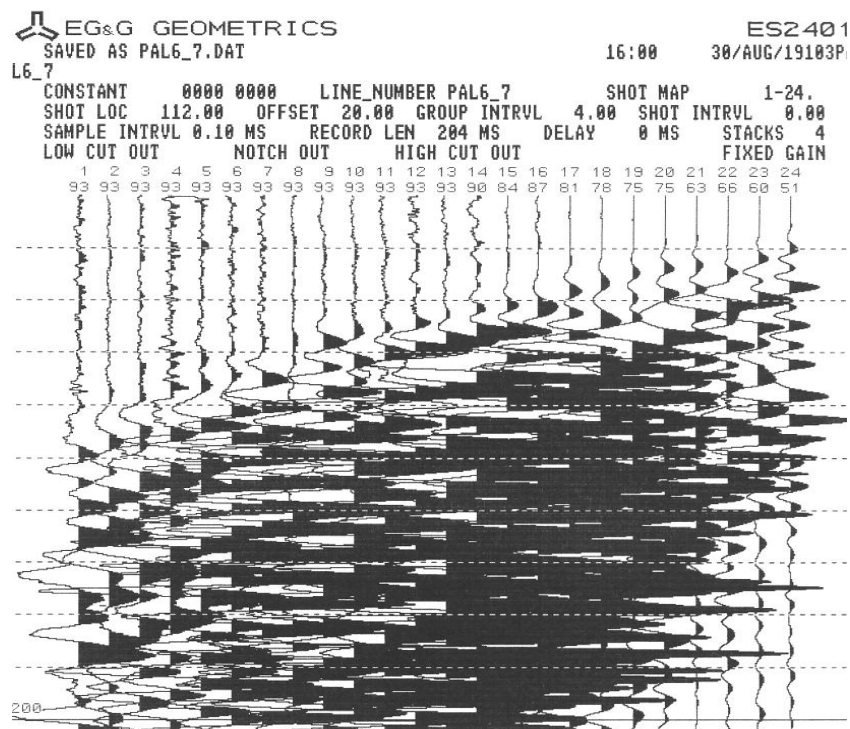
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 6.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 6.

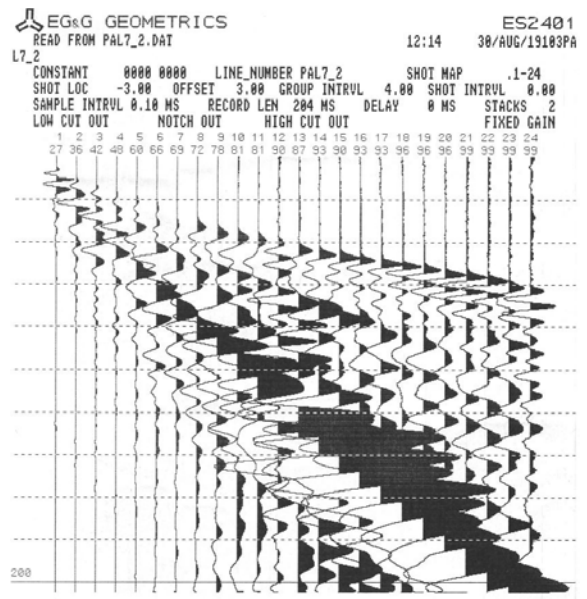
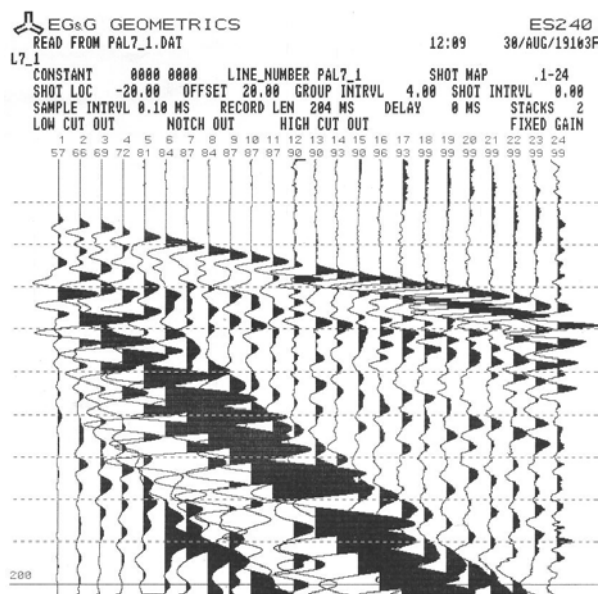


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 6.

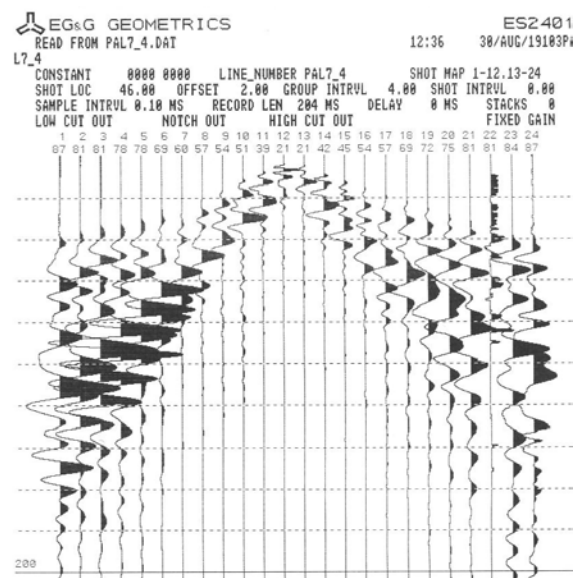
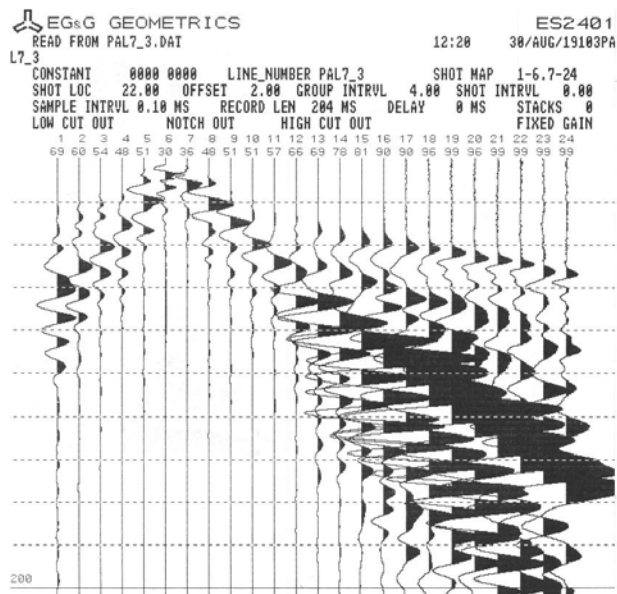


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 της σεισμικής γραμμής 6.

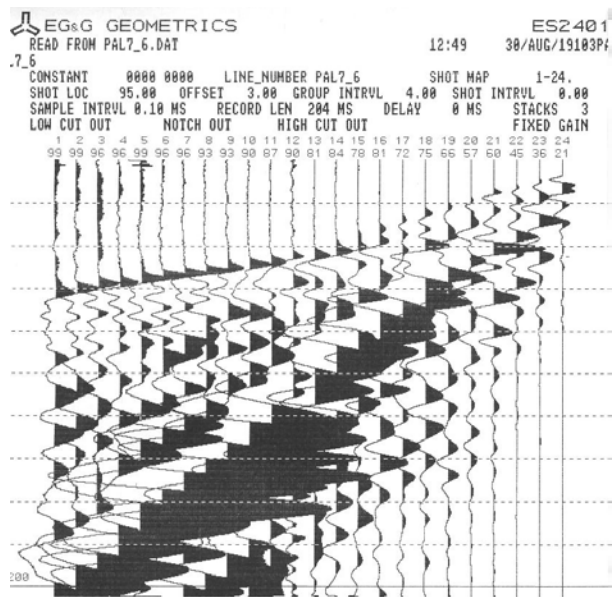
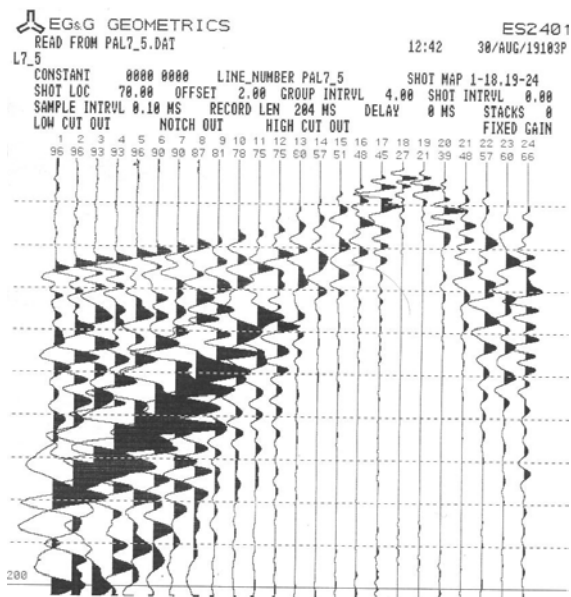
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 7



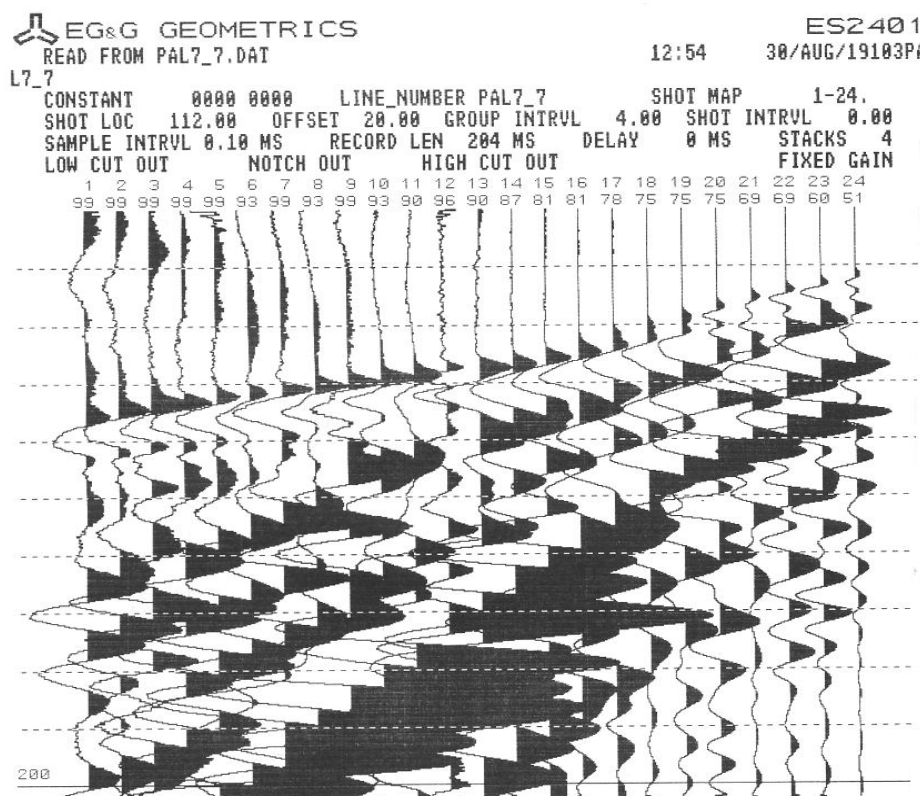
Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 1 (αριστερά) και 2 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 7.



Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 3 (αριστερά) και 4 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 7.

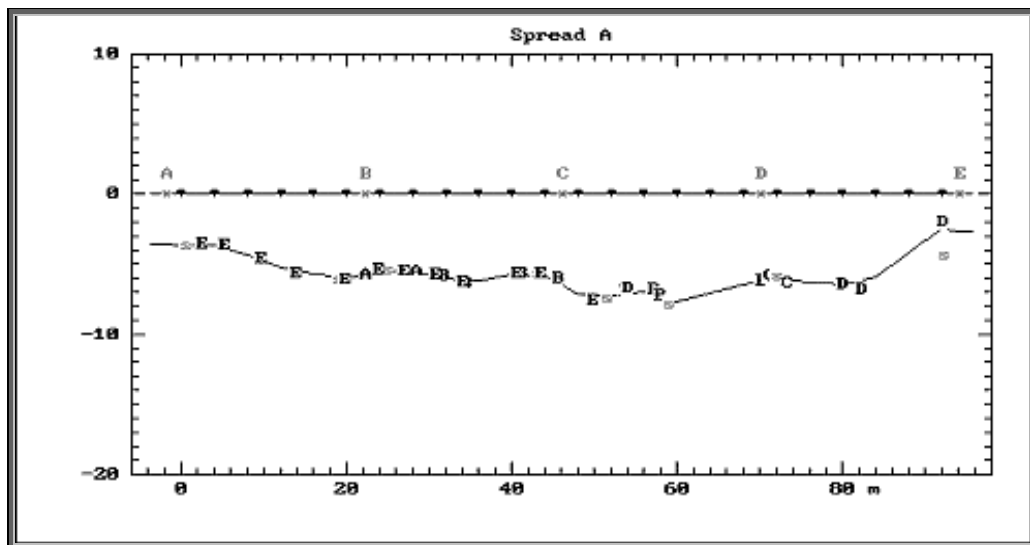


Καταγραφές κοινής πηγής στις θέσεις 5 (αριστερά) και 6 (δεξιά) της σεισμικής γραμμής 7.

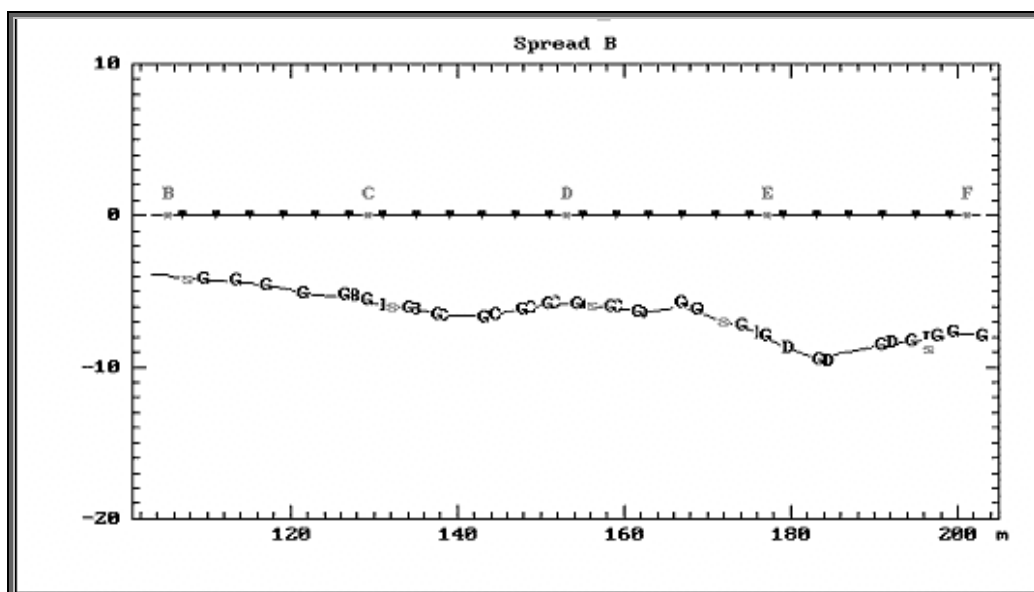


Καταγραφή κοινής πηγής στη θέση 7 της σεισμικής γραμμής 7.

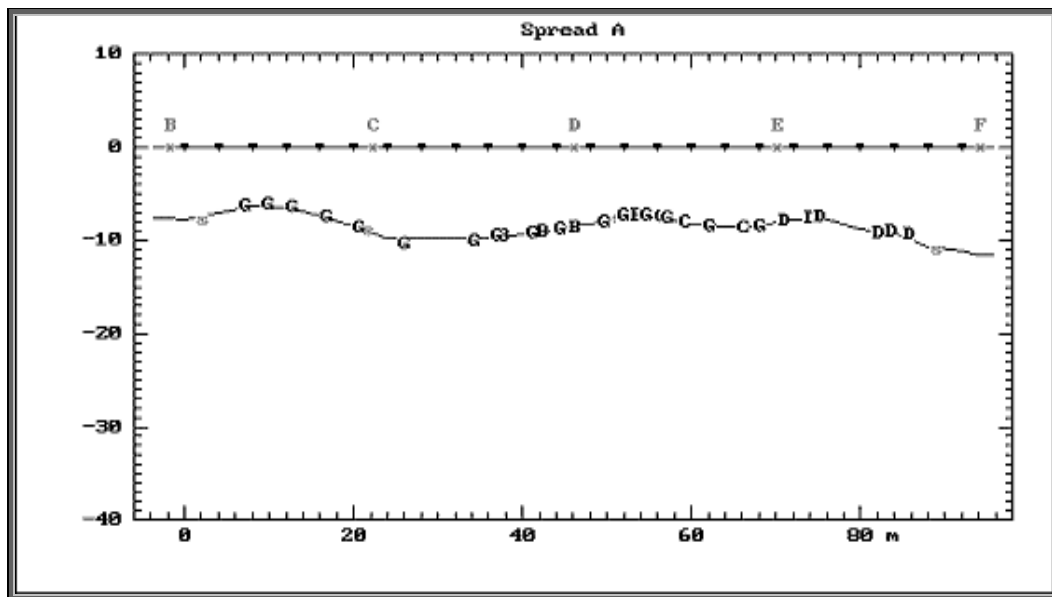
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β
ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΑΘΟΥΣ

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1: 1^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

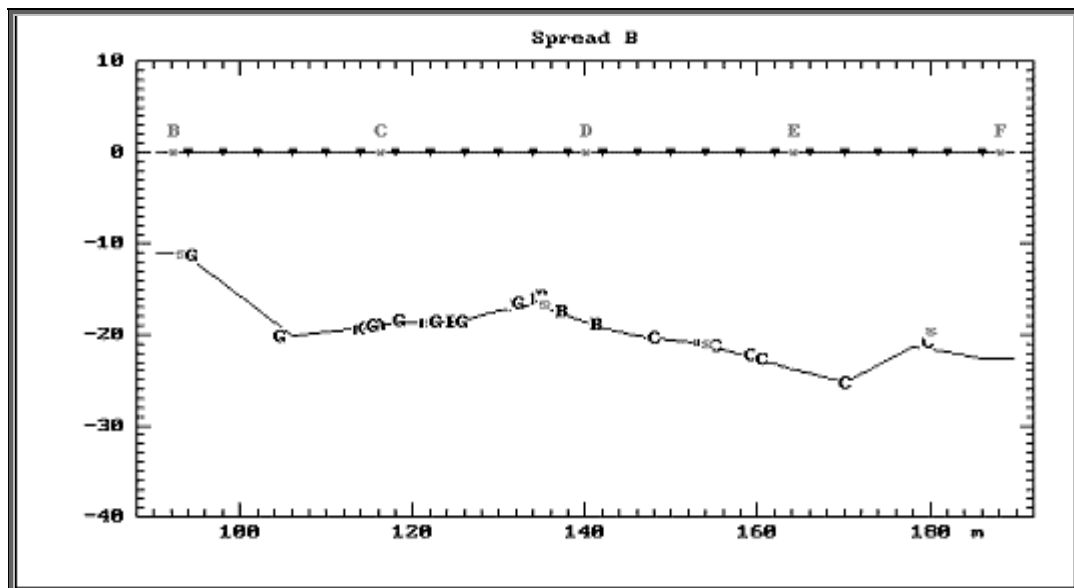
Σεισμική τομή του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 1: 2^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

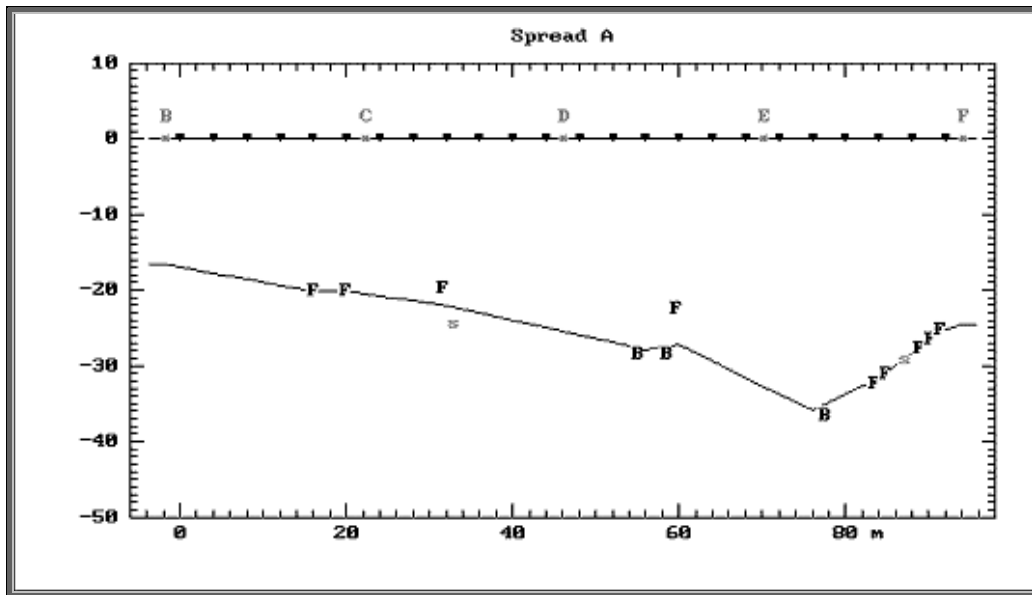
Σεισμική τομή του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 1

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2: 1^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

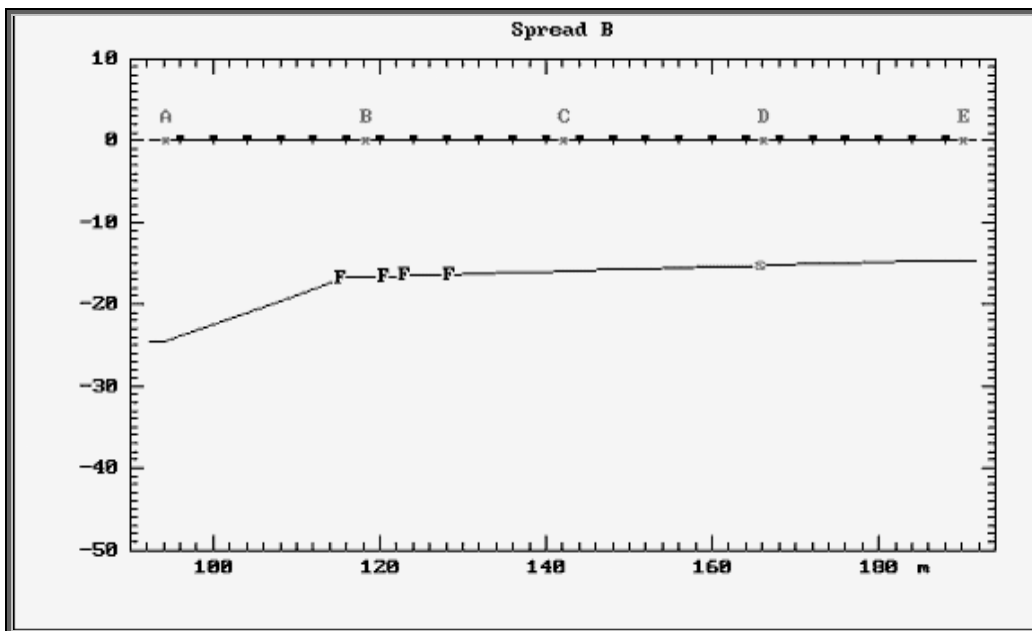
Σεισμική τομή του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 2: 2^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

Σεισμική τομή του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 2

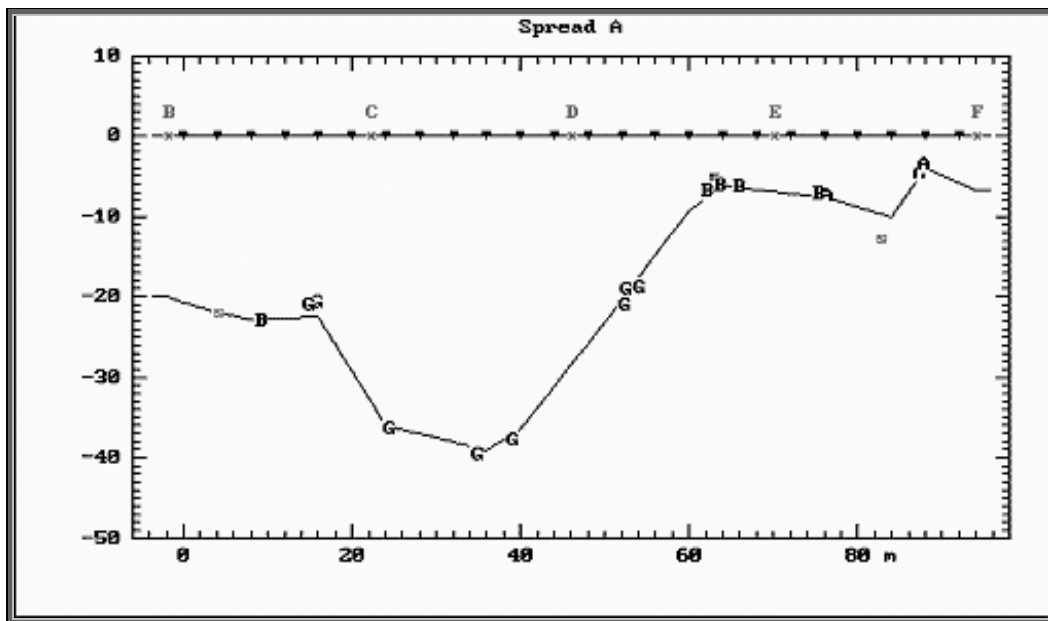
ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3: 1^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

Σεισμική τομή του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 3: 2^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ

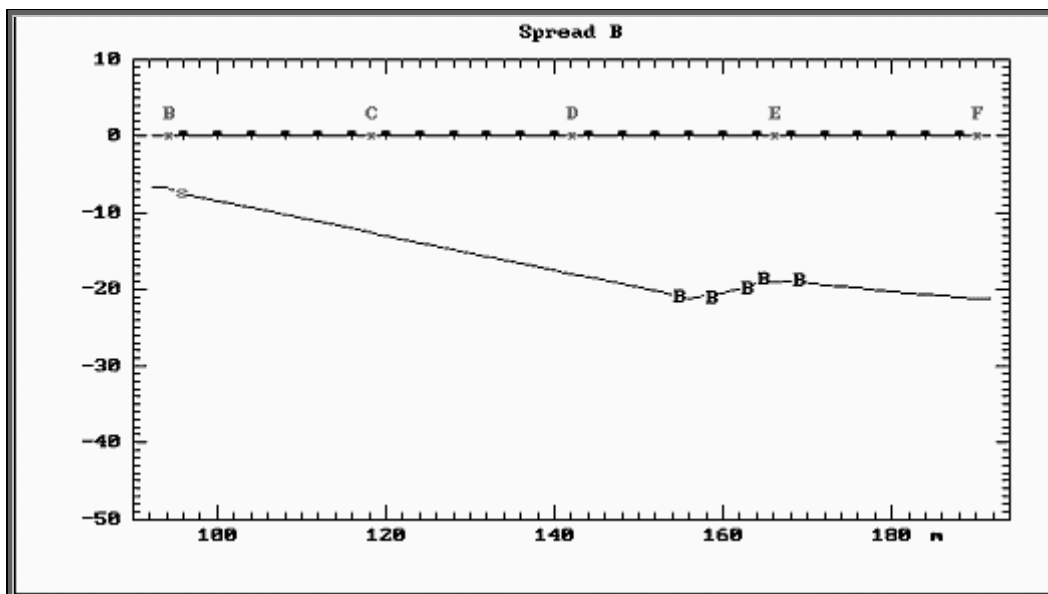
Σεισμική τομή του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 3

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 4: 1^ο ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



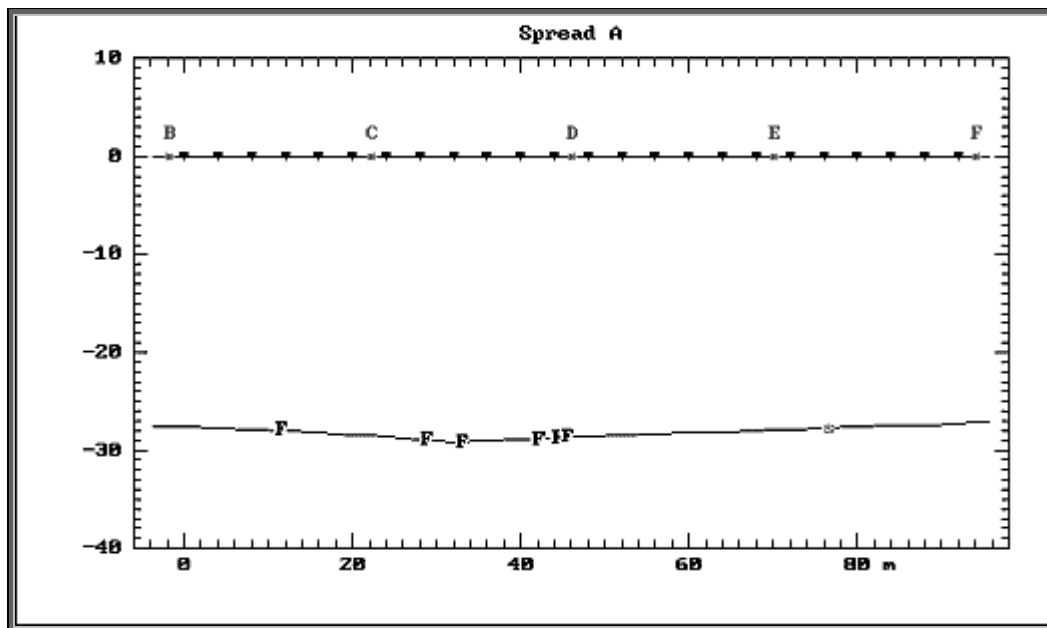
Σεισμική τομή του πρώτου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 4: 2⁰ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑ



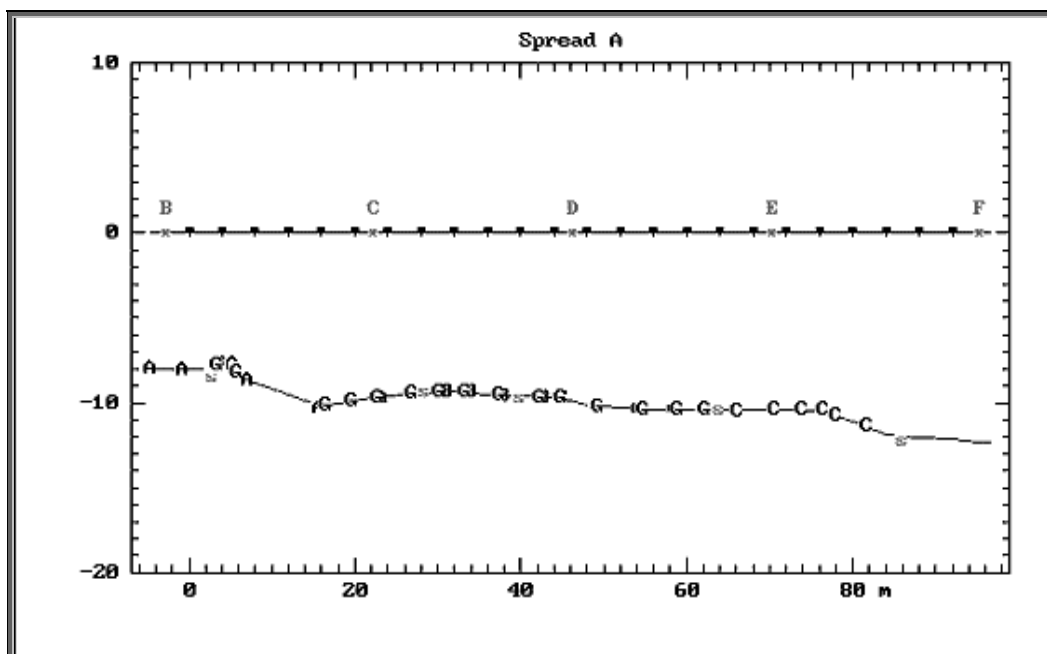
Σεισμική τομή του δεύτερου αναπτύγματος της σεισμικής γραμμής 4

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 6



Σεισμική τομή της σεισμικής γραμμής 6. Η επεξεργασία της σεισμικής γραμμής 5 δεν κατέστη δυνατή και για αυτό δεν παρατίθεται η τομή της.

ΓΡΑΜΜΗ ΜΕΛΕΤΗΣ 7



Σεισμική τομή της σεισμικής γραμμής 7