

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ και ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΟΡΥΚΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΣΤΟ ΙΟΝΙΟ

Μπραουδάκη Γ. Καλλιόπη

Εξεταστική επιτροπή:
Αλεβίζος Γεώργιος
Βαφείδης Αντώνιος (επιβλέπων)
Μανούτσογλου Εμμανουήλ

ΧΑΝΙΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2004

.....Στη μνήμη της Εύης

που δεν είναι πια ανάμεσά μας...

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σύνολό της η διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων του Πολυτεχνείου Κρήτης.

Για την ανάθεση του θέματος, τη διάθεση του απαραίτητου εξοπλισμού, την επιστημονική καθοδήγηση και την άψογη συνεργασία, οφείλω πολλές ευχαριστίες στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Βαφείδη Α. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής τους κ. Αλεβίζο Γ. και Μανούτσογλου Ε. που δέχτηκαν να παραστούν στην επιτροπή αλλά και να αξιολογήσουν την εργασία μου.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τη διδάκτορα κ. Κόκκινου Ε. για την πολύτιμη βοήθειά της καθ' όλη τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων και ερμηνείας των αποτελεσμάτων που προέκυψαν.

Θα ήταν αδικαιολόγητη παράβλεψη να μην ευχαριστήσω στο σύνολό τους τα παιδιά του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλον αυτό το καιρό αλλά και τις συμβουλές τους σχετικά με θέματα Η/Υ.

Τέλος πάνω απ' όλα ευχαριστώ την οικογένειά μου για την οικονομική και ηθική υποστήριξη που μου παρείχε όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη μελέτη της δομής του φλοιού στην περιοχή του Ιονίου Πελάγους μεταξύ των νησιών Ζακύνθου και Κεφαλληνίας. Για την πραγματοποίηση αυτής έγινε χρήση θαλάσσιων σεισμικών δεδομένων τα οποία προέκυψαν από διεξαγωγή μετρήσεων με Streamer στην περιοχή και ακολούθησε επεξεργασία αυτών με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης και το λογισμικό πακέτο Promax 2D.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στη Γεωλογία της περιοχής μελέτης καθώς και στη στρωματογραφική και την τεκτονική της δομή. Ακολουθεί, στο δεύτερο κεφάλαιο, μία γενική αναφορά στη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης όπου αναφέρονται οι βασικές αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων, καθώς και στοιχεία που αφορούν τις διατάξεις και τις ταχύτητες σ' αυτήν. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται λόγος για τις διαδικασίες επεξεργασίας των καταγραφών στη σεισμική ανάκλαση. Κύριος σκοπός των παραπάνω διαδικασιών είναι η ελάττωση του λόγου του σήματος προς θόρυβο αλλά και η βελτίωση της διακριτικής ικανότητας των δεδομένων. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα προγράμματα ροής που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων με το πακέτο Promax 2D. Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επεξεργασίας, αλλά και τα συμπεράσματα και οι μελλοντικές προτάσεις που μπορούν να προκύψουν με βάση αυτά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1⁰

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Γενικά για την Ιόνιο ή Αδριατικοϊόνιο ζώνη.....	1
1.3 Η Λιθοστρωματική εξέλιξη της ζώνης του Ιονίου.....	5
1.4 Γενικά για τη Ζώνη Παξών ή Προαπούλια ζώνη.....	10
1.5 Η Στρωματογραφική εξέλιξη της ζώνης Παξών.....	13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2⁰

ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή.....	17
2.2 Λίγα λόγια για τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης.....	18
2.3 Βασικές αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων.....	18
2.4 Κύματα χώρου.....	19
2.5 Γεωμετρία της ανάκλασης.....	20
2.6 Συντελεστής ανάκλασης και ακουστική εμπέδηση.....	24
2.7 Γεώφωνα, υδρόφωνα και σεισμικό καλώδιο.....	25
2.8 Συχνότητα Nyquist και αναδίπλωση συχνοτήτων.....	26
2.9 Οριζόντια απόσταση πηγής-γεωφώνου.....	26
2.10 Ισαπόσταση ομάδων Γεωφώνων.....	27
2.11 Σεισμικές πηγές παραγωγής ελαστικών κυμάτων.....	28
2.12 Θαλάσσιες σεισμικές έρευνες	31
2.13 Πολυκάναλη καταγραφή και διάταξη “κοινού σημείου ανάκλασης”.....	32
2.14 Υπεδαφική κάλυψη.....	34
2.15 Παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η σεισμική ταχύτητα.....	37
2.16 Εξασθένιση των ελαστικών κυμάτων με την απόσταση.....	38
2.17 Μέση σεισμική ταχύτητα.....	39
2.18 Μέση τετραγωνική σεισμική ταχύτητα.....	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή.....	42
3.2 Λήψη, επεξεργασία και ερμηνεία σεισμικών δεδομένων ανάκλασης.....	43
3.3 Περιγραφή του πειράματος.....	44
3.4 Πολλαπλές ανακλάσεις.....	46
3.5 Στατική Διόρθωση (datum static correction).....	47
3.6 Αποπολύπλεξη (demultiplexing) και έλεγχος πλάτους.....	48
3.7 Συνάρτηση συσχέτισης (cross-correlation function).....	49
3.8 Ισοστάθμιση σεισμικών ιχνών και μείζη.....	49
3.9 Φαινόμενη ταχύτητα και φίλτρα αυτής.....	50
3.10 Φίλτρο συνάφειας (semblance).....	50
3.11 Εδαφικός Θόρυβος.....	51
3.12 Αποκοπή ανεπιθύμητων ιχνών (muting).....	51
3.13 Συνέλιξη (convolution).....	52
3.13.1 Μοντέλο σεισμικής συνέλιξης.....	52
3.14 Αποσυνέλιξη (deconvolution).....	54
3.14.1 Παράμετροι εφαρμογής της αποσυνέλιξης.....	56
3.14.2 Αποσυνέλιξη Πρόβλεψης (Predictive deconvolution).....	56
3.15 Ανάλυση ταχύτητας.....	57
3.15.1 Πραγματοποίηση της ανάλυσης ταχύτητας.....	58
3.15.2 Μέθοδος συνάφειας στην ανάλυση ταχύτητας.....	59
3.16 Κανονική χρονική διόρθωση (NMO correction).....	60
3.17 Σεισμική υπέρθεση (stacking).....	62
3.17.1 Υπέρθεση μέσου πλάτους (mean-amplitude stack).....	64
3.18 Ιστορική εξέλιξη των μεθόδων σεισμικής χωροθέτησης.....	64
3.18.1 Σεισμική χωροθέτηση (migration).....	65
3.18.2 Σεισμική χωροθέτηση από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια.....	67
3.18.3 Μορφές σεισμικής χωροθέτησης και διαδρομή των σεισμικών κυμάτων στη χωροθέτηση.....	68

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

4.1	Λίγα λόγια για το πρόγραμμα επεξεργασίας.....	70
4.2	Απόδοση της γεωμετρίας των παραμέτρων καταγραφής για τα σεισμικά δεδομένα (2D Land Geometry Sreadsheet).....	70
4.3	Εισαγωγή των καταγραφών (Seg-Y Input).....	74
4.4	Εισαγωγή της γεωμετρίας (Inline Geometry Header Load).....	75
4.5	Εισαγωγή του αρχείου με τη γεωμετρία και τις καταγραφές (Disk Data Input).....	77
4.6	Εγγραφή του αρχείου με τη γεωμετρία και τα δεδομένα (Disk Data Output).....	77
4.7	Απεικόνιση των ιχνών (Trace Display).....	77
4.8	Αποκοπή ιχνών (Trace Kill/Reverse).....	78
4.9	Αυτόματη ενίσχυση (Automatic Gain Control).....	78
4.10	Ανάλυση ταχυτήτων (Velocity Analysis).....	79
4.11	Δυναμική διόρθωση (Normal Moveout Correction).....	81
4.12	Αποκοπή των πρώτων αφίξεων (Trace muting).....	82
4.13	Υπέρθωση (CDP/Ensemble Stack).....	82
4.14	Αποσυνέλιξη Πρόβλεψης (Predictive Deconvolution).....	83
4.15	Υπολογισμός της τμηματικής ταχύτητας.....	84
4.16	Δημιουργία πεδίου ταχυτήτων.....	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

5.1	Εισαγωγή.....	96
5.2	Γενικά για την ερμηνεία της σεισμικής γραμμής ION – 7.....	96
5.3	Προηγούμενες ερμηνείες για τη σεισμική γραμμή ION-7 και την περιοχή γύρω απ’ αυτή.....	97
5.4	Ερμηνεία της σεισμικής τομής (CDP 12383 - 12537 και μήκος από 142.2725 έως 144.185 Km της γραμμής ION - 7).....	99
5.5	Αναφορές από γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Ιονίου ζώνης.....	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

5.6 Συμπεράσματα από διάφορες γεωφυσικές μεθόδους που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή του Ιονίου.....	103
5.7 Συμπεράσματα και Μελλοντικές προτάσεις.....	105
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	111

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

1.1 Εισαγωγή

Τα Ιόνια νησιά βρίσκονται πάνω στην εναλλαγή δύο εξωτερικών γεωτεκτονικών ζωνών του Ελλαδικού χώρου. Πρόκειται για την Ιόνιο ή Αδριατικοϊόνιο ζώνη και τη ζώνη των Παξών ή Προαπούλια ζώνη. Κύριο χαρακτηριστικό των ζωνών αυτών, είναι ότι έχουν υποστεί ένα μόνο ορογενετικό τεκτονισμό κατά το Τριτογενές. Στις εξωτερικές γεωτεκτονικές ζώνες ανήκουν και οι ζώνες Παρνασσού - Γκιώνας, Ωλόνου - Πίνδου και Γαβρόβου - Τρίπολης.

1.2. Γενικά για την Ιόνιο ή Αδριατικοϊόνιο ζώνη

Το όνομα Ιόνιος για τη ζώνη αυτή, δόθηκε από τον A. PHILIPPSON (1898) ενώ οι F. NOPCSA (1921) και C.RENZ (1940) την ονομάζουν Αδριατικοϊόνιο. Η Ιόνιος ζώνη ξεκινάει από την Αλβανία και εκτείνεται κατά μήκος των δυτικών παραλίων της ηπειρωτικής Ελλάδας με διεύθυνση B-N. Έτσι, συναντάται στη δυτική ηπειρωτική Ελλάδα (Ηπειρο και Ακαρνανία), τα Ιόνια νησιά (Κέρκυρα, ανατολικό τμήμα Λευκάδας, Ιθάκη, Ανατολική Κεφαλλονιά και ένα μικρό τμήμα της Ζακύνθου) και τη βορειοδυτική Πελοπόννησο. Στην περιοχή των Ιονίων νησιών η παραπάνω ζώνη είναι επωθημένη προς τα δυτικά πάνω στην ζώνη Παξών, ενώ προς τα ανατολικά βρίσκεται επωθημένη πάνω σ'αυτήν η ζώνη της Πίνδου.

Ομόλογη ζώνη της Ιονίου στην περιοχή της κεντρικής Ιταλίας είναι η ζώνη Gargano-Marches Ombrie-Molise. Έπειτα από σχετικά πρόσφατες έρευνες, στην Ιόνιο ζώνη συμπεριλαμβάνεται και η ημιμεταμορφωμένη σειρά των πλακωδών ασβεστολίθων ή σειρά των Plattenkalk. Η σειρά αυτή συναντάται με μορφή τεκτονικών παραθύρων σε πολλές περιοχές του νότιου ελλαδικού χώρου όπως είναι ο Ταΰγετος, ο Πάρνωνας, τα Κύθηρα, η Κρήτη, η Κάσος και η Ρόδος. Η κατάταξη αυτή της σειράς των πλακωδών ασβεστολίθων στηρίζεται στη σχετική ομοιότητα που παρουσιάζουν αυτοί με τους ασβεστολίθους κυρίως της «Βίγλας» που συναντώνται στην Ιόνιο ζώνη. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού, είναι ότι τα παλαιογεωγραφικά-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

τεκτονικά όρια της Ιόνιου ζώνης επεκτείνονται και στις παραπάνω περιοχές (σχήμα 1.1).

Η διαφοροποίηση του παλαιογεωγραφικού χώρου της Ιονίου ζώνης ξεκίνησε κατά το Ανώτερο Λιάσιο (Ιουρασικό) με τη δημιουργία της υποθαλάσσιας Ιόνιας αύλακας που παρεμβалλόταν μεταξύ των υβωμάτων Γαβρόβου - Τρίπολης και Απούλιου-Προαπούλιου. Η ιζηματογένεση στην παρούσα φάση είναι συνεχής με μοναδική εξαίρεση την κατά θέσεις και για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα, χέρσευση της περιοχής κατά το Μέσο-Ανώτερο Ιουρασικό, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια κατά περιοχές στρωματογραφική ασυμφωνία στην επαλληλία των στρωμάτων της ζώνης. Ακολούθησε παραπέρα διαφοροποίηση του παλαιογεωγραφικού αυτού χώρου, σε επί μέρους επιμήκεις αύλακες και υποθαλάσσια υβώματα, λόγω της δράσης κυρίως υποθαλασσίων ρηγμάτων.

Αποτέλεσμα αυτού, ήταν κατά την περίοδο Αν. Λιάσιου - Μέσου Ιουρασικού, στα μεν επιμήκη επιμέρους υβώματα και στις παρυφές τους να παρατηρείται απόθεση κονδυλωδών ασβεστολίθων με πλούσια πανίδα Αμμωνιτών (Ammonitico rosso), στις δε υποθαλάσσιες επί μέρους αύλακες, απόθεση πυριτικών σχιστολίθων με Posidonia και πυριτικούς ασβεστόλιθους με Filaments. Τέλος, εδώ συναντώνται μεγάλα εγκάρσια ρήγματα οριζόντιας μετατόπισης, επιμήκη ρήγματα με διεύθυνση ΒΒΔ-ΝΝΑ, καθώς και κανονικά μεταγενέστερα ρήγματα που προκάλεσαν το σχηματισμό των μεγάλων τάφρων - λεκάνων στο χώρο Ηπείρου - Δυτικής Στερεάς (Κατσικάτσος, 1992).

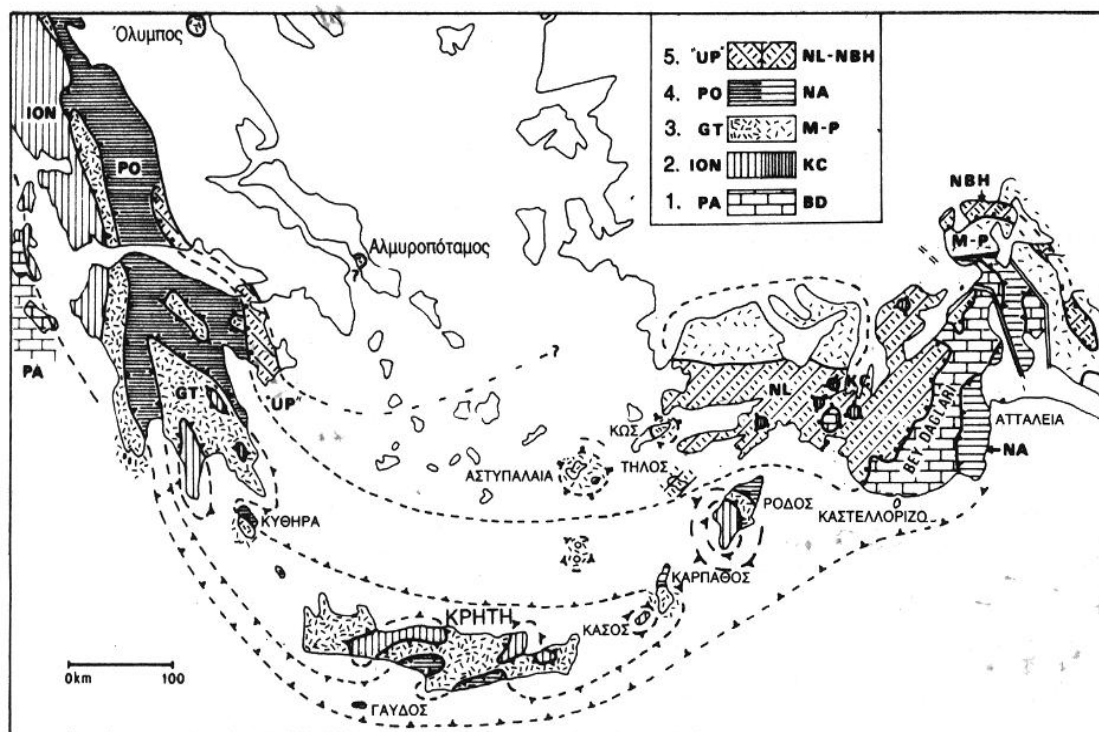
Σε έρευνα που έγινε, διαπιστώθηκε ότι η Ιόνιος ζώνη στην περιοχή της Δυτικής Ελλάδας διακρίνεται από τα δυτικά προς τα ανατολικά σε τρεις επι μέρους ζώνες. Η διάκριση αυτή έγινε με βάση τις διαφορές τις οποίες παρουσιάζει η ζώνη στη στρωματογραφική επαλληλία της, τόσο στην αξονική περιοχή, όσο και στις περιοχές των παρυφών της (σχήμα 1.2). Πρόκειται για τις ζώνες:

- α) Εξωτερική Ιόνιος ζώνη, η οποία διακρίνεται στη Δυτική Εξωτερική και στην Ανατολική Εξωτερική Ιόνιο ζώνη
- β) Κεντρική Ιόνιος ζώνη και
- γ) Ανατολική ή Εσωτερική Ιόνιος ζώνη

Η πτύχωση της Αδριατικοϊονίου ζώνης έγινε στο Κάτω Μειόκαινο με την ονομαζόμενη Στυριακή φάση πτυχώσεων, κατά την οποία τα στρώματα της ζώνης υπέστησαν έντονη λεπίωση, ενώ η γύψος έπαιξε το ρόλο του λιπαντικού μέσου που διευκόλυνε τις εσωτερικές ολισθήσεις. Η μορφή των πτυχών που προέρχεται από την

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

τελική Τριτογενή πτύχωση συνήθως δεν είναι απλή. Συνοδεύεται από διαρρήξεις στις πτέρυγες έτσι ώστε να δημιουργούνται συνεχείς επωθήσεις ή εφιππεύσεις και να εμφανίζονται παραμορφωμένες πτυχωμένες μορφές.

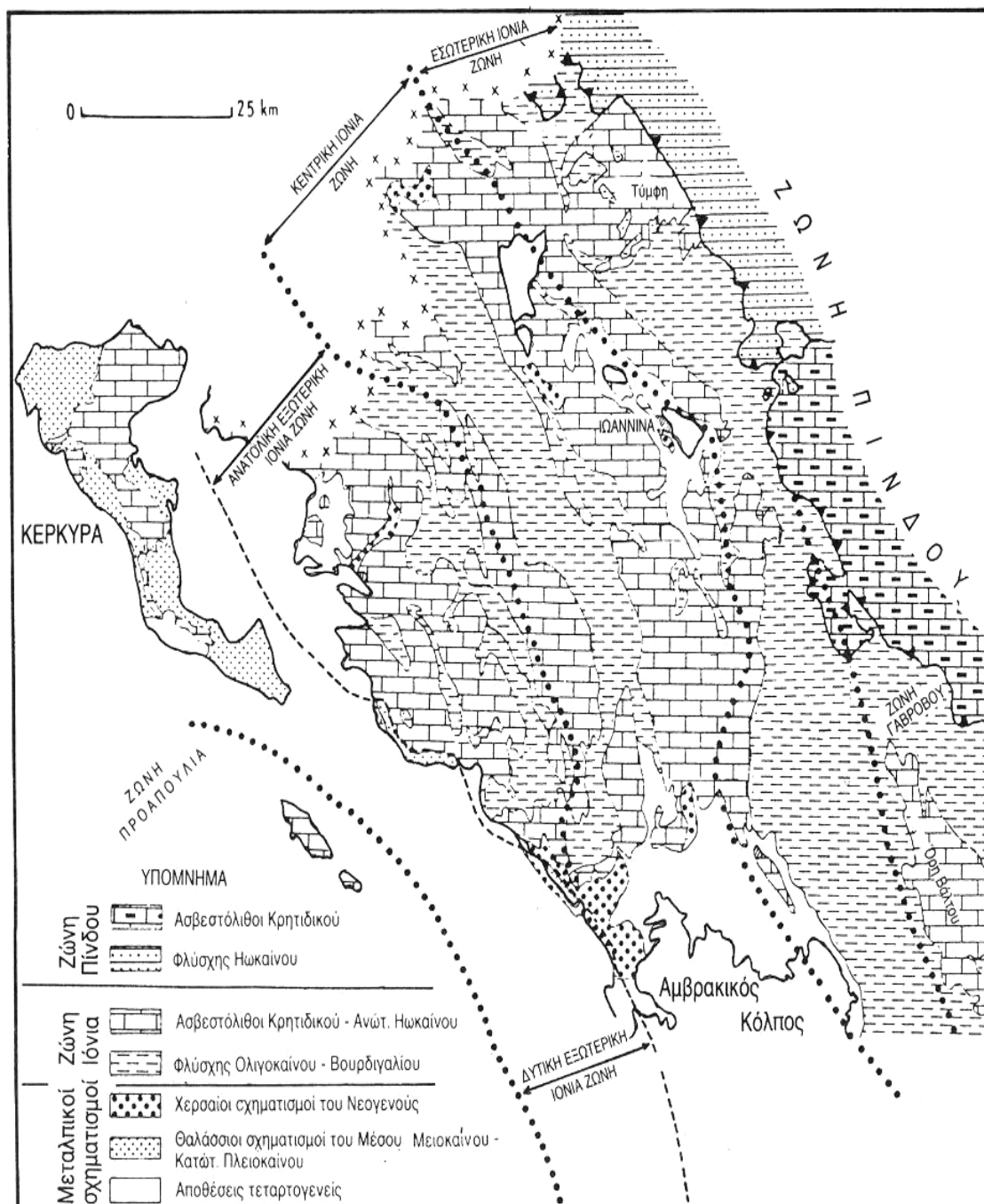


Σχήμα 1.1: Τεκτονικό σκαρίφημα των μεγάλων Εξωτερικών και Ενδιάμεσων Ενοτήτων των Ελληνίδων και των Ταυρίδων. Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των παραπάνω ενοτήτων με βάση στοιχεία από διάφορους μελετητές (Κατσικάτσος, 1992).

Υπόμνημα:

- 1: Ζώνες Προαπούλια και Απούλια (PA) - Bey Daglari (BD).
- 2: Ζώνη Ιόνια (ION) - Kizilca Corak gol (KC).
- 3: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης (GT) – Μάζα Μεντερές και Ζώνη Pisidienne (M-P).
- 4: Ζώνη Πίνδου – Ωλονού (PO) – Καλύμματα της Αττάλειας (NA).
- 5: Υποζώνη Υπερπινδική (UP) – Καλύμματα Λυκίας (NL) και Beysehir – Hoyran (NBH).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)



Σχήμα 1.2: Η επί μέρους διάκριση της Ιόνιας ζώνης (Δυτική εξωτερική, Ανατολική Εξωτερική, Κεντρική και Εσωτερική) και η επωημένη ζώνη της Πίνδου (Κατσικάτσος, 1992).

1.3. Η Λιθοστρωματική εξέλιξη της ζώνης του Ιονίου

Η Ιόνιος ζώνη είναι η μόνη από τις μεγάλες ισοτοπικές ζώνες που έχει αλλάξει το βασικό παλαιογεωγραφικό της χαρακτήρα από νηριτικό σε πελαγικό κατά τη διάρκεια της προορογενετικής εξέλιξης του αλπικού κύκλου. Μέχρι το Λιάσιο δηλαδή, οι ενότητες Παξών – Μάνης – Ιονίου – Γαβρόβου - Τρίπολης αποτελούσαν ενιαία ανθρακική πλατφόρμα, στην οποία υπήρχαν ίδια πετρώματα και ίδια φάση. Από το Δογγέριο, ο χώρος της Ιόνιας ζώνης βαθαίνει, ενώ οι Παξοί και το Γάβροβο συνεχίζουν να δέχονται νηριτικά ιζήματα. Εικάζεται ότι την εποχή αυτή (Αν. Λιάσιο) κάτι σημαντικό συνέβη στον ωκεανό της Τηθύος και η ως τότε ενιαία πλατφόρμα “έσπασε” (πιθανή ταφροποίηση) και βάθυνε. Το γεγονός αυτό μάλλον συνδέεται με τη δημιουργία τυπικών οφιολίθων. Η ταφροποίηση έγινε με το σχηματισμό συνιζηματογενών ρηγμάτων τα οποία άρχισαν να βυθίζουν ένα τμήμα της ως τότε ενιαίας πλατφόρμας, ενώ η αλλαγή αυτή είχε παλαιογεωγραφικές επιπτώσεις στα διάφορα τεκτονικά τεμάχια (στρέψεις, χερσεύσεις κ.λ.π.).

Αυτή η πολυμορφία του χώρου κατά τη μεταβατική περίοδο, είχε σαν αποτέλεσμα πολυμορφία φάσεων. Με τα σπασίματα αυτά, κάποιες περιοχές για κάποια χρονικά διαστήματα αναδύθηκαν, χέρσευσαν και έπειτα βυθίστηκαν πάλι. Έτσι ανάμεσα στις δύο κύριες φάσεις, την πελαγική και την νηριτική, έχουμε και ποικιλία φάσεων σχηματισμών ή και στρωματογραφικά κενά με ασύμφωνα καθισμένη την πελαγική ακολουθία πάνω στη νηριτική.

Η νηριτική ιζηματογένεση για την Ιόνιο ζώνη, ξεκινάει από το Ανώτερο Τριαδικό και φθάνει μέχρι το Αν. Λιάσιο. Από το Ανώτερο Λιάσιο μέχρι και το Ανώτερο Ηώκαινο η ιζηματογένεση είναι πελαγική, με πυριτικούς σχιστόλιθους στο Μέσο Ιουρασικό, πελαγικούς ασβεστόλιθους με Ακτινόζωα και πυριτόλιθους στο Ανώτερο Ιουρασικό - Κατώτερο Σενώνιο και με πελαγικούς ασβεστόλιθους με παρεμβολές λατυποπαγών στο Ανώτερο Σενώνιο - Ανώτερο Ηώκαινο. Έτσι, γενικά στη στρωματογραφική επαλληλία της Ιονίου ζώνης, διακρίνονται δύο χαρακτηριστικά όρια που τη χωρίζουν από πλευράς ιζηματογένεσης σε τρία τμήματα. Πρόκειται για τα νηριτικής και πελαγικής ιζηματογένεσης τμήματα, που έχουν ήδη αναφερθεί, αλλά και για το τμήμα κλαστικής ιζηματογένεσης. Το ένα όριο χωρίζει την πελαγική ιζηματογένεση που είναι βιοχημική, από την κλαστική ιζηματογένεση του φλύσχη, ενώ το άλλο χωρίζει τη νηριτική από την πελαγική ιζηματογένεση. Το δεύτερο αυτό όριο, χωρίζει τη σειρά της Ιονίου ζώνης σε μία κατώτερη ακολουθία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

στρώματων που αποτελείται από νηριτικούς ασβεστόλιθους και δολομίτες παχυστρωματώδεις έως άστρωτους, και στη βάση της οποίας υπάρχουν εβαπορίτες και σε μια ανώτερη ακολουθία που χαρακτηρίζεται από πελαγικά ιζήματα. Ανάμεσα στις δύο αυτές ακολουθίες απαντούν στρώματα με μεταβατικούς χαρακτήρες, όπως είναι οι ερυθροϊώδεις κονδυλώδεις ασβεστόλιθοι με Αμμωνίτες (*Ammonitico rosso*) ή στρώματα πυριτικών σχιστολίθων με *Posidonia* και οι πυριτικοί ασβεστόλιθοι με *Filaments*.

Η ύπαρξη προαλπικού υποβάθρου δεν έχει αποδειχθεί για την Αδριατικοϊόνιο ζώνη. Εικάζεται όμως ότι τα ημιμεταμορφωμένα πετρώματα Πελλοπονήσου – Κυθήρων - Κρήτης, αποτελούν κοινό ανωπαλαιοζωϊκό υπόβαθρο για την Αδριατικοϊόνιο ζώνη.

Πρώτα αλπικά ιζήματα της ζώνης θεωρούνται οι εβαπορίτες Περμοτριάδικής ηλικίας. Υπάρχουν δύο θεωρίες για τις παλαιογεωγραφικές συνθήκες δημιουργίας των εβαποριτών αυτών. Σύμφωνα με την πρώτη θεωρία, ο σχηματισμός τους έγινε σε κατάλληλο περιβάλλον εξάτμισης το οποίο δημιουργήθηκε από πολλές συνεχόμενες παραθαλάσσιες και ρηχές λίμνες και των οποίων η επικοινωνία με τη θάλασσα φράσσονταν με χαμηλούς βραχίονες. Λόγω των παλιρροιών η θάλασσα κατόρθωνε να υπερπηδά τους βραχίονες και να εμπλουτίζει τις λίμνες με άλατα. Η δεύτερη θεωρία υποστηρίζει ότι ο σχηματισμός των εβαποριτών έγινε σε μεγάλες ρηχές και κλειστές λίμνες - λεκάνες, χωρίς επικοινωνία με τη θάλασσα αλλά με συνεχή τροφοδοσία σε άλατα από τους ποταμούς που προέρχονταν από περιοχές με αλατούχα πετρώματα. Σήμερα πιστεύεται ότι η Αδριατικοϊόνιος ζώνη κατά τη διάρκεια του Περμοτριάδικού ήταν μια χερσαία ή πολύ ρηχή θαλάσσια περιοχή, η οποία είχε τη δυνατότητα να χερσεύει συχνά και να σχηματίζει τελικά τα τόσο μεγάλου πάχους στρώματα εβαποριτών που με γεωτρήσεις βρέθηκαν να φτάνουν τα 1500 m.

Οι εβαπορίτες της κατηγορίας αυτής, βρίσκονται συχνά και ενδιάμεσα στα νεώτερα στρώματα της Ιονίου ζώνης (Κρητιδικά και Ηωκαινικά) στα οποία έχουν ανέλθει διαπηρικά δια μέσου των ρηγμάτων. Πάνω στις γύψους επίκειται μαύρος ασβεστόλιθος ηλικίας Καρνίου, τον οποίο ο C. RENZ ονόμασε “Ασβεστόλιθο Φουσταπήδημα” και ακολουθούν άσπροι δολομίτες του Νορίου (Ανω Τριαδικό). Στη συνέχεια αποθέτονται οι νηριτικοί ασβεστόλιθοι Νορίου - Μέσου Λιασίου, που είναι γνωστοί στη βιβλιογραφία σαν “ασβεστόλιθοι του Παντοκράτορα” με πάχος γύρω

στα 600 m, και μέσα σε αυτούς εγκλείονται διάφορα φύκη, κοράλλια και άλλα νηριτικά απολιθώματα.

Στο μέσο Λιάσιο συναντώνται οι “Ασβεστόλιθοι Σινιών” που είναι καλά στρωμένοι και φέρουν πυριτόλιθους. Κατά κανόνα δεν περιέχουν απολιθώματα και γενικά αποτελούν μεταβατικά ιζήματα ρηχής προς βαθύτερης θάλασσας, πάχους από λίγα μέτρα έως 200 m.

Στο Άνω Λιάσιο διαφοροποιείται η αξονική περιοχή της ζώνης σε βαθύτερο χώρο ιζηματογένεσης, όπου αποτείνονται κερατόλιθοι σε εναλλαγές με μαργαϊκούς ασβεστόλιθους και έγχρωμους αργιλικούς σχιστόλιθους, οι οποίοι είναι γνωστοί σαν “σχιστόλιθοι με *Posidonomyes*” από τα απολιθώματα που περιέχουν. Την ίδια περίοδο, στις δύο πλευρές της ζώνης (εσωτερική και εξωτερική) αποθέτονται κόκκινοι ασβεστόλιθοι με αμμωνίτες της φάσης *Ammonitico rosso*. Η διττή αυτή ιζηματογένεση διαρκεί όλο το Δογγέριο (Μέσο Ιουρασικό) ενώ στο Μάλμιο, γίνεται ενιαία σε όλο το πλάτος της ζώνης με την απόθεση λεπτοπλακωδών πελαγικών ασβεστολίθων με ενστρώσεις κερατολίθων, οι οποίοι αναφέρονται με το όνομα “ασβεστόλιθοι Βίγλας”. Οι Ασβεστόλιθοι αυτοί περιέχουν άφθονα Ακτινόζωα *Calpionella alpina* και πολλά είδη *Globotruncana*, ενώ η απόθεση τους κράτησε από το Μάλμιο, το Κάτω και Μέσο Κρητιδικό μέχρι και το μέσο του Άνω Κρητιδικού (Σενώνιο). Το συνολικό τους πάχος κυμαίνεται στα 400 m περίπου.

Η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπα προς τα πάνω με λατυποπαγείς ασβεστόλιθους Ανωτέρου Κρητιδικού - Μέσου Ηωκαίνου, οι οποίοι στην αξονική υποζώνη χαρακτηρίζονται περισσότερο πελαγικοί και των οποίων το πάχος κυμαίνεται γύρω στα 400 m.

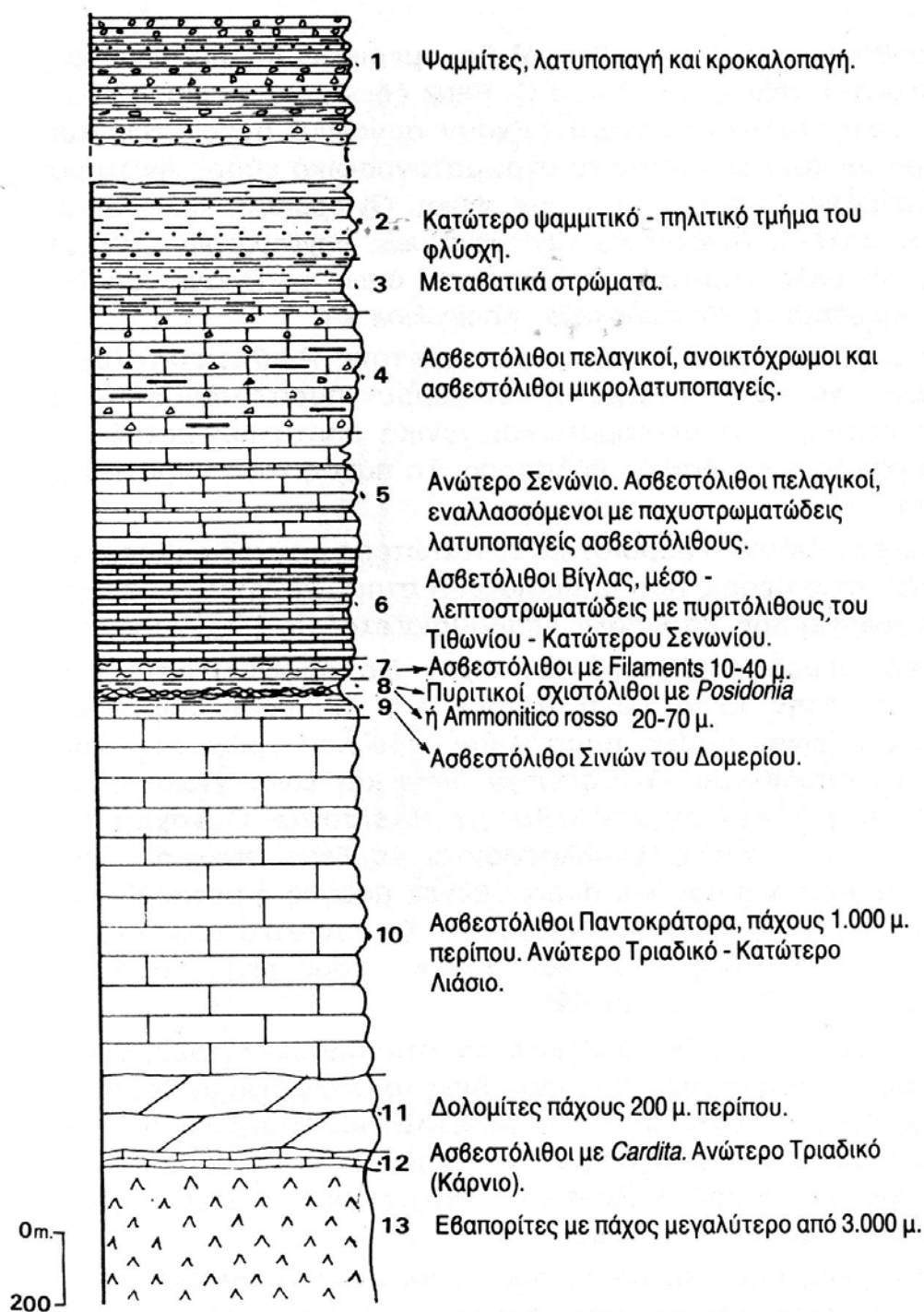
Τέλος, αποτίθεται ο φλύσχη από το Πριαμπόνιο του Ηωκαίνου μέχρι το Ακουϊτάνιο του Κάτω Μειοκαίνου, οπότε και έλαβε χώρα η παροξυσμική πτύχωση της ζώνης. Το συνολικό πάχος του φλύσχη υπολογίζεται ότι ξεπερνά τα 2000 m αν και οι πτυχωμένες μορφές του είναι πιθανόν να επηρεάζουν το φαινόμενο πάχος του. Η σύστασή του στα κατώτερα στρώματα είναι κυρίως ψαμμιτική - μαργαϊκή και εξελίσσεται προς τα πάνω σε εναλλαγές μαργών, μαργαϊκών ασβεστολίθων και κροκαλοπαγών (σχήμα 1.3).

Η ανάδυση της περιοχής της Ιόνιας ζώνης, έγινε μετά την ολοκλήρωση της απόθεσης του Φλύσχη (κατά το Ακουϊτάνιο στην Εσωτερική Ιόνια ζώνη και κατά το Βουρδιγάλιο στην Εξωτερική). Στη συνέχεια, στα όρια Βουρδιγαλίου και Μέσου Μειοκαίνου στην περιοχή της Εξωτερικής Ιόνιας ζώνης και ακόμα νωρίτερα (κατά το

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

Βουρδιγάλιο) στην περιοχή της Κεντρικής Ιόνιας ζώνης, έλαβε χώρα επίκλυση της θάλασσας με αποτέλεσμα την απόθεση θαλάσσιων μολασσικών ιζημάτων, κυρίως από μάργες και λιγότερο από ψαμμίτες με ενστρώσεις ασβεστολίθων.

Η ιζηματογένεση των Αλπικών χρόνων στην Αδριατικοϊόνια ζώνη, θεωρείται γενικά συνεχής και αδιάκοπη όπως σε όλες τις εξωτερικές ζώνες. Εντούτοις υπάρχουν παρατηρήσεις που θέτουν υπό αμφισβήτηση αυτή τη γενική αντίληψη. Συγκεκριμένα, σε ορισμένες περιοχές της ζώνης παρατηρήθηκαν ιζηματολογικές ασυμφωνίες των ασβεστολίθων του Ανωτέρου Ιουρασικού - Κρητιδικού (Βίγλας) πάνω στα παλιότερα στρώματα της ίδιας ζώνης, παρατηρήσεις που ερμηνεύθηκαν με κάποια πιθανή διακοπή της ιζηματογένεσης στη διάρκεια του Ιουρασικού. Το φαινόμενο αυτό όμως, δεν έχει εξηγηθεί από την άποψη της τεκτοορογενετικής εξέλιξης.



Σχήμα 1.3: Στρωματογραφική στήλη της Ιόνιας ζώνης (Κατσικάτσος, 1992).

1.4. Γενικά για τη Ζώνη Παξών ή Προαπούλια ζώνη

Η ζώνη αυτή πήρε το όνομα της σύμφωνα με τον C.RENZ (1940), από τα νησιά Παξοί του Ιονίου πελάγους. Η ονομασία Προαπούλια δώθηκε από τον J. AUBOUIN (1959) επειδή η ίδια ζώνη αποτελεί το εσωτερικό (ανατολικό) περιθώριο της Απούλιας ζώνης. Απαντά με μορφή υποθαλάσσιας τράπεζας στην περιοχή της Νότιας Ιταλίας (σχήμα 1.4) και είναι η πιο εξωτερική και δυτική ζώνη των Ελληνίδων, που χαρακτηρίζεται από μεγάλης καμπυλότητας διαρρηγμένες πτυχές και θεωρείται σχετικά αυτόχθονη συγκρινόμενη με τις άλλες εξωτερικές ζώνες που είναι αλλόχθονες.

Οι περιοχές που δομούνται από σχηματισμούς της παραπάνω ζώνης, είναι τα νησιά Παξοί και Αντίπαξοι, το δυτικό τμήμα της Λευκάδας (χερσόνησος Λευκάτα), το μεγαλύτερο τμήμα της Κεφαλλονιάς και σχεδόν ολόκληρη η Ζάκυνθος (εκτός του όρους Σκοπός). Σχηματισμοί της ίδιας ζώνης έχουν επίσης συναντηθεί στην περιοχή των Φιλιατρών και στην χερσόνησο της Μάνης, ενώ ενότητα σχηματισμών για την οποία δεχόμαστε ότι ανήκει στην ζώνη Παξών, είναι αυτή του Καστελόριζου με τις γύρω νησίδες Ρω και Στρογγυλή.

Δυτικά των νησιών του Ιονίου Πελάγους εντοπίζεται η Ελληνική τάφρος, κατά μήκος της οποίας βρίσκεται το Ελληνικό τόξο. Κατά μήκος του τόξου αυτού, γίνεται η καταβύθιση του βόρειου περιθωρίου της Αφρικανικής πλάκας κάτω από την Ευρασιατική. Η κίνηση αυτή για τη ζώνη Παξών σταμάτησε στο όριο Μειοκαίνου - Πλειοκαίνου. Το μεγαλύτερο πάντως τμήμα της ζώνης Παξών, είναι βέβαιο ότι βρίσκεται κάτω από τη θάλασσα του Ιονίου πελάγους, καθώς κάτω από αυτή βρίσκεται και το πέρασμα ανάμεσα στη ζώνη Παξών και στην Απούλια ζώνη, το οποίο και θεωρούμε κανονικό, επειδή δεν υπάρχουν στοιχεία για την ύπαρξη κάποιας μεγάλης τεκτονικής επαφής στο χώρο αυτό μεταξύ των δύο παραπάνω ζωνών.

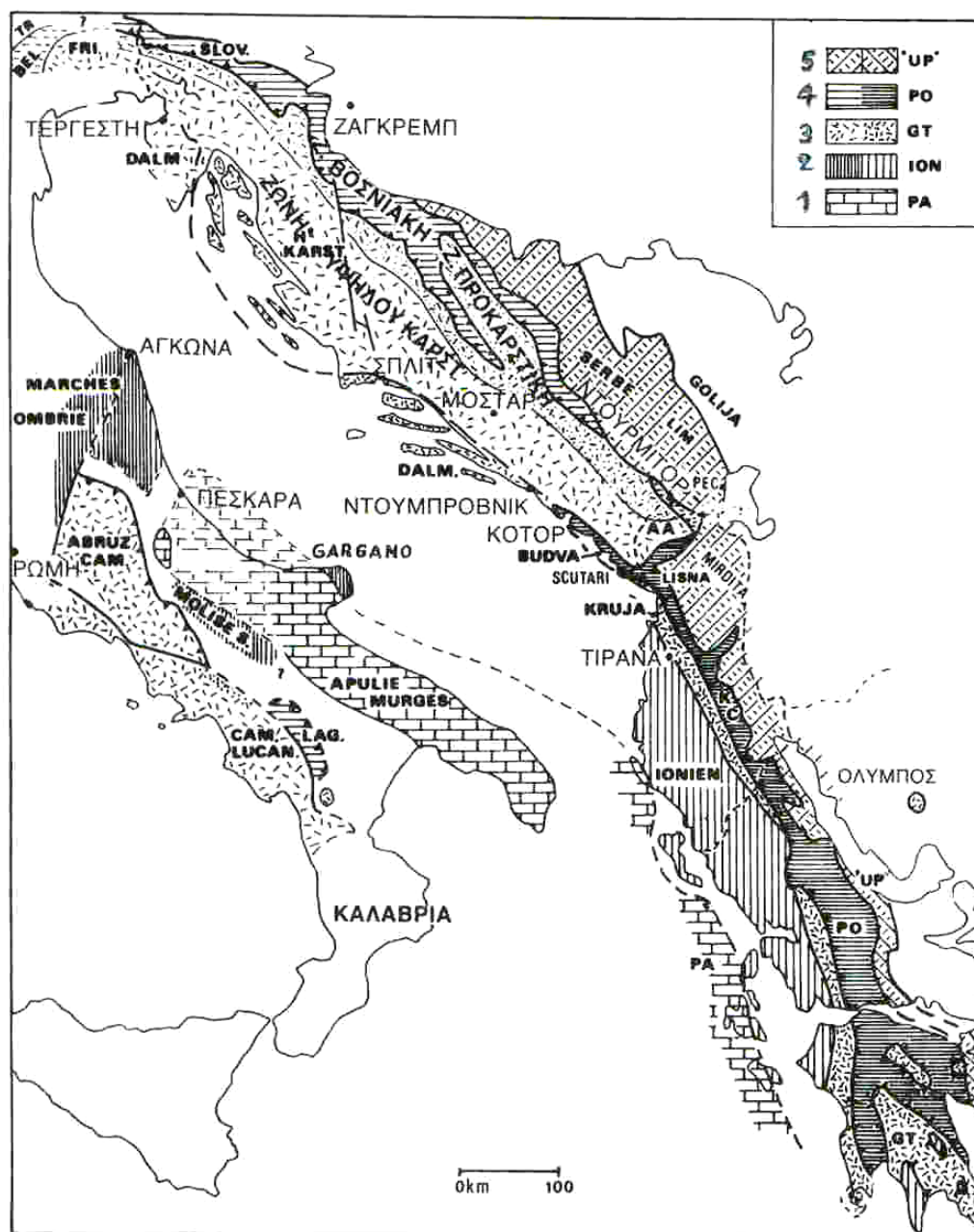
Σήμερα πάντως παραμένει το ερώτημα, αν η ανάδυση των τμημάτων που ανήκουν στη ζώνη των Παξών ήταν ενιαία για όλη τη ζώνη, ή έγινε μεμονωμένα από την τεκτονική συμπίεσης που έλαβε χώρα κατά το σχηματισμό του Ελληνικού τόξου και επομένως η ιζηματογένεση συνεχίζεται αδιάκοπα στον υπόλοιπο χώρο της ζώνης. Στην πρώτη περίπτωση, θεωρείται ότι η ανάδυση έγινε με μία παροξυσμική ορογενετική φάση, την οποία ακολούθησε η βύθιση με ρηξιγενή τεκτονική του χώρου ανάμεσα στα νησιά Παξοί, Λευκάδα, Κεφαλλονία και Ζάκυνθο, που σήμερα αποτελούν τις μοναδικές εμφανίσεις της ζώνης. Χαρακτηριστικό πάντως στοιχείο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

είναι, ότι η ιζηματογένεση δεν τελειώνει με την απόθεση φλύσχη, ο οποίος και απουσιάζει από την ζώνη.

Ο τεκτονισμός της ζώνης είναι Μειοκαινικής ηλικίας, ενώ για τη Ζάκυνθο και την Κεφαλλονιά αυτός εντοπίζεται στο όριο Μειοκαίνου - Πλειοκαίνου. Στη Ζάκυνθο έχουμε μία από τις ελάχιστες περιπτώσεις, όπου μπορεί να βρεθεί μια σχεδόν πλήρης στρωματογραφική τομή του Μειοκαίνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)



Σχήμα 1.4: Τεκτονικό σκαρίφημα των μεγάλων Εξωτερικών και Ενδιάμεσων Ενοτήτων των Δυναρίδων και Ελληνίδων, καθώς και των Ενοτήτων των Απέννινων. Πραγματοποιήθηκε συσχέτιση των παραπάνω ενοτήτων με βάση στοιχεία από διάφορους μελετητές (Κατσικάτσος, 1992).

Υπόμνημα:

- 1: Ζώνες Προαπούλια και Απούλια (PA) – Ζ. Apulie Murges.
- 2: Ζώνη Ιόνια (IONIEN) - Ζ. Gargano - Ζ. Marches Ombrie – Ζ. Molise.
- 3: Ζώνη Γαβρόβου – Τρίπολης (GT) - Ζ. Kruja – Ζ. Αλβανικών Άλπεων (AA) – Ζ. Δαλματίας (DALM.) – Ζώνη Υψηλού Καρστ (HAUT KARST – Ζ. Frioul (FRI)) – Ζ. Abruzzes Campanie (ABRUZ. – CAM.) – Campanie Lucanie (CAM. – LUCAN).
- 4: Ζώνη Πίνδου – Ωλόνοου (PO) – Ζ. Krasta Cukali – Ζ. Budva – Ζ. Βοσνιακή - Ζ. Σλοβενίας (SLOV.) – Ζ. Laganegro (LAG.).
- 5: Υποζώνη Υπερπινδική («UP») - Ενότητα Κόζιακα και Μαλιακή ζώνη - Ζ. Lisma - Ζ. Serbe.

1.5. Η Στρωματογραφική εξέλιξη της ζώνης Παξών.

Η ζώνη Παξών χαρακτηρίζεται από μία συνεχή σειρά νηριτικών ανθρακικών πετρωμάτων, η οποία αρχίζει από το Ανώτερο τριαδικό και φθάνει μέχρι και το Ολιγόκαινο. Η στρωματογραφική της διάρθρωση από τους αρχαιότερους προς τους νεώτερους στρωματογραφικούς ορίζοντες φαίνεται στο σχήμα 1.5.

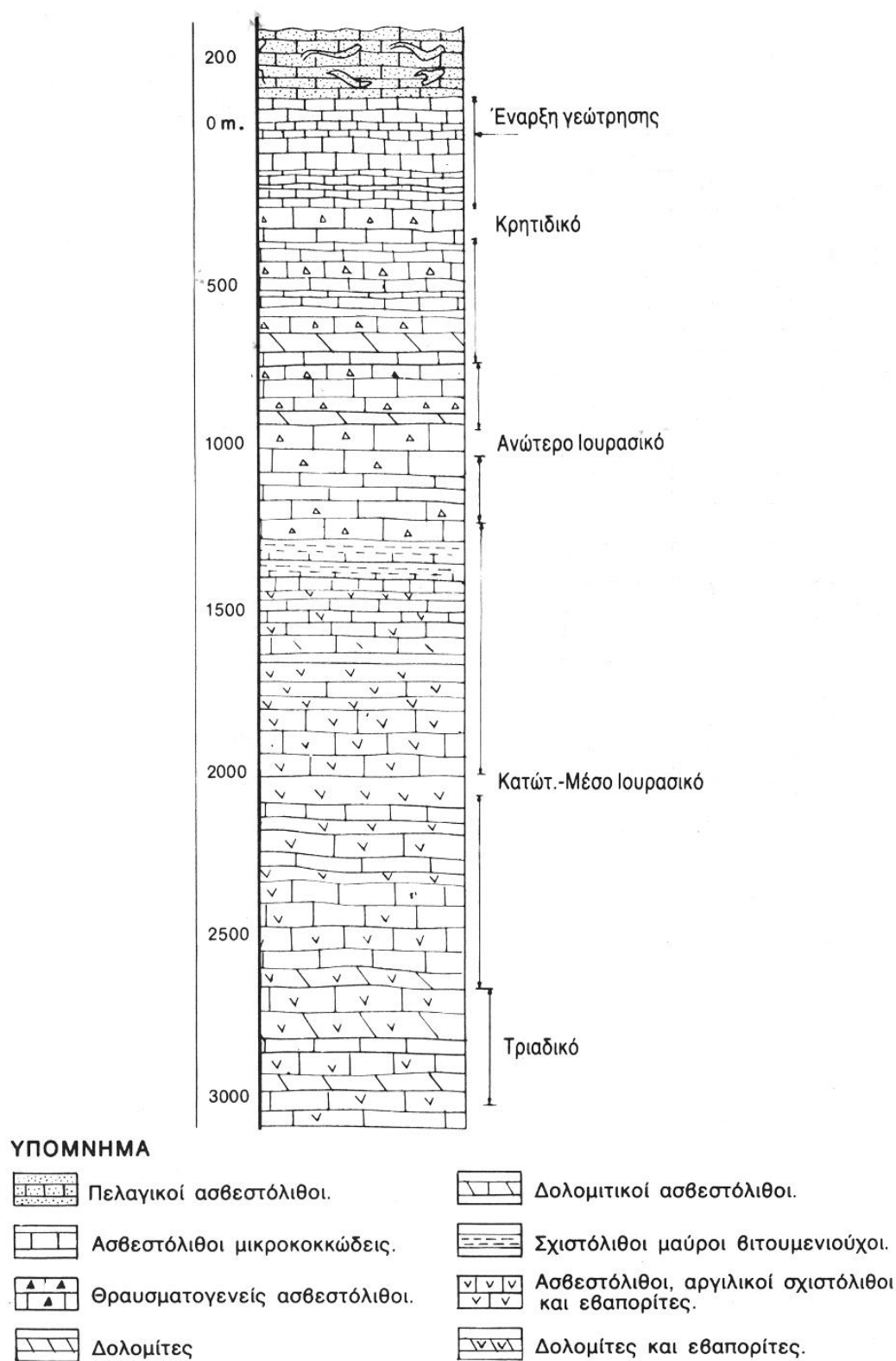
Τα παλαιότερα ιζήματα της ζώνης είναι εβαπορίτες, δολομίτες και νηριτικοί ασβεστόλιθοι Ανωτριαδικής έως Μεσοϊουρασικής ηλικίας, που εμφανίζουν μια σαφή αναλογία με τα αντίστοιχα ιζήματα της Ιόνιας ζώνης και των οποίων το πάχος φθάνει τα 1500 m περίπου. Χαρακτηριστική περίπτωση αποτελεί η νήσος Ζάκυνθος, στην οποία η στρωματογραφική σειρά της ζώνης Παξών τελειώνει με γύψους του Μεσσηνίου, πάνω στις οποίες έρχονται με τεκτονική επαφή επώθησης τριαδικές γύψοι της Ιόνιας ζώνης.

Στη συνέχεια ακολουθούν νηριτικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες του Ανωτέρου Ιουρασικού με *Clypeina* sp., στους οποίους παρεμβάλλονται ενστρώσεις πυριτικών σχιστολίθων και μαργών, των οποίων το πάχος φθάνει τα 500 m περίπου. Η προηγούμενη ανθρακική ιζηματογένεση συνεχίζεται σε ολόκληρο το Κρητιδικό μέχρι και το Παλαιογενές (Παλαιόκαινο - Ηώκαινο - Ολιγόκαινο), με απόθεση νηριτικών ασβεστολίθων συνολικού πάχους 1500 m περίπου (Κεφαλλονιά) οι οποίοι είναι συχνά μικρολατυποπαγείς. Συγκεκριμένα, το Ανώτερο Κρητιδικό αντιπροσωπεύεται από νηριτικούς και υφαλογόνους ασβεστολίθους με ιππουρίτες, ενώ το Μαιστρίχτιο, περιλαμβάνει ένα χαρακτηριστικό ασβεστολιθικό ορίζοντα με *Orbitoides*. Το Ηώκαινο και το Ολιγόκαινο, αντιπροσωπεύονται από νηριτικούς ασβεστολίθους που έχουν χαρακτηριστικά όμοια με αυτά των ασβεστολίθων της Απούλιας ζώνης και εναλλάσσονται με μικρολατυποπαγείς ασβεστόλιθους. Όλοι οι παραπάνω ασβεστόλιθοι είναι πλούσιοι σε μικροαπολιθώματα. Στο Μειόκαινο τέλος, εμφανίζονται μαργαϊκοί σχηματισμοί πολλές φορές ψαμμιτούχοι, εναλλασσόμενοι με λατυποπαγείς ασβεστολίθους που υποκαθιστούν την τυπική φλυσική ιζηματογένεση των άλλων γεωτεκτονικών ζωνών.

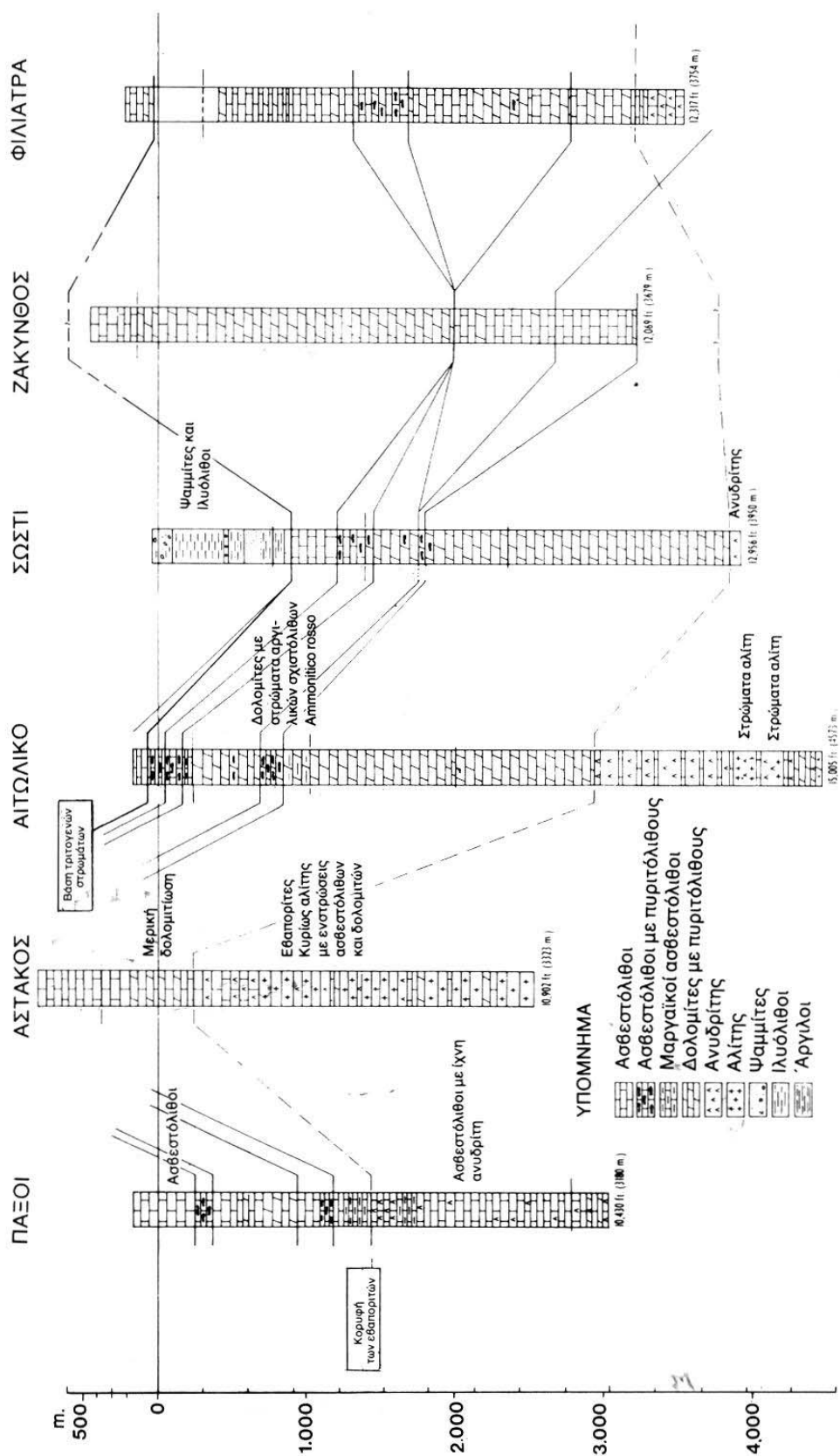
Η έλλειψη σαφών συμπερασμάτων για την τεκτοορογενετική και παλαιογεωγραφική εξέλιξη της ζώνης, οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι εμφανίσεις, είναι περιορισμένης έκτασης. Έτσι, από τους προαναφερόμενους αλπικούς σχηματισμούς, μόνο αυτοί που αποτέθηκαν μετά το Μέσο Κρητιδικό βρίσκονται σε επιφανειακές εμφανίσεις, ενώ όλοι οι παλαιότεροι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ (ΙΟΝΙΑ ΝΗΣΙΑ)

(Τριαδικοϊουρασικοί και Κατωκρητιδικοί) διαπιστώθηκαν με τις βαθιές γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή για την εύρεση υδρογονανθράκων (σχήμα 1.6).



Σχήμα 1.5: Στρωματογραφική στήλη της ζώνης Παζών με βάση τις επιφανειακές εμφανίσεις και τα αποτελέσματα της βαθιάς γεώτρησης που εκτελέστηκε στους Παζούς (Κατσικάτσος, 1992).



Σχήμα 1.6: Στρωματογραφικές στήλες των γεωτρήσεων που εκτελέστηκαν σε περιοχές της Δυτικής Ελλάδας, Πελοποννήσου και Παξών για την ανεύρεση υδρογονανθράκων (Κατσικάτσος, 1992).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2⁰

2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

2.1 Εισαγωγή

Για να καθοριστεί η γεωλογική δομή μιας περιοχής, χρησιμοποιείται η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης η οποία βασίζεται στους νόμους διάδοσης των ελαστικών κυμάτων. Τα ελαστικά κύματα παράγονται τεχνητά (με εκρήξεις, πτώση βαρών κ.λ.π.) στην επιφάνεια της γης ή σε μικρό βάθος, διαδίδονται μέσα στα στρώματα του φλοιού όπου υφίστανται συνεχείς ανακλάσεις και διαθλάσεις σε διαχωριστικές επιφάνειες και καταγράφονται από γεώφωνα που τοποθετούνται σε μικρές αποστάσεις από το σημείο παραγωγής των κυμάτων. Οι αποστάσεις αυτές μεταξύ πηγής και γεωφώνων είναι μικρότερες από το ελάχιστο βάθος της ασυνέχειας που πρόκειται να εντοπισθεί (συνήθως μικρότερες από 500 m).

Πιο συγκεκριμένα, με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης καταγράφονται οι μεταβολές των ταχυτήτων διάδοσης των ελαστικών κυμάτων στα στρώματα του φλοιού της γης και εντοπίζονται οι οικονομικού ενδιαφέροντος γεωλογικές δομές με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής των κυμάτων ανάκλασης στην επιφάνεια. Από τις καταγραφές των ελαστικών κυμάτων προκύπτουν “οι καμπύλες χρόνων διαδρομής”, που είναι γραφικές παραστάσεις των χρόνων διαδρομής των κυμάτων σε συνάρτηση με την οριζόντια απόσταση πηγής-γεωφώνου. Από τις γραφικές αυτές παραστάσεις, υπολογίζεται η ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων σε συνάρτηση με το βάθος. Στην πραγματικότητα αυτά που καταγράφονται είναι τα πλάτη των κυμάτων και ο χρόνος που απαιτείται για να διαδοθούν από την πηγή στα γεώφωνα.

Τελικός στόχος μιας σεισμικής εργασίας υπαίθρου είναι όλες οι καταγραφές να λαμβάνονται με τις ίδιες συνθήκες έτσι ώστε οποιαδήποτε αλλαγή στα δεδομένα που σχετίζεται με την υπάρχουσα γεωλογία να μπορεί να ερμηνευθεί και να αξιολογηθεί. Αυτό τις περισσότερες φορές είναι σπάνιο εξαιτίας των φυσικών εμποδίων και οι αλλαγές στις συνθήκες καταγραφής διακρίνονται συνήθως στη σεισμική τομή υπέρθεσης (stacking).

2.2 Λίγα λόγια για τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης, βρίσκει την πρώτη εφαρμογή της το 1914 όταν ο Fessenden μέτρησε τους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων από τον πυθμένα της θάλασσας και υπολόγισε το βάθος του. Η ίδια μέθοδος είναι σήμερα η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη στη γεωφυσική διασκόπηση. Η εξαιρετική σημασία της οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι εξυπηρετεί στη χαρτογράφηση των επιφανειών ασυνέχειας με την ίδια σχεδόν ακρίβεια με την οποία καθορίζεται η δομή από δεδομένα γεωτρήσεων. Είναι επίσης δυνατή η χαρτογράφηση δομών που βρίσκονται σε μεγάλα βάθη χωρίς να απαιτείται μεγάλη απόσταση μεταξύ των γεωφώνων και χωρίς να επηρεάζονται οι μετρήσεις από τα στρώματα χαμηλής σεισμικής ταχύτητας. Αυτό κατορθώνεται με την ίδια σχεδόν ακρίβεια με την οποία χαρτογραφούνται οι επιφανειακές δομές.

Στο παρελθόν, η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην έρευνα κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου για τον εντοπισμό δομών στις οποίες είναι πιθανή η παγίδευση αυτών. Σήμερα η εφαρμογή της έχει επεκταθεί στους τομείς ανίχνευσης υπογείων υδάτων και γεωθερμικών πεδίων, στη μελέτη του φλοιού της γης, σε χαρτογραφήσεις αρχαιολογικών χώρων καθώς και σε μελέτες θεμελίωσης. Μια πλήρης μελέτη με σεισμικές μεθόδους, συνοδεύεται απαραίτητα με πληροφορίες από άλλες γεωφυσικές μεθόδους, γεωλογικά δεδομένα και αποτελέσματα γεωτρήσεων.

2.3 Βασικές αρχές διάδοσης των ελαστικών κυμάτων

Ο προσδιορισμός του μετώπου κύματος, δηλαδή του γεωμετρικού τόπου των σημείων στα οποία φθάνει το σεισμικό κύμα ταυτόχρονα, γίνεται αρκετά συχνά πολύ πιο γρήγορα, κάνοντας χρήση απλών νόμων της φυσικής οι οποίοι επιτρέπουν την αποφυγή πολύπλοκων υπολογισμών. Οι κυριότεροι από τους νόμους αυτούς, είναι η αρχή του Huygens, η αρχή του Fermat, (ή αρχή του Ήρωνα) και ο νόμος του Snell που αναφέρονται παρακάτω:

Αρχή του Huygens

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, κάθε σημείο του μετώπου κύματος, της επιφάνειας δηλαδή όπου τα υλικά σημεία ταλαντώνονται με την ίδια φάση, αποτελεί μια δευτερεύουσα πηγή παραγωγής σεισμικών κυμάτων. Η αρχή αυτή μας δίνει τη θέση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

του μετώπου κύματος για κάθε χρονική στιγμή, δεν εξηγεί όμως κυματικά φαινόμενα όπως η περίθλαση των σεισμικών κυμάτων σε ανώμαλες διαχωριστικές επιφάνειες (π.χ. ρήγματα).

Αρχή του Fermat

Ο προσδιορισμός της διαδρομής του ελάχιστου χρόνου που ακολουθεί η σεισμική ακτίνα εφόσον η πηγή και το γεώφωνο βρίσκονται σε διαφορετικά στρώματα αναφέρεται ως αρχή του Fermat. Σύμφωνα με την αρχή αυτή, “το κύμα το οποίο φθάνει σε ορισμένο δέκτη από ορισμένη πηγή, ακολουθεί το συντομότερο από τους δρόμους που είναι δυνατό να ακολουθήσει, δηλαδή αυτόν που απαιτεί τον ελάχιστο χρόνο”. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατή η χάραξη των σεισμικών ακτινών σε ελαστικό μέσο όπου είναι γνωστή η κατανομή ταχύτητας διάδοσης των ελαστικών κυμάτων.

Νόμος του Snell

Όταν ένα επιμήκες κύμα προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, τα σημεία της επιφάνειας αυτής γίνονται εστίες επιμήκων ανακλώμενων και διαθλώμενων κυμάτων. Σύμφωνα με τον νόμο του Snell “ο λόγος των ημιτόνων των γωνιών που σχηματίζουν οι σεισμικές ακτίνες με την κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων, είναι ίσος με το λόγο των αντίστοιχων ταχυτήτων διάδοσης των κυμάτων”.

2.4 Κύματα χώρου

Τα ελαστικά κύματα χώρου διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Πρόκειται για τα επιμήκη και τα εγκάρσια κύματα και μία μικρή αναφορά σ’αυτά γίνεται παρακάτω:

Επιμήκη κύματα

Έτσι ονομάζονται τα κύματα κατά την μεταφορά των οποίων, τα υλικά σημεία του μέσου διάδοσης ταλαντώνονται κατά διεύθυνση παράλληλη στην διεύθυνση της πορείας του κύματος. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται διαδοχικά πυκνώματα και αραιώματα με αποτέλεσμα την παροδική μεταβολή της πυκνότητας του μέσου. Σε ελαστικό και ισότροπο μέσο τα επιμήκη κύματα διαδίδονται με ταχύτητα η οποία δίνεται από την σχέση: $\alpha = \sqrt{(\lambda + 2\mu) / \rho}$

όπου α: η ταχύτητα διάδοσης του κύματος

λ, μ: οι ελαστικές σταθερές του Lamé και

ρ: η πυκνότητα του μέσου διάδοσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Τα επιμήκη κύματα παριστάνονται με το σύμβολο P (Primus) λόγω του ότι καταγράφονται πρώτα από τον κατά περίπτωση σταθμό. Ακολουθεί η καταγραφή των εγκάρσιων και επιφανειακών κυμάτων, τα οποία παράγονται συγχρόνως με τα επιμήκη από τη σεισμική εστία. Η διαφορά στην καταγραφή οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιμήκη κύματα διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από ότι τα εγκάρσια και τα επιφανειακά στο ίδιο μέσο. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, παρατηρείται και η αποκλειστική σχεδόν αξιοποίηση των καταγραφών των επιμήκων κυμάτων στη σεισμική διασκόπηση.

Εγκάρσια κύματα

Τα εγκάρσια κύματα συμβολίζονται με S (Secundus) και κατά τη μεταφορά τους τα υλικά σημεία του μέσου διάδοσης ταλαντώνονται κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, με τρόπο τέτοιο ώστε το μέσο να υφίσταται διατμητική παραμόρφωση. Η ταχύτητα διάδοσης των εγκάρσιων κυμάτων μέσα σε ελαστικό και ισότροπο μέσο δίνεται από τη σχέση: $\beta = \sqrt{\mu / \rho}$

όπου μ : η ελαστική σταθερά του Lamé και

ρ : η πυκνότητα του μέσου διάδοσης των κυμάτων.

Η σταθερά μ , αποτελεί μέτρο της διατμητικής παραμόρφωσης του μέσου κατά τη διάδοση των κυμάτων και έχει τόσο μεγαλύτερη τιμή, όσο μεγαλύτερη είναι η αντίδραση του μέσου στη διατμητική παραμόρφωσή του. Τα εγκάρσια κύματα δε διαδίδονται στα ρευστά, για τα οποία ισχύει $\mu=0$.

2.5 Γεωμετρία της ανάκλασης

Θεωρούμε μια απλή περίπτωση πειράματος σεισμικής ανάκλασης, όπου η δομή αποτελείται από ένα οριζόντιο στρώμα, το οποίο βρίσκεται μεταξύ της επιφάνειας της Γης και της οριζόντιας διαχωριστικής επιφάνειας η οποία ονομάζεται ασυνέχεια ή ανακλαστήρας (reflector) (σχήμα 2.1 κάτω μέρος). Θεωρούμε επίσης ότι σε ορισμένο σημείο S στην επιφάνεια της γης, παράγονται ελαστικά κύματα τα οποία καταγράφονται από γεώφωνο R. Μέσα στο οριζόντιο στρώμα, η ταχύτητα διάδοσης α_1 των σεισμικών κυμάτων είναι σταθερή ενώ κάτω από αυτό, η ταχύτητα α_2 είναι μεγαλύτερη. Τα κύματα που ανακλώνται στην οριζόντια ασυνέχεια, φθάνουν στο σταθμό μέσω της διαδρομής SCR σε χρόνο $t(x)$ που δίνεται από την παρακάτω

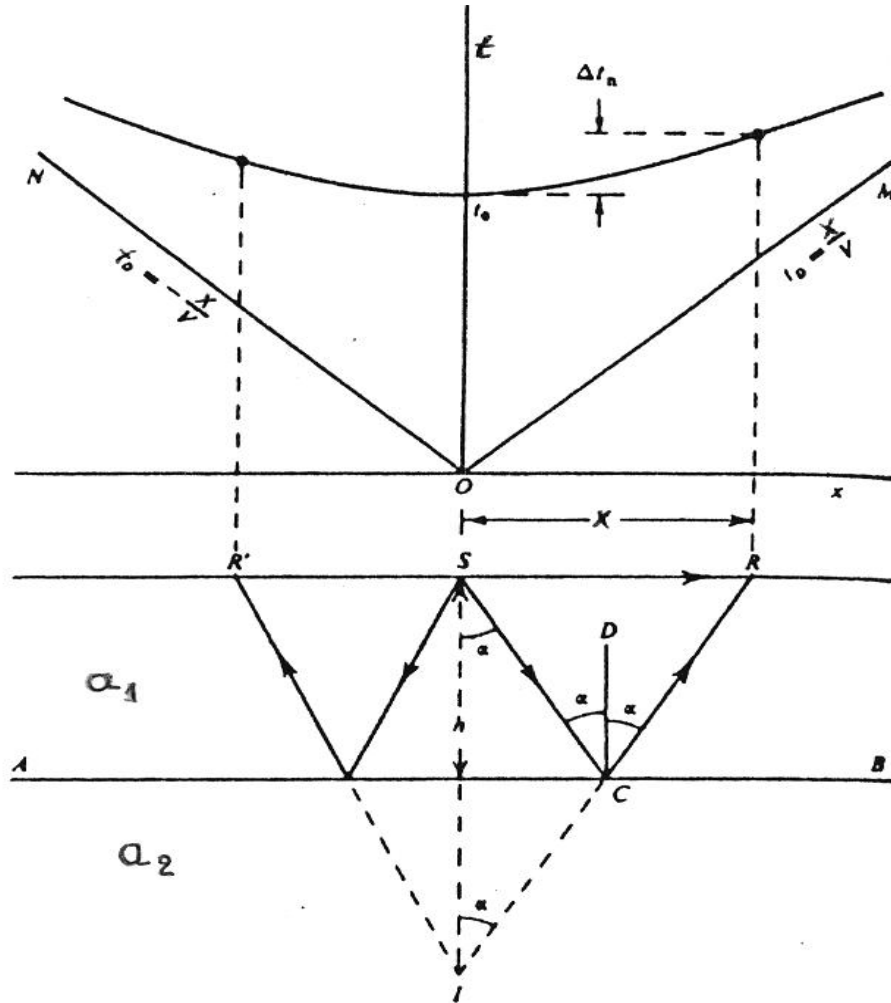
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

εξίσωση, η οποία ονομάζεται “εξίσωση της καμπύλης χρόνων διαδρομής” των ανακλώμενων κυμάτων. Ισχύει ότι:

$$t(x) = (\sqrt{x^2 + (2z)^2}) / \alpha_1 \quad (2.1)$$

όπου x : η απόσταση πηγής - γεωφώνου ($x = SR$) και

z : το πάχος του στρώματος.



Σχήμα 2.1: Στο πάνω μέρος του σχήματος βλέπουμε την καμπύλη του χρόνου διαδρομής για το απευθείας και το ανακλώμενο κύμα ενώ στο κάτω μέρος αυτού φαίνεται η ανάκλαση των κυμάτων σε οριζόντια επιφάνεια (Sheriff and Geldart, 1995).

Το πάχος z του στρώματος υπολογίζεται από την επίλυση της (2.1) ως προς z εφόσον είναι γνωστά τα μεγέθη της ταχύτητας α_1 και του χρόνου διαδρομής t των ανακλώμενων κυμάτων τα οποία καταγράφονται σε απόσταση x .

Για κατακόρυφη ανάκλαση (μηδενικό offset) είναι $x=0$. Στην περίπτωση αυτή, ο χρόνος ονομάζεται “διπλός κατακόρυφος χρόνος διαδρομής” (two way traveltime TWT) στον ανακλαστήρα και δίνεται από τη σχέση: $t(0) = (2z) / \alpha_1 \quad (2.2)$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Πρόκειται για το συνολικό χρόνο που χρειάζεται το κύμα για να φθάσει κατακόρυφα στην επιφάνεια ανάκλασης και να επιστρέψει στο σημείο της πηγής.

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση το πάχος z του στρώματος υπολογίζεται από την επίλυση της (2.2) ως προς z εφόσον είναι γνωστά τα μεγέθη της ταχύτητας α_1 και του χρόνου διαδρομής t_0 .

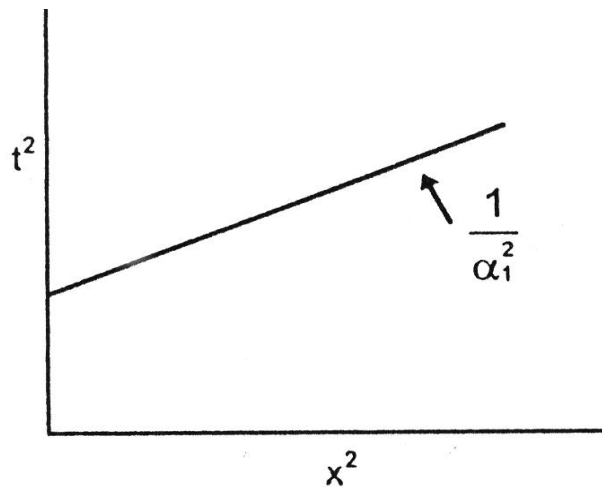
Το διάγραμμα του χρόνου διαδρομής $t(x)$, συνάρτηση της οριζόντιας απόστασης πηγής-γεωφώνου x , ονομάζεται “δρομοχρονικό διάγραμμα” και είναι υπερβολή (σχ.2.1.πάνω μέρος) με άξονα συμμετρίας τον άξονα των χρόνων και ασύμπτωτους:

$$t(x) = \pm x/\alpha_1$$

Η (2.1) σε συνδυασμό με τη (2.2) γράφεται στη μορφή:

$$t^2(x) = (4z^2)/\alpha_1^2 + x^2/\alpha_1^2 = t_0^2 + x^2/\alpha_1^2$$

Παρατηρείται ότι το τετράγωνο του χρόνου διαδρομής t των κυμάτων ανάκλασης, τα οποία φθάνουν σε ορισμένη απόσταση x από το σημείο της πηγής είναι γραμμική συνάρτηση του τετραγώνου της απόστασης. Έτσι η γραφική παράσταση του t^2 συναρτήσει του x^2 είναι ευθεία γραμμή με κλίση $1/\alpha_1^2$ και τέμνει τον άξονα των t^2 στο σημείο όπου $t^2 = t_0^2 = (4z^2)/\alpha_1^2$ (σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα $t^2 - x^2$ (Γεωργιά, 1998).

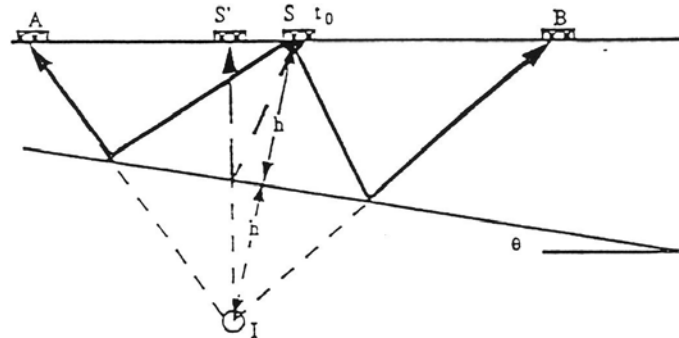
Στην περίπτωση που η διαχωριστική επιφάνεια είναι κεκλιμένη και σχηματίζει γωνία θ με την οριζόντια επιφάνεια (σχήμα 2.3), η γραφική παράσταση

$t = \frac{\sqrt{x^2 + 4hx \sin \theta + 4h^2}}{\alpha_1}$ είναι υπερβολή με τον άξονα συμμετρίας μετατοπισμένο

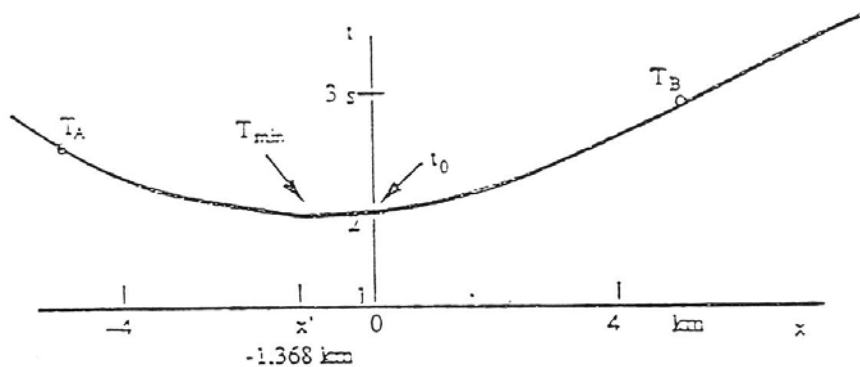
κατά x' σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση (σχήμα 2.4). Ο ελάχιστος χρόνος διαδρομής t_{\min} αντιστοιχεί σε απόσταση πηγής γεωφώνου $x = x'$ ενώ ο χρόνος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

διαδρομής $t(x=0)$ ονομάζεται “διπλός χρόνος ανάκλασης κάθετης στη κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια”. Από το σχήμα 2.4 είναι δυνατό να μετρηθεί ο χρόνος διαδρομής $t(0)$ και η απόσταση x' .



Σχήμα 2.3: Πορεία δύο ανακλώμενων κυμάτων από την πηγή S προς τα γεώφωνα A και B. Η επιφάνεια ανάκλασης είναι κεκλιμένη με γωνία κλίσης θ (Βαφείδης, 1993).

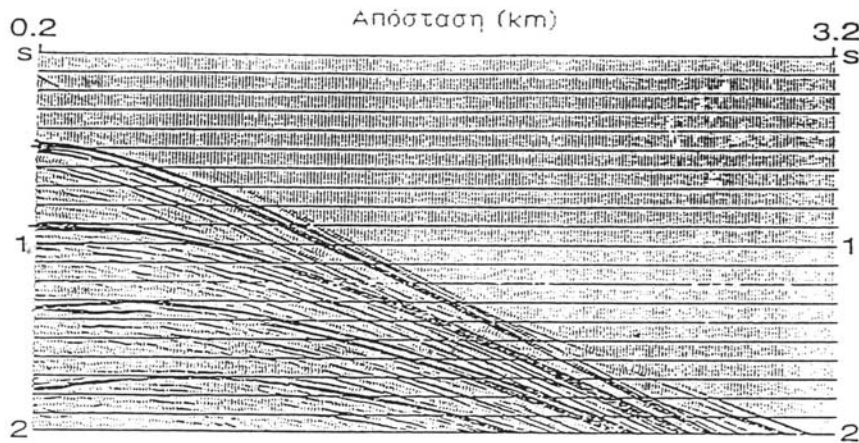


Σχήμα 2.4: Γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια. Παρατηρείται ότι ο άξονας συμμετρίας της υπερβολής είναι μετατοπισμένος κατά x' (Βαφείδης, 1993).

Η διαφορά των χρόνων $t_2 - t_1$ για ανακλώμενα κύματα που φθάνουν σε δύο γεώφωνα τα οποία απέχουν αποστάσεις x_1 και x_2 από το σημείο της πηγής, ονομάζεται “χρονική απόκλιση” και δίνεται από τη σχέση: $t_2 - t_1 \approx (x_2^2 - x_1^2) / (2\alpha_1^2 t_0^2)$.

Σε αντίθεση με τα ανακλώμενα, τα απευθείας και τα διαθλώμενα κύματα περιγράφονται από ευθύγραμμα τμήματα στην καμπύλη του χρόνου διαδρομής.

Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζονται οι καταγραφές από πείραμα σεισμικής ανάκλασης που πραγματοποιήθηκε στη θάλασσα. Οι ανακλάσεις από τον πυθμένα αυτής εμφανίζονται στα 0.5 sec περίπου και οι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων βρίσκονται πάνω σε τμήμα υπερβολής. Από την καμπυλότητα της υπερβολής και το χρόνο διαδρομής $t(x=0)$ είναι δυνατόν να υπολογιστούν η ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων μέσα στο νερό καθώς και το βάθος του πυθμένα της θάλασσας.

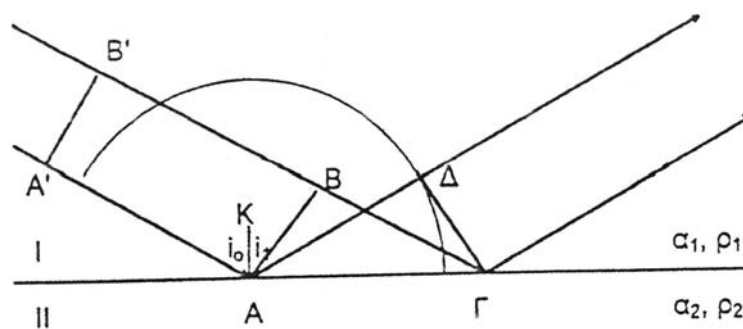


Σχήμα 2.5: Θαλάσσια καταγραφή με διάταξη πολλών γεωφώνων. Στα σειсмоγράμματα εμφανίζονται τόσο οι ανακλάσεις στον πυθμένα της θάλασσας και στις βαθύτερες διαχωριστικές επιφάνειες όσο και οι πολλαπλές ανακλάσεις (Βαφειδής, 1993).

2.6 Συντελεστής ανάκλασης και ακουστική εμπίεση

Θεωρούμε μέτωπο AB επιπέδου ελαστικού κύματος, το οποίο προσπίπτει στην επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων I και II, πυκνότητας ρ_1 και ρ_2 αντίστοιχα και έστω α_1 και α_2 οι ταχύτητες διάδοσης του κύματος σ' αυτά (σχήμα 2.6).

Σύμφωνα με την αρχή του Huygens, όταν το μέτωπο κύματος συναντήσει τη διαχωριστική επιφάνεια κάθε κοινό σημείο μεταξύ αυτού και της επιφάνειας θα γίνει εστία δευτερογενών κυμάτων και ορισμένα απ' αυτά θα διαδοθούν ανακλώμενα στο πρώτο μέσο.



Σχήμα 2.6: Εφαρμογή της αρχής του Huygens για την απόδειξη του νόμου της ανάκλασης (Παπαζάχος, 1986).

Στην περίπτωση που το επίπεδο αρμονικό κύμα προσπίπτει κάθετα ($i_0=i_1=0$) στη διαχωριστική επιφάνεια, ο λόγος του πλάτους A_1 του ανακλώμενου κύματος, προς το

πλάτος A_0 του προσπίπτοντος κύματος, ονομάζεται συντελεστής ανάκλασης R και δίνεται από τη σχέση: $R = A_1/A_0$

Όταν το προσπίπτον κύμα διαδίδεται στο στρώμα ταχύτητας α_1 και πυκνότητας ρ_1 , ο συντελεστής ανάκλασης εκφράζεται από τη σχέση:

$$R = (\alpha_1 \rho_1 - \alpha_2 \rho_2) / (\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2)$$

ενώ όταν το προσπίπτον κύμα διαδίδεται στο στρώμα ταχύτητας α_2 και πυκνότητας ρ_2 , ο ίδιος συντελεστής δίνεται από τη σχέση:

$$R = (-\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2) / (\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2)$$

Η ουσιαστική και θεμελιώδης φυσική ιδιότητα που επηρεάζει τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης είναι η ακουστική εμπέδηση Z (acoustic impedance). Η ποσότητα αυτή δίνεται από το γινόμενο της πυκνότητας του σχηματισμού ρ και της σεισμικής ταχύτητας α του μέσου διάδοσης και ισχύει $Z = \rho \alpha$. Η ανάκλαση των σεισμικών κυμάτων γίνεται μόνο όταν αυτά συναντήσουν ασυνέχεια οπότε και παρατηρείται αλλαγή στην ακουστική εμπέδηση.

2.7 Γεώφωνα, υδρόφωνα και σεισμικό καλώδιο

Στις χερσαίες διασκοπήσεις η εδαφική κίνηση γίνεται αισθητή από τα γεώφωνα, ενώ στη θάλασσα η μεταβολή της πίεσης του νερού που οφείλεται στα σεισμικά κύματα καταγράφεται από τα υδρόφωνα.

Τα γεώφωνα είναι όργανα ευαίσθητα στις εδαφικές κινήσεις και τα πιο διαδεδομένα στις σεισμικές διασκοπήσεις είναι αυτά της κατακόρυφης συνιστώσας. Κάθε ένα από αυτά απαιτεί καλωδιακούς αγωγούς ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από τον αριθμό των γεωφώνων που χρησιμοποιούνται στη διασκόπηση.

Ένα είδος καλωδίου που χρησιμοποιείται από την μέθοδο “ανάκλασης κοινού σημείου βάθους” (CDP) αποτελώντας πλεονέκτημα αυτής, είναι το “τμηματικό” σεισμικό καλώδιο. Κάθε τμήμα σ’ αυτό, είναι συνήθως μερικές δεκάδες μέχρι εκατοντάδες μέτρα μακρύ και έχει μία μόνο θέση για γεώφωνο και δύο υποδοχές στα άκρα. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπει σε ένα απλό τμήμα καλωδίου και στο αντίστοιχο γεώφωνο να μετακινηθούν από το ένα άκρο της γραμμής στο άλλο χωρίς να επηρεαστούν τα υπόλοιπα γεώφωνα ενώ γίνεται παράλληλη χρήση ενός διακόπτη rollalong. Ο διακόπτης αυτός είναι πολυκάνναλος και έχει τη δυνατότητα να επιλέγει μία ομάδα γεωφώνων από διάταξη που περιλαμβάνει περισσότερα επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη μετακίνηση της γραμμής μελέτης κατά τη διάρκεια του πειράματος. Κατά

τη μελέτη των επιμήκων και εγκαρσίων κυμάτων είναι απαραίτητη η χρήση γεωφώνων τριών συνιστωσών. Γεωφώνων δηλαδή, τα οποία είναι ευαίσθητα όχι μόνο στις κατακόρυφες αλλά και στις οριζόντιες εδαφικές κινήσεις.

Τα υδρόφωνα τοποθετούνται σε θαλάμους πλαστικού κυλινδρικού καλωδίου (streamers) και είναι συνήθως πιεζοηλεκτρικού τύπου. Η ασκούμενη δηλαδή πίεση στο πιεζοηλεκτρικό υλικό μετατρέπεται σε ηλεκτρική τάση.

Τα σήματα από τα παραπάνω όργανα με τη βοήθεια του σειсмоγράφου ενισχύονται, ψηφιοποιούνται και καταγράφονται σε μαγνητικό μέσο (ψηφιακός καταγραφέας) με τη βοήθεια συστήματος καταγραφής της εδαφικής κίνησης.

2.8 Συχνότητα Nyquist και αναδίπλωση συχνοτήτων

Κατά την επιλογή του τρόπου δειγματοληψίας στη σεισμική ανάκλαση, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράγοντες όπως είναι η κλίση και η καμπυλότητα των στόχων ενώ εκτός από τη δειγματοληψία στο χώρο απαραίτητη είναι και η δειγματοληψία στο χρόνο. Απαιτείται δηλαδή χρονική δειγματοληψία του σήματος προκειμένου να διακρίνεται η στρωμάτωση των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα σεισμικά κύματα με σημαντική ενέργεια στις υψηλές συχνότητες αντιστοιχούν σε μικρό μήκος κύματος και χρησιμοποιούνται στη διάκριση λεπτών γεωλογικών στρωμάτων. Η συχνότητα που αντιστοιχεί σε κάποια τιμή του διαστήματος δειγματοληψίας Δt και είναι χαρακτηριστική για κάθε διακριτό σήμα, ονομάζεται συχνότητα Nyquist και ορίζεται από τη σχέση: $f_N = 1/2 * \Delta$

όπου Δ : η συχνότητα δειγματοληψίας. Η συχνότητα Nyquist καθορίζει τη μέγιστη τιμή της συχνότητας που καταγράφεται με ασφάλεια, χωρίς δηλαδή να υπάρχει η πιθανότητα της αναδίπλωσης (aliasing) των συχνοτήτων. Με τον όρο αναδίπλωση, περιγράφεται το φαινόμενο κατά το οποίο οι μεγαλύτερες από τη Nyquist συχνότητες επανεμφανίζονται μέσα στο φάσμα των μικροτέρων συχνοτήτων δημιουργώντας πρόβλημα στην πραγματική καταγραφή αυτών (Lindseth, 1982).

Για την αποφυγή της αναδίπλωσης συχνοτήτων, εφαρμόζεται φίλτρο αποκοπής υψηλών συχνοτήτων στα δεδομένα πριν τη δειγματοληψία. Με τον τρόπο αυτό αποκόπτονται οι μεγαλύτερες συχνότητες από τη Nyquist.

2.9 Οριζόντια απόσταση πηγής-γεωφώνου

Η οριζόντια απόσταση που απαιτείται μεταξύ της πηγής και του γεωφώνου (offset) σε ένα πείραμα σεισμικής διασκόπησης καθορίζεται κυρίως από την ταχύτητα των κυμάτων ανάκλασης. Η μέγιστη απόσταση μεταξύ πηγής και μακρύτερου γεωφώνου (H_{\max}), υπολογίζεται από την σχέση:

$$H_{\max} = 0,5 * z \sqrt{[(\bar{\alpha} + \alpha_s) / (\bar{\alpha} - \alpha_s)]}$$

Όπου z : το βάθος του ορίζοντα ανάκλασης

α_s : η επιφανειακή ταχύτητα και

$\bar{\alpha}$: η μέση ταχύτητα.

Στην περίπτωση κεκλιμένου ορίζοντα γωνίας κλίσης θ και βάθους z , η παραπάνω απόσταση υπολογίζεται από τη σχέση : $H_{\max} = z * \tan\theta$

Η απόσταση H_{\max} όπως και το μήκος του αναπτύγματος, πρέπει να είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το βάθος του ορίζοντα ανάκλασης ενώ η επιλογή της οριζόντιας απόστασης μεταξύ πηγής και πλησιέστερου γεωφώνου καθορίζεται μετά τον προσδιορισμό του θορύβου που προέρχεται από την πηγή. Η γωνία ανάκλασης στον ορίζοντα δεν πρέπει να υπερβαίνει τις 8° .

Η επιλογή οριζόντιας απόστασης μεγαλύτερης από την παραπάνω για την πηγή και τα γεωφώνια, εμποδίζει τη διάκριση του αβαθούς ορίζοντα και μειώνει τη διακριτική ικανότητα των κύριων ανακλάσεων. Η επιλογή μικρότερης οριζόντιας απόστασης μεταξύ πηγής και γεωφώνων δυσκολεύει την ανάλυση ταχύτητας και την απόσβεση των πολλαπλών ανακλάσεων (Γεωργιά, 1998).

2.10 Ισαπόσταση ομάδων γεωφώνων

Στη σεισμική έρευνα η ισαπόσταση των γεωφώνων καθορίζεται από τον αριθμό αυτών και το μήκος της γραμμής του αναπτύγματος.

Η μέγιστη δυνατή ισαπόσταση των ομάδων γεωφώνων G_m για την αποφυγή της αναδίπλωσης συχνοτήτων, καθορίζεται με βάση τον αριθμό των καναλιών NC που διαθέτει το όργανο καταγραφής και δίνεται από τη σχέση:

$$G_m = (H_{\max} - H_{\min}) / (NC - 1)$$

Όπου H_{\max} , H_{\min} η μέγιστη και η ελάχιστη οριζόντια απόσταση της πηγής από την ομάδα των γεωφώνων. Οποιαδήποτε ισαπόσταση μικρότερη απ' αυτή που δίνει η

παραπάνω σχέση θεωρείται ικανοποιητική. Γενικά η ελάχιστη απόσταση γεωφώνων σε μία γραμμική διάταξη καθορίζεται κυρίως από τον περιβάλλοντα θόρυβο και κάποιες φορές από το θόρυβο που προκαλεί η πηγή (Γεωργιλιά, 1998).

2.11 Σεισμικές πηγές παραγωγής ελαστικών κυμάτων

Η παραγωγή των ελαστικών κυμάτων στις σεισμικές διασκοπήσεις γίνεται με διάφορους τρόπους ανάλογα με τη μορφολογία του αναγλύφου (ξηρά ή θάλασσα) και τον επιδιωκόμενο σκοπό (βαθιά ή επιφανειακή σεισμική διασκόπηση).

Σχεδόν αποκλειστική σεισμική πηγή μέχρι τη δεκαετία του 1950 τόσο στη ξηρά όσο και στη θάλασσα, ήταν η έκρηξη με δυναμίτη. Η πηγή αυτή παράγει διαμήκη και εγκάρσια κύματα υψηλής ενέργειας ενώ είναι σχετικά φθηνή. Με την πάροδο του χρόνου όμως, η χρήση της περιορίστηκε καθώς έγιναν αντιληπτά τα βασικά μειονεκτήματα που παρουσίαζε, όπως η χρονοβόρα προετοιμασία για την πραγματοποίηση των εκρήξεων, ο κίνδυνος από τη χρήση δυναμίτη, η καταστροφή μεγάλου αριθμού ψαριών, η ειδική άδεια και η απασχόληση έμπειρου πυροτεχνουργού.

Στις θαλάσσιες διασκοπήσεις ειδικά για τις έρευνες μικρού βάθους εξελίχθηκαν περισσότερο τα όπλα αερίων. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε μείγμα προπανίου και οξυγόνου που εκτονωνόταν στην οροφή μερικώς βυθισμένου σωλήνα. Αποτέλεσμα της εκτόνωσης αυτής, ήταν η δημιουργία ωστικού κύματος το οποίο διαδιδόταν στο σωλήνα και κατόπιν στο νερό. Εξαιτίας του κόστους και της δυσκολίας μεταφοράς του μείγματος, το οξυγόνο αντικαταστάθηκε από πεπιεσμένο αέρα και τελικά χρησιμοποιήθηκε μόνο αέρας.

Ακολούθησε η χρήση μικρών εκρηκτικών πηγών της τάξης των 0.2 Kgr, στις οποίες η γόμωση εκρήγνυται σε διάτρητο θαλαμίσκο από χυτοσίδηρο υποχρεώνοντας τα παραγόμενα αέρια σε στροβιλώδη ροή μέσω διατρήσεων του θαλαμίσκου και εξαλείφοντας τελικά το φαινόμενο της φουσαλίδας (Flexotir). Το φαινόμενο αυτό αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα των θαλάσσιων σεισμικών πηγών στο οποίο παρουσιάζονται δευτερεύοντες παλμοί που προκαλούνται από την ταλάντωση της φουσαλίδας αερίου μέσα στο νερό (Cole 1948). Η περίοδος ταλάντωσης της φουσαλίδας αυτής ελαττώνεται με το βάθος και αυξάνει με τον όγκο του αέρα και την πίεση (Sengbush, 1983). Δίνεται από την εξίσωση των Rayleigh-Willis :

$$T = [K \cdot (P \cdot V)^{1/3}] / (D + 10)^{5/6}$$

όπου P: η πίεση

V: ο όγκος του θαλάμου

D: το βάθος σε μέτρα και

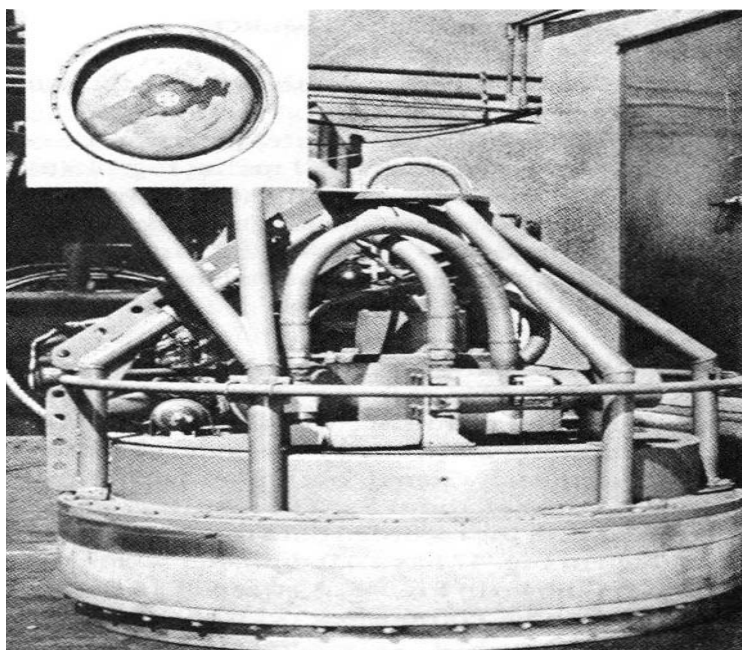
K: η σταθερά ασυμπίεστότητας.

Στη θάλασσα έχει γίνει χρήση και άλλων σεισμικών πηγών, όπως είναι το water gun (υδροβόλο), το Sparker (ηλεκτρικός εκκενωτής), το pinger, το boomer κ.α. Το water gun εκτοξεύει νερό με μεγάλη ταχύτητα χωρίς να δημιουργεί φυσαλλίδα αέρα, ενώ το Sparker χρησιμοποιείται για διασκόπηση υψηλής ανάλυσης, όπου ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε ακουστικά κύματα λόγω απευθείας εκφόρτισης πυκνωτή μεγάλης χωριτικότητας. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, με την ελάττωση της συχνότητας της πηγής αυξάνει και η ικανότητα του σήματος το οποίο φθάνει σε μεγαλύτερα βάθη.

Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες σήμερα σεισμικές πηγές στις θαλάσσιες διασκοπήσεις είναι το Vibroseis και το Air-gun τα οποία περιγράφονται παρακάτω.

a) Vibroseis

Το Vibroseis (υδραυλικός δονητής) αποτελεί σήμερα μία από τις πιο διαδεδομένες σεισμική πηγές στη θάλασσα αλλά χρησιμοποιείται και στη ξηρά (σχήμα 2.7). Αποτελείται από χαλύβδινη πλάκα και υδραυλικό σύστημα παραγωγής ταλαντώσεων, ενώ παράγει περιοδικά χτυπήματα μικρού πλάτους και συνεχώς αυξανόμενης συχνότητας (από 6-8 Hz). Η πηγή αυτή δημιουργεί με σχετικά εύκολο και γρήγορο τρόπο, διαμήκη ή εγκάρσια κύματα παρόμοιας κυματομορφής χωρίς να προκαλεί περιβαλλοντικές καταστροφές.



Σχήμα 2.7: Vibroseis (υδραυλικός δονητής) (Fitch, 1983).

Το κόστος διασκόπησης για την πηγή αυτή είναι αρκετά υψηλό αφού απαιτούνται τρία ή τέσσερα Vibroseis τα οποία χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα. Τα παραγόμενα σειсмоγράμματα είναι πολύπλοκα λόγω της μεγάλης διάρκειας της κυματομορφής αυτού (περίπου 7 sec) ενώ απαλλάσσονται από το μεγάλης διάρκειας σήμα της πηγής συσχετίζοντας τα σήματα με την κυματομορφή της πηγής. Η διαδικασία όμως αυτή απαιτεί επιπλέον χρόνο επεξεργασίας για τα δεδομένα.

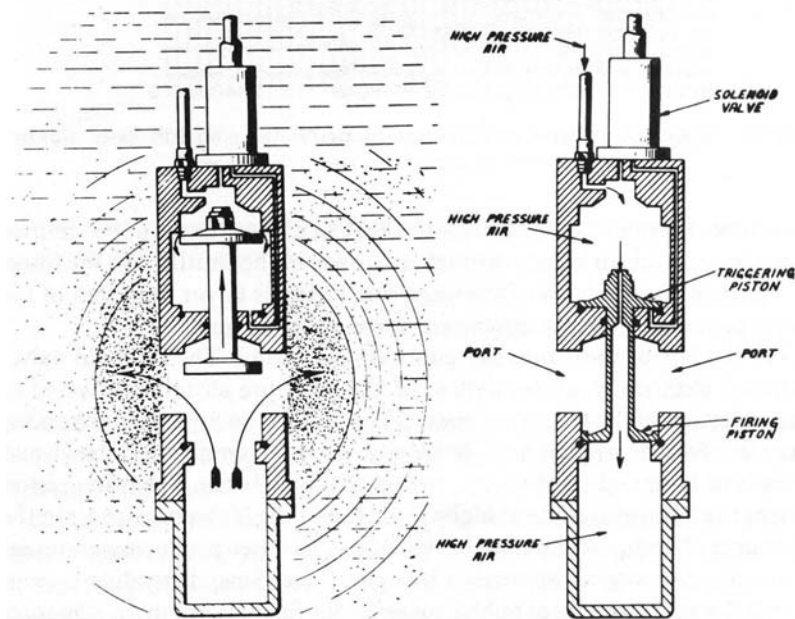
β) Air-gun

Μια άλλη σεισμική πηγή η οποία χρησιμοποιείται κατά κόρον στη θάλασσα αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε βαθιές γεωτρήσεις είναι το air-gun (αεροβόλο). Το air-gun αποτελείται από ένα θάλαμο ο οποίος πληρούται με αέρα υψηλής πίεσης και έναν αεροσυμπιεστή. Η απότομη εκτόνωση του αέρα στο νερό δημιουργεί σεισμικό κύμα και ανάλογα με τις διαστάσεις του θαλάμου είναι δυνατό να παραχθούν κύματα διαφόρων συχνοτήτων και ενεργειών.

Ο αέρας που απελευθερώνεται από το air-gun δημιουργεί φυσαλίδα υψηλής πίεσης η οποία καθώς ταλαντώνεται αυξάνει τη χρονική διάρκεια του σήματος. Συνήθως στις θαλάσσιες διασκοπήσεις χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός air-gun με σκοπό την ελάττωση της επίδρασης της φυσαλίδας. Η πηγή αυτή είναι περιβαλλοντικά φιλική και έχει καλή επαναληπτικότητα, το κόστος αγοράς της όμως είναι υψηλό.

Η αρχή λειτουργίας του air-gun, φαίνεται στο σχήμα 2.8. Στα δεξιά το όπλο είναι γεμάτο. Ένας αεροσυμπιεστής από το πλοίο, εφοδιάζει με αέρα υψηλής πίεσης τον ανώτερο θάλαμο ελέγχου και ο αέρας εξέρχεται στη συνέχεια στον κατώτερο θάλαμο πυροδότησης. Στα αριστερά το όπλο φαίνεται μετά την εκπυρσοκρότηση. Η σωληνοειδής βαλβίδα ενεργοποιείται ηλεκτρικά και επιτρέπει στη φυσαλίδα αέρα να απελευθερωθεί παράγοντας έναν αρχικό παλμό ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος του όπλου και ο οποίος εμφανίζεται με ένα συνεχώς αυξανόμενο χρόνο (από 1-5 ms).

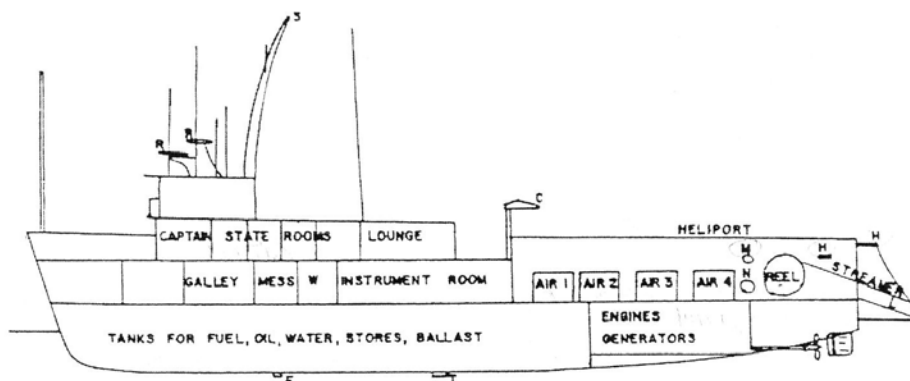
Σε αντίθεση με τους παλμούς φυσαλίδας που παράγονται από εκρήξεις χημικών και των οποίων η περίοδος ταλάντωσης μειώνεται προοδευτικά, η περίοδος ταλάντωσης των επιθυμητών παλμών από τη φυσαλίδα του airgun παραμένει σχεδόν σταθερή.



Σχήμα 2.8: Σχηματική παράσταση του Airgun (αεροσυμπιεστή) (Fitch, 1983)

2.12 Θαλάσσιες σεισμικές έρευνες

Ένα χαρακτηριστικό πλοίο για θαλάσσιες σεισμικές έρευνες φαίνεται στο σχήμα 2.9. Το μήκος του πλοίου είναι περίπου 50 m και μπορεί να ρυμουλκήσει καλώδιο μήκους έως και 3 km το οποίο περιέχει τους ανιχνευτές των σεισμικών κυμάτων (υδρόφωνα). Η χρησιμοποιούμενη πηγή είναι το airgun (αεροβόλο) και η παραγόμενη κυματομορφή πρέπει να είναι μικρής χρονικής διάρκειας για να προκύψουν καλύτερα αποτελέσματα. Ο μεγαλύτερος χώρος του πλοίου καλύπτεται από αεροσυμπιεστές που παρέχουν αέρα υψηλής πίεσης. Το πλεονέκτημα της παραπάνω διάταξη, είναι ότι κατά τη διάρκεια των μετρήσεων οι αποστάσεις πηγής-υδροφώνων παραμένουν σταθερές.



Σχήμα 2.9: Πλοίο θαλασσιών σεισμικών ερευνών (Sheriff 1978).

Το ίδιο πλοίο είναι εξοπλισμένο με όλα τα απαραίτητα όργανα εντοπισμού θέσης όπως η κεραία λήψης διαφόρων τύπων σημάτων και παρακολούθησης δορυφόρων, όργανα GPS, βυθομετρικά όργανα, γυροσκοπικές πυξίδες, ραντάρ και συσκευές ραδιοεπικοινωνίας. Η χρήση των παραπάνω οργάνων γίνεται κατά τη διάρκεια των θαλάσσιων διασκοπήσεων για τη συλλογή δεδομένων που έχουν να κάνουν κυρίως με τη θέση του σκάφους και της πηγής καθώς και τις καταγραφές προσανατολισμού του καλωδίου. Από τα δεδομένα που συλλέγονται υπολογίζονται οι συντεταγμένες του καλωδίου και καθορίζεται το σχήμα αυτού με βάση καμπύλη προσαρμογής. Η ίδια διαδικασία επιτρέπει ακόμα την απόρριψη οποιονδήποτε μη κανονικών μετρήσεων ενώ ακολουθεί έλεγχος ποιότητας, απ' όπου προκύπτουν οι τελικές θέσεις πηγών και υδροφώνων.

2.13 Πολυκάναλη καταγραφή και διάταξη “κοινού σημείου ανάκλασης”

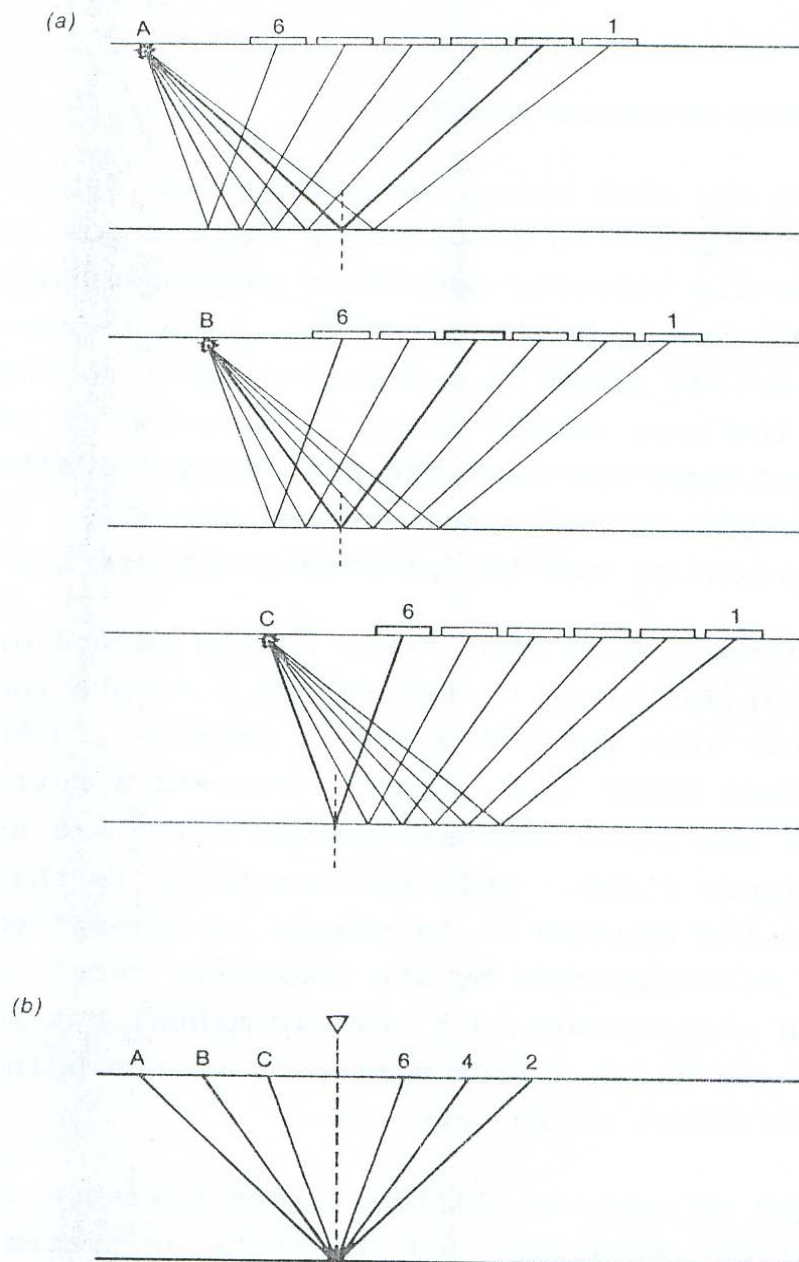
“Πολυκάναλη” ονομάζεται η καταγραφή κατά την οποία τα σεισμικά κύματα καταγράφονται από μεγάλο αριθμό οργάνων, τα οποία είναι ευαίσθητα στην ταχύτητα γεωφώνων για την περίπτωση της ξηράς, ή ευαίσθητα στην πίεση υδρόφωνα για τη θάλασσα και κατανέμονται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Η καταγραφή αυτή χρησιμοποιείται για να παρθούν πληροφορίες από τα σημεία της επιφάνειας ανάκλασης, καθώς διευκολύνει τη διάκριση των σημάτων από τον εδαφικό θόρυβο.

Μετά την ολοκλήρωση της αρχικής καταγραφής, η διάταξη του αναπτύγματος πηγής και γεωφώνων μετατοπίζεται κατά μήκος της γραμμής και το επόμενο σήμα της πηγής καταγράφεται στις καινούριες θέσεις των γεωφώνων. Στη θάλασσα η μετακίνηση της διάταξης πραγματοποιείται τραβώντας αυτή πίσω από το πλοίο, ενώ στη ξηρά η μεταφορά γίνεται ηλεκτρονικά χωρίς τη μετακίνηση των γεωφώνων από τις αρχικές τους θέσεις.

Ο τρόπος χρήσης των σεισμικών γραμμών φαίνεται στη διάταξη του σχήματος 2.10.(a). Παρατηρούμε ότι η ακτίνα 2 από την πηγή A, η ακτίνα 4 από την πηγή B και η ακτίνα 6 από την πηγή C δειγματίζουν το ίδιο σημείο του υπεδάφους. Όταν ο ανακλαστήρας είναι παράλληλος στην επιφάνεια το σημείο αυτό του υπεδάφους βρίσκεται ακριβώς κάτω από ένα σημείο της επιφάνειας γύρω από το οποίο τα τρία ζευγάρια πηγής-γεωφώνων είναι συμμετρικά κατανεμημένα (σχήμα 2.10.(b)). Το σημείο αυτό στην επιφάνεια ονομάζεται “κοινό ενδιάμεσο σημείο” και η αντίστοιχη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

προβολή του στην επιφάνεια ανάκλασης ονομάζεται “κοινό σημείο βάθους”. Το τελευταίο αυτό σημείο διεθνώς συμβολίζεται με CDP (Common Depth Point).

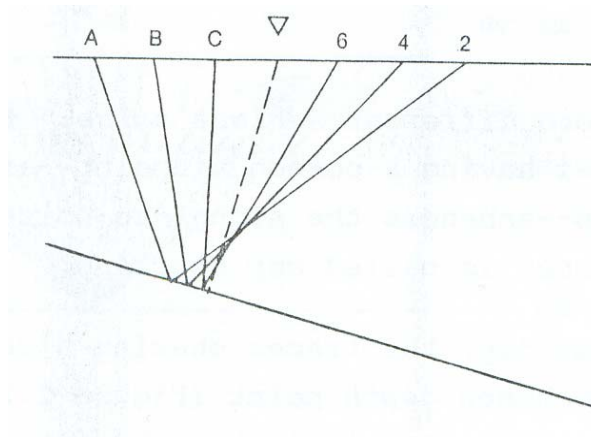


Σχήμα 2.10: Διάταξη κοινού ενδιάμεσου σημείου (CDP). (a) Η γεωμετρία της περιοχής για τον καθορισμό των ιχνών που δημιουργούν την άθροιση CDP. (b) Η άθροιση CDP αποτελούμενη από τα τρία ζευγάρια πηγής-γεωφώνων του σχήματος (a) (Sodbinow, 1989).

Στη διάταξη “κοινού σημείου βάθους” παρέχεται για κάθε ανακλώμενο σημείο ένα σημαντικός αριθμός καταγραφών. Αποτέλεσμα αυτού είναι να εξασφαλίζεται πολλαπλή κάλυψη της επιφάνειας ανάκλασης και να διευκολύνεται η διάκριση των

ανακλώμενων κυμάτων στα σειсмоγράμματα. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται και μια λεπτομερής εικόνα για τη δομή του υπεδάφους.

Η διάταξη “κοινού ενδιαμέσου σημείου” και η αντίστοιχη διαδικασία επεξεργασίας των καταγραφών, είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν η επιφάνεια ανάκλασης είναι οριζόντια και πολύ λιγότερο όταν η ίδια επιφάνεια είναι κεκλιμένη. Στη δεύτερη περίπτωση, οι διάφορες αναγραφές δεν αντιστοιχούν σε ανακλάσεις από ένα σημείο αλλά από μια περιοχή και τα ίχνη μοιράζονται ένα κοινό ενδιαμέσο σημείο αλλά όχι ένα κοινό σημείο βάθους (σχήμα 2.11).



Σχήμα 2.11: Στην περίπτωση κεκλιμένου οριζοντα ανάκλασης το κοινό ενδιαμέσο σημείο δεν ταυτίζεται με το κοινό σημείο βάθους (Sodbinow, 1989).

Η διαδικασία κατάταξης των ιχνών που έχουν ένα “κοινό ενδιαμέσο σημείο” ονομάζεται άθροιση (gathering) και η ακολουθία που αθροίζεται με τον τρόπο αυτό ονομάζεται “άθροιση κοινού ενδιαμέσου σημείου” (common midpoint gather).

2.14 Υπεδαφική κάλυψη

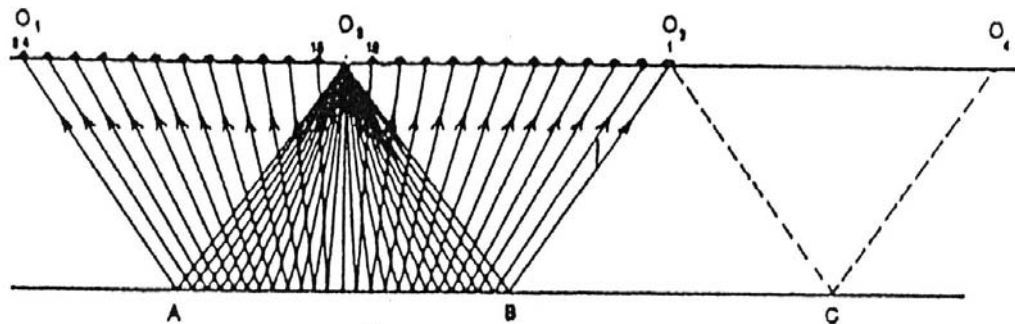
Ο αριθμός των σειсмоγραμμάτων που ανήκουν στην ίδια διάταξη “κοινού ενδιαμέσου σημείου” εκφράζει την υπεδαφική κάλυψη (fold) και είναι μία από τις κυριότερες παραμέτρους στη σεισμική διασκόπηση.

Η υπεδαφική κάλυψη χρησιμοποιείται στον υπολογισμό της ισαπόστασης των πηγών αφού εξαρτάται από τον αριθμό των καναλιών (NC) του σειсмоγράφου που καταγράφουν, την ισαπόσταση γεωφώνων (Δx) και την ισαπόσταση των πηγών Δs :

Έτσι η υπεδαφική κάλυψη = $(NC/2) * (\Delta x / \Delta s)$.

Ένα παράδειγμα σεισμικής τομής μοναδιαίας υπεδαφικής κάλυψης (singlefold recording), παρουσιάζεται στο σχήμα 2.12. Τα γεώφωνα τοποθετούνται εκατέρωθεν

της σεισμικής πηγής η οποία βρίσκεται στο σημείο O_2 και το ανάπτυσμα εκτείνεται από το σημείο O_1 έως το σημείο O_3 . Στην περίπτωση αυτή τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από το τμήμα του ανακλαστήρα που βρίσκεται μεταξύ των σημείων A και B. Στη συνέχεια, το τμήμα του αναπτύγματος μεταξύ των σημείων O_1 και O_2 μετακινείται μεταξύ των σημείων B και C. Το ανάπτυσμα κατ'αυτό τον τρόπο μεταφέρεται κατά μήκος της γραμμής μελέτης και λαμβάνονται οι επόμενες καταγραφές.

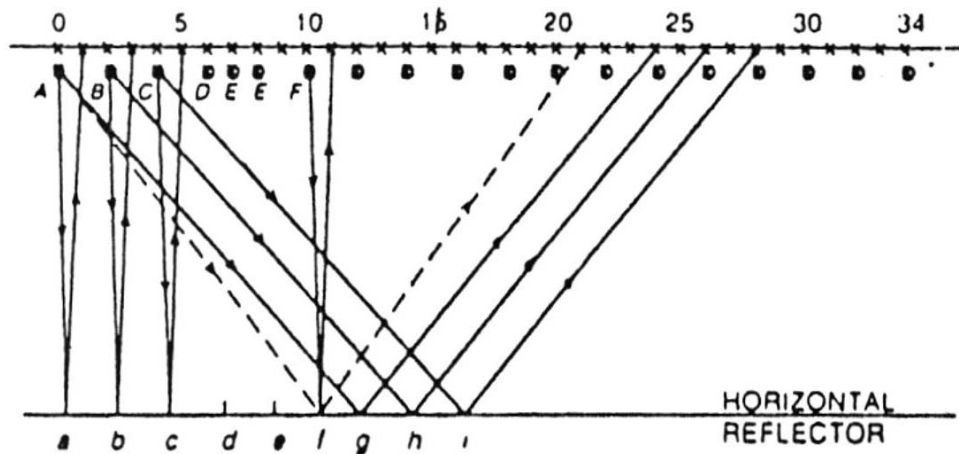


Σχήμα 2.12: Συμμετρικό ανάπτυσμα μοναδιαίας υπεδαφικής κάλυψης. Το μέσο του αναπτύγματος μετακινείται πάνω στη γραμμή μελέτης (Sheriff and Geldart, 1995).

Παράδειγμα σεισμικής τομής όπου επιτυγχάνεται πολλαπλή υπεδαφική κάλυψη με την εφαρμογή της μεθόδου του “κοινού ενδιαμέσου σημείου” παρουσιάζεται στο σχήμα 2.13. Στην περίπτωση αυτή, θεωρείται σεισμική πηγή στο σημείο A και τα γεώφωνα στις θέσεις 1-24. Τα σημεία ανάκλασης είναι τα σημεία a έως g. Μετακινώντας την πηγή στη θέση B αποσυνδέονται τα γεώφωνα 1 και 2 και συνδέονται στο άλλο άκρο του αναπτύγματος τα γεώφωνα 25 και 26. Στην περίπτωση αυτή, τα σημεία ανάκλασης μετατοπίζονται και είναι τα b έως h. Η πηγή C χρησιμοποιείται με τα γεώφωνα 5-28 δίνοντας ανακλάσεις από το c έως το i και ούτο καθεξής μέχρι να καλυφθεί όλο το μήκος της σεισμικής γραμμής. Το ανακλώμενο κύμα που φθάνει στο γεώφωνο 21 προέρχεται από το σημείο ανάκλασης f και την πηγή A. Από το ίδιο σημείο προέρχονται ανακλώμενα κύματα και για τα παρακάτω ζευγάρια πηγής - γεωφώνων. Πηγή B - γεώφωνο 19, πηγή C - γεώφωνο 17, πηγή D - γεώφωνο 15, πηγή E - γεώφωνο 13 και πηγή F - γεώφωνο 11.

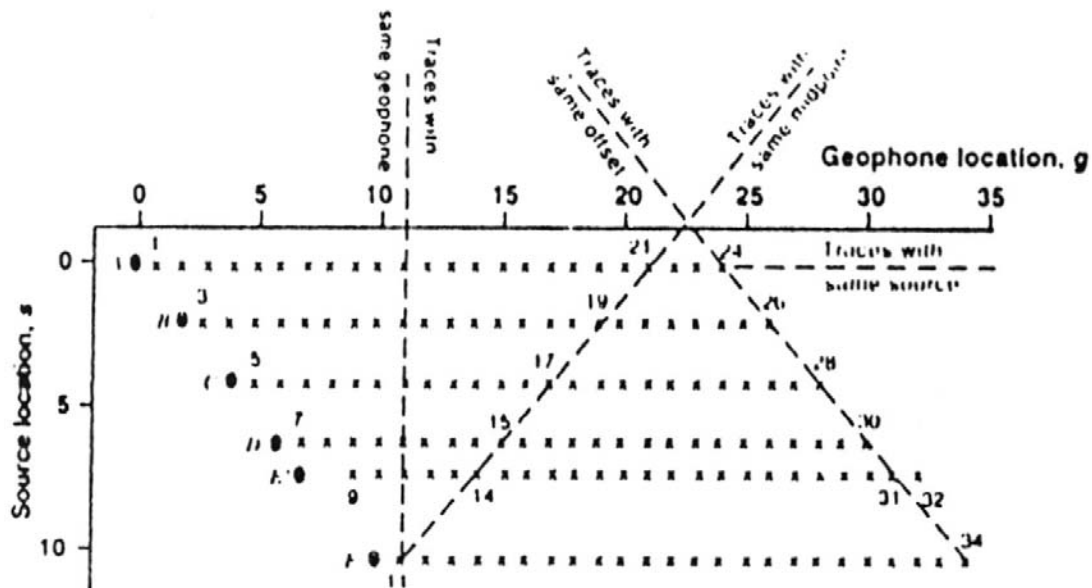
Αθροίζοντας στη συνέχεια τα 6 κύματα που ανακλάστηκαν στο ίδιο σημείο παρατηρούμε ότι το σημείο ανάκλασης f δειγματίζεται 6 φορές έχοντας πετύχει 6-πτυχη υπεδαφική κάλυψη. Στις περισσότερες καταγραφές επιδιώκεται τουλάχιστον 12-πτυχη κάλυψη, ενώ οι 24-πτυχη και 48-πτυχη κάλυψη είναι συνήθεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχήμα 2.13: Μέθοδος κοινού ενδιάμεσου σημείου και εφαρμογή πολλαπλής υπεδαφικής κάλυψης. Με x συμβολίζονται τα κέντρα των ομάδων των γεωφώνων (Sheriff and Geldart, 1995).

Προκειμένου να περιγραφεί ο τρόπος συγκέντρωσης των καταγραφών κατά την εφαρμογή της μεθόδου “κοινού ενδιάμεσου σημείου” κατασκευάζονται διαγράμματα υπέρθεσης (Morgan, 1970). Στο διάγραμμα αυτό (σχήμα 2.14) η τετμημένη αντιστοιχεί στις θέσεις των γεωφώνων (g) και η τεταγμένη στις θέσεις της σεισμικής πηγής (s). Ένα τυχαίο ίχνος το οποίο καταγράφεται στο γεωφώνο g και προέρχεται από την πηγή s απεικονίζεται στο σημείο (g,s) του διαγράμματος υπέρθεσης.



Σχήμα 2.14: Μέθοδος κοινού ενδιάμεσου σημείου και κατασκευή διαγράμματος υπέρθεσης. Με ο συμβολίζονται οι πηγές των σεισμικών κυμάτων, ενώ με x τα κέντρα των ομάδων των γεωφώνων. Το διάγραμμα υπέρθεσης αυτό είναι επιφανειακό (Sheriff and Geldart, 1995).

Διαπιστώνεται ότι τα έξι ίχνη τα οποία έχουν κοινό μέσο σημείο το F βρίσκονται σε διαγώνιο, ενώ τα ίχνη με την ίδια οριζόντια απόσταση μεταξύ πηγής και γεωφώνου αντιστοιχούν σε σημεία που βρίσκονται σε άλλη διαγώνιο. Σημεία κατά μήκος της οριζόντιας γραμμής αντιστοιχούν σε ίχνη κοινής πηγής και σημεία κατά μήκος της κατακόρυφης γραμμής αντιπροσωπεύουν ίχνη από την κοινή ομάδα γεωφώνων.

2.15 Παράμετροι από τις οποίες εξαρτάται η σεισμική ταχύτητα

Η διάδοση των ελαστικών κυμάτων μέσα στα στερεά σώματα πραγματοποιείται με ταχύτητες οι οποίες εξαρτώνται από τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών. Οι μέθοδοι ερμηνείας των σεισμικών καταγραφών στοχεύουν στον καθορισμό ενός μοντέλου ταχυτήτων για το υπέδαφος. Για να έχει σημασία το μοντέλο αυτό, πρέπει να συσχετιστούν οι ταχύτητες διάδοσης των ελαστικών κυμάτων με την κατά περίπτωση λιθολογία και κάποιες φορές με άλλες ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών όπως είναι η πυκνότητα, το πορώδες, ο βαθμός και ο τρόπος ρηγμάτωσης, η ηλικία και το βάθος του γεωλογικού σχηματισμού καθώς και το είδος του ρευστού των πόρων.

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι κοκκώδη υλικά και η πυκνότητά τους (bulk density) εξαρτάται κατά κύριο λόγο από το πορώδες τους. Σε πετρώματα με χαμηλό πορώδες, συμπεριλαμβανομένων των πυριγενών, των μεταμορφωμένων και των εβαποριτών, οι ταχύτητες εξαρτώνται περισσότερο από τη σύσταση του πετρώματος και υπολογίζονται από τις ταχύτητες διάδοσης αυτών στα κύρια ορυκτά των πετρωμάτων.

Το βάθος ταφής είναι σημαντική παράμετρος και σε χαμηλού πορώδους πετρώματα, αφού εύκολα οι μικρορωγμές ελαττώνουν την τιμή της ταχύτητας σε βάθη μικρότερα από 3 Km (Griffiths and King, 1981). Ισχύει ότι $\alpha = \sqrt{3} * b$ όπου α: η αρχική ταχύτητα του κύματος και b: η ταχύτητα για παρουσία μικρορωγμών.

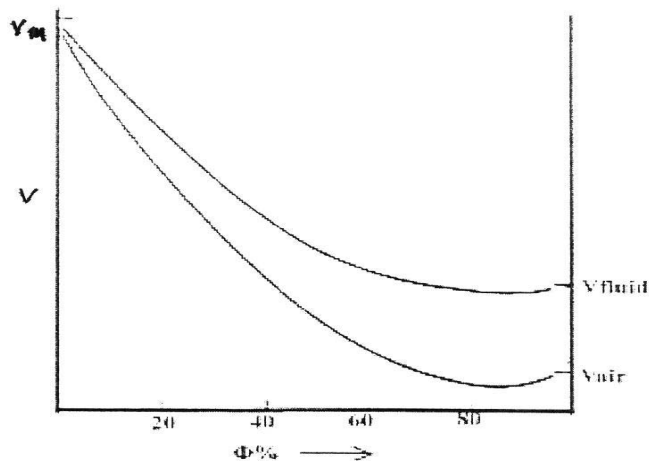
Σε πετρώματα υψηλού πορώδους η ταχύτητα (ειδικά για τα κύματα P), εξαρτάται από το είδος του ρευστού που υπάρχει στους πόρους (σχήμα 2.15). Για πιέσεις μεγαλύτερες των 10 Kbar (βάθος περίπου 30 Km) η σχέση ταχύτητας πυκνότητας γίνεται γραμμική αφού το πορώδες είναι μηδαμινό (Birch 1961).

Όταν το μέσο ατομικό βάρος του πετρώματος και η πυκνότητα είναι γνωστά, είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ταχύτητα χωρίς λεπτομερή γνώση της ορυκτολογίας του πετρώματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Τέλος η εξάρτηση της ταχύτητας των επιμήκων κυμάτων από την ηλικία T και το βάθος z στα ιζηματογενή πετρώματα (ψαμμίτες, αργιλικόι σχιστόλιθοι), εκφράζεται από τη σχέση: $\alpha = K * (z * T)^{1,6}$

Όπου K : σταθερά με τιμή 46,5 όταν z : το πάχος (m), T : ο χρόνος (years) και α : η ταχύτητα (m/sec).



Σχήμα 2.15: Εξάρτηση της ταχύτητας των P κυμάτων από το πορώδες σε ξηρά (V_{air}) και κορεσμένα (V_{fluid}) πετρώματα. Η ταχύτητα στο βράχο είναι V_m (Griffiths and King 1981).

2.16 Εξασθένιση των ελαστικών κυμάτων με την απόσταση

Τα πλάτη των ελαστικών κυμάτων μεταβάλλονται όταν συναντήσουν διαχωριστικές επιφάνειες και ελαττώνονται με την απόσταση από την πηγή. Κατά τη διάδοσή τους δηλαδή υφίστανται εξασθένιση (attenuation) η οποία διακρίνεται σε γεωμετρική διασπορά και σε απόσβεση (absorption) λόγω μετατροπής μέρους της ενέργειάς τους σε θερμότητα. Η γεωμετρική διασπορά είναι ανεξάρτητη των ιδιοτήτων του μέσου διάδοσης σε αντίθεση με την απόσβεση που εξαρτάται από αυτές.

Το πλάτος των σεισμικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται σε πολυστρωματικό μέσο, εξαρτάται άμεσα από τον αριθμό των διαχωριστικών επιφανειών τις οποίες συναντούν τα κύματα καθώς και τους συντελεστές ανάκλασης και διάθλασης. Έμμεσα, εξαρτώνται ακόμα από τη γωνία πρόσπτωσης, τις ταχύτητες καθώς και τις πυκνότητες των στρωμάτων. Το πλάτος αυτό, είναι αντιστρόφως ανάλογο της απόστασης r από την πηγή λόγω του ότι η ολική ενέργεια κατανέμεται σε επιφάνεια (γεωμετρική διασπορά).

Αποδεικνύεται ότι λόγω της γεωμετρικής διασποράς, η ένταση του κύματος μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης την οποία έχει

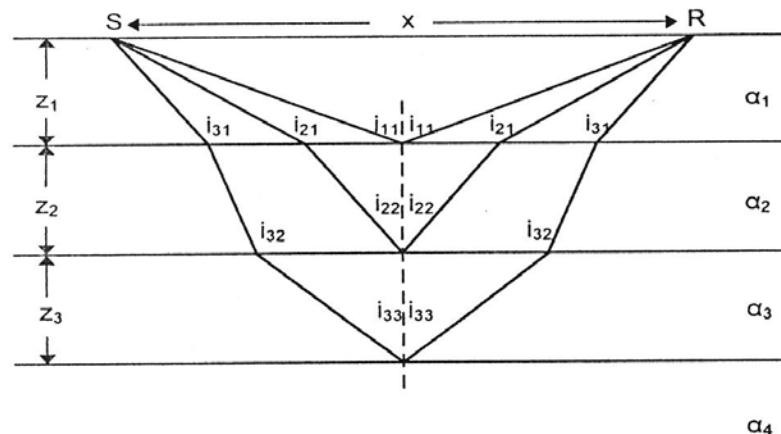
διανύσει το κύμα. Έτσι αν I_0 είναι η ένταση κοντά στην πηγή του κύματος και I η ένταση σε απόσταση r απ' αυτήν ισχύει ότι: $I = I_0 * e^{-qr}$

όπου q : ο συντελεστής απόσβεσης. Ο συντελεστής αυτός αυξάνεται με τη συχνότητα του κύματος και σε πρώτη προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί ανάλογος αυτής. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος για τον οποίο τα ελαστικά κύματα υψηλής συχνότητας αποσβένονται περισσότερο με την απόσταση.

2.17 Μέση σεισμική ταχύτητα

Οι ιζηματογενείς λεκάνες αποτελούν μία περίπτωση ακολουθίας γεωλογικών σχηματισμών στις οποίες η μεταβολή της ταχύτητας στην οριζόντια διεύθυνση είναι συνήθως πολύ μικρή σε σχέση με τη μεταβολή στην κατακόρυφη διεύθυνση. Στην πράξη η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων θεωρείται συνάρτηση μόνο του βάθους. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται ακόμη και στην περίπτωση μικρών μεταβολών της ταχύτητας στην οριζόντια διεύθυνση, ενώ όταν αυτή εξαρτάται μόνο από το βάθος, ο υπολογισμός της για κάθε στρώμα γίνεται με μελέτη των ανακλώμενων κυμάτων που διαδίδονται σε περίπου κατακόρυφη διεύθυνση. Την ίδια μεθοδολογία ακολουθούμε και για διαχωριστικές επιφάνειες με κλίση μικρότερη από 3° .

Θεωρούμε μοντέλο τριών οριζόντιων ασυνεχειών και z_1, z_2, z_3 τα αντίστοιχα πάχη για στρώματα στα οποία οι ταχύτητες είναι $\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha_3$ αντίστοιχα. Οι σεισμικές ακτίνες μέχρι το γεώφωνο R το οποίο βρίσκεται σε απόσταση x από την πηγή παριστάνονται στο σχήμα 2.16.



Σχήμα 2.16: Τροχιές ανάκλασης κύματος σε μοντέλο τριών ασυνεχειών (Γεωργιλιά, 1998).

Οι χρόνοι που χρειάζονται οι σεισμικές ακτίνες για να διασχίσουν κατά την κατακόρυφη διεύθυνση τα στρώματα δίνονται από τις σχέσεις:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

$$t_{0,1} = z_1/\alpha_1, \quad t_{0,2} = z_1/\alpha_1 + z_2/\alpha_2, \quad \text{και} \quad t_{0,3} = z_1/\alpha_1 + z_2/\alpha_2 + z_3/\alpha_3$$

ενώ οι μέσες τιμές των ταχυτήτων $\overline{a_1}$, $\overline{a_2}$, $\overline{a_3}$ θα είναι:

$$\overline{a_1} = 2z_1 / t_{0,1} \quad \overline{a_2} = 2(z_1+z_2) / t_{0,2} \quad \text{και} \quad \overline{a_3} = 2(z_1+z_2+z_3) / t_{0,3}$$

Ο χρόνος $T_n(x)$, για να διαδοθεί το σεισμικό κύμα στην περίπτωση οριζόντιας απόστασης πηγής-γεωφώνου x και εφόσον οι ταχύτητες α_j στα διάφορα στρώματα είναι παρόμοιες, υπολογίζεται με καλή ακρίβεια από τη σχέση:

$$T_n^2(x) = \frac{x^2}{(\overline{a_n})^2} + \left(\frac{2z_n}{\overline{a_n}} \right)^2$$

Η σχέση αυτή έχει προκύψει αντικαθιστώντας το μοντέλο των πολλών στρωμάτων με ένα άλλο ισοδύναμο, αποτελούμενο από στρώμα πάχους h_n και ταχύτητας $\overline{a_n}$. Όταν έχουμε πολλά στρώματα η σεισμική ακτίνα είναι συνήθως τεθλασμένη γραμμή. Στην περίπτωση όμως του ισοδύναμου μοντέλου η ίδια ακτίνα ακολουθεί ευθύγραμμη πορεία. Για την παραπάνω σχέση, έχουμε καλύτερη προσέγγιση όταν χρησιμοποιηθεί η μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{rms}) αντί της μέσης ταχύτητας, αφού η δεύτερη λαμβάνει υπόψιν τις αλλαγές στη διεύθυνση της τροχιάς και στο πάχος των στρωμάτων.

2.18 Μέση τετραγωνική σεισμική ταχύτητα

Ένα μοντέλο που πλησιάζει περισσότερο την πραγματικότητα σε σχέση με εκείνο της προηγούμενης παραγράφου, είναι αυτό που έχουμε n οριζόντια στρώματα διαφορετικών παχών και ταχυτήτων (layer cake). Για ανακλαστήρα που βρίσκεται στη βάση της σειράς θα ισχύει:

$$t_n^2 = t_0^2 + x^2/V_{rms}^2 + c_1*x^4 + c_2*x^6 + \dots \quad (2.3)$$

Όπου c_i : οι συναρτήσεις των παχών και των ταχυτήτων των n στρωμάτων και

V_{rms} : η μέση τετραγωνική ταχύτητα κατά μήκος της τροχιάς του zero-offset.

Η ταχύτητα αυτή ορίζεται από τη σχέση: $V_{rms}^2 = \left(\sum_{n=1}^k V_n^2 * t_n \right) / t_0$

Τα V_n , t_n είναι η ταχύτητα και ο διπλός χρόνος διαδρομής (TWT) αντίστοιχα, για τα ανακλώμενα κύματα από τη νιοστή διαχωριστική επιφάνεια. Από τις μετρήσεις των t_n και x , υπολογίζονται συνήθως η ταχύτητα και το πάχος των γεωλογικών στρωμάτων με πολύ καλή ακρίβεια, εφόσον οι αποστάσεις x είναι μικρότερες του βάθους της νιοστής επιφάνειας και οι διαχωριστικές επιφάνειες είναι ελαφρά κεκλιμένες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Σε περιοχές επιφανειών με κλίση μικρότερη από 6^0 παρατηρούνται διαφορές της τάξης του 2-3 % ανάμεσα στις σεισμικές ταχύτητες που υπολογίζονται από τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης και τις πραγματικές ταχύτητες που μετρούνται μέσα σε γεωτρήσεις. Οι διαφορές αυτές είναι δικαιολογημένες αφού οι πραγματοποιούμενοι υπολογισμοί βασίζονται σε δύο μόνο όρους της σειράς απείρων όρων της σχέσης (2.3) αλλά και γιατί θεωρείται ότι οι κλίσεις των διαχωριστικών επιφανειών είναι αμελητέες. Οι ταχύτητες που προκύπτουν από τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης επηρεάζονται ακόμα από παράγοντες όπως το αποσθρωμένο στρώμα που υπάρχει κοντά στην επιφάνεια της γης, η καμπυλότητα των διαχωριστικών επιφανειών αλλά και η ανισοτροπία των πετρωμάτων. Το γεγονός δηλαδή ότι τα σεισμικά κύματα διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες σε διαφορετικές διευθύνσεις.

Κατά την ανάλυση των σεισμικών δεδομένων και για την αποφυγή του παραπάνω φαινομένου μεταξύ των ταχυτήτων, είναι συνηθισμένο να προσεγγίζουμε τη σχέση (2.3) με τη σχέση :

$$t_n^2 = t_0^2 + x^2 / V'^2$$

όπου V' είναι η ταχύτητα υπέρθεσης (stacking velocity) και είναι ελάχιστα διαφορετική από τη V_{rms} .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3⁰

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Η σεισμική διασκόπηση μεγάλου βάθους (deep seismic profiling) αποσκοπεί στη λήψη ανακλάσεων από το φλοιό και τον πάνω μανδύα κάνοντας χρήση τεχνικών που αναπτύχθηκαν για την αναζήτηση υδρογονανθράκων.

Η προοπτική λήψης βαθιών ανακλάσεων παρουσιάστηκε για πρώτη φορά τις δεκαετίες του 1950 και 1960, όταν το ερευνητικό πρόγραμμα του Geophysical Analysis Group (GAG) επεξεργάστηκε τιμές από ψηφιακές καταγραφές κι έφερε επανάσταση στο χώρο της σεισμικής επεξεργασίας (Waters, 1987). Η ραγδαία εξέλιξη της τεχνικής, πραγματοποιήθηκε από τον καθηγητή Jack Oliver του Πανεπιστημίου Cornell, καθώς και από τα μέλη του συμβουλίου ηπειρωτικής διασκόπησης με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης (Consortium for Continental Reflection Profiling COCORP).

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες έχει διεξαχθεί ένας μεγάλος αριθμός ερευνών με σκοπό τη μελέτη του φλοιού της γης σε περιοχές με πολύ διαφορετικά τεκτονικά καθεστώτα και ηλικία φλοιού, ενώ οι περισσότερες ερευνητικές προσπάθειες διεξάγονται σε περιοχές εφελκυσμού και σύγκλισης Φανεροζωϊκής ηλικίας (Money and Brocher, 1987).

Ανάμεσα στις τελευταίες μεγάλες έρευνες που έχουν διεξαχθεί στο χώρο της μελέτης του φλοιού, είναι και αυτή του JOULE-STREAMERS (Nicolich et al., 1994, Kamberis et al., 1996, Hirn et al., 1996) για το Ιόνιο.

Τα προφίλ βαθιάς ανάκλασης έχουν τη μοναδική δυνατότητα να απεικονίζουν δομές πάχους ακόμα και μικρότερες των 100 m σε βάθη πολλών χιλιομέτρων μέσα στο φλοιό της γης μέχρι και την ασυνέχεια Moho, ή ακόμα πιο βαθιά στον άνω Μανδύα. Η δυνατότητα αυτή επιβεβαιώνει την πρόβλεψη, ότι η ανίχνευση του φλοιού με σεισμικά βαθιάς ανάκλασης θα αποτελεί για πολλά ακόμη χρόνια ένα βασικό εργαλείο στη γεωφυσική διασκόπηση.

3.2 Λήψη, επεξεργασία και ερμηνεία σεισμικών δεδομένων ανάκλασης

Η μελέτη της λιθόσφαιρας με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης περιλαμβάνει τρία βασικά βήματα: τη λήψη των δεδομένων (data acquisition), την επεξεργασία αυτών (data processing) και την ερμηνεία τους (data interpretation).

Η λήψη των δεδομένων αποτελεί ίσως το βασικότερο βήμα για την παραπάνω μέθοδο. Ιδιαίτερη προσοχή όμως θα πρέπει να δοθεί και στον τρόπο βελτίωσης της καταγραφής και της επικάλυψης, που είναι αρκετά χρονοβόρες. Η βελτίωση αυτών όσον αφορά το διάστημα δειγματοληψίας και επικάλυψης χωρίς την μείωση της αποδοτικότητας, γίνεται με την αύξηση του αριθμού των καναλιών του σειсмоγράφου.

Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων (raw data), στηρίζεται σε μαθηματικές θεμελιώδεις αρχές και αποσκοπεί στη βελτίωση της ποιότητας αυτών. Περιλαμβάνει τρία κύρια βήματα που είναι η αποσυνέλιξη, η υπέρθεση και η χωροθέτηση. Με την εφαρμογή της αποσυνέλιξης (deconvolution), το σήμα απαλλάσσεται από την παρουσία της κυματομορφής της πηγής με αποτέλεσμα την αύξηση της χρονικής διακριτικής ικανότητας αυτού. Η σεισμική υπέρθεση (stacking) ενισχύει το σήμα των σεισμικών ανακλάσεων με αντίστοιχη μείωση του τυχαίου θορύβου, ενώ η σεισμική χωροθέτηση (migration) βελτιώνει τη χωρική διακριτική ικανότητα τοποθετώντας τις σεισμικές ανακλάσεις στη σωστή τους θέση (ως προς το βάθος). Ενδιάμεσα των ενεργειών αυτών, παρεμβάλλονται και άλλες διαδικασίες βελτίωσης του σήματος.

Η επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων ξεκινάει με την αποπολύπλεξη (demultiplexing) αυτών. Τα πολυπλεγμένα (multiplexed) δεδομένα βρίσκονται σε μορφή διαδοχικών χρόνων και κατά την αποπολύπλεξη τοποθετούνται σε μορφή διαδοχικών ιχνών. Η διαδικασία αυτή μας επιτρέπει να αποφασίσουμε για το ποια ίχνη προέρχονται από διαφορετικές εκρήξεις (shots), ή έχουν κοινό ενδιάμεσο σημείο (CMP) και άρα μπορούν να δώσουν ένα μέσο όρο ή να αθροιστούν. Οι καταγραφές στη συνέχεια ταξινομούνται σε καταγραφές κοινού ενδιάμεσου σημείου και ακολουθεί η ανάλυση ταχύτητας, η κανονική χρονική διόρθωση (NMO) και η υπέρθεση αυτών.

Το μοντέλο που συνήθως χρησιμοποιείται στην επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης, υποθέτει ότι το υπέδαφος αποτελείται από οριζόντια στρώματα των οποίων οι φυσικές ιδιότητες μεταβάλλονται μόνο με το βάθος. Τέτοιες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

υποθέσεις δεν ισχύουν πάντοτε για περιοχές με πολύπλοκη γεωλογία όπως είναι η Ελλάδα.

Η ερμηνεία των σεισμικών σημάτων ανάκλασης, απαιτεί μεγάλη εμπειρία και πολύ καλή γεωλογική γνώση της περιοχής μελέτης. Εξαρτάται από την ποιότητα της τομής υπέρθεσης, το λόγο σήματος προς θόρυβο και τις χρησιμοποιούμενες ταχύτητες τις οποίες πρέπει να γνωρίζουμε με ακρίβεια.

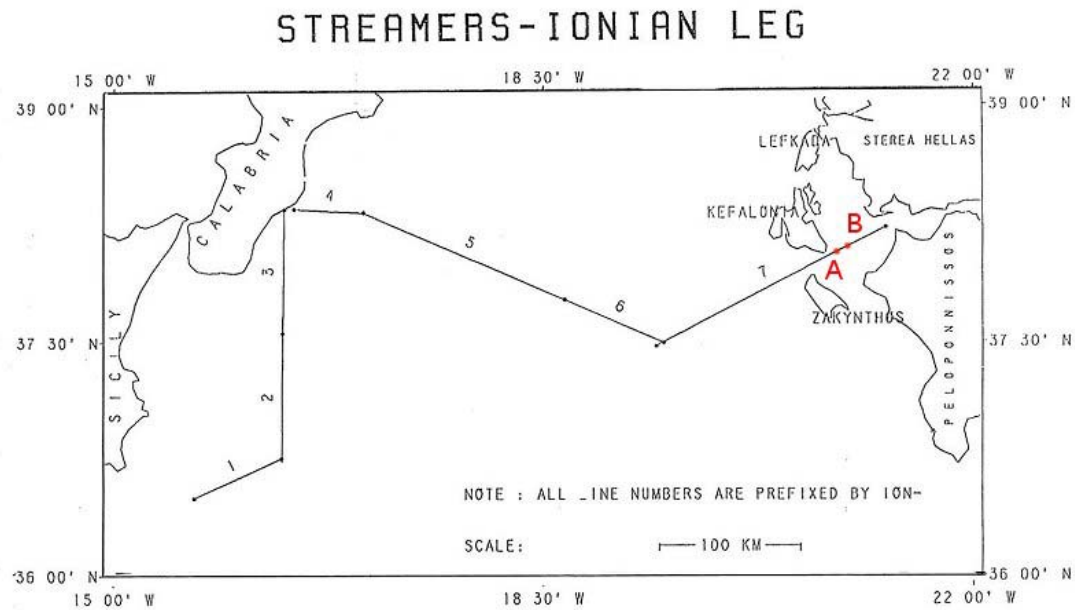
Η γεωλογική ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων πραγματοποιείται με τον άμεσο ή τον έμμεσο τρόπο. Στον άμεσο τρόπο, οι ιδανικές παράμετροι για τη γεωλογία του υπεδάφους υπολογίζονται από γεωφυσικές παρατηρήσεις. Στον έμμεσο τρόπο, θεωρείται μοντέλο του υπεδάφους για το οποίο υπολογίζονται τα συνθετικά σειсмоγράμματα κι αυτά στη συνέχεια συγκρίνονται με τα πραγματικά. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για διάφορα μοντέλα μέχρι να υπάρχει μία ελάχιστη διαφορά μεταξύ της υπολογιζόμενης και παρατηρούμενης καταγραφής.

3.3 Περιγραφή του πειράματος

Το πείραμα σεισμικής ανάκλασης στην περιοχή του Ιονίου, πραγματοποιήθηκε το 1992 με την υποστήριξη της Ευρωπαϊκής Ένωσης στα πλαίσια του προγράμματος JOULE STREAMERS. Σκοπός του ήταν η συγκέντρωση δεδομένων κατά μήκος γραμμής μελέτης 700 Km για την εύρεση της δομής του φλοιού στη συγκεκριμένη περιοχή. Χρησιμοποιήθηκε airgun 7000 κυβικών ιντσών με αποτέλεσμα να γίνει εφικτή η λήψη δεδομένων μέχρι και το βάθος της ασυνέχειας Mohorovic.

Τα δεδομένα ευρείας γωνίας κατεγράφησαν από 12 χερσαίους σεισμολογικούς σταθμούς τριών συνιστωσών, οι οποίοι εγκαταστάθηκαν στα νησιά Ζάκυνθος, Κεφαλληνία και γύρω από τον κόλπο της Πάτρας. Οι σταθμοί αυτοί έκαναν συνεχή καταγραφή των ανακλάσεων ευρείας γωνίας (wide angle reflections) και μελετήθηκαν από Έλληνες, Βρετανούς και Γάλλους επιστήμονες. Η σεισμική γραμμή μελέτης φαίνεται μεταξύ των σημείων Α και Β στο χάρτη του σχήματος 3.1.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχήμα 3.1: Χάρτης των θαλάσσιων σεισμικών γραμμών του προγράμματος STREAMER.

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας προέρχονται από τη γραμμή 7 και βρίσκονται μεταξύ των σημείων Α και Β .

Τα σεισμικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία παραχωρήθηκαν από τη ΔΕΠ (σήμερα ΕΛ.ΠΕ) και ανήκουν στη σεισμική γραμμή ION-7 μεταξύ Ζακύνθου και Κεφαλληνίας. Κατά τη διεξαγωγή του πειράματος το ερευνητικό πλοίο κινήθηκε από δυτικά προς ανατολικά κατά μήκος της παραπάνω γραμμής, ενώ οι σεισμικές γραμμές, η θέση των πηγών και η απόσταση μεταξύ τους φαίνονται στον πίνακα 3.1

IONIAN STREAMERS LINES		
ΑΡΙΘΜΟΣ ΓΡΑΜΜΗΣ (LINE)	ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΗΓΩΝ (SP RANGE)	ΙΣΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΗΓΩΝ (SP DISTANCE ΣΕ Μ)
ION – 1	57-1445	50
ION – 2	58-1932	50
ION – 3	10070-11216	75
ION – 4	70-814	75
ION – 5	72-2224	75
ION – 6	12162-13222	75
ION – 7	72-2445	75

Πίνακας 3.1 (Κόκκινου, 2002).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Το βάθος της σεισμικής πηγής και των υδροφώνων, διατηρήθηκε σταθερό στα 7.5 m και 15 m αντίστοιχα. Η ισαπόσταση των υδροφώνων ήταν 25 m, ενώ η ισαπόσταση των πηγών 75 m. Το αζιμούθιο της διάταξης των υδροφώνων ήταν 62° και ο αριθμός των καναλιών που λάμβαναν τα σήματα ανά έκρηξη 180. Η ελάχιστη απόσταση πηγής-πρώτου υδροφώνου (minimum offset) καθορίστηκε στα 180 m.

3.4 Πολλαπλές ανακλάσεις

Στη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης γίνεται καταγραφή των κύριων ανακλάσεων και στη συνέχεια αυτές ερμηνεύονται. Οι πολλαπλές οι οποίες σχεδόν πάντα τις συνοδεύουν, είναι ανεπιθύμητες γιατί δυσχεραίνουν σημαντικά τόσο την ερμηνεία της σεισμικής τομής όσο και το διαχωρισμό των οριζόντων ανάκλασης.

Οι πολλαπλές ανακλάσεις είναι περιοδικές και αποτελούν ένα παράδειγμα συναφούς θορύβου. Εμφανίζονται όταν το κύμα αναγκαστεί να κάνει ταλάντωση μεταξύ δύο διαχωριστικών επιφανειών και για να συμβεί αυτό πρέπει ο συντελεστής ανάκλασης R (reflection coefficient) να παίρνει μεγάλες τιμές στις διαχωριστικές επιφάνειες (Sheriff and Geldart, 1995). Μία διάκριση των πολλαπλών ανακλάσεων είναι σ' αυτές της μεγάλης (long path multiples) και μικρής περιόδου (short path multiples). Στο σχήμα 3.2 φαίνονται οι διάφορες μορφές αυτών.

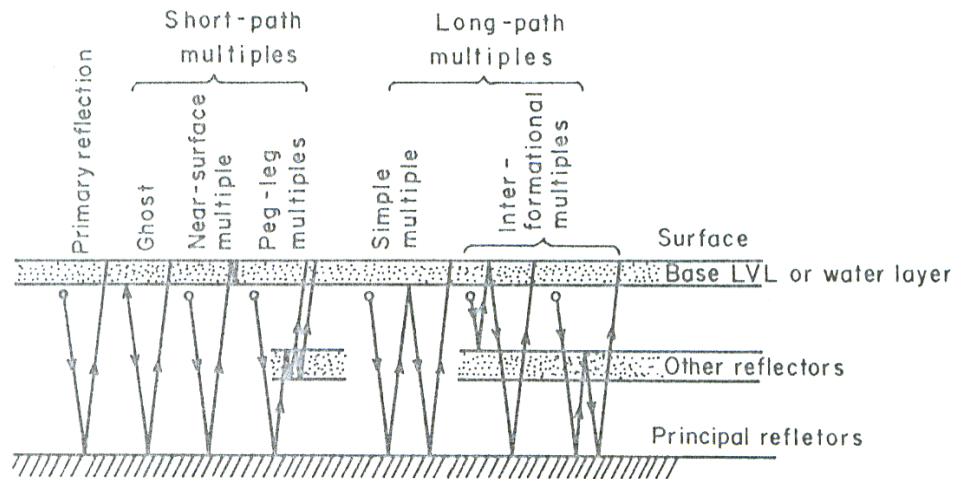
Για τα θαλάσσια δεδομένα οι παραπάνω ανακλάσεις μπορούν να είναι είτε πολλαπλές από τον πυθμένα της θάλασσας, είτε πολλαπλές από στρώματα νερού. Οι πρώτες πολλαπλές εμφανίζονται μεταξύ της επιφάνειας και του πυθμένα του νερού, ενώ οι δεύτερες (π.χ οι πολλαπλές *peg leg*) παράγονται από κύματα που έχουν ανακλαστεί μια φορά κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας και μία ή περισσότερες φορές μεταξύ της επιφάνειας και του πυθμένα του νερού.

Οι θαλάσσιες πολλαπλές διαφοροποιούνται επίσης ανάλογα με το βάθος του νερού στο οποίο εμφανίζονται. Οι πολλαπλές που υπερέχουν σε σχετικά μεγάλα βάθη ονομάζονται ανακλώμενες αντηχήσεις (reflected reverberations) και σ' αυτές μία τουλάχιστον πολλαπλή ανάκλαση συμβαίνει στο στρώμα του νερού. Όσο το βάθος του νερού ελαττώνεται, τόσο περισσότερες πολλαπλές συναντώνται στις σεισμικές καταγραφές. Αυτού του είδους οι πολλαπλές ονομάζονται παγιδευμένες αντηχήσεις επειδή η διάδοσή τους περιορίζεται στο στρώμα του νερού. Για ακόμα μεγαλύτερη ελάττωση του βάθους του πυθμένα, ο χρόνος ανάμεσα στις αντηχήσεις είναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

συγκρίσιμος με τη διάρκεια του παλμού με αποτέλεσμα να δημιουργείται ακολουθία αντηχήσεων (Anstey 1990).

Στην περίπτωση που την κύρια ανάκλαση ακολουθεί βραχεία ημιτονοειδή ακολουθία (“ουρά”), ολόκληρη η καταγραφή παίρνει τη μορφή αρμονικού κύματος και μιλάμε για το φαινόμενο του κωδονοειδούς παλμού (ringing).



Σχήμα 3.2: Διάφοροι τύποι πολλαπλών ανακλάσεων (Dimri, 1992).

3.5 Στατική Διόρθωση (datum static correction)

Ένα σήμα ανάκλασης μεταβάλλεται από ίχνος σε ίχνος κατά μήκος μιας ομάδας κοινού ενδιαμέσου σημείου για διάφορους λόγους. Προφανείς αλλαγές είναι εκείνες που οφείλονται στο χρόνο ανάκλασης. Οι διαφορές στο χρόνο, μπορούν να είναι στατικές και να επιρρεάζουν όλα τα ίχνη στον ίδιο βαθμό, ή δυναμικές και να ποικίλουν ανάλογα με το χρόνο ανάκλασης.

Οι στατικές διαφορές χρόνου οφείλονται στο επιφανειακό στρώμα το οποίο είναι ετερογενές, ενώ οι δυναμικές χρονικές διαφοροποιήσεις προκύπτουν από διαφορές στο μήκος των σεισμικών ακτίνων. Ο ακριβής υπολογισμός των διορθώσεων αυτών, απαιτεί λεπτομερή γνώση της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα γεωλογικά στρώματα.

Στις θαλάσσιες καταγραφές η στατική διόρθωση εφαρμόζεται για να μετατραπούν οι διπλοί χρόνοι διαδρομής στους χρόνους που θα αντιστοιχούσαν εάν η πηγή και τα υδρόφωνα βρίσκονταν στην επιφάνεια της θάλασσας. Η στατική διόρθωση στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται συνήθως για ρηχά νερά και ισχύει:

$$(d_s+d_R)/V \quad (3.1)$$

Όπου d_s : το βάθος της πηγής

d_R : το βάθος του υδροφώνου και

V : η ταχύτητα του ήχου στο νερό.

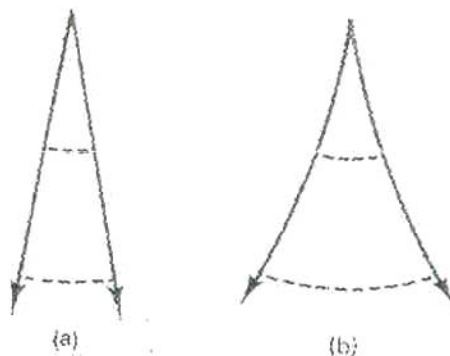
Σημαντικό λόγο για στατικές διορθώσεις αποτελούν επίσης οι μεταβολές στη μορφολογία του θαλάσσιου πυθμένα που συναντώνται σε υποθαλάσσια κανάλια και ειδικά σε περιοχές ηπειρωτικών κατωφερειών. Η στατική διόρθωση γενικά, πραγματοποιείται πριν από τη σεισμική υπέρθεση και με τον ίδιο τρόπο τόσο στη ξηρά όσο και στη θάλασσα.

3.6 Αποπολύπλεξη (demultiplexing) και έλεγχος πλάτους.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα πρωτογενή δεδομένα (raw data) στη σεισμική έρευνα καταγράφονται σε πολυπλεγμένη μορφή. Κατά τη διαδικασία της πολύπλεξης αποθηκεύεται η τάση κάθε καναλιού το οποίο δειγματοληπτείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα αφού πρώτα ενισχυθεί. Ο χρόνος δειγματοληψίας στη ξηρά κυμαίνεται από 2 - 4 ms, ενώ στη θάλασσα είναι 4 ms.

Για να προκύψουν οι αρχικές τιμές τάσεων που δίνουν τα όργανα καταγραφής θα πρέπει να γίνει αποπολύπλεξη των καταγραφόμενων σημάτων. Θα πρέπει δηλαδή να γίνει ανασυγκρότηση των αρχικών ψηφιακών τάσεων από τα αντίστοιχα χρονικά δείγματα στα οποία έχουν αποθηκευτεί. Αυτό είναι εύκολα εφικτό αφού το μέγεθος της ενίσχυσης για κάθε δειγματοληψία καταγράφεται σε μαγνητική ταινία.

Απαραίτητη είναι ακόμα και η διόρθωση για τη βαθμιαία ελάττωση του πλάτους που οφείλεται στη γεωμετρική διασπορά (spherical spreading) και την απορρόφηση (absorption) κατά τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων.



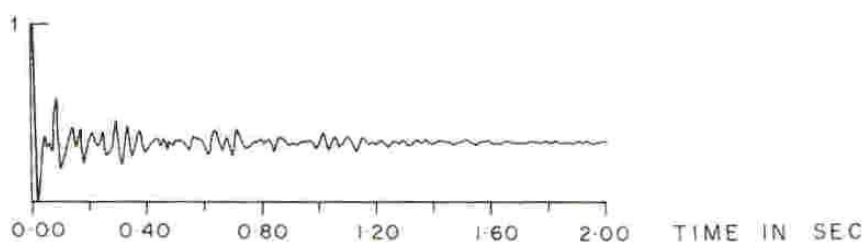
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Στη σφαιρική διασπορά (spherical divergence), η ταχύτητα αυξάνει με το βάθος οδηγώντας σε καμπύλωση των ακτίνων και σε ταχύτερη εξασθένιση του πλάτους με το διπλό χρόνο διαδρομής (TWT) (σχήμα 3.3).

3.7 Συνάρτηση συσχέτισης (cross-correlation function)

Η συνάρτηση συσχέτισης (cross-correlation) αποτελεί μέτρο ομοιότητας μεταξύ δύο χρονοσειρών (ως παράδειγμα χρονοσειρών αναφέρονται τα σειсмоγράμματα που αποτελούνται από ακολουθία μετρήσεων για ίσα χρονικά διαστήματα). Μετακινώντας τη μία χρονοσειρά δεξιά και αριστερά και συσχετίζοντάς τη για κάθε μετακίνηση με την άλλη, είναι δυνατή η συσχέτιση αυτών. Εάν δύο χρονοσειρές έχουν μεγάλο βαθμό ομοιότητας θα έχουν και μεγάλη συσχέτιση.

Η ειδική περίπτωση χρονοσειράς που συσχετίζεται με τον εαυτό της, χαρακτηρίζεται ως αυτοσυσχέτιση (autocorrelation). Η συνάρτηση της αυτοσυσχέτισης είναι συμμετρική και έχει μέγιστη τιμή για μηδενική χρονική μετατόπιση των δεδομένων (σχήμα 3.4).



Σχήμα 3.4: Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης για ένα σεισμόγραμμα (Dimri, 1992).

3.8 Ισοστάθμιση σεισμικών ιχνών και μείξη

Για την ισοστάθμιση των σεισμικών ιχνών (trace equalization), εφαρμόζεται σε κάθε ένα απ'αυτά μια συνάρτηση εξισορρόπησης πλάτους. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα χρονικό παράθυρο (time gate) που θα υπολογίσει τη μέση τιμή του πλάτους (mean scalar) ή τη μέση τετραγωνική τιμή (RMS scalar) ή ακόμα και τη μέγιστη τιμή (maximum scalar), η οποία στη συνέχεια εφαρμόζεται σε ολόκληρο το σεισμικό ίχνος σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{New amplitude} = \text{old amplitude value/scalar} \quad (3.2)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Στην καλύτερη εμφάνιση των δεδομένων, βοηθάει και η μείξη των σεισμικών ιχνών (trace mixing). Με την εφαρμογή της μείξης είναι δυνατόν να ελαττωθεί ο γραμμικός θόρυβος (linear noise), όπως είναι για παράδειγμα η ενέργεια των πρώτων αφίξεων (first break energy) ή ακόμα και ο συναφής γραμμικός θόρυβος (linear coherent noise) από τις τομές υπέρθεσης.

3.9 Φαινόμενη ταχύτητα και φίλτρα αυτής

Οι διάφοροι τύποι σεισμικών κυμάτων που εμφανίζονται στην ανακλαστική σεισμολογία μπορούν να αναγνωριστούν με βάση τις χαρακτηριστικές τους ταχύτητες κατά τη διάδοσή. Έτσι οι διαφορετικές αφίξεις μπορούν να διαχωριστούν χρησιμοποιώντας τα φίλτρα της φαινόμενης ταχύτητας. Τα φίλτρα αυτά μπορούν να αποκόπουν ίχνη που έχουν μια συγκεκριμένη ταχύτητα κατά μία διάδοση ή απέναντι από μία περιοχή και εξαρτώνται από τη φαινόμενη ταχύτητα του μετώπου κύματος.

Η ονομασία “φαινόμενη”, δόθηκε στην ταχύτητα αυτή επειδή δεν αποτελεί ένα πραγματικό μέτρο της ταχύτητας του μετώπου κύματος. Ορίζεται από το πηλίκο της απόστασης δύο σημείων στην επιφάνεια προς το χρόνο Δt και ισχύει:

$$V_a = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{V_0}{\sin \alpha} = \frac{\omega}{K} = \frac{2\pi\nu}{K} \quad (3.3)$$

Όπου V_a : η φαινόμενη ταχύτητα του μετώπου κύματος

V_0 : η πραγματική ταχύτητα διάδοσης του μετώπου κύματος

α : η γωνία που σχηματίζει η διεύθυνση της σεισμικής ακτίνας με την κατακόρυφο

ω : η γωνιακή ταχύτητα

K : ο κυματαριθμός (ο αριθμός των κύκλων ανά μονάδα απόστασης) και

ν : η συχνότητα του κύματος.

Η τιμή της φαινόμενης ταχύτητας ποικίλει από μία τιμή ελάχιστα μεγαλύτερη της πραγματικής μέχρι το άπειρο.

3.10 Φίλτρο συνάφειας (semblance)

Ένα ακόμα φίλτρο ενίσχυσης του σήματος είναι αυτό της συνάφειας (semblance). Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιεί τουλάχιστον 24 ίχνη, τα οποία ευθυγραμμίζονται σύμφωνα με μια συγκεκριμένη συνάρτηση υπερβολής που

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

καθορίζεται από ένα ζευγάρι παραμέτρων (T_0, V_{RMS}). Ακολουθεί η συσχέτιση των ιχνών και τα αποτελέσματα αυτής αθροίζονται με σκοπό την καλύτερη εκτίμηση του συγκεκριμένου σήματος.

Η ενέργεια από το εκτιμημένο αυτό σήμα υπολογίζεται αθροίζοντας τα τετράγωνα των πλατών που μετρήθηκαν μέσα σε επιλεγμένο παράθυρο χρόνου γύρω από το χρόνο αναφοράς. Η τιμή που προκύπτει μεταφέρεται στο φάσμα της ταχύτητας.

3.11 Εδαφικός Θόρυβος

Για την καταγραφή δεδομένων από κάποια περιοχή, πρέπει να ληφθεί υπόψη ο θόρυβος που εισάγεται στις μετρήσεις από το περιβάλλον της έρευνας. Ο σεισμικός αυτός θόρυβος μπορεί να είναι είτε συναφής είτε τυχαίος.

Ο συναφής περιβάλλον θόρυβος ταξιθεύει οριζόντια. Για το λόγο αυτό έχει πολύ χαμηλή ταχύτητα και διακρίνεται εύκολα από τη διαδικασία της ανάλυσης ταχύτητας. Παράδειγμα συναφούς θορύβου αποτελεί ο εδαφικός θόρυβος του οποίου η εξουδετέρωσή επιτυγχάνεται κατά την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων στο χώρο του χρόνου, με την εφαρμογή αναλογικών φίλτρων αποκοπής χαμηλών συχνοτήτων (pre-A/D low-cut filters). Ο τυχαίος θόρυβος έχει λευκό φάσμα και παραδείγματα αυτού είναι ο άνεμος και ο θόρυβος από τα όργανα.

3.12 Αποκοπή ανεπιθύμητων ιχνών (muting)

Οι πρώτες αφίξεις στους δέκτες δεν είναι οι κύριες ανακλάσεις αλλά η ενέργεια που έχει διαδοθεί υπό μορφή απευθείας κυμάτων. Αυτές οι ανεπιθύμητες αφίξεις έχουν μεγάλα πλάτη και αποτελούν σημαντική πηγή θορύβου η οποία εμποδίζει την ακριβή διάκριση των σημάτων. Η αποκοπή τους συνήθως γίνεται στην αρχή της επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων, με μηδενισμό των μετρήσεων πριν από κάποιο καθορισμένο χρόνο. Η διεργασία αυτή ονομάζεται εξάλειψη σεισμικού θορύβου (muting) και αν δεν πραγματοποιηθεί σωστά, μπορούν να δημιουργηθούν ζώνες θορύβου στο αβαθές τμήμα της σεισμικής τομής.

Κατά την άθροιση κοινού ενδιαμέσου σημείου απαιτείται επίσης η διαδικασία αποκοπής των ιχνών λόγω της παραμόρφωσης του παλμού (NMO stretch) που προκαλεί η κανονική χρονική διόρθωση. Η διόρθωση αυτή παραμορφώνει τους άξονες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

του χρόνου, με σκοπό να κάνει όλα τα ίχνη να μοιάζουν με ίχνη μηδενικού offset. Ο υπολογιστής μπορεί να εφαρμόσει μία κατάλληλη αποκοπή (automute) για κάθε ίχνος με το χρόνο και να δώσει μία πρώτη εκτίμηση της κατανομής της ταχύτητας.

Η επιλογή της παύσης εξαρτάται τόσο από τις ταχύτητες υπέρθεσης όσο και από το θόρυβο που παράγει η πηγή και για το λόγο αυτό μεταβάλλεται κατά μήκος της γραμμής μελέτης. Για να διατηρηθούν οι υψηλές συχνότητες, η μέγιστη επιτρεπτή παραμόρφωση πρέπει να είναι μικρή (γύρω στα 20%). Τέλος δεν ενδείκνυται παύση εάν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα πολλαπλών στην περιοχή.

3.13 Συνέλιξη (convolution)

Το μοντέλο της συνέλιξης στη σεισμική ανάκλαση, θεωρεί ότι κάθε σεισμικό ίχνος είναι το αποτέλεσμα συνέλιξης του μοναδιαίου παλμού δτ με άλλους παλμούς που μπορούν να περιγράφουν τη σεισμική πηγή s_t , τους ανακλαστήρες r_t , το επιφανειακό στρώμα x_t , την απόσβεση καθώς και την περίθλαση P_t . Πρόκειται δηλαδή για μία μαθηματική πράξη, η οποία συνδιάζει δύο χρονικές συναρτήσεις, και αποτελεί ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στη σεισμική ανάκλαση.

Σύμφωνα με το θεώρημα της συνέλιξης, η συνέλιξη δυο χρονικών συναρτήσεων είναι ισοδύναμη με τον πολλαπλασιασμό των φασμάτων των πλατών τους και την άθροιση των φασμάτων των φάσεων τους. Με βάση το θεώρημα δειγματοληψίας και για να είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας Δt σωστός στη διαδικασία της συνέλιξης, πρέπει:

- Η συχνότητα δειγματοληψίας να είναι μεγαλύτερη από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας.
- Το φάσμα του σήματος δεν πρέπει να περιέχει συχνότητες μεγαλύτερες από τη συχνότητα Nyquist [$f_N = 1/(2 \Delta t)$ Hz]. Για συχνότητες μεγαλύτερες αυτής εφαρμόζονται φίλτρα antialias πριν τη δειγματοληψία.

3.13.1 Μοντέλο σεισμικής συνέλιξης

Η διάδοση των σεισμικών κυμάτων θεωρείται γραμμική διαδικασία και έτσι το παρατηρούμενο σεισμόγραμμα $x(t)$, προέρχεται από τη συνέλιξη της κυματομορφής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

της πηγής με τη χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης της γης (earth impulse response). Μαθηματικά η συνέλιξη δίνεται από τη σχέση:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} \varepsilon_k w_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (3.4)$$

όπου $x(t)$: το σεισμικό σήμα

ε_k : η χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης της γης

τ_k : η χρονική καθυστέρηση

w_k : το κύμα της πηγής και

$n(t)$: κάποιο πιθανό σφάλμα ή ο πρόσθετος θόρυβος.

Από τις παραμέτρους της εξίσωσης αυτής γνωστή είναι μόνο η $x(t)$. Για να υπολογιστούν οι συντελεστές ανάκλασης ε_k , πρέπει να γίνουν κάποιες παραδοχές. Δεχόμαστε λοιπόν ότι:

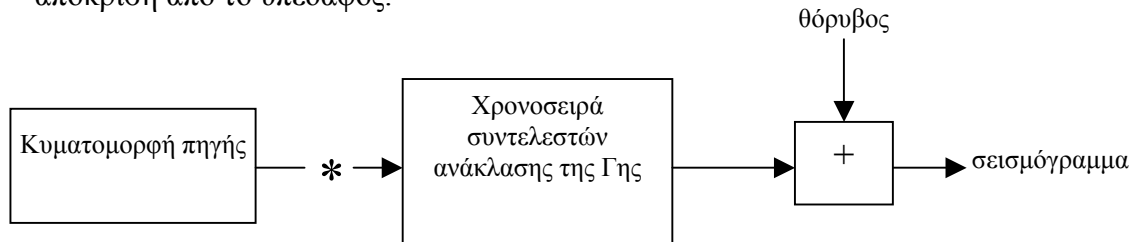
- Η γη αποτελείται από οριζόντια στρώματα σταθερής ταχύτητας
- Η πηγή παράγει επιμήκη επίπεδα κύματα των οποίων το πλάτος δεν μεταβάλλεται με τη διάδοσή τους μέσα στη γη και τα οποία προσπίπτουν κάθετα στα όρια των στρωμάτων.
- Η μέση τιμή του θορύβου $n(t)$ είναι μηδέν
- Η κυματομορφή της πηγής w_k είναι γνωστή και ελάχιστης φάσης (minimum phase).
- Η χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης (impulse response) περιγράφεται από τυχαία διαδικασία και άρα η αυτοσυσχέτισή αυτής έχει τη μορφή μοναδιαίου παλμού (spike).
- Η αυτοσυσχέτιση του σειсмоγράμματος $x(t)$, είναι περίπου ίδια με την αυτοσυσχέτιση της κυματομορφής της πηγής w_k .

Συμβολικά η εξίσωση (3.4) μπορεί να γραφεί και σαν: $\mathbf{x} = \boldsymbol{\varepsilon} * \mathbf{w} + \mathbf{n}$. Στην περίπτωση αυτή το σεισμικό μοντέλο ορίζεται ως εξής: Το σειсмоγράμμα x είναι η συνέλιξη του κύματος της πηγής w , με τη χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης της γης ε , συν την ακολουθία πρόσθετου θορύβου n . Το $*$ δηλώνει τη διαδικασία της συνέλιξης.

Από τα παραπάνω παρατηρείται ότι στο χώρο των συχνοτήτων το φάσμα του πλάτους του σειсмоγράμματος είναι ίσο με το γινόμενο του φάσματος πλάτους της κυματομορφής της πηγής και των συντελεστών ανάκλασης της γης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Το σχήμα 3.5 δείχνει το μοντέλο σεισμικής συνέλιξης το οποίο είναι ένα γραμμικό, χρονικά μη μεταβαλλόμενο σύστημα. Η εφαρμογή της συνέλιξης στη γεωφυσική εξαπλώνεται συνεχώς, αφού αυτή είναι σε θέση να προσεγγίσει την απόκριση από το υπέδαφος.



Σχήμα 3.5: Το μοντέλο της συνέλιξης στη σεισμική μέθοδο

3.14 Αποσυνέλιξη (deconvolution)

Η πρώτη διατύπωση για την αποσυνέλιξη των σεισμικών ιχνών έγινε από το Robinson (1954) και αναφερόταν τόσο στα προβλήματα εξουδετέρωσης των αντηχήσεων (reverberation) στο νερό, όσο και στην εξουδετέρωση διάφορων άλλων τύπων πολλαπλών ανακλάσεων.

Σκοπός της παραπάνω διαδικασίας είναι να εξαλείψει από το παρατηρούμενο σήμα τις επιδράσεις που προέρχονται από την κυματομορφή της πηγής και το θόρυβο, έτσι ώστε να παραμείνει το επιθυμητό σήμα ανάκλασης ή τουλάχιστον μία εκτίμηση αυτού [Ricker (1940, 1953) and Robinson (1967b)]. Σήμερα υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τη διαδικασία της αποσυνέλιξης και κάθε μία έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της.

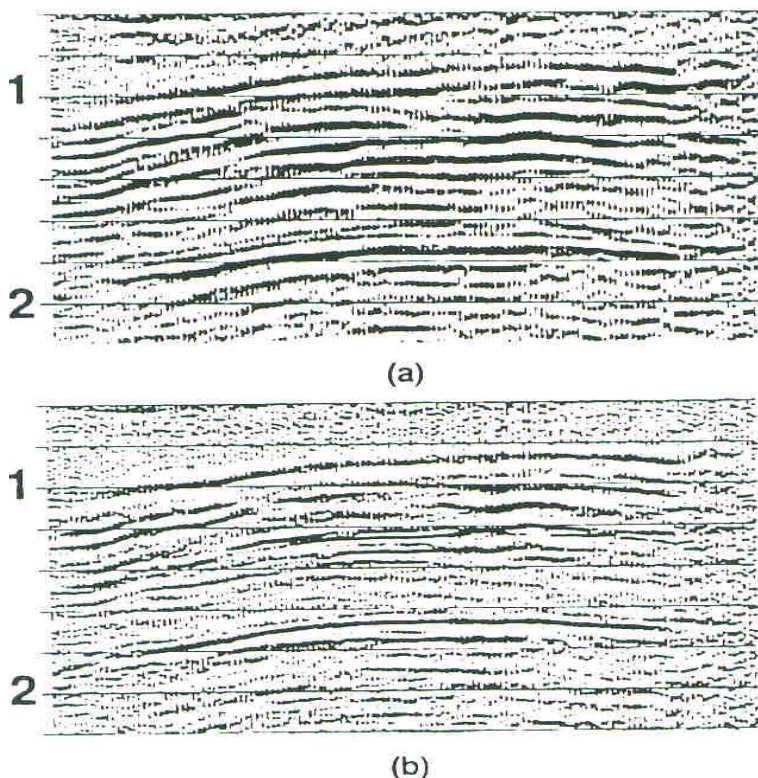
Η αποσυνέλιξη επιτρέπει στα σήματα που φθάνουν στους δέκτες και τα οποία προέρχονται από τη συνέλιξη πολλών ξεχωριστών συνιστωσών, να αναλύονται στις αρχικές τους συνιστώσες. Εφαρμόζεται στις σεισμικές καταγραφές για τη βελτίωση της χρονικής διακριτικής ικανότητας των σεισμικών δεδομένων και αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της χρονικής διάρκειας της κυματομορφής της πηγής (spiking deconvolution). Αύξηση της χρονικής διακριτικής ικανότητας σημαίνει διάκριση δύο ανακλάσεων που προέρχονται από λεπτά στρώματα και οι οποίες πριν την αποσυνέλιξη εμφανίζονταν σαν μία ανάκλαση (Βαφείδης 1993).

Η αποσυνέλιξη εφαρμόζεται κατά κανόνα πριν τη σεισμική υπέρθεση χωρίς να είναι αδύνατη η εφαρμογή της και μετά απ' αυτήν. Ορισμένες φορές αποσβένει σημαντικό τμήμα της ενέργειας των πολλαπλά ανακλώμενων σεισμικών κυμάτων και

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

υπολογίζει τη χρονοσειρά συντελεστών ανάκλασης της γης. Χρησιμοποιείται επίσης για την απομάκρυνση της επίδρασης του οργάνου καταγραφής και των γεωφώνων από τα σήματα που καταγράφονται.

Στο σχήμα 3.6 παρουσιάζεται σεισμική τομή υπέρθεσης χωρίς και με την εφαρμογή της αποσυνέλιξης. Είναι φανερή η αύξηση της χρονικής διακριτικής ικανότητας στη σεισμική τόμη που εφαρμόστηκε η αποσυνέλιξη (σχ.3.6.b).



Σχήμα 3.6: Σεισμική τομή υπέρθεσης χωρίς (a) και με (b) την εφαρμογή της αποσυνέλιξης (Βαφειδής, 1993).

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα στην αποσυνέλιξη, είναι η έλλειψη πληροφοριών για την κυματομορφή της πηγής. Το πρόβλημα αυτό καθώς και άλλα που παρατηρούνται εδώ, λύνονται χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές αντιστροφής (Wang και Treitel, 1973, Booker και Ong, 1971).

Έχει αποδειχθεί ακόμα ότι φίλτρα όμοια με αυτά που εφαρμόζονται στα σεισμικά δεδομένα (Mercado, 1978) περιγράφονται από φίλτρα Wiener. Έτσι τα δεύτερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό φίλτρων αποσυνέλιξης. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης τέλος, επιτρέπει τον υπολογισμό του φίλτρου αποσυνέλιξης.

3.14.1 Παράμετροι εφαρμογής της αποσυνέλιξης

Για την εφαρμογή της αποσυνέλιξης ο Yilmaz (1987) καθόρισε τρεις παραμέτρους. Η πρώτη αφορά το θόρυβο που προστίθεται στα δεδομένα στο χώρο του χρόνου. Η αύξηση του θορύβου, αυξάνει τη χρονική διάρκεια του φίλτρου και κατά συνέπεια μειώνει τη δραστηριότητα της αποσυνέλιξης ενώ παράλληλα επηρεάζει και το φάσμα του πλάτους.

Η δεύτερη παράμετρος αφορά τη διάρκεια του τμήματος του ίχνους στο οποίο θα εφαρμοστεί το φίλτρο της αποσυνέλιξης. Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει την καταγραφή γεωλογικού ενδιαφέροντος και αποφεύγει την καταγραφή με θόρυβο. Συνήθως διαρκεί πέντε με δέκα φορές το μήκος του τελεστή αποσυνέλιξης, το οποίο κυμαίνεται από 60 έως 120 msec. Στο μήκος του τελεστή αποσυνέλιξης αναφέρεται και η τρίτη παράμετρος. Με την αύξηση του μήκους αυτού, βελτιώνεται η ποιότητα των αποτελεσμάτων. Η υπερβολική όμως αύξηση εγκυμονεί τον κίνδυνο καταστροφής του σήματος ενδιαφέροντος.

3.14.2 Αποσυνέλιξη Πρόβλεψης (Predictive deconvolution)

Η παλαιότερη από τις μεθόδους αποσυνέλιξης είναι αυτή της αποσυνέλιξης πρόβλεψης (Peacock και Treitel 1969). Η μέθοδος αυτή εξαλείφει τις πολλαπλές ανακλάσεις χρησιμοποιώντας τους χρόνους άφιξης των κύριων ανακλάσεων. Τα φίλτρα που χρησιμοποιεί επηρεάζουν τα ανακλώμενα κύματα που καταγράφονται μετά το διπλό χρόνο διαδρομής L (predictive lag), ο οποίος συνήθως ισούται με το χρόνο διαδρομής της πρώτης πολλαπλής ανάκλασης.

Η παραπάνω μέθοδος βασίζεται στο μοντέλο σεισμικής συνέλιξης που είδαμε στο σχήμα 3.5 και το παρατηρούμενο σεισμικό ίχνος αυτού δίνεται από τη σχέση:

$$x_k = \varepsilon_k * w_k = w_0 \varepsilon_k + w_1 \varepsilon_{k-1} + \dots \quad (3.5)$$

όπου ε_k : ο συντελεστής ανάκλασης της κατά σειρά ακολουθίας (reflection coefficient sequence), w_k : το σύνθετο κύμα της πηγής και x_k : το παρατηρούμενο σεισμικό ίχνος.

Χρησιμοποιώντας την αποσυνέλιξη πρόβλεψης οι πολλαπλές ανακλάσεις εξαλείφονται εντελώς και το φιλτραρισμένο σήμα αντιστοιχεί στη χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης.

3.15 Ανάλυση ταχύτητας

Η διαδικασία της ανάλυσης ταχύτητας σκοπό έχει τον προσδιορισμό των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων (V_{RMS}) και υπάρχουν αρκετές τεχνικές για την πραγματοποίησή της. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής παρέχονται τα πρώτα στοιχεία για την περιοχή που ερευνάται και τυχόν αλλαγές στην τιμή της ταχύτητας είναι δυνατό να υποδηλώνουν στρωματογραφικές ή/και λιθολογικές μεταβολές.

Η ανάλυση της ταχύτητας πραγματοποιείται συσχετίζοντας τις τιμές αυτής με τις αντίστοιχες τιμές του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα υπολογίζονται οι διαφορές στους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων που καταγράφονται σε γεώφωνα για διάφορες αποστάσεις και για το σκοπό αυτό είναι απαραίτητο να καθοριστεί το μέγιστο της ταχύτητας που χρησιμοποιείται.

Η χαρτογράφηση των δομών του υπεδάφους απαιτεί τη μετατροπή των σεισμικών ιχνών από συναρτήσεις του χρόνου σε συναρτήσεις του βάθους. Υπάρχει ωστόσο δυσκολία τόσο στην αλλαγή από τομές χρόνου σε τομές βάθους, όσο και στην επιλογή των ταχυτήτων για τη δυναμική διόρθωση. Οι λόγοι της δυσκολίας του προβλήματος είναι η ετερογένεια του υπεδάφους αλλά και το γεγονός ότι η ανάλυση ταχύτητας μπορεί να επηρεαστεί από το θόρυβο. Λόγω της ύπαρξης σημαντικών πλευρικών μεταβολών της ταχύτητας, η συνάρτησή αυτής πρέπει διαρκώς να διορθώνεται από θέση σε θέση σε ολόκληρη την περιοχή μελέτης.

Η ποσότητα της πληροφορίας που εισάγεται στη διαδικασία της ανάλυσης ταχύτητας εξαρτάται τόσο από την υπεδάφική κάλυψη όσο και από τον αριθμό των ομάδων των ιχνών. Καθώς η χρήση ενός μεγάλου αριθμού από ίχνη δεν εξασφαλίζει αυτόματα και καλή ανάλυση, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιούνται μικρού αριθμού ομάδες ιχνών αφού απορριφθούν αυτές που παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο θορύβου. Γενικά η επιλογή των παραμέτρων για την ανάλυση ταχύτητας καθορίζεται από την ποιότητα των δεδομένων και είναι σημαντική αφού έχει τόσο τεχνικές όσο και οικονομικές συνέπειες.

Ο Anstey (1976) προτείνει την ανάλυση ταχύτητας χρησιμοποιώντας ένα χρονικό παράθυρο μήκους ίσου με 1.5 φορές τη μέση περίοδο του σήματος. Για μικρότερο παράθυρο υπάρχει πρόβλημα με το λόγο σήματος προς θόρυβο ενώ για μεγαλύτερο παράθυρο, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος παρεμβολής μεταξύ κύριας ανάκλασης και της πολλαπλής της. Αν ο λόγος του σήματος προς θόρυβο είναι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

ικανοποιητικός, το μήκος του παραθύρου μπορεί να γίνει αρκετά μικρό φθάνοντας τα 20 ms (το μήκος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 20 και 80 ms).

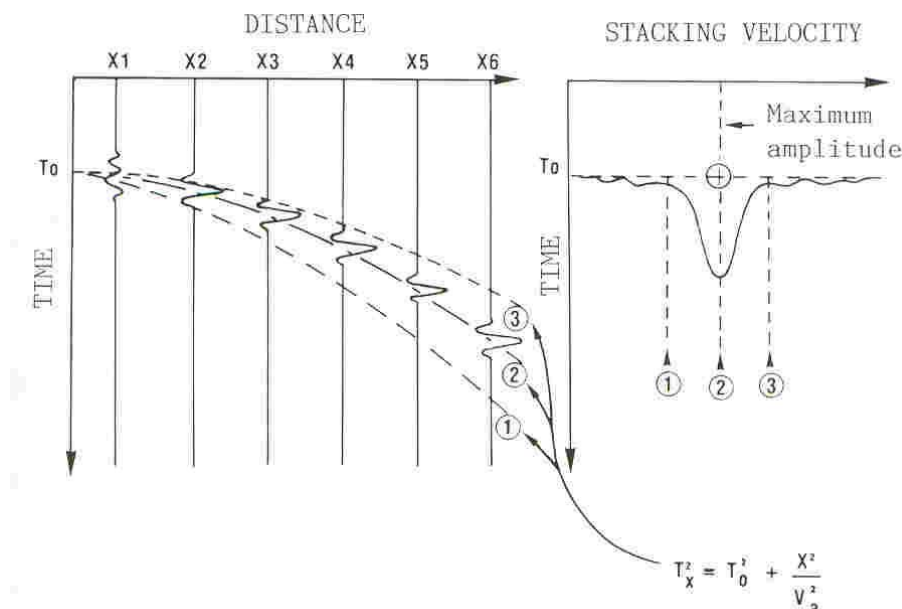
3.15.1 Πραγματοποίηση της ανάλυσης ταχύτητας

Σκοπός της ανάλυσης ταχύτητας είναι η αναζήτηση της εξίσωσης της υπερβολής που ταιριάζει καλύτερα στα δεδομένα. Η σωστή τοποθέτηση καθορίζεται οπτικά ή αριθμητικά. Η ταχύτητα υπέρθεσης V_a , αυξάνει όσο αυξάνει το μήκος της γραμμής μελέτης και δεν χρησιμοποιείται σε εξισώσεις. Τη θέση της στην πράξη παίρνει η μέση τετραγωνική ταχύτητα (V_{RMS}) που θεωρείται μία αρκετά καλή προσέγγιση αυτής.

Για ίχνη που προέρχονται από κοινό σημείο ανάκλασης, ο υπολογισμός της ταχύτητας ξεκινάει με την εκτίμηση του κάθετου διπλού χρόνου διαδρομής T_0 . Για την τιμή αυτή του χρόνου, επιλέγεται ένας αριθμός τιμών V_{RMS} και υπολογίζεται η συσχέτιση των σημάτων για κάθε ίχνος κατά μήκος της υπερβολής με εξίσωση:

$$T_x^2 = T_0^2 + X^2 / V_a^2$$

όπου T_x είναι ο ολικός χρόνος διαδρομής. Η καλύτερη συσχέτιση θα δώσει το V_{RMS} για τη δοσμένη τιμή του T_0 .



Σχήμα 3.7: Αρχή της ανάλυσης ταχύτητας (Cordier, 1985).

Στο σχήμα 3.7 η υπερβολή (2) είναι αυτή που αποτυπώνει καλύτερα τα σήματα που βρίσκονται σε φάση και έτσι καθορίζει την ταχύτητα. Ακόμα και στις λεπτομερείς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

καταγραφές, οι ανακλάσεις δε βρίσκονται ακριβώς πάνω στην υπερβολή και έτσι η τιμή της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας αντιστοιχεί στην καλύτερη δυνατή προσέγγιση της υπερβολής για κάθε περίπτωση.

Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται για μία επόμενη τιμή του T_0 η οποία προκύπτει από την προηγούμενη τιμή αν προστεθεί σε αυτή το μισό του μήκους του παραθύρου που χρησιμοποιείται στην ανάλυση.

3.15.2 Μέθοδος συνάφειας στην ανάλυση ταχύτητας

Οι Neidell και Taner (1971) έχουν παρουσιάσει διάφορους τρόπους μέτρησης της συνάφειας και ένας από αυτούς είναι η μέθοδος της συνάφειας του σήματος που αναφέρεται παρακάτω.

Εάν θεωρηθεί ομάδα καταγραφών κοινού σημείου βάθους, το πλάτος στην τομή υπέρθεσης ορίζεται από τη σχέση:

$$S_t = \sum_{i=1}^M f_{i,t(i)}$$

Όπου $f_{i,t(i)}$ είναι το πλάτος του i -οστού σεισμικού ίχνους για διπλό χρόνο διαδρομής $t(i)$ και με M συμβολίζεται ο αριθμός των σεισμικών ιχνών στις καταγραφές CMP. Ο διπλός χρόνος διαδρομής $t(i)$ του ανακλώμενου κύματος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_{(i)} = \left[t^2(0) + x_i^2 / U_{st}^2 \right]^{1/2}$$

όπου U_{st} : η ταχύτητα υπέρθεσης και x_i : η απόσταση πηγής-γεωφώνων.

Το κανονικοποιημένο πλάτος υπέρθεσης (normalized stacked amplitude)

ορίζεται ως εξής: $NS = \frac{|S_t|}{\sum_i |f_{i,t(i)}|}$ και το εύρος των τιμών του είναι: $0 \leq N \leq 1$

Η συνάφεια σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, ορίζεται από το κανονικοποιημένο πλάτος υπέρθεσης και τελικά δίνεται από το πηλίκο της ενέργειας πριν και μετά την υπέρθεση:

$$NE = \frac{1}{M} \frac{\sum_t S_t^2}{\sum_t \sum_{i=1}^M f_{i,t(i)}^2} \quad \text{με εύρος τιμών } 0 \leq NE \leq 1$$

Πριν την ανάλυση ταχύτητας υπάρχει η δυνατότητα να δημιουργηθούν υπερομάδες (supergathers) καταγραφών κοινού σημείου βάθους οι οποίες ονομάζονται CVS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

(constant velocity stack). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να γίνει έλεγχος των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά την υπέρθεση.

Για τον καθορισμό των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων πρέπει να γνωρίζουμε ότι μικρές ταχύτητες υπέρθεσης σε μεγάλους χρόνους διαδρομής αντιστοιχούν σε πολλαπλές ανακλάσεις αλλά και μεγάλες ταχύτητες υπέρθεσης σε μικρούς χρόνους διαδρομής είναι δυνατό να οφείλονται σε πλευρικές ανακλάσεις. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι οι ταχύτητες υπέρθεσης σε ορίζοντες με απότομες κλίσεις δεν είναι αξιόπιστες. Τον προσδιορισμό των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων ακολουθεί η μετατροπή τους σε τμηματικές ταχύτητες (interval velocities).

3.16 Κανονική χρονική διόρθωση (NMO correction)

Πριν την άθροιση των σειсмоγραμμάτων της διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου, είναι απαραίτητη η εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης. Η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται στους χρόνους διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων για τα παραπάνω σειсмоγράμματα και σκοπός της είναι, η αναγωγή των αρχικών χρόνων διαδρομής σε αντίστοιχους χρόνους κυμάτων που διαδίδονται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή θεωρεί ότι η πηγή και το γεώφωνο συμπίπτουν και βρίσκονται στη θέση του κοινού ενδιαμέσου σημείου της διάταξης.

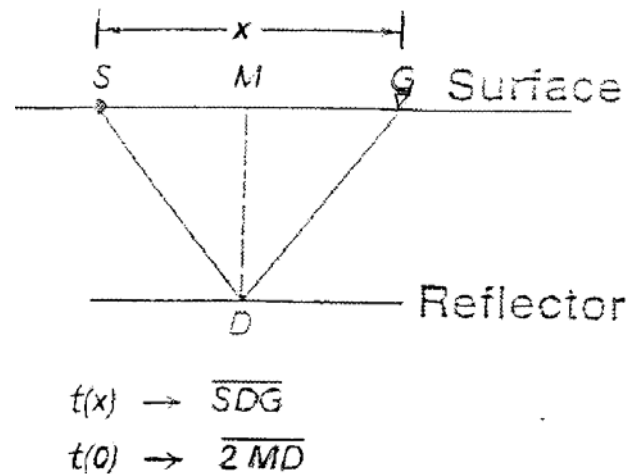
Στην περίπτωση κεκλιμένου ανακλαστήρα με γωνία κλίσης θ , “η κανονική χρονική απόκλιση” (NMO correction) υπολογίζεται όπως και στην περίπτωση οριζόντιου στρώματος από τη σχέση:

$$\Delta t_{NMO} = t(x) - t(0) = t(0) * \left\{ \left[1 + \left(\frac{x}{V_{NMO} * t(0)} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - 1 \right\} \quad (3.5)$$

Όπου $t(x)$: ο διπλός χρόνος διαδρομής και αναφέρεται σε γεώφωνο που απέχει από την πηγή απόσταση x

V_{NMO} : η ταχύτητα υπέρθεσης NMO, η οποία υπολογίζεται από την ανάλυση ταχύτητας και

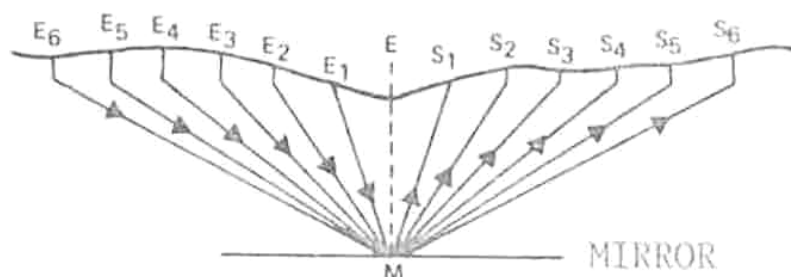
$t(0)$: ο διπλός κάθετος χρόνος (two-way-time) που χρειάζεται το κύμα για να διατρέξει την απόσταση MD δύο φορές (σχήμα 3.8).



Σχήμα 3.8: Γεωμετρία κανονικής διόρθωσης για την περίπτωση οριζόντιου ανακλαστήρα (Yilmaz 1987).

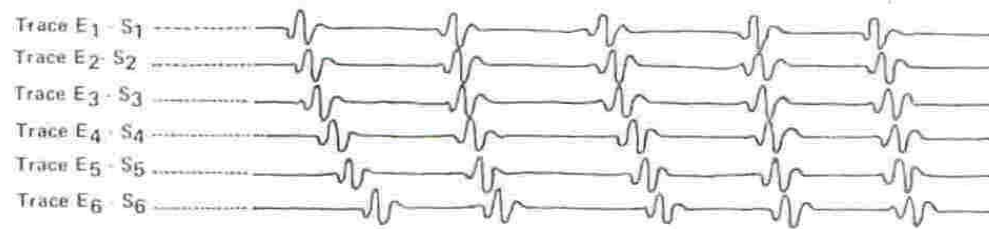
Από την παραπάνω εξίσωση προκύπτει ότι η κανονική χρονική απόκλιση αυξάνει ανάλογα με την απόσταση πηγής-γεωφώνου (offset), ενώ μειώνεται με το διπλό χρόνο κατακόρυφης ακτίνας $t(0)$ και την αύξηση των τιμών της ταχύτητας (V_{NMO}). Είναι σημαντικό στην ίδια εξίσωση να χρησιμοποιηθεί η σωστή ταχύτητα του μέσου. Αν η χρησιμοποιούμενη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από την πραγματική, η διόρθωση είναι μικρότερη της πραγματικής (undercorrection), ενώ αν η ταχύτητα είναι μικρότερη από την πραγματική ταχύτητα του μέσου, η διόρθωση είναι μεγαλύτερη της πραγματικής (overcorrection).

Στο σχήμα 3.9 που ακολουθεί φαίνεται η διαδικασία της δυναμικής διόρθωσης που οδηγεί σε αθροισμένα ίχνη (Cordier).

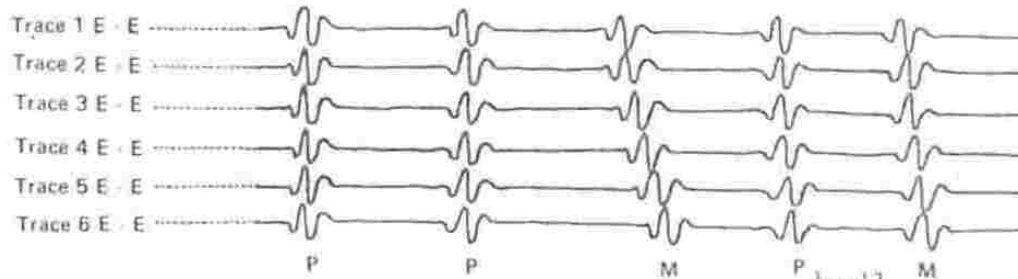


Κάθετη τομή που απεικονίζει τα 6 ζευγάρια πηγών-δεκτών για μία 6-πτυχη κάλυψη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου για τα 6 ίχνη που θα αθροιστούν. Τα ίχνη φαίνονται πριν τη δυναμική διόρθωση και έχουν τοποθετηθεί με αυξανόμενη σειρά.



Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου για τα 6 ίχνη μετά τη δυναμική διόρθωση.



Αθροισμένο ίχνος (μέσος όρος των 6 ιχνών)

Σχήμα 3.9: Παράδειγμα δυναμικών διορθώσεων που οδηγούν σε ένα αθροισμένο ίχνος (Cordier, 1985).

Ο υπολογισμός της δυναμικής διόρθωσης στα σειсмоγράμματα διάταξης κοινού ενδιαμέσου σημείου γίνεται με τον ίδιο τρόπο τόσο στις οριζόντιες όσο και στις κεκλιμένες διαχωριστικές επιφάνειες. Όταν όμως η ανάκλαση προέρχεται από οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια, η ταχύτητα V_{NMO} ισούται με τη μέση τετραγωνική ταχύτητα.

Μετά τη δυναμική διόρθωση και την άθροιση των σειсмоγραμμάτων, έχουμε τόσο ενίσχυση των πλατών των ανακλώμενων κυμάτων όσο και μείωση του όγκου των δεδομένων κατά το ποσό της υπεδαφικής κάλυψης. Τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου αθροιζόμενα δημιουργούν τη σεισμική τομή υπέρθεσης.

3.17 Σεισμική υπέρθεση (stacking)

Σεισμική υπέρθεση (stacking) ονομάζεται η άθροιση των σειсмоγραμμάτων που έχουν κοινό ενδιαμέσο σημείο (common midpoint, CMP) μεταξύ σεισμικής πηγής και γεωφώνου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

Κατά τη διαδικασία αυτή συλλέγονται τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP sorting), εφαρμόζεται σ'αυτά δυναμική διόρθωση και στη συνέχεια αθροίζονται (CMP stacking). Το σεισμόγραμμα που θα προκύψει για κάθε διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου, χρειάζεται λιγότερο χώρο για να αποθηκευτεί σε μαγνητικό μέσο.

Πριν την υπέρθεση είναι απαραίτητος ο λεπτομερής καθορισμός των ταχυτήτων διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στα υπό μελέτη γεωλογικά στρώματα. Αυτό απαιτείται τόσο για τον ακριβή υπολογισμό των διορθώσεων, όσο και για διάφορους άλλους σκοπούς όπως είναι ο μετασχηματισμός του χρόνου διαδρομής σε βάθος αλλά και η σεισμική χωροθέτηση (migration).

Όταν η στρωμάτωση είναι οριζόντια και επίπεδη, η τομή υπέρθεσης μοιάζει με τη γεωλογική τομή. Για πολύπλοκη όμως γεωλογική δομή η αντίστοιχη τομή μπορεί να φαίνεται διαφορετική από τη σεισμική. Το πρόβλημα εντοπίζεται στο ότι ενώ η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετη στον ανακλαστήρα, η ίδια ακτίνα στην τομή υπέρθεσης σχεδιάζεται κάτω από το σημείο πηγής-γεωφώνου.

Η υπέρθεση πραγματοποιείται στα δεδομένα που έχουν προκύψει από διαδοχικά πειράματα στα οποία η πηγή (shotpoint) και τα γεώφωνα μετακινούνται κατά μήκος της γραμμής μελέτης διατηρώντας τις σχετικές αποστάσεις μεταξύ τους σταθερές. Η σεισμική τομή υπέρθεσης (stacked seismic section) που προκύπτει από την άθροιση των σειсмоγραμμάτων είναι σημαντική γιατί δίνει μία χαρτογράφηση της δομής του υπεδάφους χωρίς να υπάρχει καμία προηγούμενη γνώση γι' αυτήν. Οι κυριότεροι στόχοι της υπέρθεσης είναι:

- Η επιπλέον αύξηση του σήματος σε σχέση με το συναφή και τυχαίο θόρυβο.
- Η επιπλέον βελτίωση του αρχικού σήματος σε σχέση με τις πολλαπλές ανακλάσεις οι οποίες εξασθενούν με τη διαδικασία αυτή.
- Η μείωση του όγκου των σεισμικών δεδομένων. Όταν αθροίζουμε N-απλά δεδομένα μειώνουμε κατά ένα συντελεστή N τον αριθμό των ιχνών που χρειάζονται μετέπειτα επεξεργασία. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για θαλάσσιες διατάξεις οι οποίες αρκετά συχνά είναι μεγαλύτερες απ'αυτή της 48-απλής κάλυψης.
- Επιτρέπει την εμφάνιση των ιχνών σε μία μορφή που μοιάζει με αυτή της μηδενικής απόστασης πηγής-γεωφώνου (normal-incidence section).

3.17.1 Υπέρθεση μέσου πλάτους (mean-amplitude stack)

Στην “υπέρθεση μέσου πλάτους” (mean-amplitude stack), το παραγόμενο ίχνος είναι ένας στατιστικός μέσος όρος των επιμέρους ιχνών. Στην ουσία προσθέτονται όλες οι τιμές των δειγμάτων στο δοσμένο χρόνο και στη συνέχεια διαιρούνται με τον αριθμό των ιχνών.

Πρόκειται για την πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μορφή υπέρθεσης η οποία εξασφαλίζει με το ελάχιστο δυνατό κόστος το τελικό επιδιωκόμενο αποτέλεσμα, ενώ είναι εξαιρετικά χρήσιμη και αποδοτική για μικρές γωνίες πρόσπτωσης. Βελτιώνει ακόμα το λόγο σήματος προς θόρυβο κατά ένα παράγοντα ίσο με την τετραγωνική ρίζα του αριθμού των ιχνών.

Στην περίπτωση κεκλιμένης επιφάνειας ανάκλασης, η οποία όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο δίνει κλίσεις που δεν προέρχονται από ένα μόνο σημείο αλλά από μια περιοχή, προτιμότερη είναι μία τμηματική χωροθέτηση πριν την άθροιση.

3.18 Ιστορική εξέλιξη των μεθόδων σεισμικής χωροθέτησης

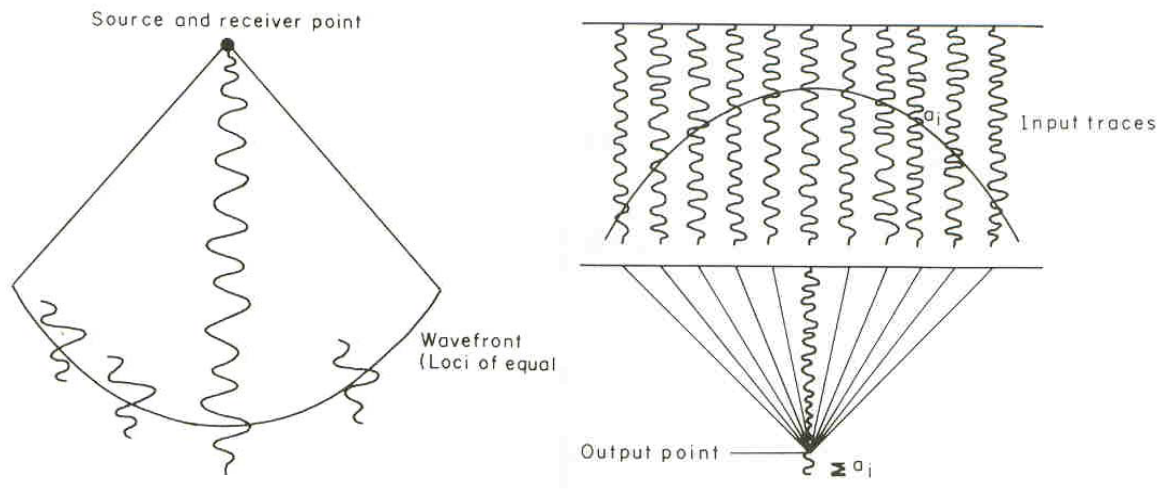
Οι πρώτες εφαρμογές για τη μέθοδο της σεισμικής χωροθέτησης πραγματοποιήθηκαν γραφικά. Για το σκοπό αυτό έγινε είτε χρήση μετώπου κύματος (σχ.3.10 αριστερά) είτε κατασκευή διαγράμματος μέγιστης κυρτότητας (μέθοδος περίθλασης, diffraction method) (σχ.3.10.δεξιά). Μια επόμενη μέθοδος προτάθηκε από τους Claerbout και Doherty (1972) σύμφωνα με την οποία, η σεισμική τομή απεικονίζεται από το κυματικό πεδίο στην επιφάνεια της γης. Το πεδίο αυτό δημιουργείται με βάση το μοντέλο στο οποίο οι σεισμικές πηγές τοποθετούνται στον ανακλαστήρα.

Το 1978 ο Stolt προτείνει τη χωροθέτηση με μετασχηματισμό Fourier (migration by Fourier transform). Στη μέθοδο αυτή που απαιτεί λιγότερο χρόνο, τα δεδομένα μετασχηματίζονται από το χώρο χρόνου-απόστασης στο χώρο συχνότητας-κυματαριθμού. Την ίδια χρονιά ο Gazdag αναφέρει τη μέθοδο χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων (phase-shift migration). Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στην αρχή ότι η προς τα κάτω συνέχεια του κυματικού πεδίου προκαλεί αλλαγή της φάσης. Λίγο αργότερα ο Claerbout (1985) χρησιμοποιεί τις μεθόδους των πεπερασμένων διαφορών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επίλυση της εξίσωσης του προς τα κάτω

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

διαδιδόμενου κυματικού πεδίου. Στην περίπτωση αυτή, απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί δειγματοληψίας και υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις μνήμης για την αποθήκευση των στοιχείων.

Οι μέθοδοι χωροθέτησης με μετασχηματισμό Fourier και χωροθέτησης στο χώρο των συχνοτήτων, τροποποιήθηκαν τα επόμενα χρόνια (Stolt and Benson 1986) λαμβάνοντας υπόψιν και τις μεταβολές της ταχύτητας.



Σχήμα 3.10: Μέθοδοι σεισμικής χωροθέτησης. Αριστερά φαίνεται η χρήση μετώπου κύματος και δεξιά η κατασκευή διαγράμματος μέγιστης κυρτότητας (Robinson, 1983).

3.18.1 Σεισμική χωροθέτηση (migration)

Σκοπός της σεισμικής χωροθέτησης είναι η ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση (dipping seismic events) σε μία τομή υπέρθεσης. Είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο, οι ορίζοντες που εμφανίζονται σε μία τέτοια τομή να παρουσιάζουν μικρότερη κλίση και μεγαλύτερο μήκος σε σχέση με τους αντίστοιχους ορίζοντες στη γεωλογική τομή (Yilmaz, 1987). Η χωροθέτηση καθιστά τη σεισμική τομή συγκρίσιμη με την αντίστοιχη γεωλογική.

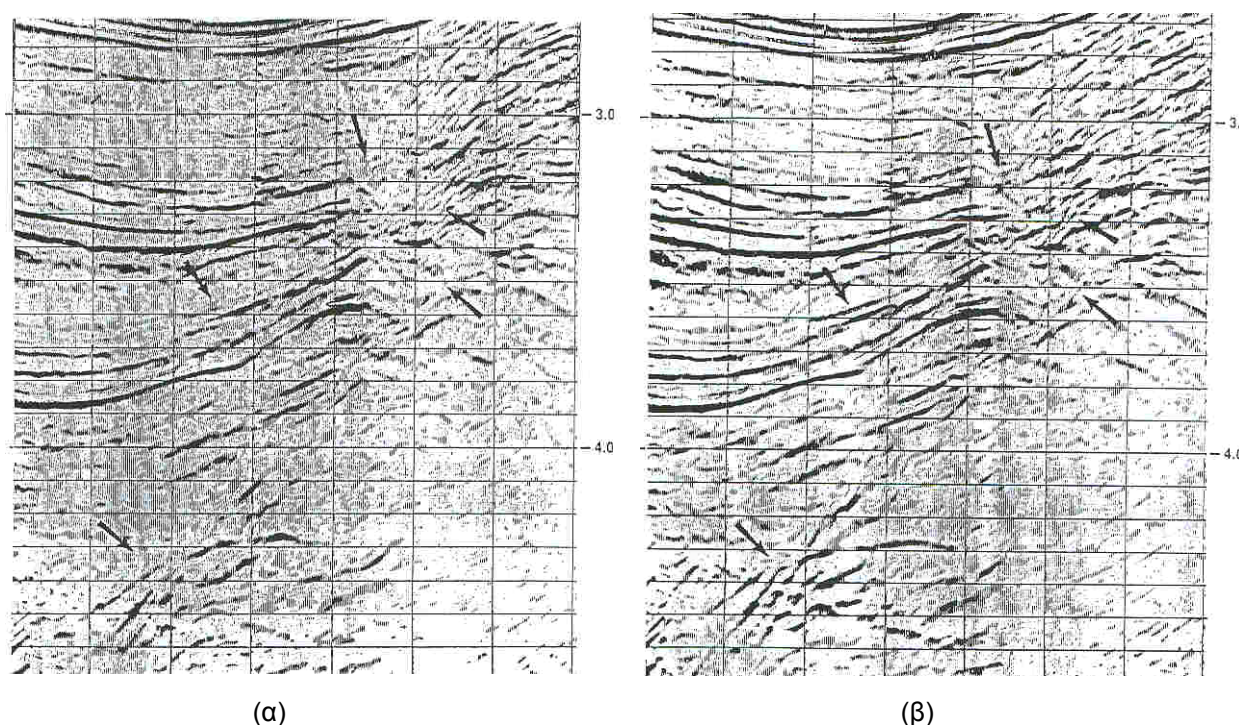
Το πρόβλημα της χωροθέτησης είναι αρκετά πολύπλοκο και απαιτεί πολλούς υπολογισμούς. Η διαδικασία όμως αυτή θεωρείται σήμερα αναντικατάστατη στην αλυσίδα επεξεργασίας σημάτων, αφού συμβάλλει στη βελτίωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας της σεισμικής τομής.

Συνήθως δεν υπάρχει ταχύτητα που να χωροθετεί όλα τα γεγονότα σωστά. Στις περιπτώσεις αυτές και όταν υπάρχουν πλευρικές μεταβολές ταχυτήτων, μια ακολουθία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

από συναρτήσεις ταχυτήτων χωροθέτησης χρησιμοποιείται μέχρι να επιτευχθεί αποδεκτή χωροθέτηση.

Η σεισμική χωροθέτηση εφαρμόζεται σαν τελευταίο στάδιο μετά τη σεισμική υπέρθεση, εφόσον αυτή έχει εξασφαλίσει καλύτερο λόγο σήματος προς θόρυβο. Δεν αποκλείεται όμως η εφαρμογή της και πριν την υπέρθεση. Αυτό συμβαίνει σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και δύσκολη γεωλογία καθώς η υπέρθεση εξομαλύνει και κάποιες φορές καταστρέφει αρκετές πληροφορίες ανάκλασης όπως έδειξαν οι Schultz, Sherwood (1980) και Hatton et al. (1981) (σχ.3.11.α&β). Όταν η χωροθέτηση χρησιμοποιείται πριν την υπέρθεση υπάρχει ανάγκη για μεγαλύτερο υπολογιστικό χρόνο.



Σχήμα 3.11: Εφαρμογή χωροθέτησης στην ίδια περιοχή α) μετά την υπέρθεση, β) πριν την υπέρθεση όπου παρατηρείται βελτίωση των αποτελεσμάτων (Γεωργιλιά, 1998).

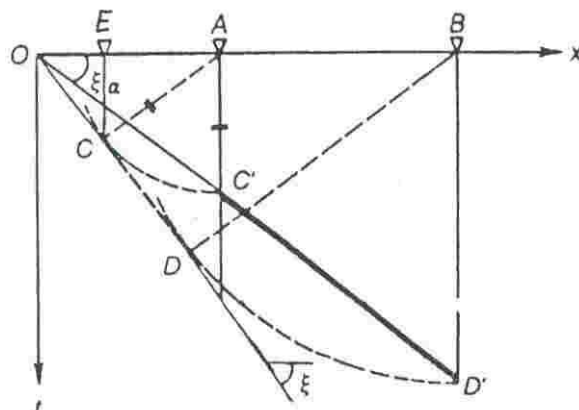
Η σεισμική χωροθέτηση τέλος, βελτιώνει τις τομές υπέρθεσης που προέρχονται από περιοχές με ρήγματα. Κατά την πρόσπτωση των ελαστικών κυμάτων στα άκρα ρηγματωμένων στρωμάτων, εμφανίζεται το φαινόμενο της περίθλασης. Η σεισμική χωροθέτηση επανατοποθετεί όλες τις αφίξεις που προέρχονται από περίθλαση στη σωστή τους θέση επιτυγχάνοντας έτσι ακριβέστερη εικόνα των τεκτονικά ρηγματωμένων περιοχών.

3.18.2 Σεισμική χωροθέτηση από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια

Στην περίπτωση που τα ανακλώμενα κύματα προέρχονται από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια, η σεισμική χωροθέτηση πραγματοποιείται με την ακόλουθη μέθοδο.

Έστω A και B δύο κοινά ενδιάμεσα σημεία σεισμικής τομής υπέρθεσης στην επιφάνεια της γής (σχήμα 3.12). Για τα σημεία αυτά έχουν προκύψει σειсмоγράμματα κατακόρυφης διάδοσης και είναι γνωστοί οι χρόνοι διαδρομής των ανακλώμενων κυμάτων στη διαχωριστική επιφάνεια C'D'. Συνήθως η χαρτογράφηση του ανακλαστήρα πραγματοποιείται υπολογίζοντας το βάθος αυτού ακριβώς κάτω από κάθε κοινό ενδιάμεσο σημείο. Αυτό όμως οδηγεί σε λανθασμένα συμπεράσματα σχετικά με το βάθος ταφής και την κλίση της διαχωριστικής επιφάνειας, αφού η πραγματική πορεία των σεισμικών ακτίνων δεν είναι κατακόρυφη αλλά κάθετη στη διαχωριστική επιφάνεια. Με βάση το γεγονός αυτό, είναι δυνατό να γίνει σωστή τοποθέτηση των σεισμικών ανακλάσεων, εάν από τα σημεία A και B σχεδιάσουμε περιφέρειες ακτίνας AC και BD αντίστοιχα και φέρουμε την κοινή εφαπτομένη των δύο περιφερειών που θα είναι η κεκλιμένη επιφάνεια.

Η σεισμική χωροθέτηση διορθώνει τις θέσεις των κεκλιμένων ανακλαστικών επιφανειών μετακινώντας τους ανακλαστήρες σε ρηχότερα σημεία. Η μέθοδος αυτή η οποία σήμερα έχει αντικατασταθεί από τεχνικές μεγαλύτερης ακρίβειας, δίνει καλά αποτελέσματα όταν κάθε ανακλαστήρας εμφανίζει μικρή και παρόμοια κλίση και σε κάθε γεώφωνο καταγράφεται μόνο το ανακλώμενο κύμα.



Σχήμα 3.12:
χωροθέτηση, θα
πραγματική επιφ

οποιηθεί η σεισμική
επιφάνεια C'D' και όχι η

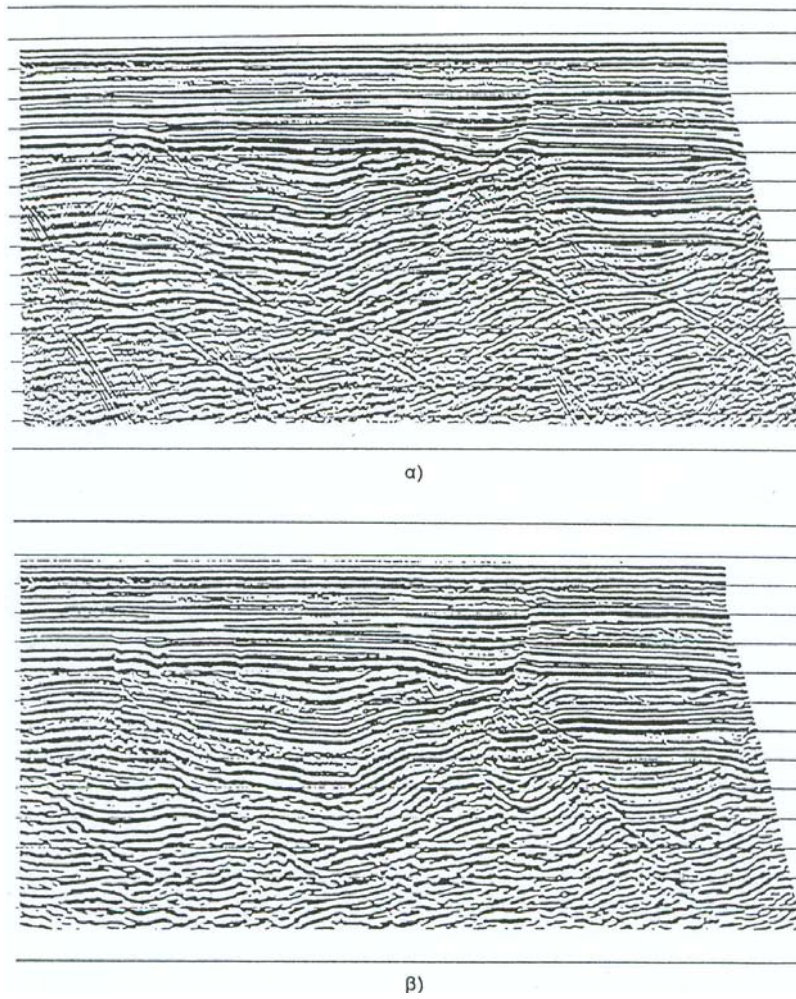
3.18.3 Μορφές σεισμικής χωροθέτησης και διαδρομή των σεισμικών κυμάτων στη χωροθέτηση

Διακρίνονται δύο είδη σεισμικής χωροθέτησης όσον αφορά τη μορφή της σεισμικής τομής που παράγεται. Αυτά είναι η χρονική σεισμική χωροθέτηση (time migration) και η σεισμική χωροθέτηση βάθους (depth migration). Στην πρώτη περίπτωση, η χωροθέτηση παράγει σεισμική τομή σε συνάρτηση με το χρόνο και συνιστάται σε περιπτώσεις όπου οι πλευρικές μεταβολές της ταχύτητας δεν είναι έντονες. Όταν οι μεταβολές αυτές είναι έντονες, όπως συμβαίνει για παράδειγμα σε περιοχές διαπειρισμού, προτιμότερη είναι η χωροθέτηση βάθους.

Ιδανική περίπτωση σεισμικής χωροθέτησης θεωρείται αυτή που δίνει σεισμική τομή σε συνάρτηση με το βάθος. Συνήθως όμως η απεικόνιση γίνεται στην κλίμακα του χρόνου και αυτό συμβαίνει επειδή στη χωροθέτηση βάθους απαιτείται περισσότερος χρόνος και υπάρχει περιορισμένη ακρίβεια στον προσδιορισμό των ταχυτήτων. Ακόμα ελέγχεται η αξιοπιστία των τομών χωροθέτησης με τα δεδομένα πριν από αυτή γεγονός που απαιτεί οι τομές να απεικονίζονται στην κλίμακα του χρόνου. Στο σχήμα 3.13 παρατηρείται μετακίνηση των ανακλαστήρων από τις φαινόμενες θέσεις τους στις πραγματικές, έπειτα από εφαρμογή της χρονικής σεισμικής χωροθέτησης.

Κατά τη χωροθέτηση σεισμικής τομής υπέρθεσης, η πηγή και το γεώφωνο συμπίπτουν και μπορούν να γίνουν δύο υποθέσεις για τη διαδρομή των κυμάτων. Σύμφωνα με την πρώτη, τα καταγραφόμενα κύματα ακολουθούν διαδρομές (raypaths) κάθετης πρόπτωσης προς τους ανακλαστήρες, ενώ στη δεύτερη υπόθεση οι πηγές βρίσκονται τοποθετημένες κατά μήκος του ανακλαστήρα (Loewenthal et al., 1976) και οι δέκτες στην επιφάνεια στα κοινά ενδιάμεσα σημεία κατά μήκος της γραμμής. Οι πηγές εκτονώνονται ταυτόχρονα και τα κύματα διαδίδονται προς τα πάνω. Στην πρώτη περίπτωση γίνεται καταγραφή του διπλού χρόνου διαδρομής (two way traveltime) από την επιφάνεια στον ανακλαστήρα και πάλι πίσω, ενώ στη δεύτερη περίπτωση καταγράφεται ο απλός χρόνος διαδρομής των κυμάτων (one way traveltime) από τον ανακλαστήρα στην επιφάνεια. Για να γίνουν οι δύο τομές συγκρίσιμες, θεωρείται για το μοντέλο στο οποίο οι σεισμικές πηγές τοποθετούνται στον ανακλαστήρα ότι η ταχύτητα διάδοσης στο μέσο είναι το μισό της πραγματικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΕΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχήμα 3.13: Σεισμική τομή α) μη χωροθετημένη, β) εφαρμογή χρονικής σεισμικής χωροθέτησης (Γεωργιλά, 1998).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

4.1 Λίγα λόγια για το πρόγραμμα επεξεργασίας

Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων σχεδιάστηκε από την Advanced Geophysical Corporation και ονομάζεται PROMAX 2D. Το λογισμικό αυτό πακέτο εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1989 και θεωρείται ένα από τα καλύτερα προγράμματα επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων. Οι δυνατότητες που έχει είναι να επεξεργάζεται σεισμικά δεδομένα δύο διαστάσεων (2D), να κάνει παράλληλη επεξεργασία και αμφίδρομη ανάλυση αυτών, αλλά και να δίνει γραφικά υψηλής διακριτικής ικανότητας (ασπρόμαυρα και έγχρωμα). Η χρήση του γίνεται κυρίως από εταιρείες πετρελαίου.

Το PROMAX 2D είναι εγκατεστημένο στο εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής του Πολυτεχνείου Κρήτης, σε υπολογιστή SUN SPARCstation ULTRA με μνήμη 128 MB και 2 σκληρούς δίσκους 8 GB. Η εισαγωγή/εξαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα μπορεί να γίνει είτε απευθείας στο σκληρό δίσκο (disk-based) ή από ταινία (tape to tape).

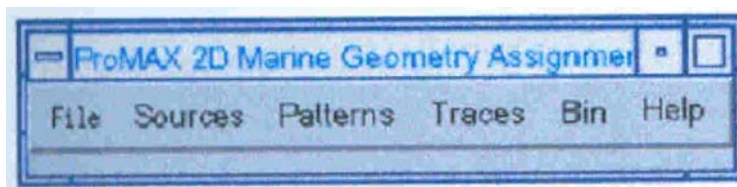
Εκτός από το παραπάνω πακέτο, υπάρχει και το PROMAX 3D το οποίο έχει δυνατότητα επεξεργασίας σεισμικών δεδομένων τριών διαστάσεων (3D), καθώς και το PROMAX VSP το οποίο επεξεργάζεται σεισμικά δεδομένα από γεωτρήσεις.

Για τη λειτουργία του PROMAX 2D δημιουργούνται τρία παράθυρα σ' αυτό. Πρόκειται για την περιοχή (area), τη γραμμή (line) και το πρόγραμμα ροής (processing flow). Η επεξεργασία των δεδομένων βασίζεται στη δημιουργία και εκτέλεση προγραμμάτων ροής τα οποία αποτελούνται από επιμέρους εργασίες. Σε κάθε τέτοια εργασία επιλέγονται οι παράμετροι. Ένα τυπικό πρόγραμμα ροής περιλαμβάνει τη διαδικασία εισαγωγής των δεδομένων (input process), την εμφάνιση αυτών στην οθόνη (display process) και τη διαδικασία εξαγωγή τους (output process).

4.2 Απόδοση της γεωμετρίας των παραμέτρων καταγραφής για τα σεισμικά δεδομένα (2D Land Geometry Sreadsheet)

Σ' αυτό το πρόγραμμα ροής περιγράφεται η γεωμετρία του πειράματος και ακολουθεί η αποθήκευση αυτής στη βάση δεδομένων. Η διαδικασία απόδοσης της γεωμετρίας προηγείται της ταξινόμησης των ομάδων (sorting) των σεισμικών ιχνών (seismic traces) ή αλλιώς σειсмоγραμμάτων κοινής πηγής, σε ομάδες καταγραφών κοινού σημείου βάθους (CDP gathers).

Για την πραγματοποίηση της παραπάνω ταξινόμησης, ορίζονται οι παράμετροι που σχετίζονται με τις θέσεις των υδροφώνων και της σεισμικής πηγής και ακολουθεί η αποθήκευση αυτών στο πρόγραμμα μέσω της εντολής 2D Marine Geometry Sreadsheet. Πρόκειται για το σημαντικότερο από τα στάδια επεξεργασίας των σεισμικών δεδομένων, αφού οι διαδικασίες που θα ακολουθήσουν μέσα στο πρόγραμμα εξαρτώνται από τη σωστή επιλογή των παραμέτρων που σχετίζονται με τη γεωμετρία της γραμμής μελέτης. Ο καθορισμός της γεωμετρίας για τα θαλάσσια σεισμικά (2D Marine Geometry Spreadsheet), πραγματοποιείται από ανεξάρτητο εργαλείο του πακέτου PROMAX.



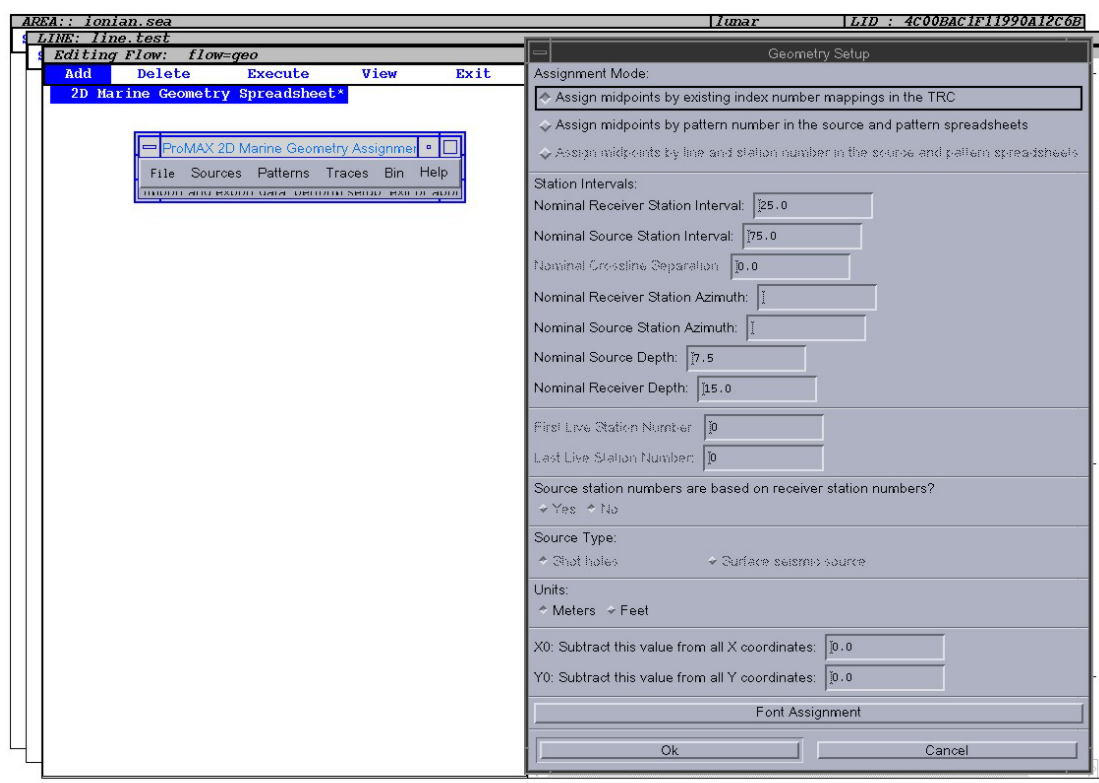
Σχήμα 4.1: Ενεργοποίηση της εντολής “2D Marine Geometry Spreadsheet” (Κόκκινου 2002)

Με την εκτέλεση της εντολής αυτής, εμφανίζεται στην οθόνη το “παράθυρο” του σχήματος 4.1 και ακολουθεί η καταχώρηση των παραμέτρων από το χρήστη. Η καταχώρηση ξεκινάει με την περιγραφή της σεισμικής γραμμής (setup) ενεργοποιώντας το μενού “file” (αρχείο) (σχήμα 4.2). Οι παράμετροι που τοποθετούνται εδώ είναι οι παρακάτω:

- Η γεωμετρία του πειράματος σύμφωνα με το σχέδιο που θα δοθεί στη συνέχεια (Assign midpoints by pattern number in the source and pattern spreadsheets).
- Οι ισαποστάσεις μεταξύ των υδροφώνων (Nominal receiver station interval) και των πηγών (Nominal source station interval) που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 25 και 75 m αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

- Το αζιμούθιο της γραμμής έρευνας (Nominal receiver station azimuth, Nominal source station azimuth).
- Το βάθος της πηγής (Nominal source depth) και των υδροφώνων (Nominal receiver depth), 7.5 και 15 m αντίστοιχα για τη γραμμή μελέτης.
- Ο πρώτος (First live station number) και ο τελευταίος ενεργός αριθμός (Last live station number) του σεισμικού μας αναπτύγματος.
- Αν η πηγή είναι επιφανειακή (Surface seismic source) ή σε γεώτρηση (Shot holes).
- Η επιλογή του συστήματος μονάδων (Meters-Feet).
- Οι συντεταγμένες X και Y των πηγών και των υδροφώνων.



Σχήμα 4.2: Καθορισμός της γεωμετρίας του πειράματος (Κόκκινου 2002).

Στη συνέχεια ενεργοποιείται το εικονίδιο “sources” (κατανομή των πηγών) όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3 και σ’ αυτό καταχωρούνται τα εξής:

- Η αρίθμηση των πηγών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πραγματοποίηση του πειράματος ανάκλασης (Mark block).
- Ο αριθμός της κάθε πηγής (Source).
- Οι συντεταγμένες της πηγής ως προς σύστημα αναφοράς. Αναφέρονται η οριζόντια απόσταση (X) και η υψομετρική διαφορά (Y).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

- Ο διπλός χρόνος διαδρομής που αντιστοιχεί στον πυθμένα της θάλασσας (H₂O depth).
- Το βάθος της πηγής (Src depth) που στη γραμμή μελέτης είναι 7.5 m.
- Ο κωδικός αριθμός πεδίου (FFID).
- Το αζιμούθιο της γραμμής μελέτης (Strmer Azmth).

Τα υπόλοιπα στοιχεία που περιλαμβάνει ο πίνακας όπως είναι ο χρόνος, η ημερομηνία κ.τ.λ. θεωρούνται δευτερεύοντα και δεν αναφέρονται εδώ.

Mark Block	Source	Station	X	Y	H2O Depth	Src Depth	FFID	Strmr Azmth	Time
1	1	1	0,0	0,0	4240,0	7,5	101	270,0	
2	2	2	75,0	0,0	4240,0	7,5	102	270,0	
3	3	3	150,0	0,0	4240,0	7,5	103	270,0	
4	4	4	225,0	0,0	4240,0	7,5	104	270,0	
5	5	5	300,0	0,0	4248,0	7,5	105	270,0	
6	6	6	375,0	0,0	4248,0	7,5	106	270,0	
7	7	7	450,0	0,0	4256,0	7,5	107	270,0	
8	8	8	525,0	0,0	4256,0	7,5	108	270,0	
9	9	9	600,0	0,0	4264,0	7,5	109	270,0	
10	10	10	675,0	0,0	4272,0	7,5	110	270,0	
11	11	11	750,0	0,0	4280,0	7,5	111	270,0	

Mark Block	Chan From	Chan To	Src Pattern	Grp Int	X Offset	Y Offset
1			1		0,0	0,0
2	1	180		25,0	180,0	0,0
3					0,0	0,0
4					0,0	0,0
5					0,0	0,0
6					0,0	0,0
7					0,0	0,0
8					0,0	0,0
9					0,0	0,0
10					0,0	0,0
11					0,0	0,0

Σχήμα 4.3: Η ταξινόμηση των πηγών και των στοιχείων που τις αφορούν (Κόκκινου 2002).

Ακολουθεί η ενεργοποίηση του εικονιδίου “patterns” (σχέδιο) στο οποίο περιγράφεται η διάταξη των υδροφώνων (σχήμα 4.3). Στη συγκεκριμένη περίπτωση η καταγραφή γινόταν από το κανάλι 1 προς το κανάλι 180, με ισαπόσταση υδροφώνων 25 m και ελάχιστη απόσταση πηγής πρώτου υδροφώνου 180 m. Κατά τη διάρκεια της εισαγωγής των στοιχείων, ο αριθμός των υδροφώνων για κάθε έκρηξη παραμένει σταθερός.

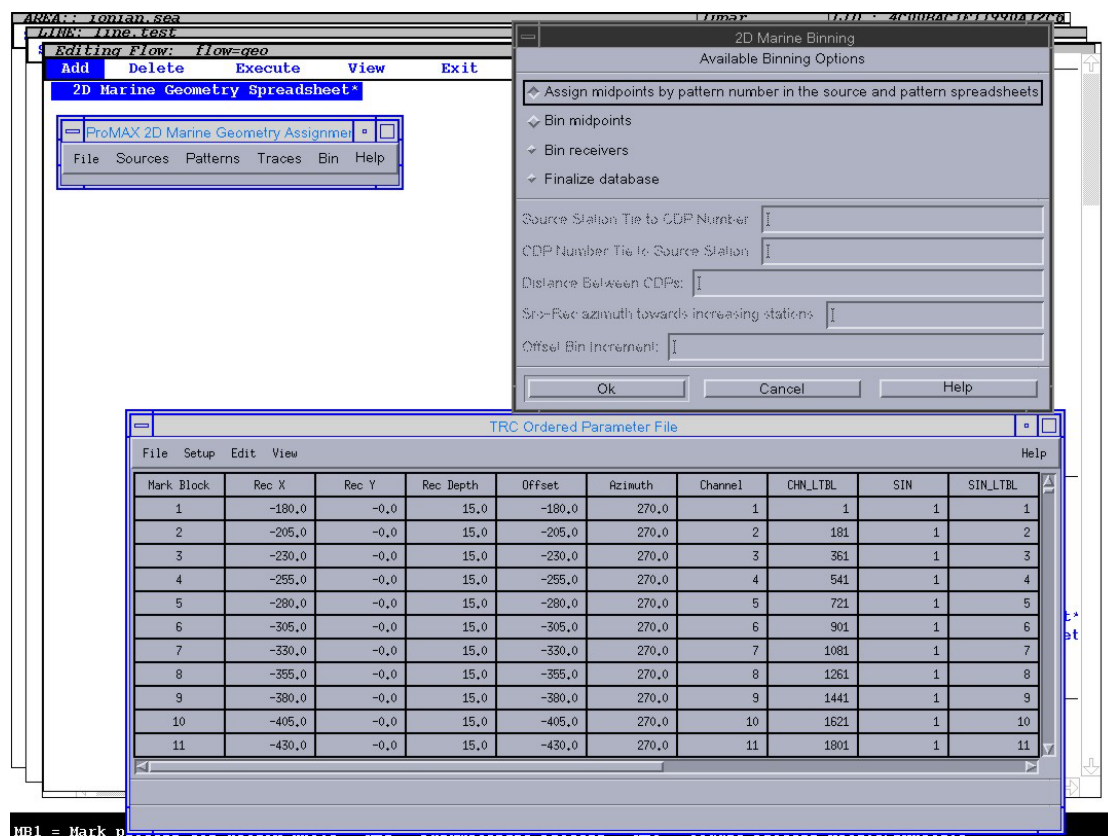
Αφού αποθηκευτεί και το σχέδιο του πειράματος, από το μενού “bin” δημιουργείται η βάση δεδομένων που περιέχει όλες τις πληροφορίες για κάθε υδρόφωνο χωριστά. Το σημαντικότερο στοιχείο που ζητείται εδώ είναι η απόσταση

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

μεταξύ διαδοχικών κοινών σημείων βάθους, η οποία στη γραμμή μελέτης είναι 12.5 m. Με τον τρόπο αυτό όπως διαπιστώνεται από το σχήμα 4.4, δημιουργείται η βάση δεδομένων για το πείραμα η οποία περιέχει τα παρακάτω στοιχεία:

- Για κάθε υδρόφωνο δίνονται οι συντεταγμένες αυτού (RECX, RECY), το βάθος (REC depth) και η απόσταση από την πηγή (offset).
- Ο χαρακτηριστικός αριθμός πηγής (SIN) κ.λ.π.

Τα στοιχεία αυτά θα καταχωρηθούν αυτόματα και θα χρησιμοποιηθούν στο αμέσως επόμενο εικονίδιο που είναι το “traces”.



Σχήμα 4.4: Η βάση δεδομένων για το συγκεκριμένο πείραμα (Κόκκινου 2002).

Η παραπάνω διαδικασία γίνεται με τη δυνατότητα που έχει το πρόγραμμα να εισάγει κάθε πληροφορία για τις πηγές και τα υδρόφωνα από τα αρχεία ASCII. Με τον τρόπο αυτό συμπληρώνονται αυτόματα οι συντεταγμένες των κοινών σημείων βάθους και των κοινών ενδιαμέσων σημείων για όλα τα ίχνη των καταγραφών, καθώς και οι ακριβείς οριζόντιες αποστάσεις κάθε σεισμικού ίχνους από την αντίστοιχη σεισμική πηγή.

4.3 Εισαγωγή των καταγραφών (SEG-Y Input)

Το πρώτο και βασικότερο βήμα μετά την καταχώρηση της γεωμετρίας, είναι η σωστή ανάγνωση των καταγραφών. Η ανάγνωση σε ομάδες κοινής πηγής όπως κατεγράφησαν κατά την πραγματοποίηση του πειράματος, εξασφαλίζεται με την εντολή “SEG-Y input”.

Αφού ολοκληρωθεί επιτυχώς η παραπάνω ανάγνωση και διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στα δεδομένα, γίνεται η αποθήκευση αυτών και πάλι σε μορφή SEG-Y με σκοπό να καλούνται κάθε φορά που αυτό θεωρείται απαραίτητο. Ταυτόχρονα με την αποθήκευση πραγματοποιείται και ο πρώτος έλεγχος για τον εντοπισμό των πολλαπλών και πλευρικών ανακλάσεων καθώς και του συναφούς θορύβου. Σημειώνονται επίσης οι χρόνοι που εμφανίζονται οι πολλαπλές ανακλάσεις με σκοπό να αποφεύγονται κατά την ανάλυση ταχύτητας.

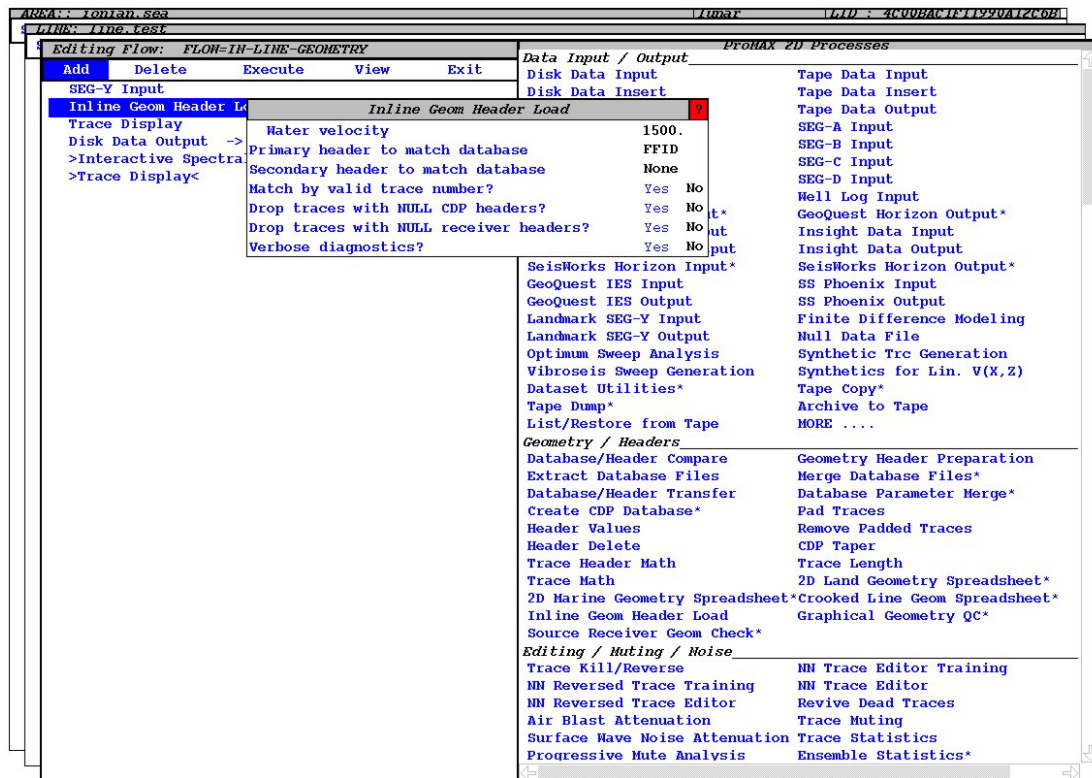
Οι σημαντικότερες παράμετροι της εντολής αυτής, είναι ο καθορισμός του χώρου από τον οποίο θα διαβάσει το πρόγραμμα τα δεδομένα, καθώς και το επιθυμητό διάστημα δειγματοληψίας αυτών (σε ms) όπως εκείνο ορίστηκε στη θαλάσσια καταγραφή. Ζητείται ακόμη ο μέγιστος χρόνος καταγραφής (σε ms). Καθορίζονται η κύρια και η δευτερεύουσα επικεφαλίδα για την ανάγνωση των σεισμικών δεδομένων και γίνεται η επιλογή του αρχείου αποθήκευσης αυτών. Τέλος, ορίζεται αν η αρίθμηση των καναλιών θα γίνει από τις επικεφαλίδες του SEG-Y αρχείου και εισάγονται τα κανάλια που θα διαβαστούν.

4.4 Εισαγωγή της γεωμετρίας (Inline Geometry Header Load)

Μετά την αποθήκευση των στοιχείων της γεωμετρίας του πειράματος, ακολουθεί η μεταφορά αυτής από τη βάση δεδομένων στις επικεφαλίδες των σειсмоγραμμάτων και ελέγχεται η ορθότητά της. Η ενεργοποίηση της εντολής αυτής γίνεται ταυτόχρονα με την εντολή “SEG-Y input” και θεωρείται απαραίτητη για την απόδοση της γεωμετρίας στα σεισμικά δεδομένα. Εκτελώντάς την, μεταβιβάζονται αυτόματα όλες οι πληροφορίες της γεωμετρίας του πειράματος, από τη βάση δεδομένων σε επικεφαλίδες των ομάδων σειсмоγραμμάτων κοινής πηγής (trace headers). Η διαδικασία χρησιμοποιεί δύο ή τρεις επικεφαλίδες σειсмоγραμμάτων και τις συνδυάζει με τις αντίστοιχες παραμέτρους από τη βάση δεδομένων. Αν ο συνδυασμός είναι σωστός, οι πληροφορίες δεδομένων μεταβιβάζονται στις επικεφαλίδες ενώ στην

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

περίπτωση λανθασμένου συνδυασμού, τα σειсмоγράμματα δεν γίνονται εμφανή στην οθόνη.



Σχήμα 4.5: Μεταφορά της γεωμετρίας από τη βάση δεδομένων στις επικεφαλίδες καταγραφών κοινής πηγής (Κόκκινου 2002).

Στις παραμέτρους της διαδικασίας “In line geometry header load” καταχωρούνται τα παρακάτω όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.5:

- Η ταχύτητα των κυμάτων στο νερό (Water velocity), η οποία θεωρήθηκε ίση με 1500 m/s.
- Η πρωτεύουσα επικεφαλίδα για την ταύτιση των δεδομένων, η οποία διαβάζεται με τη γεωμετρία από τη βάση δεδομένων (Primary header to match database). Ως πρωτεύουσα επικεφαλίδα ορίστηκε ο κωδικός αριθμός του πεδίου (FFID).
- Η δευτερεύουσα επικεφαλίδα για την ταύτιση των δεδομένων (Secondary header to match database) η οποία δεν ορίστηκε.
- Η ταύτιση σύμφωνα με τον αριθμό του σεισμικού ίχνους (Match by valid trace number) που ορίζεται κατά την ανάγνωση με το SEG-Y input.
- Η απόρριψη των σεισμικών ιχνών με μηδενικές επικεφαλίδες για τα CDPs.
- Η απόρριψη των σεισμικών ιχνών με μηδενικές επικεφαλίδες για τους δέκτες.
- Ο σχολιασμός για την ταύτιση που επιτεύχθηκε (Verbose diagnostics).

Μετά τον επιτυχή έλεγχο των επικεφαλίδων γίνεται η αποθήκευση των καταγραφών κοινής πηγής και η ταξινόμηση αυτών σε καταγραφές κοινού σημείου βάθους.

4.5 Εισαγωγή του αρχείου με τη γεωμετρία και τις καταγραφές (Disk Data Input)

Ενεργοποιώντας την εντολή “disk data input”, επιτυγχάνεται η ανάγνωση των σεισμικών δεδομένων στα οποία έχει αποδοθεί η γεωμετρία του πειράματος.

Μερικές από τις επιλογές της εντολής αυτής, είναι από που θα διαβαστούν τα αρχεία των δεδομένων, ο χώρος που θα γίνει η ταξινόμηση των ιχνών, καθώς και ο τρόπος που θα ταξινομηθεί το κάθε κανάλι κάνοντας χρήση κύριας και δευτερεύουσας επικεφαλίδας εισόδου. Επιλέχθηκε επίσης η θέση του κοινού σημείου ανάκλασης σαν κύρια επικεφαλίδα εισόδου έτσι ώστε το κάθε κανάλι να ταξινομηθεί ανάλογα με τον αριθμό του CDP. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα αλλαγής του διαστήματος δειγματοληψίας και καθορισμού του τρόπου με τον οποίο θα διαβαστούν τα σειсмоγράμματα.

4.6 Εγγραφή του αρχείου με τη γεωμετρία και τα δεδομένα (Disk Data Output)

Με την εντολή αυτή τα σειсмоγράμματα γράφονται στο δίσκο είτε με τη μορφή 32 - bit, είτε με τη συμπιεσμένη μορφή 2 - byte integer 16 - bit.

Εδώ έγινε επιλογή νέου αρχείου για την αποθήκευση των σεισμικών δεδομένων στα οποία έχει αποδοθεί η γεωμετρία του πειράματος. Καταχωρήθηκε επίσης το μήκος της καταγραφής όπως αυτό ορίστηκε στην ύπαιθρο (σε ms) και επιλέχθηκε η μορφή και ο δίσκος αποθήκευσης των δεδομένων.

4.7 Απεικόνιση των ιχνών (Trace Display)

Η εμφάνιση των ιχνών στην οθόνη του Η/Υ γίνεται με την ενεργοποίηση της εντολής “Trace Display”. Η εντολή αυτή έχει πολλές παραμέτρους με κατάλληλη επιλογή των οποίων είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί, καλύτερη διάκριση των καταγραφών, επιλογή κάποιων ανακλάσεων (picking) αλλά και μεγέθυνση κάποιου μέρους αυτών (zoom).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

Οι πιο σημαντικές από τις παραμέτρους, είναι ο καθορισμός του τρόπου εμφάνισης των σεισμικών ιχνών στην οθόνη (trace display mode), ο καθορισμός της πολικότητας των σεισμικών δεδομένων που εμφανίζονται (polarity of trace display). αλλά και η έγχρωμη εμφάνιση των καταγραφών ανάλογα με το πλάτος τους (save screens in color) Καθορίζονται ακόμα παράμετροι όπως είναι ο αριθμός των ιχνών που θα εμφανίζονται στην οθόνη κάθε φορά (maximum number of traces/screen), καθώς και η διαβάθμιση στους τόνους του γκρι για ασπρόμαυρη ή στους χρωματισμούς για έγχρωμη εμφάνιση (offset BIAS for variable area). Υπάρχει η επιπλέον δυνατότητα μη εμφάνισης των ιχνών με πολύ θόρυβο (trace excursion at which to clip), η αυτόματη αποθήκευση κάθε καινούριας εικόνας που εμφανίζεται στην οθόνη (automatically save screens), αλλά και η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου χρόνων διαδρομής και αποθήκευσής τους για χρήση σε μεταγενέστερα στάδια επεξεργασίας. Επιλέγονται ακόμα ο χώρος που θα σώζονται οι εικόνες που εμφανίζονται στην οθόνη, αλλά και ο μέγιστος αριθμός των εικόνων που θα σώζονται από την εντολή “trace display”. Τέλος, επιλέγονται παράμετροι που σχετίζονται με τις επικεφαλίδες των ιχνών.

Στην εικόνα 4.6 φαίνονται τα δεδομένα που εμφανίζονται στην οθόνη μετά την ενεργοποίηση της εντολής “trace display” και πριν να πραγματοποιηθεί οποιαδήποτε επεξεργασία σ’ αυτά.

4.8 Αποκοπή ιχνών (Trace Kill/Reverse)

Ενεργοποιώντας την εντολή “Trace Kill/Reverse”, επιτυγχάνεται η παύση των ιχνών που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα κανάλια στα οποία το επίπεδο του θορύβου είναι πολύ υψηλό.

Υπάρχει η δυνατότητα επιλογής των παραμέτρων της εντολής αυτής από τη βάση δεδομένων. Εναλλακτικά για να καθοριστούν τα προς διόρθωση ίχνη, επιλέγεται παράμετρος χαρακτηριστική κάθε ίχνους.

Στο σχήμα 4.7 εμφανίζονται τα δεδομένα του σχήματος 4.6 μετά την εφαρμογή της εντολής “Trace Kill/Reverse” και την παύση των ιχνών που πάρθηκαν από τα κανάλια 74, 115, 132, 171.

4.9 Αυτόματη ενίσχυση (Automatic Gain Control)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

Η αυτόματη ενίσχυση του πλάτους του σήματος πραγματοποιείται με την εκτέλεση της εντολής “Automatic Gain Control” (AGC). Σκοπός της εντολής αυτής είναι να συμβάλλει στην εξισορρόπηση του πλάτους για κάθε σεισμικό ίχνο. Η συνάρτηση που την περιγράφει εφαρμόζεται στα ίχνη των σεισμικών καταγραφών για συγκεκριμένο χρονικό “παράθυρο” (AGC time window) το μήκος του οποίου καθορίζεται από το χρήστη. Το χρονικό αυτό παράθυρο μετακινείται σε κάθε ίχνο και υπολογίζει το συντελεστή ενίσχυσης (scale factor) για κάθε χρονική στιγμή. Ο συντελεστής αυτός ισούται με τη μέση (mean) ή την ενδιάμεση (median) τιμή του πλάτους σε κάθε τέτοιο “παράθυρο”.

Για την αυτόματη ενίσχυση επιλέγεται η μέθοδος υπολογισμού της ενίσχυσης των πλατών για τα σεισμικά ίχνη και ακολουθεί η εισαγωγή του επιθυμητού χρονικού μήκους του παραθύρου της ενίσχυσης (ms), αλλά και η περιοχή εφαρμογής αυτής. Υπάρχει ακόμα η δυνατότητα αποκλεισμού από την ενίσχυση των σημείων με μηδενικά πλάτη (hard zeroes). τα οποία προκύπτουν συνήθως από διαδικασίες αποκοπής ανεπιθύμητων σεισμικών κυμάτων (trace muting) όπως είναι οι πρώτες αφίξεις (exclude hard zeroes).

Μετά από δοκιμές που έγιναν με σκοπό την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ευκρίνεια των εικόνων στα τελικά σειсмоγράμματα, επιλέχθηκε χρονικό παράθυρο μήκους 500 ms και ο συντελεστής ενίσχυσης να προκύπτει από τη μέση τιμή του πλάτους.

Στο σχήμα 4.8 εμφανίζονται τρεις ομάδες καταγραφών κοινού σημείου βάθους πριν την εφαρμογή του AGC. Στο σχήμα 4.9 φαίνεται η ίδια εικόνα μετά την εφαρμογή της αυτόματης ενίσχυσης του πλάτους. Στον οριζόντιο άξονα και για τα δύο σχήματα εμφανίζεται η αρίθμηση του κοινού σημείου ανάκλασης (CDP), ενώ στον κατακόρυφο άξονα απεικονίζεται ο διπλός χρόνος διαδρομής (TWT) σε ms. Παρατηρώντας για παράδειγμα, τις καταγραφές κοινού σημείου βάθους με CDP 12390, διαπιστώνεται ότι αποτελούνται από 30 σεισμικά ίχνη ή αλλιώς σειсмоγράμματα τα οποία αποτελούν και τη μέγιστη υπεδafική κάλυψη (fold). Ο πυθμένας της θάλασσας αντιστοιχεί σε χρόνο 170 ms περίπου και οι εικόνες προέρχονται από το ανατολικό τμήμα της γραμμής ION-7.

4.10 Ανάλυση ταχυτήτων (Velocity Analysis)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

Για την πραγματοποίηση της ανάλυσης ταχύτητας (velocity analysis) έγινε ταξινόμηση των καταγραφών κοινής πηγής σε καταγραφές κοινού σημείου βάθους. Σκοπός της ανάλυσης, που αποτελεί ένα από τα πιο χρονοβόρα τμήματα στην επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων και απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, είναι ο προσδιορισμός των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων. Ο προσδιορισμός αυτός είναι σημαντικός τόσο για τα βήματα που θα ακολουθήσουν (π.χ υπέρθεση), όσο και για τη μετατροπή του χρόνου διαδρομής σε βάθος.

Η διαδικασία της ανάλυσης ταχύτητας απαιτεί τον προσδιορισμό παραμέτρων όπως είναι, η μέγιστη και η ελάχιστη μέση τετραγωνική ταχύτητα για την οποία θα γίνει ανάλυση, το μέγεθος “του παραθύρου” της συνάφειας (semblance window size) για τον υπολογισμό των τιμών αυτής, το χρονικό βήμα για την εύρεση των ταχυτήτων (window size for smoothing), το μέγιστο ποσοστό παραμόρφωσης της κυματομορφής για τη δυναμική διόρθωση (maximum stretch percentage for NMO), η βάση δεδομένων στην οποία θα γίνεται η αποθήκευση των ταχυτήτων, καθώς και ο αριθμός των CDPs που συμμετέχουν σε κάθε υπερομάδα, για την περίπτωση που γίνεται ανάλυση σε υπερομάδες (CVS). Στην ίδια διαδικασία απαιτείται επίσης ο προσδιορισμός κάποιων δευτερευουσών παραμέτρων που σχετίζονται με την κανονικοποίηση της συνάρτησης συνάφειας, αλλά και τον τρόπο επιλογής των καλύτερων σημείων (picks) ανάλυσης ταχύτητας. Τέλος διευκρινίζεται αν θα γίνει χρήση νευρωνικού δικτύου και αυτόματη επιλογή των ταχυτήτων.

Κατά τον καθορισμό των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων πρέπει να λαμβάνετε υπόψιν ότι οι ταχύτητες αυτές αυξάνουν με το βάθος. Η ελάχιστη τμηματική ταχύτητα (interval velocity) που επιλέγετε δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 1430 m/s περίπου (σύμφωνα με την εξίσωση του Dix) ενώ η μέγιστη ταχύτητα δεν θα ξεπερνά τα 8000 m/s. Αυτή είναι και η μεγαλύτερη ταχύτητα που έχει παρατηρηθεί στο φλοιό. Πρέπει ακόμα να είναι γνωστό, ότι οι επιτυχείς ανακλάσεις διαχωρίζονται μεταξύ τους έχοντας διπλό χρόνο διαδρομής μεγαλύτερο από 100 ms και ότι όλα τα γεγονότα που εμφανίζονται στο διπλάσιο του χρόνου διαδρομής της εμφάνισης ενός προηγούμενου γεγονότος, είναι πιθανότατα πολλαπλές ανακλάσεις. Τέλος οι πολλαπλές ανακλάσεις έχουν ασυνήθιστα μικρές ταχύτητες, ενώ οι περιθλάσεις που προέρχονται από ρήγματα εμφανίζονται στο διάγραμμα της συνάφειας με υψηλές τιμές αυτής (Sheriff and Geldart, 1995).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

Στην παρούσα εργασία οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες προσδιορίστηκαν με τη μέθοδο της συνάφειας (coherency or semblance). Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη λεπτομερή εκτίμηση των σεισμικών ταχυτήτων με βάση τη συνάφεια και τη λογική κατανομή των ανακλάσεων στον υπό μελέτη χώρο. Πρέπει να σημειωθεί ακόμα ότι για τον ευκολότερο εντοπισμό των ανακλάσεων από μεγαλύτερα βάθη, έγινε χρήση του φίλτρου αυτόματης ενίσχυσης του πλάτους (AGC). Η ανάλυση ταχύτητας πραγματοποιήθηκε για καταγραφές από 12383 έως 12537 CDP και το βήμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 2 CDPs ή (25 m).

Με την εκτέλεση της εντολής “velocity analysis”, τα σεισμικά δεδομένα εμφανίζονται στην οθόνη με τη μορφή γραφημάτων συνάφειας για τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (gather). Στο σχήμα 4.10 παρουσιάζεται η ανάλυση ταχύτητας για τις καταγραφές με CDP 12413. Αριστερά εμφανίζεται το διάγραμμα της συνάφειας με την ταχύτητα στον οριζόντιο άξονα και το διπλό χρόνο διαδρομής στον κατακόρυφο άξονα, ενώ δεξιά εμφανίζονται τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου. Με μπλε χρώμα απεικονίζονται τα σημεία ελάχιστης συνάφειας και με κόκκινο τα σημεία μέγιστης συνάφειας.

4.13 Δυναμική διόρθωση (Normal Moveout Correction)

Μετά την ολοκλήρωση της ανάλυσης ταχύτητας και τον προσδιορισμό των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων, ακολουθεί η δυναμική διόρθωση (nmo correction). Πρόκειται ουσιαστικά για μία διόρθωση στους χρόνους που σκοπό έχει, την αναγωγή των αρχικών χρόνων διαδρομής σε αντίστοιχους χρόνους που διαδίδονται στην κατακόρυφη διεύθυνση. Η διαδικασία αυτή μορφοποιεί τα ίχνη, κάνοντάς τα να μοιάζουν με ίχνη μηδενικής οριζόντιας απόστασης πηγής-γεωφώνου, αφού θεωρεί ότι αυτά συμπίπτουν και βρίσκονται στη θέση του κοινού ενδιαμέσου σημείου της διάταξης.

Στις παραμέτρους της παραπάνω διαδικασίας, περιλαμβάνονται η μορφή της δυναμικής διόρθωσης και το ποσοστό % της παραμόρφωσης της κυματομορφής που εφαρμόζεται στα δεδομένα μετά τη διόρθωση. Όταν παρατηρείται το φαινόμενο της παραμόρφωσης της κυματομορφής (stretching), η καμπύλη των χρόνων διαδρομής συναρτήσει της απόστασης για τα ανακλώμενα κύματα, από την υπερβολική μορφή

προς τα κάτω που παρουσιάζει στρέφεται με τα κοίλα προς τα πάνω, ενώ η επιθυμητή εμφάνιση αντιστοιχεί σε οριζόντια ανάκλαση.

4.14 Αποκοπή των πρώτων αφίξεων (Trace muting)

Ενεργοποιώντας την εντολή “trace muting” επιτυγχάνεται όχι μόνο η αποκοπή των απευθείας και των μετωπικών κυμάτων, αλλά και όλων των ψευδοσημάτων που δημιουργούν τα φίλτρα. Με τον τρόπο αυτό γίνεται ευκολότερη η αναγνώριση των πολλαπλών ανακλάσεων.

Στις παραμέτρους της διαδικασίας “trace muting” περιλαμβάνονται ο τρόπος με τον οποίο θα πραγματοποιηθεί η αποκοπή καθώς και οι χρόνοι αποκοπής των ιχνών. Καταχωρούνται επίσης τα κανάλια στα οποία θα γίνει η παύση αλλά και το όνομα του αρχείου στο οποίο έχει αποθηκευτεί η αποκοπή των ανεπιθύμητων σεισμικών γεγονότων.

Οι διάφοροι τύποι αποκοπής ιχνών που εμφανίζονται εδώ είναι ο Top στον οποίο η αποκοπή γίνεται στο επάνω μέρος των σειсмоγραμμάτων, ο Surgical στον οποίο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής της παύσης σε τμήμα του σεισμικού ίχνους και ο Bottom στον οποίο η αποκοπή γίνεται στο κάτω μέρος των σειсмоγραμμάτων.

Στην παρούσα εργασία μετά την εφαρμογή της αυτόματης ενίσχυσης, ακολούθησε η υπέρθεση των δεδομένων κάνοντας χρήση μόνο της ταχύτητας διάδοσης των σεισμικών κυμάτων στο νερό. Σκοπός της διαδικασίας αυτής ήταν ο εντοπισμός (picking) της ανάκλασης από τον πυθμένα της θάλασσας. Μετά τη δημιουργία του αρχείου αυτού, εφαρμόστηκε η εντολή “trace muting” για την αποκοπή των κυματικών φαινομένων που εμφανίζονται σε χρόνους μικρότερους από την ανάκλαση του πυθμένα.

4.15 Υπέρθεση (CDP/Ensemble Stack)

Η άθροιση των σειсмоγραμμάτων (stacking) πραγματοποιείται μετά την εφαρμογή της δυναμικής διόρθωσης και δίνει την τελική σεισμική τομή υπέρθεσης (stacked section). Για σειсмоγράμματα που έχουν κοινό ενδιάμεσο σημείο (common midpoint CDP), η παραπάνω άθροιση γίνεται με την εκτέλεση της εντολής “CDP/Ensemble stack” η οποία υπολογίζει το μέσο όρο των δειγμάτων για το κάθε ίχνος και για κάθε χρονική στιγμή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΚΕΤΟ PROMAX 2D.

Σκοπός της υπέρθεσης όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η ενίσχυση του λόγου του ανακλώμενου σήματος προς το θόρυβο. Για την εφαρμογή της χρησιμοποιούνται οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες (RMS velocities) που προκύπτουν κατά την ανάλυση ταχύτητας. Σε περίπτωση εφαρμογής φίλτρου αυτόματης ενίσχυσης πριν την υπέρθεση, πρέπει να ακολουθεί απενεργοποίηση αυτού πριν ξεκινήσει η άθροιση.

Για την εφαρμογή της εντολής “CDP/Ensemble stack”, καταχωρούνται αρχικά η σειρά διαδοχής των εισερχόμενων ιχνών η οποία συνήθως εκφράζεται σε CDPs και στη συνέχεια ο τρόπος άθροισης των ιχνών καθώς και ο τρόπος εμφάνισης αυτών στην έξοδο. Τέλος διευκρινίζεται αν η διόρθωση NMO έχει εφαρμοστεί στα δεδομένα εισόδου.

Η εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη του υπολογιστή μετά τη διαδικασία της υπέρθεσης φαίνεται στο σχήμα 4.11. Στον οριζόντιο άξονα καταγράφονται τα CDPs και στον κατακόρυφο ο διπλός χρόνος διαδρομής (σε ms).

4.16 Αποσυνέλιξη πρόβλεψης (Predictive Deconvolution)

Πρόκειται για μία διαδικασία που αποσκοπεί στην αντικατάσταση της κυματομορφής της πηγής από όσο το δυνατόν μικρότερης διάρκειας κυματομορφή. Αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού είναι η αύξηση της χρονικής διακριτικής ικανότητας και η εμφάνιση σεισμικών κυμάτων στα σημεία μεταβολής της ακουστικής εμπίδησης.

Το σεισμόγραμμα θεωρείται το αποτέλεσμα της συνέλιξης της κυματομορφής της πηγής (seismic wavelet) με την απόκριση αυτής (reflectivity series) αλλά και των καταγραφικών οργάνων και των υδροφώνων. Η απόκριση της γης περιλαμβάνει επιδράσεις όπως είναι οι αντηχήσεις, οι αποσβέσεις και οι πολλαπλές ανακλάσεις (ghosting). Η αποσυνέλιξη προσπαθεί να προσδιορίσει τις επιδράσεις αυτές σαν σεισμικά (γραμμικά) φίλτρα και στη συνέχεια να σχεδιάσει και να εφαρμόσει αντίστροφα φίλτρα.

Για να προσδιοριστούν οι παράμετροι της εντολής αυτής, υπολογίστηκε μέσω του προγράμματος η αυτοσυσχέτιση (autocorrelation) και εφαρμόστηκε αποσυνέλιξη πρόβλεψης ελάχιστης φάσης με διάρκεια φίλτρου 80 ms. Η επιλογή του κατάλληλου μήκους του αντίστροφου φίλτρου έγινε έπειτα από δοκιμές και εφαρμόστηκε μετά την υπέρθεση. Πριν την αποσυνέλιξη προστέθηκε επίσης ποσοστό θορύβου (white noise) 0.1% με σκοπό να προκύψει εύρωστη λύση στο αντίστροφο πρόβλημα. Η πρόσθεση

του θορύβου γίνεται κατά το σχεδιασμό του φίλτρου και δεν προκαλεί ουσιαστική μεταβολή σ' αυτό. Στο σχήμα 4.12 απεικονίζεται η τομή υπέρθεσης μετά την εφαρμογή του φίλτρου της αποσυνέλιξης.

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 4.11 και 4.12, πριν την εφαρμογή του φίλτρου της σεισμικής αποσυνέλιξης η τομή έχει αρκετές πολλαπλές ανακλάσεις και είναι δύσκολη η διάκριση για τις επιφάνειες ανάκλασης. Στο σχήμα 4.12 μετά την εφαρμογή του φίλτρου αποσυνέλιξης, παρατηρείται μείωση των πολλαπλών και αύξηση της ικανότητας διάκρισης για τις ιζηματογενείς ακολουθίες. Η βελτίωση των δεδομένων για τα δύο σχήματα, φαίνεται ευκολότερα στα μικρά βάθη.

4.17 Υπολογισμός της τμηματικής ταχύτητας.

Με την εκτέλεση της εντολής “Velocity Manipulation”, γίνεται αυτόματος υπολογισμός της τμηματικής ταχύτητας (interval velocity) από τις μέσες τετραγωνικές ταχύτητες. Με τον όρο τμηματική ταχύτητα περιγράφεται η ταχύτητα που χαρακτηρίζει ένα στρώμα. Ο παραπάνω υπολογισμός γίνεται από την εξίσωση του Dix σύμφωνα με την οποία:

$$V_{\text{int}}^2 = \frac{(V_{RMS,1}^2 * t_1) - (V_{RMS,2}^2 * t_2)}{t_1 - t_2}$$

Όπου t_1, t_2 : οι διπλοί κατακόρυφοι χρόνοι για τα πάνω και κάτω όρια του στρώματος στα οποία διαδίδεται η ταχύτητα αντίστοιχα και

$V_{RMS,1}^2, V_{RMS,2}^2$: οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες.

Πριν τον υπολογισμό των τμηματικών ταχυτήτων, είναι απαραίτητο να εφαρμοστεί παρεμβολή στις μέσες τετραγωνικές ταχύτητες έτσι ώστε να προκύψουν οι τιμές αυτών για τα CDPs στα οποία δεν εφαρμόστηκε η διαδικασία της ανάλυσης ταχύτητας καθώς αυτή έγινε επιλεκτικά (βήμα 2).

Στις παραμέτρους της διαδικασίας “Velocity Manipulation” περιλαμβάνονται ο τύπος του πεδίου (χρόνος ή βάθος) στον οποίο θα επέμβουμε, αλλά και ο αρχικός και ο μέγιστος χρόνος ή βάθος για το επιλεγμένο πεδίο. Με την εντολή αυτή, δίνεται επίσης η δυνατότητα εισαγωγής του συνόλου των τιμών των CDPs για τον τύπο του πεδίου, καθώς και της τιμής του μικρότερου και μεγαλύτερου CDP που θα εμφανιστεί.

Στο σχήμα 4.13 απεικονίζονται οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες σε συνάρτηση με το χρόνο (TWT) για τη γραμμή μελέτης. Στην κλίμακα των ταχυτήτων (Velocity

scale) που βρίσκεται στο κάτω και δεξί μέρος της εικόνας, φαίνονται οι μεταβολές των ταχυτήτων με τις αλλαγές στα χρώματα. Παρατηρείται αύξηση των σεισμικών ταχυτήτων με την αύξηση του χρόνου.

4.18 Δημιουργία πεδίου ταχυτήτων

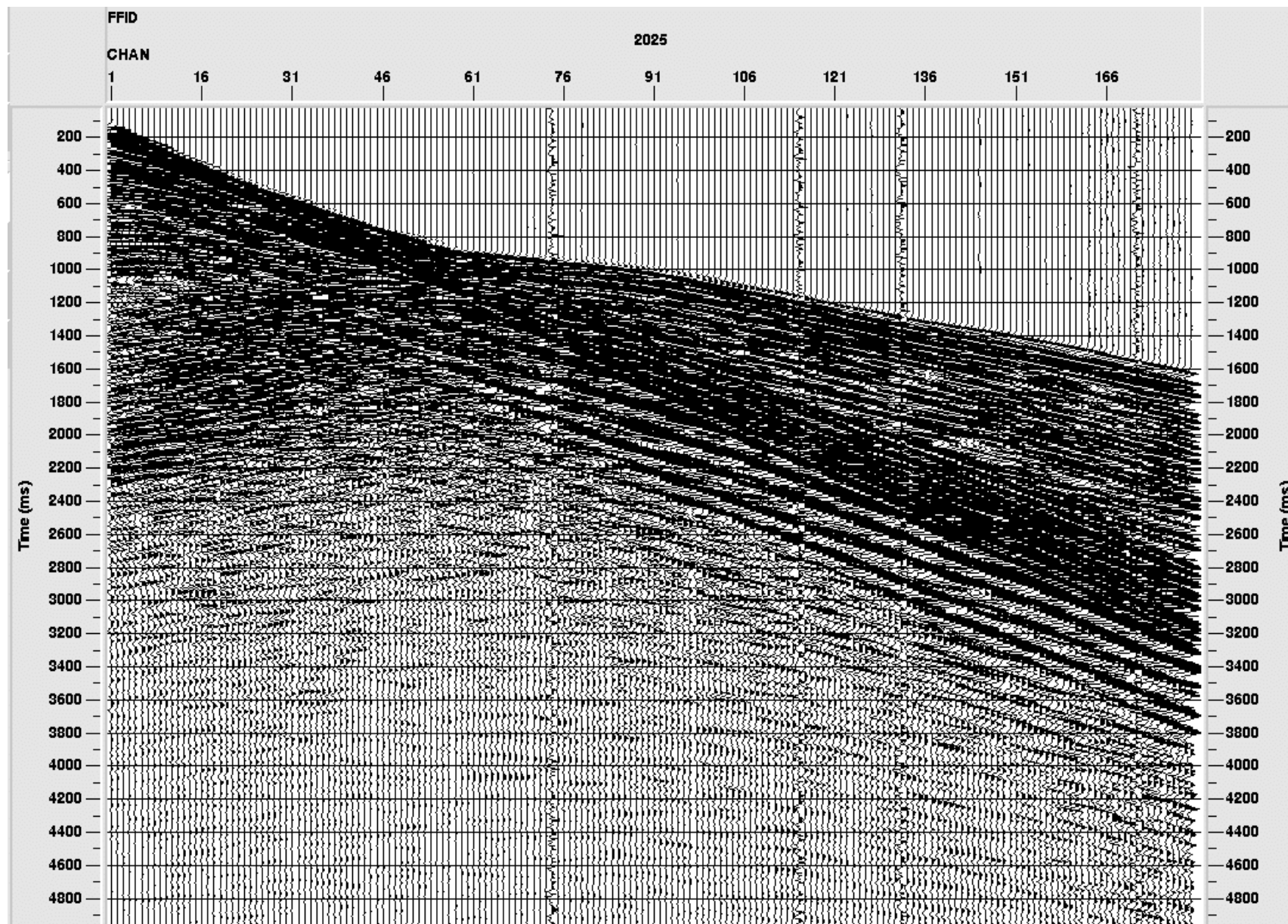
Η εντολή “Interactive Velocity Editor” χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του πεδίου των τμηματικών ταχυτήτων. Για την ευκολότερη διάκριση των γεωλογικών στρωμάτων στα οποία εμφανίζονται διαφορετικές ταχύτητες καθώς και για τη σύγκριση του πεδίου των ταχυτήτων με τα σεισμικά δεδομένα, επιλέχθηκε κατάλληλη χρωματική κλίμακα.

Ένα σημαντικό στοιχείο που προέκυψε εδώ είναι οι περιοχές χαμηλής ταχύτητας. Στις περιπτώσεις αυτές παρατηρείται στρώμα μικρότερης ταχύτητας ανάμεσα σε στρώματα μεγαλύτερης ταχύτητας.

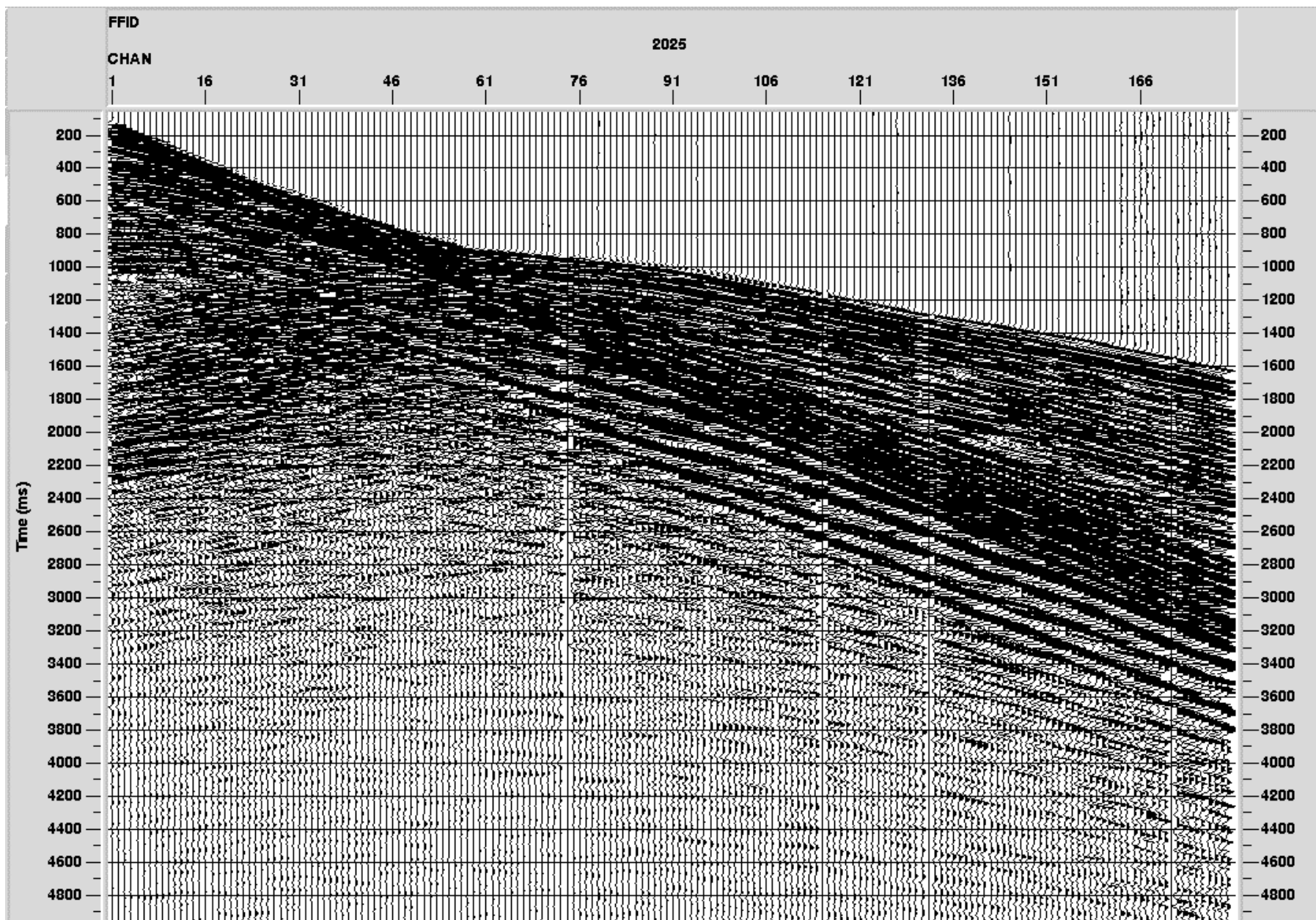
Στο σχήμα 4.14 εμφανίζεται το διάγραμμα των τμηματικών ταχυτήτων σε συνάρτηση με το χρόνο. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζεται η αρίθμηση των καταγραφών CDP από 12383 έως 12537, στον κατακόρυφο άξονα φαίνεται ο διπλός χρόνος διαδρομής TWT (ms) ενώ κάτω δεξιά φαίνεται η κλίμακα των ταχυτήτων. Μεταξύ των 4 s και 6 s TWT στην εικόνα αυτή, παρουσιάζεται ένα στρώμα χαμηλής πυκνότητας στο οποίο η ταχύτητα από 5000 m/s (πράσινο χρώμα στην κλίμακα των ταχυτήτων) που έχει αρχικά, πέφτει στα 3400 m/s περίπου (γαλάζιο χρώμα). Τα CDPs που εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό είναι από 12450 μέχρι και 12510 περίπου.

Στο σχήμα 4.15 έχουμε και πάλι τις τμηματικές ταχύτητες να εμφανίζονται με το βάθος (m) αυτή τη φορά για τα ίδια CDP. Η ελάχιστη ταχύτητα που εντοπίστηκε σε αυτά είναι 1455 m/s περίπου, ενώ η μέγιστη αποδεκτή ταχύτητα είναι αυτή των 8000 m/s. Στο σχήμα αυτό φαίνεται και πάλι η περιοχή μικρότερης ταχύτητας μέσα στο στρώμα μεγαλύτερης ταχύτητας που εδώ εντοπίζεται σε βάθος από τα 4000 m μέχρι και 8500 m περίπου. Η ταχύτητα και πάλι από 5000 m/s (πράσινο χρώμα στην κλίμακα ταχυτήτων) πέφτει στα 3500 m/s περίπου (γαλάζιο χρώμα).

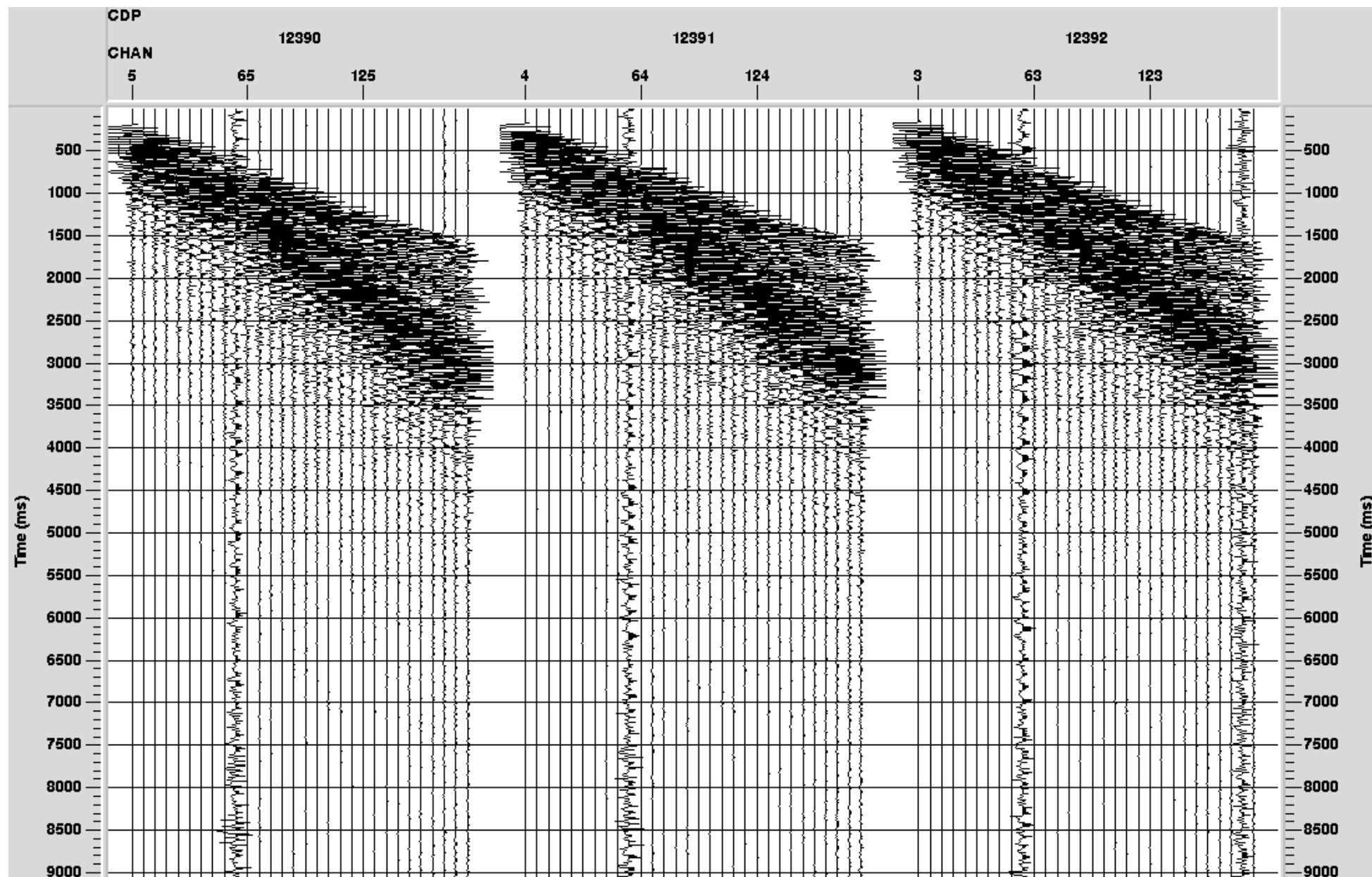
Για όλες τις εντολές που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται αναλυτικά στο παράρτημα που ακολουθεί το τέλος της παρούσας εργασίας.



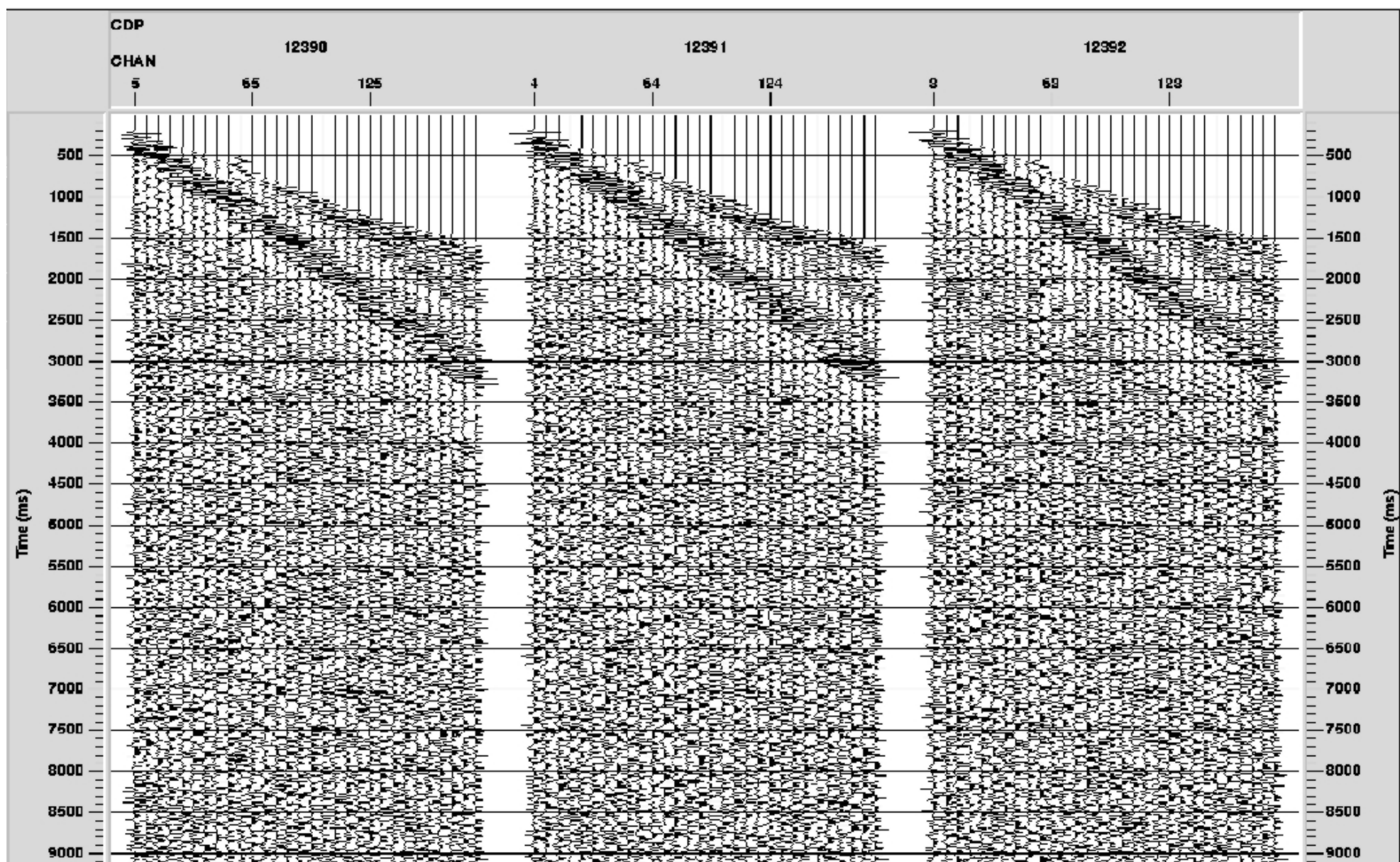
Σχήμα 4.6 : Στην εικόνα αυτή που προέρχεται από την ενεργοποίηση της εντολής “trace display”, έχουμε την εμφάνιση των δεδομένων πριν από οποιαδήποτε επεξεργασία.



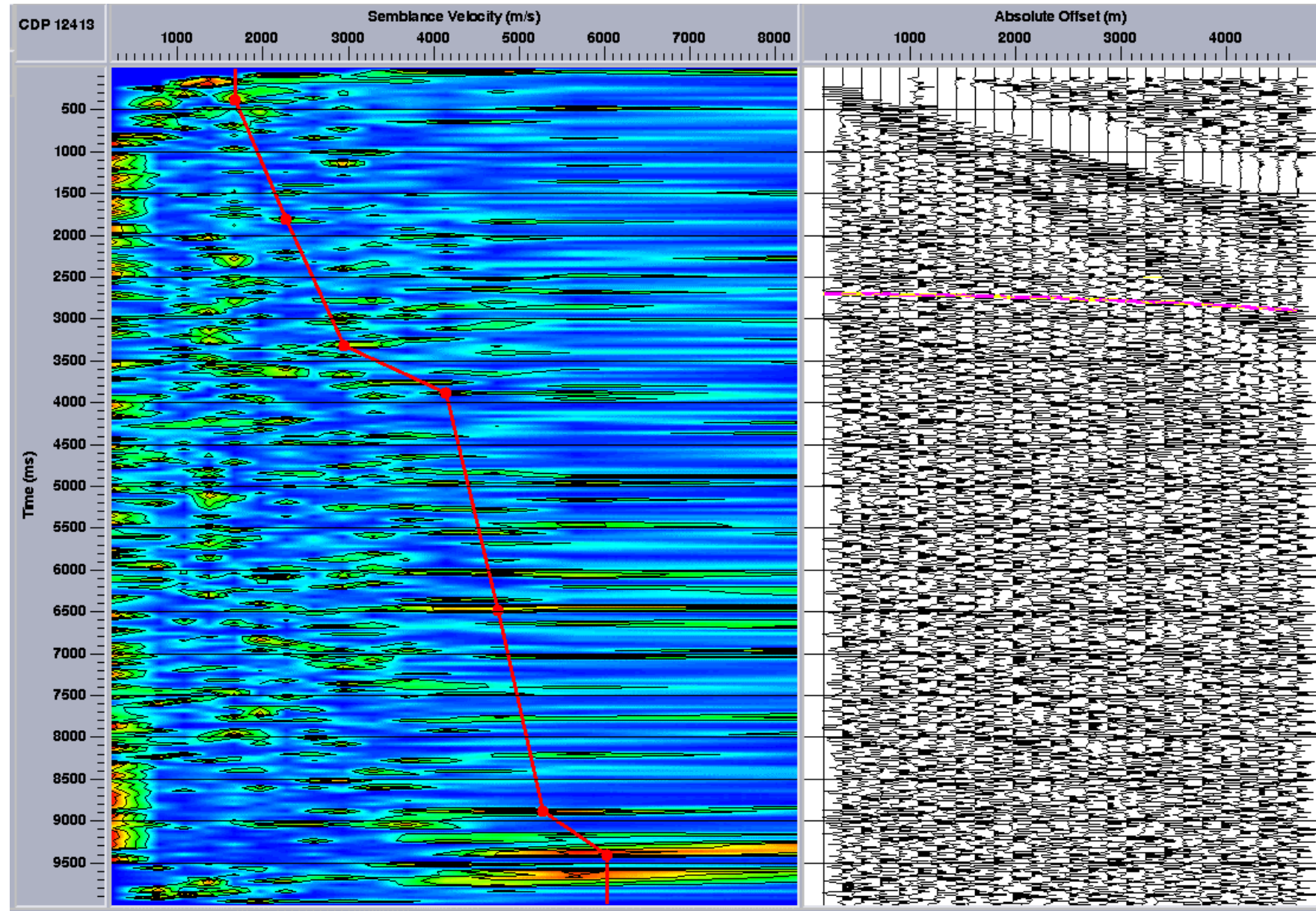
Σχήμα 4.7: Αποκοπή των ανεπιθύμητων καναλιών (74,115,132,171) από τα σεισμικά δεδομένα με την εκτέλεση της εντολής “trace Kill/reverse”.



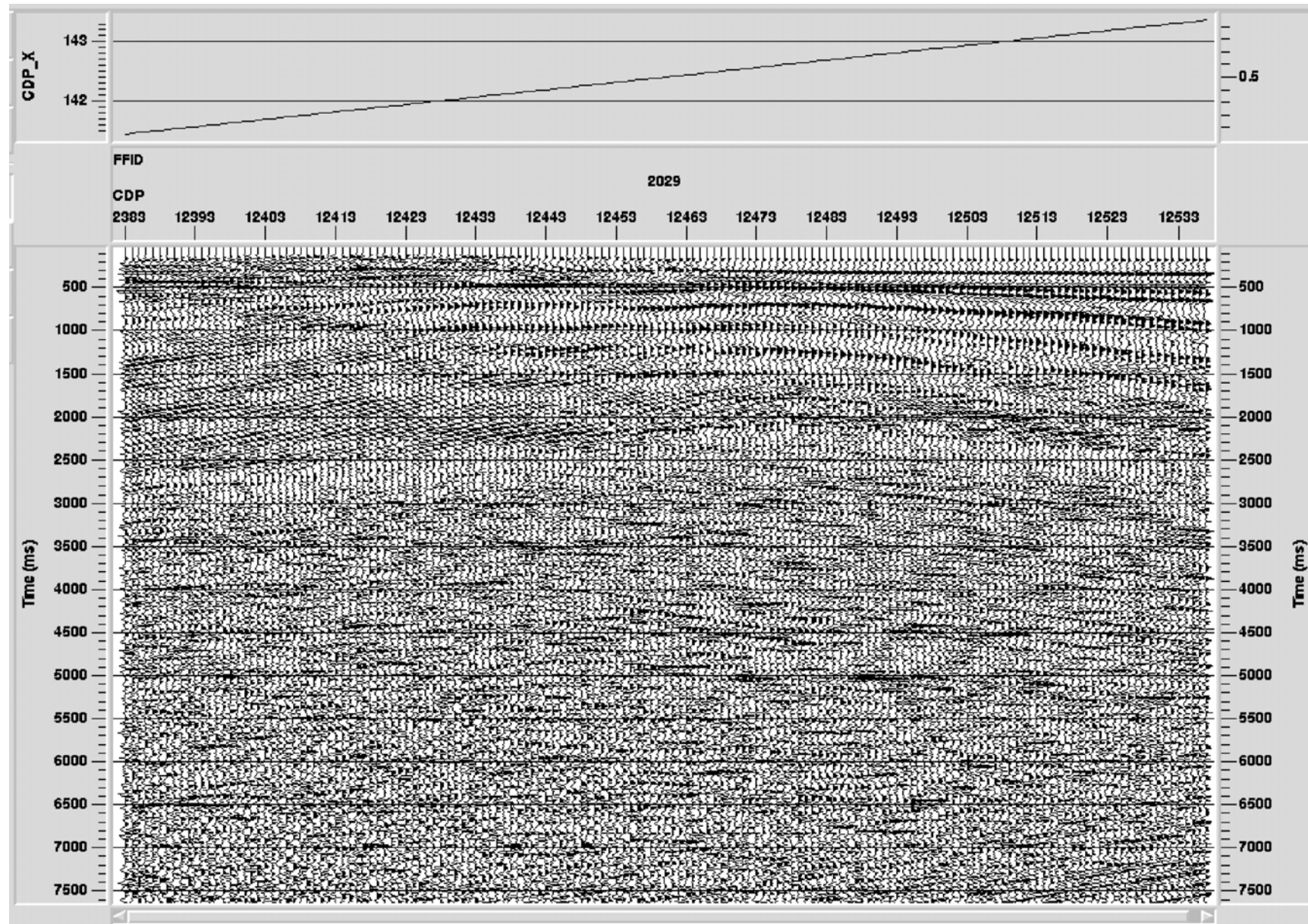
Σχήμα 4.8: Στην εικόνα αυτή φαίνονται τρία CDPs πριν την εφαρμογή της αυτόματης ενίσχυσης του πλάτους (AGC).



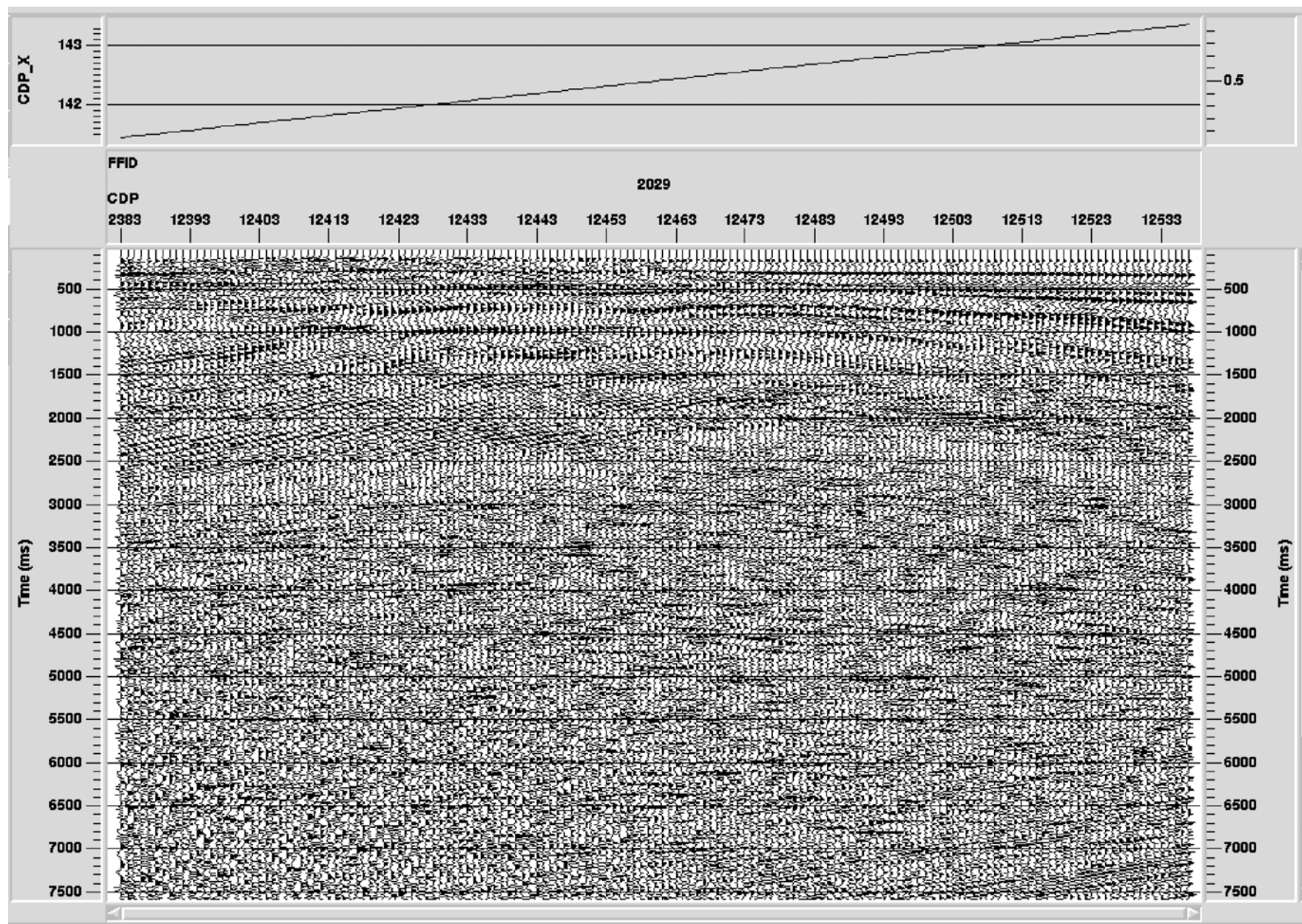
Σχήμα 4.9: Οι καταγραφές του σχήματος 4.8 μετά την εφαρμογή της εντολής “Automatic Gain Control”(AGC).



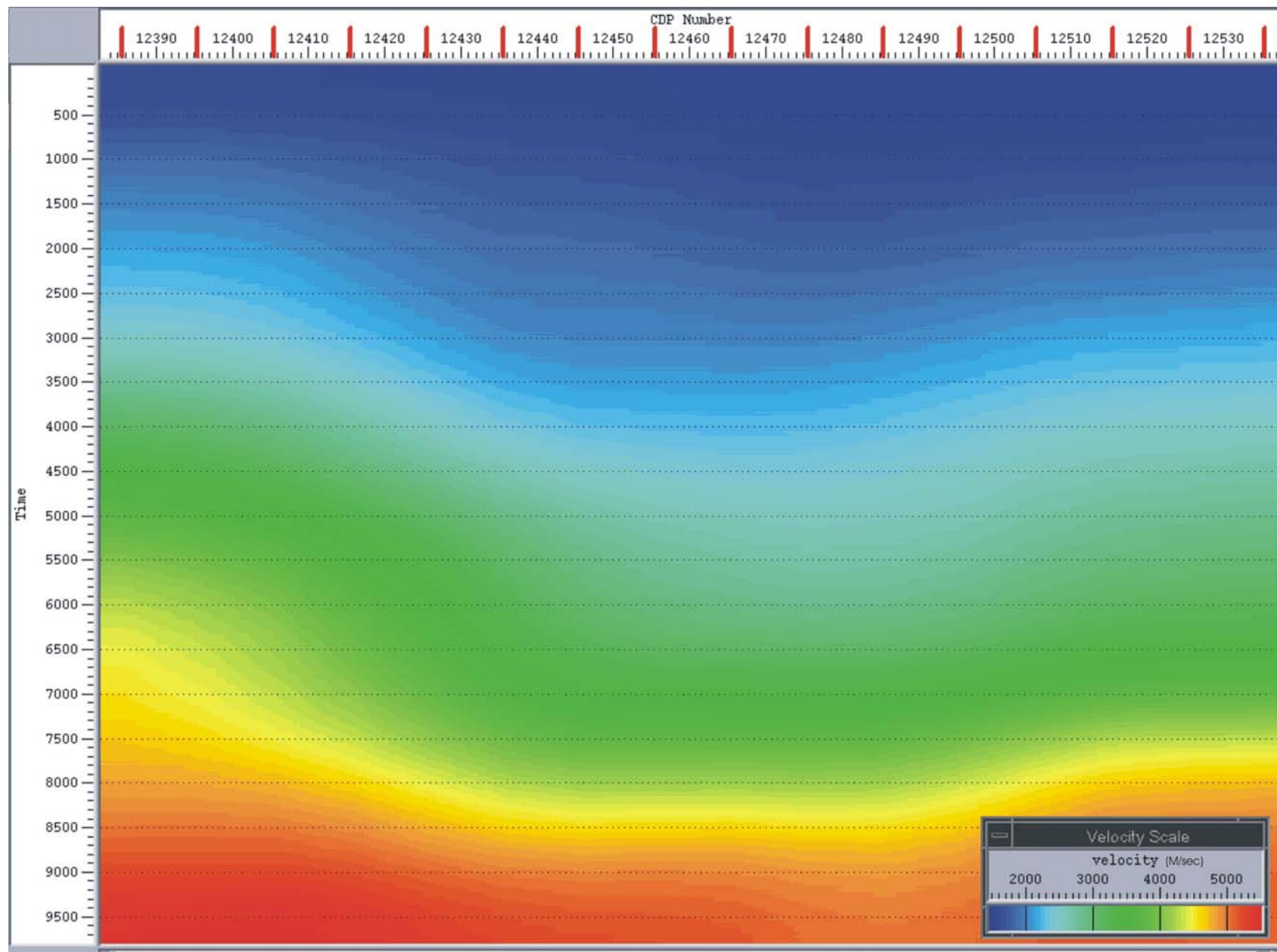
Σχήμα 4.10: Ανάλυση ταχύτητας. Στα αριστερά φαίνεται το διάγραμμα συνάφειας και οι ταχύτητες που έχουν επιλεγεί, ενώ στα δεξιά φαίνονται οι καταγραφές κοινού σημείου βάθους. Οι υψηλές τιμές συνάφειας αντιστοιχούν στο κόκκινο χρώμα.



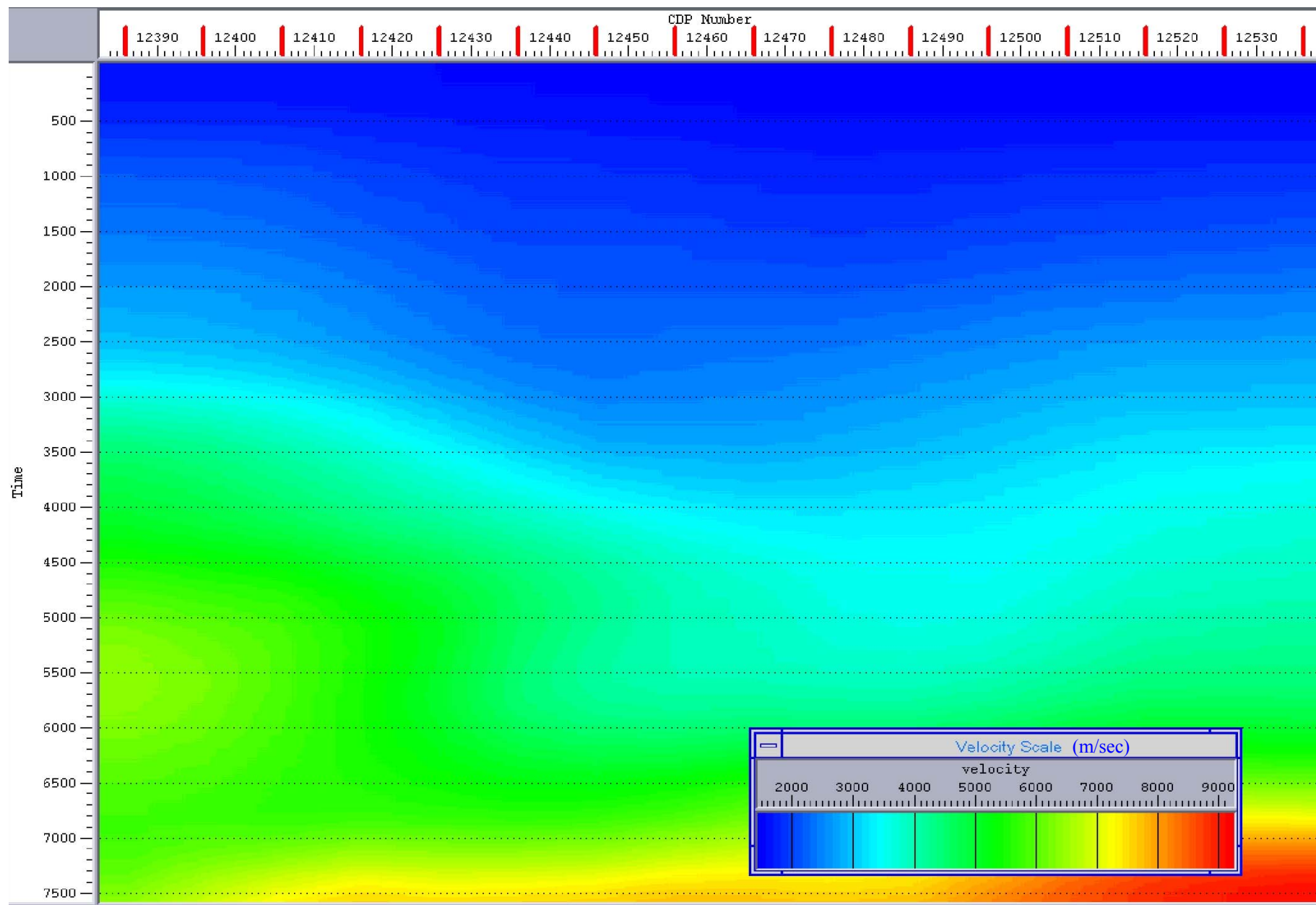
Σχήμα 4.11: Η τελική τομή υπέρθεσης προκύπτει ενεργοποιώντας την εντολή “CDP/Ensemble stack”. Στον οριζόντιο άξονα αντιστοιχούν τα CDPs από 12383 έως 12537 και στον κατακόρυφο άξονα ο διπλός χρόνος διαδρομής.



Σχήμα 4.12: Η ενεργοποίηση της εντολής “spiking/predictive deconvolution” αυξάνει τη διακριτική ικανότητα στη σεισμική τομή υπέρθεσης.

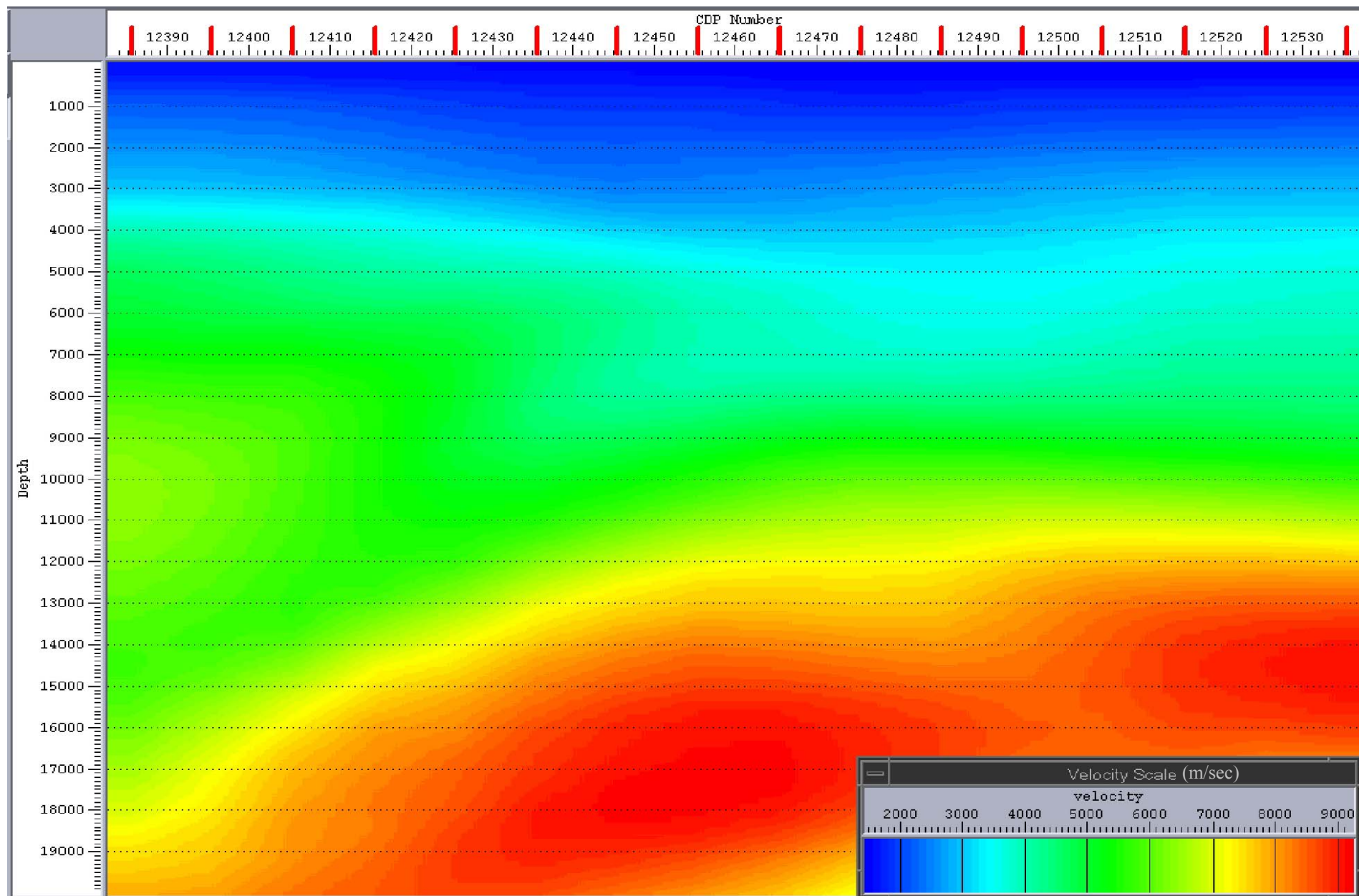


Σχήμα 4.13: Στην εικόνα “RMS Velocity” ή “Velocity manipulation” παρουσιάζεται το αρχείο υπέρθεσης των μέσων τετραγωνικών ταχυτήτων.



Σχήμα 4.14: Οι τμηματικές ταχύτητες (m/s) σε σχέση με το χρόνο (ms) από CDP 12383 – 12537.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχήμα 4.15: Οι τμηματικές ταχύτητες (m/s) σε σχέση με το βάθος (m) από CDP 12383 – 12537.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰**5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ****5.1 Εισαγωγή**

Για την ερμηνεία των δεδομένων σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε η σεισμική τομή υπέρθεσης και το αντίστοιχο αρχείο τμηματικών ταχυτήτων. Επιπρόσθετα έγινε αναφορά σε στοιχεία που αφορούν τη γεωλογία της ευρύτερης περιοχής μελέτης και προέρχονται είτε από γεωτρήσεις είτε από επιφανειακές εμφανίσεις.

Στην ερμηνεία η τομή σεισμικής υπέρθεσης περιορίστηκε σε χρονικό μήκος που φθάνει τα 3 s (σχήμα 5.1), ενώ το μοντέλο των τμηματικών ταχυτήτων με το χρόνο φθάνει τα 3.5 s (σχήμα 5.2). Το σχήμα 5.3 δείχνει τη μεταβολή της μέσης τετραγωνικής ταχύτητας (V_{RMS}) με το χρόνο για τα πρώτα 3.5 s.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στην ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων είναι η σχετικά χαμηλή ποιότητα αυτών. Πιο συγκεκριμένα, η παρουσία πολλαπλών ανακλάσεων από τον πυθμένα της θάλασσας αλλά και από στρώματα που έπονται αυτού, καθώς και η μειωμένη διακριτική ικανότητα δυσκόλεψαν την ερμηνεία.

5.2 Γενικά για την ερμηνεία της σεισμικής γραμμής ION – 7

Η σεισμική γραμμή ION – 7 (μήκος 180 Km) σύμφωνα με προηγούμενη ερμηνεία (Κόκκινου, 2002), συναντά από δυτικά προς ανατολικά τα παρακάτω τμήματα:

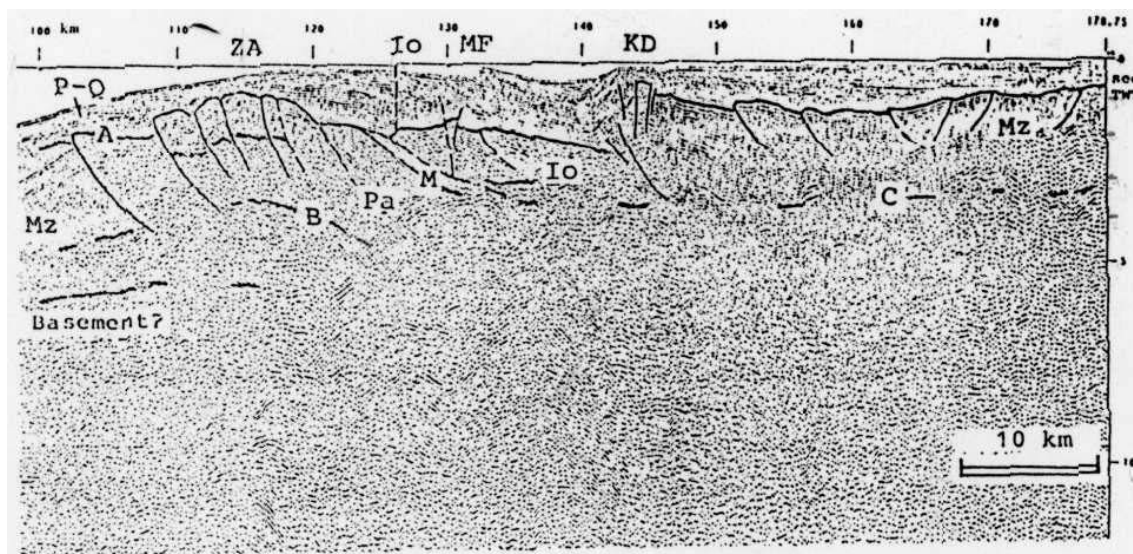
- Την Άβυσσο του Ιονίου (για CDPs 815 – 3815 και μήκος από 0 έως τα 35.172 Km της γραμμής) η οποία οριοθετείται στο ρήγμα της Κεφαλληνίας.
- Ένα μικρό τμήμα της Μεσογειακής ράχης (για CDPs 3815 – 4565 και μήκος από 35.172 έως 44.547 Km της γραμμής).
- Την Ελληνική τάφρο (για CDPs 4565 – 5465 και μήκος από 44.547 έως 55.797 Km της γραμμής)

- Το Ελληνικό τόξο (για CDPs 5465 - 15298 και μήκος από 55.797 έως 178.71 Km της γραμμής).

Τα δεδομένα της παρούσας εργασίας προέρχονται από το ανατολικό τμήμα του Ελληνικού τόξου.

5.3 Προηγούμενες ερμηνείες για τη σεισμική γραμμή ION-7 και την περιοχή γύρω απ' αυτή.

Μία ερμηνεία τμήματος των δεδομένων Streamer, έγινε από τους Kamberis et al. (1996) για το 95⁰ με 180⁰ χιλιόμετρο του ανατολικού τμήματος της σεισμικής γραμμής ION-7. Στη σεισμική τομή υπέρθεσης που φαίνεται στο σχήμα 5.4 εντοπίζεται ο ρηχός αλλά ισχυρός ανακλαστήρας A, ο οποίος αντιπροσωπεύει την οροφή των ασβεστολίθων πάνω στους οποίους έχουν τοποθετηθεί ασύμφωνα Πλειοκαινικά και Τεταρτογενή ιζήματα. Με βάση την πληροφορία αυτή, εικάζεται ότι η περιοχή μεταξύ των νησιών Ζακύνθου και Κεφαλληνίας ήταν ενεργή μεταξύ του Μειοκαίνου και Πλειοκαίνου με περιόδους ανάδυσης και διάβρωσης.



Σχήμα 5.4: Ερμηνευμένη σεισμική τομή υπέρθεσης που προτείνεται από τους Kamberis et al. (1996). Τα διάφορα σύμβολα του σχήματος φαίνονται παρακάτω: KD:Κεφαλλονιά, MF: ρήγμα Μασούντα, ZA: Ζάκυνθος, P-Q: Ιζήματα Πλειοκαίνου-Τεταρτογενούς, M: Ιζήματα Μειοκαίνου, Mz: Ιζήματα Μεσοζωικού, Pa: Προαπούλια ζώνη, Io: Ιόνιος ζώνη, A-C: κύριες ασυμφωνίες (Κόκκινου, 2002).

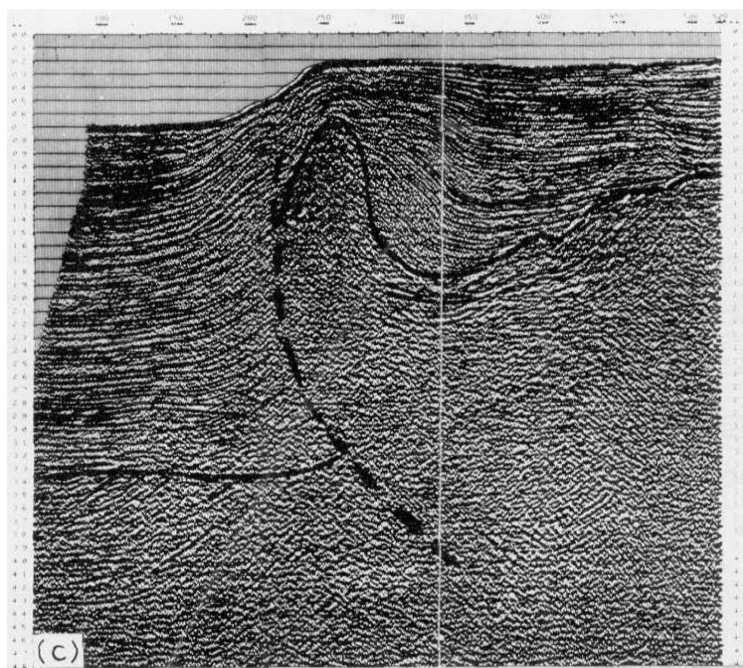
Βαθύτερα και κατά μήκος του δυτικού τμήματος της σεισμικής τομής, συναντάται ο ανακλαστήρας B ο οποίος τοποθετείται στα 3.5 sec TWT περίπου και

αποτελεί τη βάση της Μεσοζωικής σειράς. Τέλος εμφανίζεται ένας τρίτος ανακλαστήρας στα 5.5 sec TWT, ο οποίος αποτελεί πιθανόν το υπόβαθρο (Basement) της Προαπούλιας ζώνης. Ο ανακλαστήρας αυτός δεν είναι συνεχής, αλλά εμφανίζεται μεταξύ του 95^{ου} και 115^{ου} χιλιομέτρου. Ο ανακλαστήρας C που εμφανίζεται στο ανατολικό τμήμα της ίδιας τομής (3-3.5 sec TWT) θεωρείται ως πιθανή επιφάνεια μέγιστης τεκτονικής δράσης (decollement surface) μέσα στην Τριαδική ακολουθία.

Μία ακόμα ερμηνεία έχει γίνει από τους Monopolis και Bruneton (1982), οι οποίοι ερμήνευσαν σεισμικά δεδομένα ανάκλασης στην περιοχή του Ιονίου Πελάγους βασιζόμενοι σε αποτελέσματα γεωτρήσεων.

Η σεισμική διασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στις θαλάσσιες περιοχές δυτικά της Κέρκυρας, ανατολικά των Παξών και ανατολικά της θαλάσσιας περιοχής μεταξύ Κεφαλληνίας και Ζακύνθου, καθόρισε τρεις ενότητες που ανήκουν στο Καινοζωικό. Η πάνω ενότητα εμφανίζεται καλά στρωματωμένη με ταχύτητα 2000-3000 m/s, εσωτερικές ασυνέχειες και ιζηματογενείς σχηματισμούς. Πιστεύεται ότι η ηλικία της κυμαίνεται μεταξύ Πλειόκαινου και Τεταρτογενούς. Η μεσαία ενότητα εμφανίζεται στρωματωμένη με ταχύτητα σχετικά υψηλή (3000-3500 m/s) και ηλικία που μπορεί να κυμαίνεται από Μέσο έως Ανωτ. Μειόκαινο. Η κάτω ενότητα εμφανίζει υψηλές ταχύτητες (4500-4800 m/s) και πιθανόν να αποτελείται από εναλλαγές μαργών και ασβεστολίθων. Η σειρά αυτή δείχνει μια ασυνέχεια με πολύ δυνατή ανάκλαση (ειδικά σε περιοχές που έχουν αναδυθεί). Κάτω από την ανάκλαση αυτή παρατηρείται υψηλή ταχύτητα (5000 m/s και πάνω) με σποραδικές ανακλάσεις, έτσι ώστε να προκύπτει το συμπέρασμα ότι πρόκειται για συμπαγείς ασβεστόλιθους (Ηώκαινο ή παλαιότερα). Η ηλικία της τρίτης ενότητας κυμαίνεται μεταξύ Ολιγόκαινου και Κατώτερου Μειοκαίνου.

Στην περιοχή Ζακύνθου – Κυλλήνης για τη σεισμική γραμμή ION - 7 παρατηρούνται διεισδύσεις άλατος κατά μήκος ανάστροφου ρήγματος (Kamberis et al. 1996), ενώ στο βαθύτερο σημείο του διαύλου επικρατούν Νεογενή ιζήματα (κλαστική σειρά Μειοκαίνου - Πλειοτεταρτογενούς) πάχους μεγαλύτερου από 6000 m (σχ.5.5).



Σχήμα 5.5: Διείσδυση άλατος κατά μήκος ρήγματος στη περιοχή Ζάκυνθου-Κυλλίνης (Monopolis και Bruneton, 1982).

5.4 Ερμηνεία της σεισμικής τομής (CDP 12383 - 12537 και μήκος από 142.2725 έως 144.185 Km της γραμμής ION - 7).

** Πρώτος ανακλαστήρας. Πυθμένας της θάλασσας*

Το βάθος του πυθμένα της θάλασσας διατηρείται σταθερό κατά μήκος της γραμμής μελέτης όπως φαίνεται από το σχήμα 5.1. Η ανάκλαση απ' αυτόν κυμαίνεται στα 0.15 s TWT περίπου, ενώ η ταχύτητα των κυμάτων στο στρώμα του νερού μεταβάλλεται από 1.43 Km/s έως 1.5 Km/s (σχήμα 5.2). Σύμφωνα με τα παραπάνω, το βάθος του πυθμένα εκτιμάται στα 112m περίπου.

** Δεύτερος ανακλαστήρας. Ιζήματα Αν. Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς (P - Q)*

Κάτω από τον πυθμένα της θάλασσας και μέχρι τα 0.45 s TWT περίπου, βρίσκονται τα ιζήματα Αν. Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς (P - Q). Τα ιζήματα αυτά εκτείνονται χρονικά σε ένα διάστημα 0.3 s TWT, με ταχύτητα να κυμαίνεται μεταξύ 1.6 και 1.7 Km/s. Σ' αυτό τον ισχυρό ανακλαστήρα και για το τμήμα που

μελετήθηκε, παρατηρείται ένα κανονικό ρήγμα μεταξύ των CDPs 12432 - 12436 περίπου (σχήμα 5.1).

* Τρίτος ανακλαστήρας. Ιζήματα Αν. Μειοκαίνου – Κ. Πλειοκαίνου (Mi_s-Pli)

Κάτω από τα ιζήματα (P – Q), βρίσκονται τα ιζήματα Αν. Μειοκαίνου – Κ. Πλειοκαίνου (Mi_s-Pli) τα οποία εκτείνονται μέχρι 0.85 s TWT περίπου. Στην παραπάνω ιζηματογενή ακολουθία, η ταχύτητα κυμαίνεται από 1.8 Km/s μέχρι και 2 Km/s, ενώ εμφανίζονται και πάλι ρήγματα στην ίδια περιοχή. Το πρώτο ρήγμα συναντάται από τα 12415 μέχρι τα 12424 CDPs ενώ το δεύτερο ανατολικότερα και για μεγαλύτερο βάθος, από το CDP 12442 μέχρι και το 12483 (σχήμα 5.1).

Δυτικότερα της περιοχής που μελετάται εδώ και πάνω στην γραμμή ION-7, παρατηρείται μία αναθόλωση στο CDP 12350 η οποία αναφέρεται με το όνομα διαπειρισμός της Κεφαλληνίας (Kefallinia Diapir, KD, Κόκκινου 2002). Η συνέχεια των ιζηματογενών ακολουθιών (P-Q) και (Mi_s-Pli) στην περιοχή του διαπειρισμού της Κεφαλληνίας διακόπτεται από κανονικά ρήγματα.

Η εμφάνιση αυτή θεωρείται ως το αποτέλεσμα της εφελκυστικής τεκτονικής που ακολούθησε μετά την επώθηση των Εξωτερικών Ελληνίδων και η οποία πραγματοποιήθηκε σε τρεις τεκτονικές φάσεις: Κατ. - Μέσο Μειόκαινο, Μέσο Πλειόκαινο και Μέσο Πλειστόκαινο (Sorel et al., 1992). Συνέπεια των τεκτονικών αυτών φάσεων ήταν ο σχηματισμός (4) χρονοστρωματογραφικών ενοτήτων. Πρόκειται για το Πλειόκαινο – Τεταρτογενές, το Αν. Μειόκαινο – Κατ. Πλειόκαινο, το Κατ. Μειόκαινο (Kamberis et al. 2000) την ανθρακική σειρά Τριαδικού – Ηωκαίνου με τους Εβαπορίτες του Τριαδικού.

* Τέταρτος ανακλαστήρας. Νεογενή ιζήματα (Neogene?)

Την προηγούμενη ακολουθία διαδέχονται τα Νεογενή ιζήματα (Neogene?) με χρονική διάρκεια από 0.85 s μέχρι 1.6 s TWT περίπου. Στο δυτικό τμήμα της σεισμικής τομής υπέρθεσης, τα ιζήματα του Νεογενούς εμφανίζονται μέχρι τα 1.6 s, ενώ στο ανατολικό τμήμα αυτής τα Νεογενή εντοπίζονται σε μεγαλύτερους χρόνους (έως τα 2.2 s). Έτσι από το CDP 12487 μέχρι και το τέλος της γραμμής μελέτης

έχουμε την πτώση της ιζηματογενούς ακολουθίας του Νεογενούς η οποία ξεκινάει από τα 1.6 s και φθάνει στα 2.2 s για την τομή μας. Η ταχύτητα στους Νεογενείς σχηματισμούς κυμαίνεται στα 2 Km/s – 2.3 Km/s και το φαινόμενο αυτό σχετίζεται πιθανότατα με την παρουσία Τριαδικών εβαποριτών όπως θα δούμε στη συνέχεια (Κόκκινου 2002).

* Πέμπτος ανακλαστήρας. Μεσοζωικοί Ασβεστόλιθοι Me(I)

Κάτω από τα ιζήματα του Νεογενούς συναντώνται οι Μεσοζωικοί ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης Me(I). Από το σχήμα 5.1 φαίνεται ότι αυτοί επεκτείνονται και κάτω από τα 3 s που σταματάει η σεισμική τομή υπέρθεσης. Η ταχύτητα η οποία εκτιμήθηκε για την ασβεστολιθική αυτή ακολουθία κυμαίνεται μεταξύ των 2.4 Km/s και 3.5 Km/s.

* Έκτος ανακλαστήρας. Εβαπορίτες του Τριαδικού (Ev)

Σε όλη την έκταση της περιοχής του Ιονίου, οι Finetti και Morelli (1973) δέχονται την ύπαρξη εβαποριτών του Μεσσήνιου. Από τις εκτιμήσεις αυτές έχουν εξαιρεθεί μόνο οι περιοχές των αβαθών ηπειρωτικών περιθωρίων.

Ο διαπειρισμός της Κεφαλληνίας κατά τους Kamberis et al. 1996 και Hirn et al. (1996) οφείλεται σε διείσδυση Τριαδικών εβαποριτών στην περιοχή. Η παρουσία διάπειρων σε αντίκλινα που σχηματίζονται από προϋπάρχοντα επωθητικά ρήγματα (thrusts) έχει αναφερθεί από διάφορους ερευνητές όπως είναι οι Monopolis και Bruneton 1982, Nicolaou 1986 και Underhill 1988.

Στην τομή σεισμικής υπέρθεσης της παρούσας εργασίας, οι Εβαπορίτες του Τριαδικού (Ev) εμφανίζονται πιθανόν στο δυτικό τμήμα της τομής (CDPs 12383 - 12445) κάτω από τα 3 s TWT, με ταχύτητα που κυμαίνεται από 3.6 Km/s - 4.4 Km/s.

5.5 Αναφορές από γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή της Ιονίου ζώνης.

Στο σημείο αυτό θεωρείται απαραίτητο να αναφερθεί, ότι στις περιοχές μεταξύ των CDPs 9960 – 10110 και CDPs 10710 – 10860 για την γραμμή ION – 7, προβάλλονται δύο γεωτρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί σε κοντινές περιοχές.

Η γεώτρηση που αντιστοιχεί στην πρώτη ομάδα των αναφερόμενων CDPs, είναι η S-KEF-1 όπως φαίνεται στο σχήμα 5.6. Η γεώτρηση αυτή έχει διατρήσει ιζήματα πάχους 2200 m από τα οποία τα μισά περίπου αντιπροσωπεύουν ιζηματογένεση ηλικίας Av. Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου, ενώ τα υπόλοιπα αντιστοιχούν σε ασβεστόλιθους Κρητιδικής ηλικίας.

Τα ιζήματα Av. Πλειοκαίνου – Τεταρτογενούς (P-Q) σύμφωνα με τη στρωματογραφική στήλη της γεώτρησης S-KEF-1 έχουν πάχος 330 m ενώ τα ιζήματα του Av. Μειοκαίνου – K. Πλειοκαίνου (Mi_s-Pli) πάχος 800 m περίπου. Τα Νεογενή ιζήματα (Neogene) δεν συναντήθηκαν στην περιοχή αυτή. Την ιζηματογενή ακολουθία Av. Μειοκαίνου - K. Πλειοκαίνου ακολουθούν οι ασβεστόλιθοι του K. Κρητιδικού με κατά τόπους ενστρώσεις Εβαποριτών.

Η δεύτερη γεώτρηση που αντιστοιχεί στη δεύτερη ομάδα των αναφερόμενων CDPs, ονομάστηκε PAXOI και είναι προβολή της γεώτρησης που πραγματοποιήθηκε στους Παξούς. Η γεώτρηση αυτή δε συνάντησε Νεογενές και διέτρησε ασβεστόλιθους Παξών με ενστρώσεις εβαποριτών που αντιστοιχούν σε χρονικό μήκος 1.92 s TWT (Κόκκινου, 2002).

Λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα των παραπάνω γεωτρήσεων και συγκρίνοντάς τα με τα ευρήματα από την ερμηνεία της γραμμής μελέτης, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η προσέγγιση που έγινε είναι αρκετά καλή. Πρέπει να αναφέρουμε βέβαια, ότι καμία από τις γεωτρήσεις δεν βρίσκεται πάνω στη γραμμή μελέτης και έτσι μικρές διαφορές στους χρόνους και τις ταχύτητες που συναντώνται οι διάφορες ακολουθίες μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.

Τέλος δεν έχει γίνει αναφορά στα βάθη που συναντώνται οι ανακλαστήρες λόγω του μεγάλου εύρους διακύμανσης της ταχύτητας σ'αυτούς. Η οποιαδήποτε αναφορά σε βάθη, εκτιμάται ότι θα συνοδεύεται πιθανότατα και από μεγάλα σφάλματα.

5.6 Συμπεράσματα από διάφορες γεωφυσικές μεθόδους που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή του Ιονίου

Τα Ιόνια νησιά βρίσκονται στη μεταβατική ζώνη ανάμεσα στη ζώνη καταβύθισης (ΝΔ Ιόνιο Πέλαγος) και στη σύγκρουση μεταξύ πλακών με ηπειρωτικό φλοιό που πραγματοποιείται στο χώρο της ΒΔ Ελλάδας. Η ενεργός τεκτονική δράση στα Ιόνια νησιά παίζει ένα σημαντικό ρόλο στα γεωδυναμικά μοντέλα της σύγχρονης παραμόρφωσης. Παρακάτω αναφέρονται τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την περιοχή από διάφορες γεωφυσικές μεθόδους

Βαρυτικές μέθοδοι

Στο σχήμα 5.7 παρουσιάζεται ένας χάρτης με την ανωμαλία Bouguer για τον Ελλαδικό χώρο. Διακρίνεται η γραμμή ION-7 κατά μήκος της οποίας, και για διεύθυνση από ΝΔ προς ΒΑ, παρατηρείται μια σταδιακή μεταβολή από τις θετικές ανωμαλίες Bouguer της τάξης των 200 mgal προς τις αρνητικές ανωμαλίες της τάξης των -50 mgal. Οι θετικές ανωμαλίες εμφανίζονται στο τμήμα της τομής που αντιστοιχεί στην πολύ βαθιά θάλασσα του Ιονίου ενώ οι αρνητικές ανωμαλίες αναφέρονται στο αβαθές τμήμα της ίδιας τομής. Η εικόνα μεταβολής από θετικές σε αρνητικές ανωμαλίες είναι τυπική σε συστήματα σύγκλισης.

Γεωθερμικές μέθοδοι

Για τον ευρωπαϊκό χώρο έχει παρατηρηθεί μία αύξηση της γεωθερμικής δραστηριότητας σε μια κατεύθυνση από ΒΑ προς ΝΔ, και η οποία μάλλον αποτελεί αποτέλεσμα της μεγάλης κλίμακας τεκτονικής εξέλιξης της ηπείρου. Η περιοχή του Ιονίου παρουσιάζει γενικά χαμηλή ροή θερμότητας, η οποία εκτιμάται στα 30 mWm⁻² περίπου, σε σχέση με τη νοτιοανατολική Ευρώπη η οποία χαρακτηρίζεται ως ζώνη με κανονική προς υψηλή γεωθερμική ενέργεια.

Ένας γενικός κανόνας που επικρατεί για τη γεωθερμική ενέργεια, είναι ότι επικρατεί μία τάση αύξησης της ροής αυτής όσο ελαττώνεται το πάχος του φλοιού. Εξαιρέση αποτελεί η περιοχή που μελετάμε στην οποία η γενικά χαμηλή ροή θερμότητας δικαιολογείται από το μεγάλο πάχος των ιζημάτων τα οποία πιθανότατα απορροφούν σημαντικό ποσό θερμότητας. Τα πάχη των Νεογενών ιζημάτων για την περιοχή μελέτης ορισμένες φορές είναι μεγαλύτερα από 5 Km.

Μαγνητικές μέθοδοι

Στην ευρύτερη περιοχή του βορείου Ιονίου πελάγους το μαγνητικό πεδίο εμφανίζει χαρακτήρα διαφορετικό απ' αυτό της περιοχής του νοτίου Ιονίου. Οι Abraham et al. (1983) μελέτησαν τις ανωμαλίες της ευρύτερης περιοχής και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το Ιόνιο πέλαγος συνίσταται από τεμάχια φλοιού προερχόμενα από διαφορετικές κατευθύνσεις και άρα υπήρξε σχετική κίνηση μαζών γύρω απ' αυτό.

Σεισμικές μέθοδοι και σεισμολογικές μετρήσεις

Από μελέτες στην περιοχή φάνηκε ότι η μεγαλύτερη συγκέντρωση σεισμικών εστιών πολύ κοντά στη γραμμή μελέτης εμφανίζεται σε δύο διευθύνσεις, μια εγκάρσια και μια παράλληλη στη γραμμή ION-7. Είναι επίσης εμφανής μια απότομη αύξηση της πυκνότητας των εστιακών βαθών από ΒΔ προς ΝΑ, γεγονός που συνδέεται με την καταβύθιση του ωκεάνιου φλοιού, απομεινάρι της Τηθύος, από τον οποίο αποτελείται η θαλάσσια περιοχή του Ιονίου κάτω από τον ηπειρωτικό φλοιό του Ελλαδικού χώρου.

Στην περιοχή του Ιονίου μεγάλη πυκνότητα εμφανίζουν οι σεισμοί με μεγέθη από 3 έως 5 της κλίμακας Richter. Ο μεγαλύτερος αριθμός σεισμών προέρχεται από βάθη μικρότερα των 40 Km, ενώ παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση των σεισμικών βαθών από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από το βορρά προς το Νότο. Μελέτες που έγιναν στην περιοχή έδειξαν ότι η παραμόρφωση κατά μήκος των ακτών της Αλβανίας και της βορειοδυτικής Ελλάδας, προς το ρήγμα της Κεφαλληνίας και κοντά στη Λευκάδα έχει συμπιεστική μορφή με διεύθυνση κάθετη στην ακτογραμμή και σχετικά χαμηλή ταχύτητα 4 mm/y.

Κάποια γενικά συμπεράσματα από τα σεισμολογικά και σεισμικά δεδομένα της περιοχής καταλήγουν στο ότι η σεισμική γραμμή ION-7 αποτελεί πιθανή ζώνη καταβύθισης αλλά και στο ότι η περιοχή πριν το διαπείρισμό της Κεφαλληνίας (KD) αλλά και στο τμήμα αυτού, η σεισμική δραστηριότητα είναι εξαιρετικά έντονη. Διακρίνονται 3 ζώνες σεισμικών εστιών. Η πρώτη εντοπίζεται σε βάθος 2–3 Km και αφορά κυρίως στα ιζήματα Πλειοκαίνου–Τεταρτογενούς και Ανωτ. Μειοκαίνου–Κατ. Πλειοκαίνου. Η δεύτερη σε βάθος 3.5–6 Km και σχετίζεται με τη Μεσοζωϊκή ακολουθία της περιοχής και ειδικότερα με τους ασβεστόλιθους των Ζωνών Παξών και Ιονίου, καθώς και με τις επιφάνειες αποκόλλησης που δημιουργήθηκαν από τις

συνεχείς επωθήσεις προς τα δυτικά με τη βοήθεια των Μεσοζωϊκών εβαποριτών που έδρασαν ως “λιπαντικό” μέσο. Η τρίτη ζώνη εντοπίζεται γενικά μέσα στα Παλαιοζωϊκά ιζήματα και το κρυσταλλικό υπόβαθρο της περιοχής σε βάθη 9–12 Km τα οποία δεν μένουν ανεπηρέαστα από την τεκτονική δραστηριότητα των υπερκείμενων στρωμάτων.

Μετρήσεις GPS

Από μετρήσεις GPS στην περιοχή αναγνωρίστηκαν δύο κινηματικά καθεστώτα. Η περιοχή βόρεια της Λευκάδας δε δείχνει σχεδόν καμία κίνηση σχετικά με τη νότια Ιταλία, ενώ στα νησιά Λευκάδα, Ιθάκη, Κεφαλληνία, Ζάκυνθο, Στροφάδες, σε τμήμα της Πελοποννήσου, καθώς και στα νησιά Κήθυρα, Κρήτη και Γάυδο εντοπίζεται μια έντονη νοτιοδυτική κίνηση. Οι ταχύτητες μετακίνησης αυξάνουν κατά μήκος των κεντρικών νησιών του Ιονίου από 10 mm/y στη Λευκάδα έως 35 mm/y στο νότιο άκρο της Πελοποννήσου, την Αττική και την Κρήτη.

Ανάμεσα στη νότια Κεφαλληνία-Ζάκυνθο και τον Πατραϊκό κόλπο επικρατούν συμπίεστικές τάσεις με τον συμπίεστικό άξονα να περιστρέφεται από ΒΑ–ΝΔ διεύθυνση έξω από τον κόλπο σε Α–Δ μέσα στον κόλπο. Οι παραμορφώσεις που προκαλούνται εκφράζονται με ανάστροφα ρήγματα τα οποία διαπιστώνονται μέσα στα θαλάσσια ιζήματα νότια της Κρήτης και της Πελοποννήσου με γεωφυσικές μεθόδους και βαθιές γεωτρήσεις αλλά και με υπαίθριες παρατηρήσεις πάνω στα πετρώματα (Ιόνια νησιά).

5.7 Συμπεράσματα και Μελλοντικές προτάσεις

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία και την ερμηνεία της σεισμικής γραμμής μελέτης, ενώ παράλληλα γίνεται αναφορά και σε μελλοντικές προτάσεις για την περιοχή.

*** Συμπεράσματα που προέκυψαν από την ερμηνεία της γραμμής μελέτης**

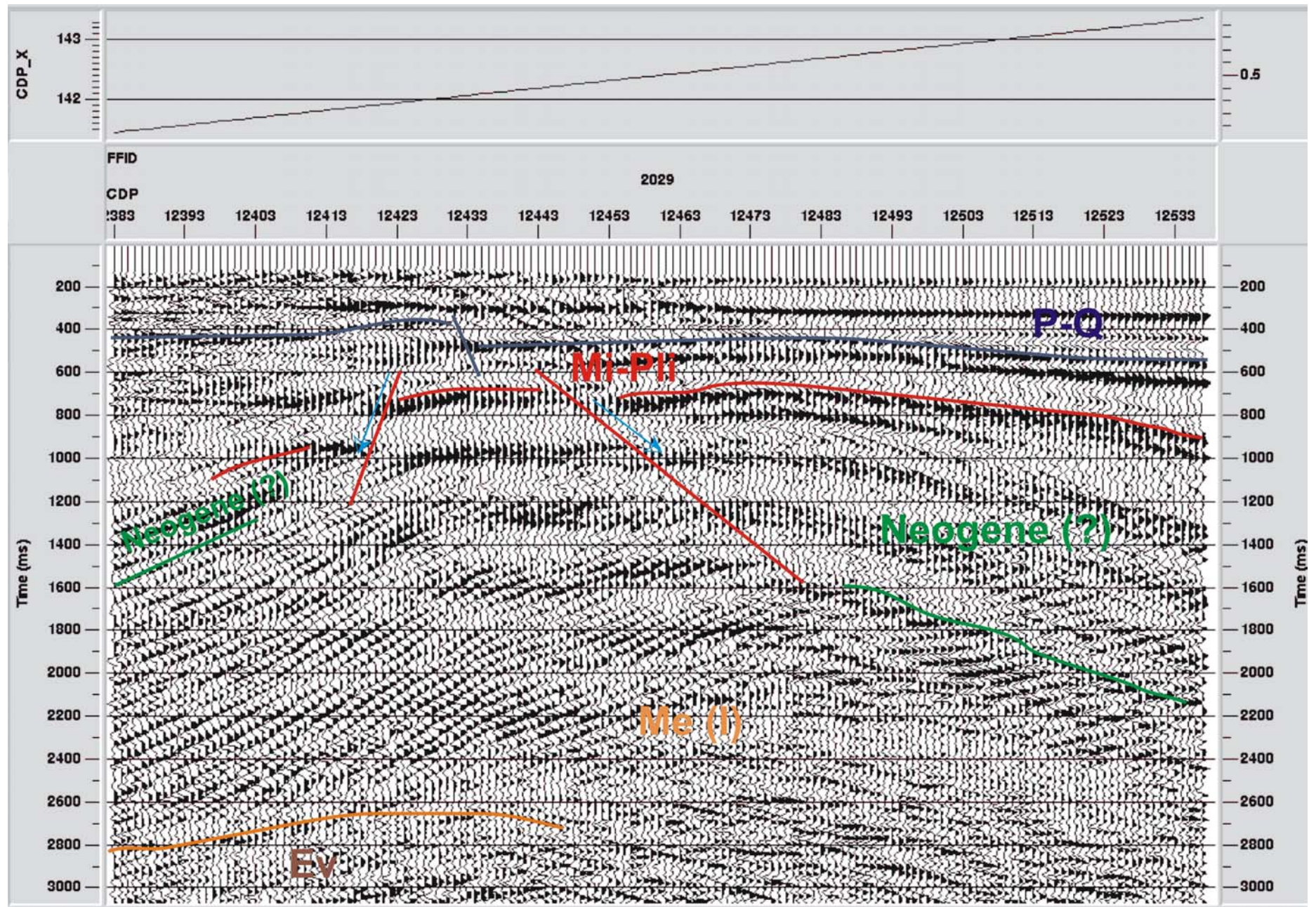
- Η διαφοροποίηση του πάχους των Νεογενών ιζημάτων εκατέρωθεν των ρηγμάτων του τρίτου ανακλαστήρα πιθανώς σχετίζεται με την παρουσία των Εβαποριτών σε μεγαλύτερους χρόνους.
- Στην περιοχή που μελετήθηκε τα ιζήματα του Πλειο-Τεταρτογενούς δεν παρουσιάζουν αξιόλογη τεκτονική παραμόρφωση.
- Οι ασβεστόλιθοι της Ιονίου ζώνης εμφανίζουν μία χρονική έκταση 1.2 s TWT που αντιστοιχεί σε πιθανό πάχος 2 Km. Το πιθανό πάχος των ασβεστολίθων στη συγκεκριμένη τομή βρίσκεται σε συμφωνία με τα δεδομένα των γεωτρήσεων που έχουν γίνει στον ευρύτερο χώρο της Ιονίου ζώνης.

*** Μελλοντικές προτάσεις**

Με βάση τα παραπάνω συμπεράσματα προτείνεται μελλοντικά:

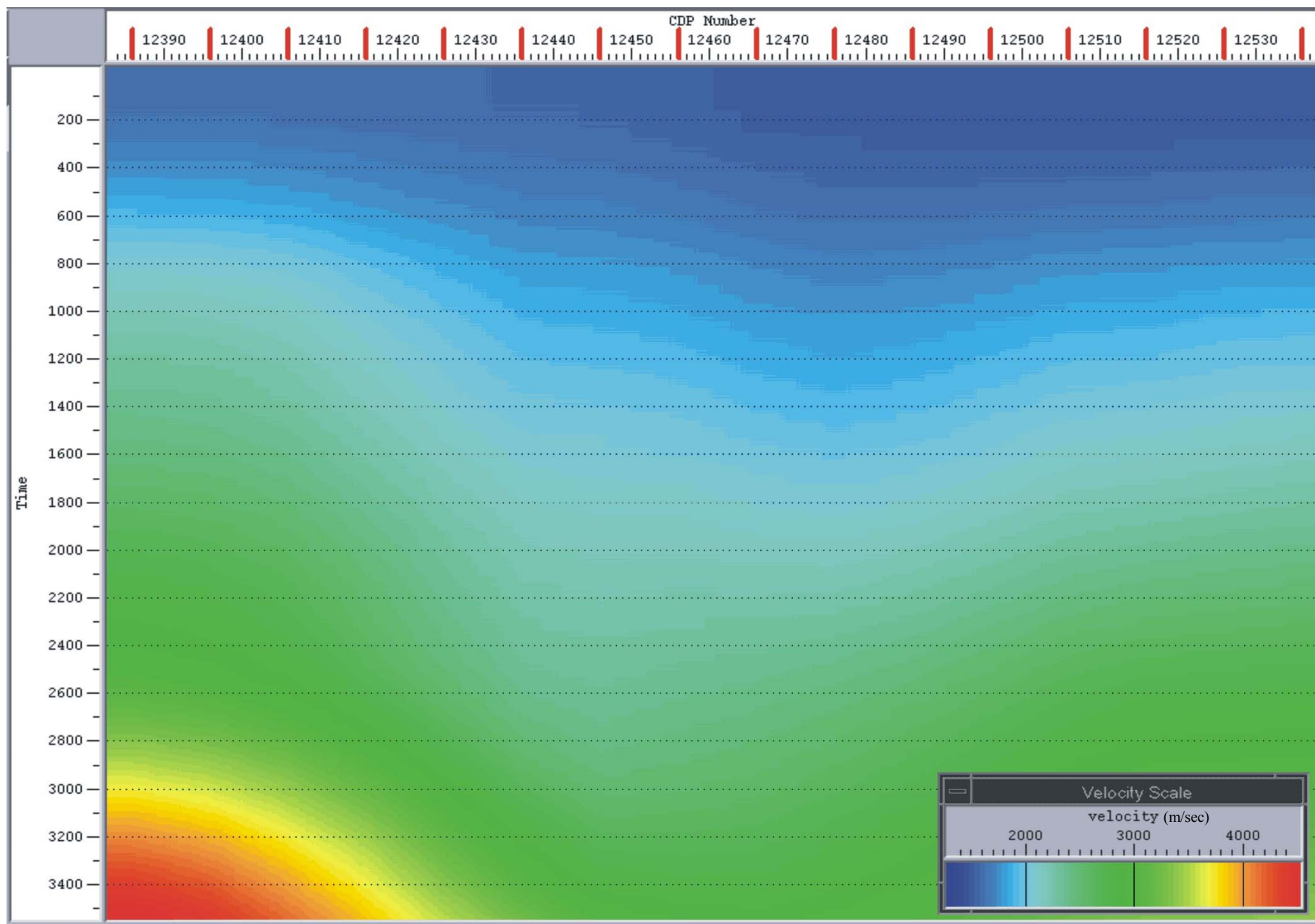
- Εφαρμογή της μεθόδου της σεισμικής ανάκλασης με το ίδιο βήμα σε όλο το μήκος της γραμμής μελέτης ION-7.
- Εκτενέστερη μελέτη της περιοχής με μικρότερη ισαπόσταση πηγών και υδροφώνων αλλά και για διάστημα δειγματοληψίας μικρότερο των 4 ms.
- Βαρυτική έρευνα και επισταμένη μελέτη με τη μέθοδο της σεισμικής διάθλασης για την περιοχή της γραμμής μελέτης λόγω της συσχέτισης αυτής με το φαινόμενο διαπειρισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



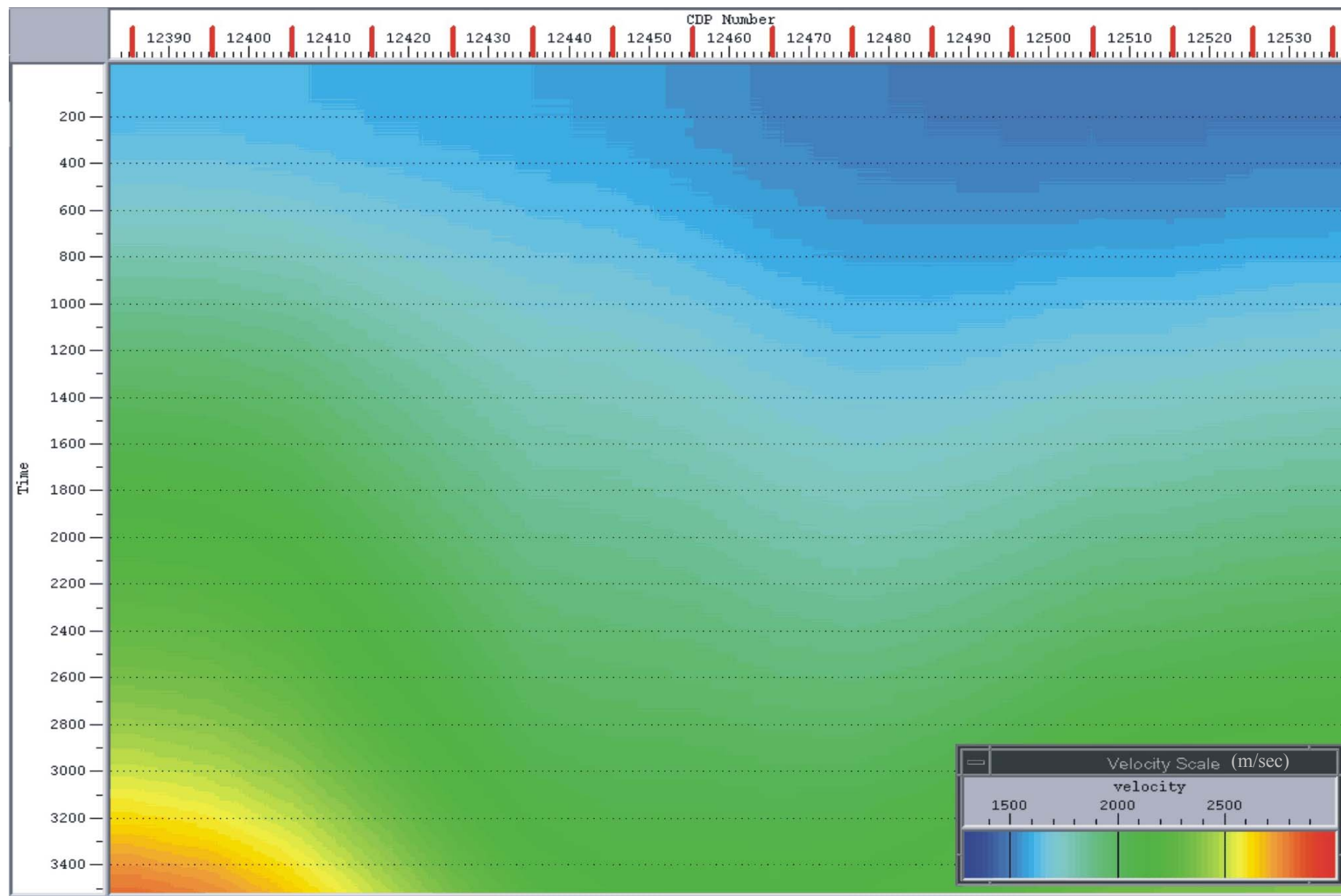
Σχήμα 5.1: Η τομή της σεισμικής υπέρθεσης μέχρι τα 3 sec. Φαίνονται οι διάφοροι ανακλαστήρες που εντοπίστηκαν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ

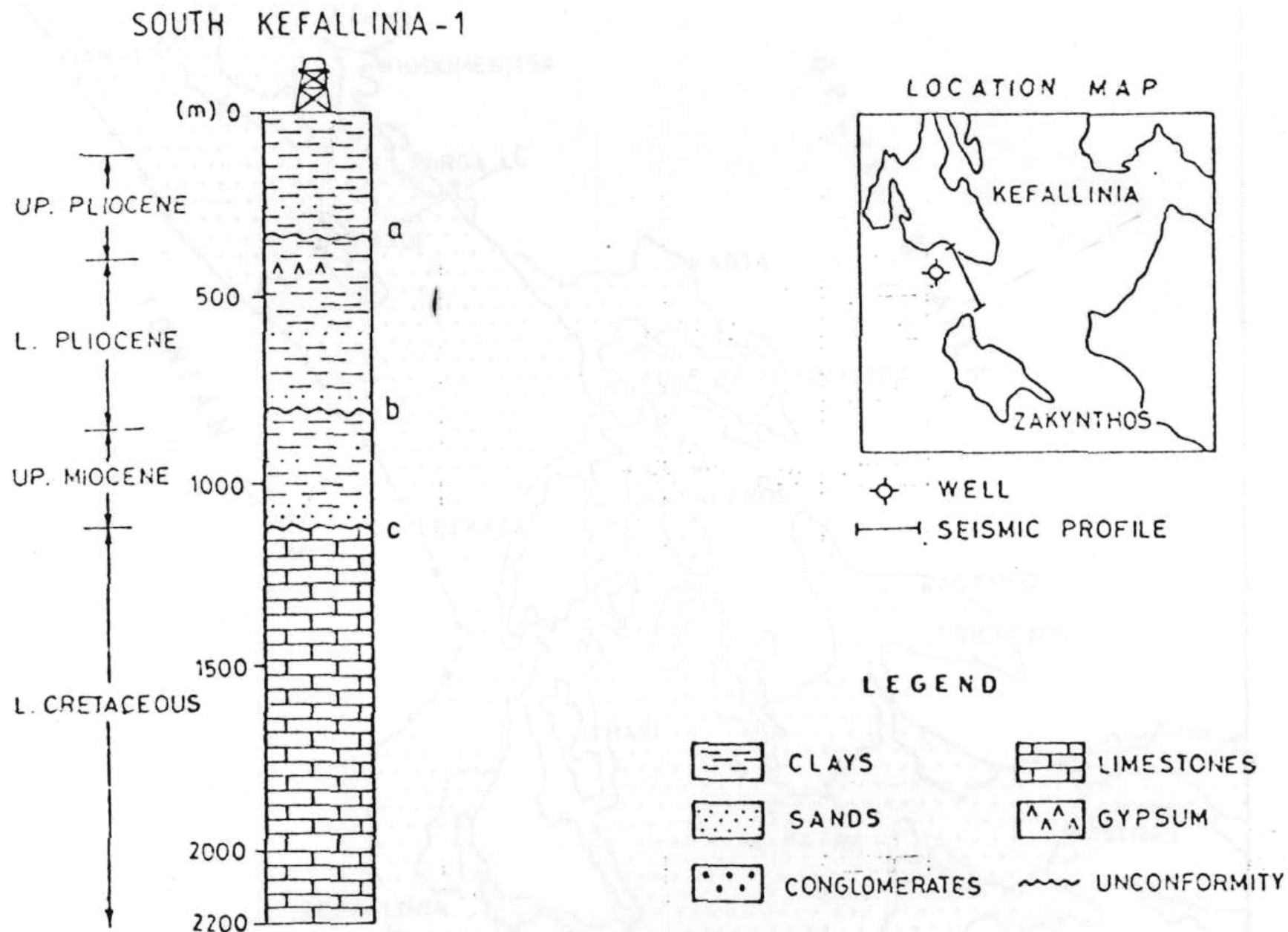


Σχήμα 5.2: Οι τμηματικές ταχύτητες (m/s) συναρτήσει του χρόνου μέχρι τα 3.5 sec.

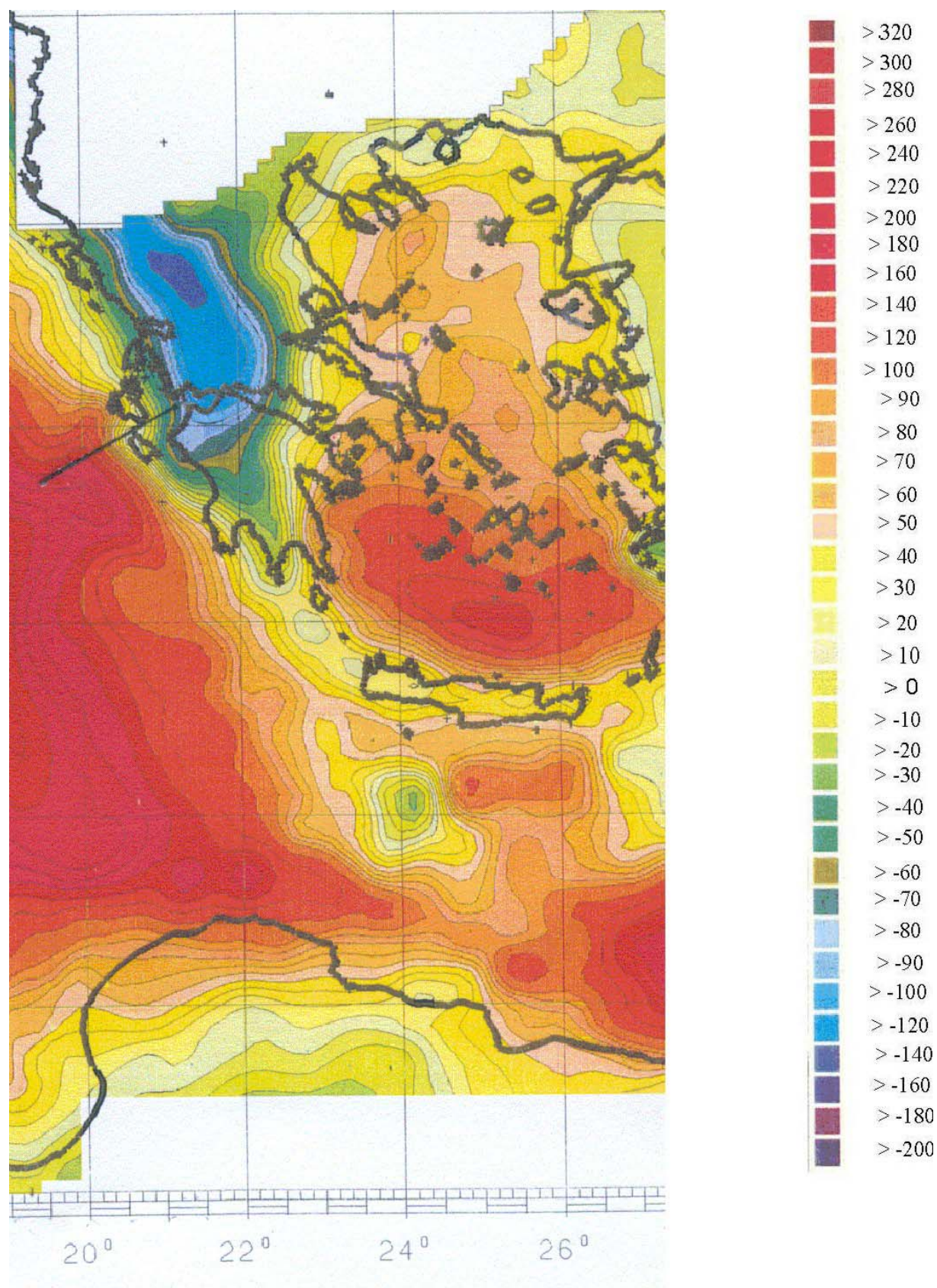
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΤΟΜΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ



Σχήμα 5.3: Η μέση τετραγωνική ταχύτητα (RMS velocity) (m/sec) συναρτήσει του χρόνου μέχρι τα 3.5 sec.



Σχήμα 5.6: Γεώτρηση από την περιοχή της νοτίου Κεφαλληνίας (S-KEF-1) (Kamberis et al., 1998).



Σχήμα 5.7: Χάρτης της ανωμαλίας Bouguer για τον Ελλαδικό χώρο και τις γύρω περιοχές (Κόκκινου, 2002).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι - Σεισμικές μέθοδοι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
2. Γεωργιλά Κ. Θ., 1998, Συμβολή της σεισμικής ανάκλασης στην επίλυση υδρογεωλογικών προβλημάτων, Μεταπτυχιακή εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
3. Cordier J.-P., Velocities in Reflection Seismology, Seismic reflection method.
4. Dimri V., 1992, Deconvolution and Inverse Theory.
5. Fitch A. A., 1983, Developments in Geophysical Exploration Methods –1, Developments Series.
6. Griffiths D. H. and King R. F, 1981, Applied Geophysics for Geologists and Enginneers, Pergamon International Library of Science, Technology, Engineering and Social Studies, Publisher Robert Maxwell M.C.
7. Κατσικάτσου .Χ. Γεωργίου 1992, Γεωλογία της Ελλάδας
8. Κόκκινου Ε., 1998, Εφαρμογή της σεισμικής τομογραφίας σε θαλάσσια δεδομένα στο Ιόνιο, Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Πολ. Κρήτης
9. Κόκκινου Ε., 2002, Επεξεργασία και ερμηνεία θαλάσσιων σεισμικών καταγραφών ανάκλασης στην περιοχή του Ιονίου, Διδακτορική διατριβή, Πολ. Κρήτης
10. Μαράτου. Ν. Γεωργίου 1972, Γεωλογία της Ελλάδος, Τόμος Πρώτος εκδόσεις Γεωτεχνικών Γραφείων ΓΕ.ΜΕΛ.ΕΡ
11. Monopolis, D., Bruneton, A., 1982, Ionian Sea (Western Greece): its structural outline deduced from drilling and geophysical data: Tectonophysics, 83, 227-242.
12. Μουντράκης .Μ. Δημοσθένης 1985, Γεωλογία της Ελλάδας, University studio press
13. Παπαζάχος Β.Κ., 1986, Εισαγωγή στην Εφαρμοσμένη Γεωφυσική, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
14. Παπανικολάου Ι. Δημητρίου 1986, Γεωλογία της Ελλάδας

15. Sodbinow E. S. 1989, Stacking, Filtering, and Display, Exploration Geophysics. GP 406
16. Robinson E, A., 1983, Migration of Geophysical data, Seismic waves.
17. Sheriff R. E., 1978, A first course in geophysical exploration and interpretation, D. Reidel Publishing company, Dordrecht/Boston/Lancaster.
18. Sheriff R. E. and Geldart L. P., 1995, Exploration seismology. Cambridge Univ. Press.
19. Τασσόπουλος Α. Ν., 1999, Γεωφυσική διασκόπηση με τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης για τον εντοπισμό του ρηχού υπόγειου ταμειυτήρα στο Μαντούδι Ευβοίας, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης
20. Van Nostrand R., 1984, Seismic filtering, Seismic prospecting.
21. Yilmaz O., 1987, Seismic data processing Society of Exploration Geophysicists.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παρακάτω φαίνονται τα προγράμματα ροής που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία των δεδομένων.

1. Πρώτο πρόγραμμα ροής (processing flow): SEG - Y input

Area:
Line:
Flow: Seg –Y Input
<u>-Seg – Y input</u> <u>-Trace display</u> <u>-Disk Data Output</u>

Seg - Y Input

- Type of storage: *disk image*
- Enter disk file path name: */disk2/promaxdata/marine1data/io*
- Disk file is on a remote machine?: *No*
- Store reel header in processing history?: *Yes*
- Display ensemble information?: *No*
- Input auxiliary traces?: *Yes*
- Input data's sample rate: *0.*
- Maximum time to input: *0.*
- Get channel number from trace headers?: *No*
- Input trace format: *IBM real*
- Is this stacked data?: *No*
- Maximum traces per ensemble: *180*
- Primary sort header word (domain of data)?: *shot*
- Input primary selection choice?: *FFID*
- Specify primary input list: *2025/*
- Input secondary selection choice: *channel*
- Specify channel input list: *1-180/*
- Input global XY reference coordinates: *No*
- Use the coordinate scalar?: *Yes*

-Re-map SEGY header values?: *No*

Trace Display

-Select display device: *this screen*

-Maximum number of traces/screen: *720*

-Traces to overlap between screens: *0*

-Number of ensembles (line segments/screen): *3*

-Traces GAP between ensembles: *0.1*

-Do you want to use variable trace spacing: *No*

-Output mode: *when done*

-Trace display mode: *color*

-Header plot parameter: *No trace header entry selected*

-Automatically save screens: *Yes*

-Maximum number of screen images to save: *10*

-Save screens in color: *No*

-Where to save screen images: *X server*

-Number of screens to collect: *1*

-Direction of trace plotting: *left to right*

-Polarity of trace display: *normal*

-Primary trace labeling header entry: *field file ID number*

-Secondary trace labeling header entry: *recording channel number*

-Mode of secondary trace annotation: *incremental*

-Increment for secondary trace annotation: *5*

-Trace scaling mode: *conventional*

-Trace excursion at which to clip: *2.*

-Scalar for sample value multiplication: *1.*

-Trace scaling option: *individual*

-Trace orientation: *vertical*

Disk data output → al

-Output dataset filename: *al*

-New or existing file?: *new*

-Record length to output: *0.*

-Trace sample format: *16 bit*

-Skip primary disk storage?: *No*

2. Δεύτερο πρόγραμμα ροής (processing flow): Kill - Traces

Area:
Line:
Flow: Kill – Traces
<u>-Trace display</u>
<u>-Trace Kill/reverse</u>
<u>-Seg - Y input</u>

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *180*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *1*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0.*
- Header plot parameter: *No trace header entry selected*
- Automatically save screens?: *Yes*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color?: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Number of screens to collect: *1*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *field file ID number*
- Secondary trace labeling header entry: *recording channel number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*

- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

Trace Kill/Reverse

- Trace editing mode: *kill*
- Get edits from the database?: *No*
- Primary edit list header word: *field file ID number*
- Secondary edit list header word: *recording channel number*
- Tertiary edit list header word: *No trace header entry selected*
- Specify traces to be edited: *2000-2100: 74,115,132,171/*

Seg - Y Input

- Type of storage: *disk image*
- Enter disk file path name: */disk2/promaxdata/marinedata/io*
- Disk file is on a remote machine?: *No*
- Store reel header in processing history?: *Yes*
- Display ensemble information?: *No*
- Input auxiliary traces?: *Yes*
- Input data's sample rate: *0.*
- Maximum time to input: *0.*
- Get channel number from trace headers?: *No*
- Input trace format: *IBM real*
- Is this stacked data?: *No*
- Maximum traces per ensemble: *180*
- Primary sort header word (domain of data)?: *shot*
- Input primary selection choice?: *FFID*
- Specify primary input list: *2025/*
- Input secondary selection choice?: *channel*
- Specify channel input list: *1-180/*
- Input global XY reference coordinates?: *No*
- Use the coordinate scalar?: *Yes*
- Remap SEG Y header values?: *No*

3. Τρίτο πρόγραμμα ροής (processing flow): Automatic Gain Control

Area:
Line:
Flow: Automatic Gain Control
<u>-Seg-Y input</u>
<u>-Automatic Gain Control</u>
<u>-Trace display</u>

Seg - Y Input

- Type of storage: *disk image*
- Enter disk file path name: */ disk2/promaxdata/marine1data/io*
- Disk file is on remote machine?: *No*
- Store reel header in processing history?: *Yes*
- Display ensemble information?: *No*
- Input auxiliary traces?: *Yes*
- Input data's sample rate: *0.*
- Maximum time to input: *0.*
- Get channel number from trace headers?: *No*
- Input trace format: *IBM real*
- Is this stacked data?: *No*
- Maximum traces per ensemble: *180*
- Primary sort header word (domain of data)?: *shot*
- Input primary selection choice?: *FFID*
- Specify primary input list: *2000-2100/*
- Input secondary selection choice?: *channel*
- Specify channel input list: *1-180/*
- Input global XY reference coordinates?: *No*
- Use the coordinate scalar?: *Yes*
- Remap SEG Y header values?: *No*

Automatic Gain Control

- Application mode: *apply*
- Type of AGC scalar: *mean*
- AGC operator length: *500*.
- Basis for scalar application: *centered*
- Exclude hard zeroes?: *Yes*
- Robust scaling?: *No*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *180*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *1*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *color*
- Header plot parameter: *No trace header entry selected*
- Automatically save screens?: *Yes*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color?: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Number of screens to collect: *1*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *field file ID number*
- Secondary trace labeling header entry: *recording channel number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2*.
- Scalar for sample value multiplication: *1*.
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

4. Τέταρτο πρόγραμμα ροής (processing flow): Mute - File

Area:
Line:
Flow: Mute - File
<ul style="list-style-type: none"><u>-Disk data input</u><u>-CDP/Ensemble stack</u><u>-Trace muting</u><u>-Trace display</u><u>-Normal moveout correction</u>

Disk Data Input ←ionian (2000-2054)

- Read data from other lines/surveys?: *No*
- Select dataset: *Ionian (2000-2054)*
- Trace read option: *sort*
- Select primary trace header entry: *CDP bin number*
- Select secondary trace header entry: *No trace header entry selected*
- Sort order for dataset: **/*
- Presort in memory or on disk?: *memory*
- Read the data multiple times?: *No*
- Process trace headers only?: *No*
- Override input data's sample interval?: *No*

CDP/Ensemble Stack (stacking)

- Sort order of input ensembles: *CDP*
- Method for trace summing: *mean*
- Root power scalar for stack normalization: *0.5*
- Apply final datum statics after stack?: *Yes*
- Has NMO been applied?: *Yes*

Trace Muting

- Re-apply previous mutes: *No*
- Type of mute: *Top*
- Starting ramp: *30.*
- Extrapolate mute times?: *Yes*
- Get mute file from the database?: *Yes*
- Select mute parameter file: *mute (2000-2054)*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *3000*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *1*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0.*
- Header plot parameter: *actual trace fold*
- Automatically save screens?: *No*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color?: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *field file ID number*
- Secondary trace labeling header entry: *CDP bin number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*
- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

Normal Moveout Correction

- Direction for NMO application: *forward*
- Stretch mute percentage: *0.*
- Apply any remaining static during NMO?: *Yes*
- Get velocities from the database?: *No*
- Specify NMO velocity function(s): *12209:0-1500, 10000-1*

5. Πέμπτο πρόγραμμα ροής (processing flow): Disk - Input

Area:
Line:
Flow: Disk - Input
<u>-Disk data input</u>
<u>-Trace display</u>

Disk Data Input ←ionian (2000-2054)

- Read data from other lines/surveys?: *No*
- Select dataset: *Ionian (2000-2054)*
- Trace read option: *sort*
- Select primary trace header entry: *CDP bin number*
- Select secondary trace header entry: *No trace header entry selected*
- Sort order for dataset: *12390-12400/*
- Presort in memory or on disk?: *memory*
- Read the data multiple times?: *No*
- Process trace headers only?: *No*
- Override input data's sample interval?: *No*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *90*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *3*
- Traces GAP between ensembles: *1.*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0.*
- Header plot parameter: *actual trace fold*
- Automatically save screens?: *No*

- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *CDP bin number*
- Secondary trace labeling header entry: *recording channel number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*
- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

6. Έκτο πρόγραμμα ροής (processing flow): Velocity Analysis

Area:
Line:
Flow: Velocity Analysis
<ul style="list-style-type: none"><u>-Disk data input</u><u>-Automatic Gain Control</u><u>-Trace muting</u><u>-Trace display</u><u>-Velocity analysis</u>

Disk Data Input ← *ionian* (2000-2054)

- Read data from other lines/surveys?: *No*
- Select dataset: *Ionian (2000-2054)*
- Trace read option: *sort*
- Select primary trace header entry: *CDP bin number*
- Select secondary trace header entry: *No trace header entry selected*
- Sort order for dataset: *12390-12392/*
- Presort in memory or on disk?: *memory*
- Read the data multiple times?: *No*
- Process trace headers only?: *No*
- Override input data's sample interval?: *No*

Automatic Gain Control

- Application mode: *apply*
- Type of AGC scalar: *mean*
- AGC operator length: *500*.
- Basis for scalar application: *centered*
- Exclude hard zeroes?: *Yes*
- Robust scaling?: *No*

Trace Muting

- Re-apply previous mutes: *No*
- Type of mute: *Top*
- Starting ramp: *30.*
- Extrapolate mute times?: *Yes*
- Get mute file from the database?: *Yes*
- Select mute parameter file: *mute (2000-2054)*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *150*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *5*
- Trace GAP between ensembles: *1.*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0.*
- Header plot parameter: *CDP bin number*
- Automatically save screens?: *No*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color?: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *CDP bin number*
- Secondary trace labeling header entry: *recording channel number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*
- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

Velocity Analysis

- Number of CDPs per CVS strip: *30*
- Absolute offset of first bin center: *180*.
- Bin size for vertically summing offsets: *180*.
- Maximum stretch percentage for NMO: *300*.
- Semblance window size: *40*.
- Window size for smoothing (in ms): *20*.
- Minimum analysis velocity: *500*.
- Maximum analysis velocity: *8000*.
- Number of test velocities: *15*
- Interval velocity below last knee: *0*.
- Semblance normalization mode: *scale time slice*
- Power factor for normalization: *1*.
- Noise factor for normalization: *0.1*
- Table to store velocity picks: *Velocity (12383-12538)*
- Maximum velocity change for snapping(in %): *5*
- Maximum time change for snapping (in ms): *40*
- Extrapolate guide function from a table?: *No*
- Display horizon(s)?: *No*
- Use neutral network velocity picker?: *No*

7. Έβδομο πρόγραμμα ροής (processing flow): Velocity Manipulation

Area:
Line:
Flow: Velocity Manipulation
<u>-Velocity viewer/point editor*</u>

Velocity viewer/point editor*

- Select the type of field you wish to edit: *interval velocity in depth*
- Do you wish to edit an existing table?: *Yes*
- Select input velocity database entry: *interval (12209-12718)*
- Do you wish to specify the bounds of the field?: *Yes*
- Minimum CDP coordinate of viewing box: *12383.*
- Maximum CDP coordinate of viewing box: *12538.*
- Select output velocity database entry: *test*
- Minimum depth (or time) of velocity field to edit: *0.*
- Maximum depth (or time) of velocity field to edit: *20000.*

8. Όγδοο πρόγραμμα ροής (processing flow): Stacking

Area:
Line:
Flow: Stacking
<ul style="list-style-type: none">-<u>Disk data input</u>-<u>Automatic Gain Control</u>-<u>Trace muting</u>-<u>Trace display</u>

Disk Data Input ←stack (12209-12718)

- Read data from other lines/surveys?: *No*
- Select dataset: *stack (12209-12718)*
- Trace read option: *sort*
- Select primary trace header entry: *CDP bin number*
- Select secondary trace header entry: *No trace header entry selected*
- Sort order for dataset: *12383-12537/*
- Presort in memory or on disk?: *memory*
- Read the data multiple times?: *No*
- Process trace headers only?: *No*
- Override input data's sample interval?: *No*

Automatic Gain Control

- Application mode: *apply*
- Type of AGC scalar: *mean*
- AGC operator length: *1000.*
- Basis for scalar application: *centered*
- Exclude hard zeroes?: *Yes*
- Robust scaling?: *No*

Trace Muting

- Re-apply previous mutes: *No*
- Type of mute: *Top*
- Starting ramp: *30.*
- Extrapolate mute times?: *Yes*
- Get mute file from the database?: *Yes*
- Select mute parameter file: *mute (2000-2054)*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces/screen: *1000*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *5*
- Trace GAP between ensembles: *1.*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0.*
- Header plot parameter: *X coordinate of CDP*
- Automatically save screens?: *No*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *normal*
- Primary trace labeling header entry: *field file ID number*
- Secondary trace labeling header entry: *CDP bin number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *convenntional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*
- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

9. Ένατο πρόγραμμα ροής (processing flow): Deconvolution

Area:
Line:
Flow: Deconvolution
<ul style="list-style-type: none"><u>-Disk data input</u><u>-spiking/predictive deconvolution</u><u>-Automatic Gain Control</u><u>-Trace muting</u><u>-Trace display</u>

Disk Data Input ←stack (12209-12718)

- Read data from other lines/surveys?: *No*
- Select dataset: *stack (12209-12718)*
- Trace read option: *sort*
- Select primary trace header entry: *CDP bin number*
- Select secondary trace header entry: *No trace header entry selected*
- Sort order for dataset: *12383-12537/*
- Presort in memory or on disk?: *memory*
- Read the data multiple times?: *No*
- Process trace headers only?: *No*
- Override input data's sample interval?: *No*

Spiking/Predictive Deconvolution

- Type of deconvolution: *minimum phase predictive*
- Deconvolution operator length(s): *80*
- Operator prediction distance(s): *35*
- Apply prediction filter connection?: *No*
- Operator "white noise" level(s): *0.1*
- Window rejection factor: *2.*

- Get decon gates from the database?: *No*
- Select primary decon gate header word: *CDP bin number*
- Select secondary decon gate header word: *X coordinate of CDP*
- Specify decon gate parameters: *12383:141.44:0-3000/12537:14*
- Output traces or filters: *Normal decon output*
- Apply a bandpass filter after decon?: *No*
- Re-apply trace mute after decon?: *Yes*

Automatic Gain Control

- Application mode: *apply*
- Type of AGC scalar: *mean*
- AGC operator length: *1000*.
- Basis for scalar application: *centered*
- Exclude hard zeroes?: *Yes*
- Robust scaling?: *No*

Trace Muting

- Re-apply previous mutes: *No*
- Type of mute: *Top*
- Starting ramp: *30*.
- Extrapolate mute times?: *Yes*
- Get mute file from the database?: *Yes*
- Select mute parameter file: *mute (2000-2054)*

Trace Display

- Select display device: *this screen*
- Maximum number of traces / screen: *2500*
- Traces to overlap between screens: *0*
- Number of ensembles (line segments/screen): *1*
- Do you want to use variable trace spacing?: *No*
- Output mode: *when done*
- Trace display mode: *WT/VA*
- Offset BIAS for variable area: *0*.
- Header plot parameter: *X coordinate of CDP*

- Automatically save screens: *No*
- Maximum number of screen images to save: *10*
- Save screens in color?: *No*
- Where to save screen images: *X server*
- Direction of trace plotting: *left to right*
- Polarity of trace display: *Normal*
- Primary trace labeling header entry: *field file ID number*
- Secondary trace labeling header entry: *CDP bin number*
- Mode of secondary trace annotation: *incremental*
- Increment for secondary trace annotation: *5*
- Trace scaling mode: *conventional*
- Trace excursion at which to clip: *2.*
- Scalar for sample value multiplication: *1.*
- Trace scaling option: *individual*
- Trace orientation: *vertical*

Παρακάτω φαίνονται οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν στο Promax για την επεξεργασία των δεδομένων αλλά και οι επεξηγήσεις αυτών.

SEG-Y INPUT

-Type of storage: Επιλέγεται από που θα διαβάσει το πρόγραμμα τα σεισμικά δεδομένα. Με την επιλογή *Disk imag* η ανάγνωση των δεδομένων γίνεται από το αρχείο του δίσκου SEG-Y όπου έχει προηγηθεί η αποθήκευση.

-Enter disk file path name: Η εντολή αυτή εμφανίζεται αν επιλεγεί το *Disk imag* στο *Type of storage*. Επιλέγεται το αρχείο που έχουν αποθηκευθεί τα σεισμικά δεδομένα εισαγωγής.

-Disk file is on remote machine?: Επιλέγεται No εφόσον το αρχείο βρίσκεται στο σκληρό δίσκο του συγκεκριμένου υπολογιστή.

-Store reel header in processing history: Επιλέγεται Yes για να αποθηκεύσει το πρόγραμμα την επικεφαλίδα των δεδομένων που προέκυψε από τις προηγούμενες διαδικασίες.

-Display ensemble information: Επιλέγεται No για να μη γίνει η προβολή των πληροφοριών που σχετίζονται με τα σύνολα των ιχνών που έχουν εισαχθεί στο Promax.

-Input auxiliary traces: Επιλέγεται Yes για να εισαχθούν τα βοηθητικά ίχνη (όταν αυτά υπάρχουν).

-Input data's sample rate: Εισάγεται ο επιθυμητός ρυθμός δειγματοληψίας για τα σεισμικά δεδομένα (σε ms) όπως αυτός έχει οριστεί στην υπαίθρια καταγραφή. Το μηδεν εισάγεται όταν ο ρυθμός δειγματοληψίας στην επικεφαλίδα στο δίσκο είναι σωστός.

-Maximum time to input: Επιλέγεται η χρονική διάρκεια των καταγραφών που επιθυμούμε να αναγνωστεί (σε ms). Επιλέγοντας το μηδέν το πρόγραμμα διαβάζει όλα τα διαθέσιμα δεδομένα.

-Get channel number from trace headers?: Επιλέγεται αν η αρίθμηση των καναλιών θα γίνει από τις επικεφαλίδες του SEG-Y αρχείου. Το No δίνει τη διαδοχική αρίθμηση των καναλιών μέσα σε ένα σύνολο.

-Input trace format: Επιλέγεται από που θα πάρει το πρόγραμμα το ειδικό format των σεισμικών δεδομένων εισαγωγής. Επιλέχθηκε το *IBM Real*.

-Is this stacked data?: Επιλέγεται No εφόσον δεν υπάρχουν δεδομένα υπέρθεσης.

- Primary sort header word (domain of data):** Καθορίζεται ο τρόπος διάταξης των ιχνών για τα σεισμικά δεδομένα. Επιλέχθηκε το Shot κατά το οποίο τα ίχνη τοποθετούνται στη σειρά με την αρίθμηση των συνόλων CDP (CDP gather).
- Maximum traces per ensemble:** Ορίζεται ο μέγιστος αριθμός ιχνών για κάθε σεισμόγραμμα.
- Input primary selection choice:** Επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα καθορίζεται η λίστα εισαγωγής των ιχνών. Επιλέγοντας το FFID γίνεται επιλογή των εισερχόμενων δεδομένων κοινής πηγής.
- Specify primary input list:** Ορίζεται ο κωδικός αριθμός πεδίου (FFID) των εισερχόμενων δεδομένων κοινής πηγής.
- Input secondary selection choice:** Καθορίζεται η δευτερεύουσα ανεξάρτητη μεταβλητή για την ανάγνωση των σεισμικών δεδομένων. Επιλέγοντας το *Channel* παίρνονται τα εισερχόμενα ίχνη βασιζόμενοι στο ίχνος τους ή στον αριθμό του καναλιού.
- Specify channel input list:** Εισάγονται τα κανάλια που θα διαβαστούν.
- Input global XY reference coordinates?:** Επιλέγεται No για να μην εισαχθούν τα δεδομένα στο Promax με συντεταγμένες GPS.
- Use the coordinate scalar:** Επιλέγεται Yes για να χρησιμοποιηθούν ως συντεταγμένες μόνο η τετμημένη ή μόνο η τεταγμένη.
- Remap SEG-Y header values?:** Επιλέγεται No για να μην μεταβληθούν οι τιμές των επικεφαλίδων.

DISK DATA INPUT

-Read data from other lines/surveys: Επιλέγεται No για να αναγνωστούν τα αρχεία των σεισμικών δεδομένων καταγραφής από την τρέχουσα γραμμή.

-Select dataset: Επιλέγοντας No στην εντολή *read data from other lines/surveys* εμφανίζεται η επιλογή αυτή κατά την οποία δίνεται η ομάδα των δεδομένων (dataset).

-Trace read option: Επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα διαβαστούν τα σειсмоγράμματα. Επιλέχθηκε το *Sort* σύμφωνα με το οποίο προκαθορίζεται ο τρόπος εμφάνισης των καταγραφόμενων ιχνών στην οθόνη.

-Select primary trace header entry: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγεί *Sort* στο *Trace read option*. Γίνεται εισαγωγή στον κατάλογο των επικεφαλίδων και επιλέγεται μια συγκεκριμένη επικεφαλίδα εισόδου είτε από την κύρια είτε από την εναλλασσόμενη λίστα αυτών. Επιλέχθηκε το *CDP bin number* έτσι ώστε το κάθε κανάλι να ταξινομηθεί ανάλογα με τον αριθμό του CDP.

-Select secondary trace header entry: Η εντολή αυτή εμφανίζεται αν επιλεγεί *Sort* στο *Trace read option*. Δώθηκε η προεπιλεγμένη τιμή *No trace header entry selected*, κατά την οποία δεν επιλέγεται καμία δευτερεύουσα επικεφαλίδα για τα σεισμικά δεδομένα.

-Trace read option: Επιλέγεται ο τρόπος με τον οποίο θα διαβαστούν τα σειсмоγράμματα. Επιλέχθηκε το *Sort* σύμφωνα με το οποίο προκαθορίζεται ο τρόπος εμφάνισης των καταγραφόμενων ιχνών στην οθόνη.

-Sort order for dataset: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγθεί *Sort* στο *Trace read option*. Εισάγονται από το πληκτρολόγιο οι τιμές που αντιστοιχούν στις κύριες, δευτερεύουσες και τριτεύουσες επικεφαλίδες.

-Presort in memory or on disk: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγθεί *Sort* στο *Trace read option* και με αυτήν ορίζεται που θα γίνει η ταξινόμηση των ιχνών. Επιλέχθηκε το *Memory* ώστε η παραπάνω ταξινόμηση να αποθηκευτεί στη μνήμη του υπολογιστή.

-Read the data multiple times?: Επιλέγεται No για να μην διαβαστούν τα δεδομένα περισσότερες από μία φορές.

-Override input data's sample interval?: Επιλέγεται No που είναι και το προεπιλεγμένο, για να κρατήσει το πρόγραμμα το ίδιο διάστημα δειγματοληψίας

-Read the data multiple times?: Επιλέγεται No για να μην διαβαστούν τα δεδομένα περισσότερες από μία φορές.

-Process trace headers only: Επιλέγεται No έτσι ώστε μετά την εκτέλεση της εντολής αυτής, να προκύψει ένα νέο σύνολο σεισμικών δεδομένων.

DISK DATA OUTPUT

-Output dataset filename: Επιλέχθηκε νέο αρχείο για την αποθήκευση των σεισμικών δεδομένων στα οποία έχει αποδοθεί η γεωμετρία του πειράματος.

-New or existing file?: Επιλέχθηκε *new* για τη δημιουργία καινούριου αρχείου συνόλου δεδομένων.

-Record length to output: Καταχωρείται το μήκος της καταγραφής όπως ορίστηκε στην ύπαιθρο (σε ms).

-Trace sample format: Επιλέγεται η συμπιεσμένη μορφή για τα δεδομένα 16-bit format προκειμένου να εξοικονομηθεί χώρος.

-Skip primary disk storage?: Επιλέγεται No για να γράψει το πρόγραμμα αρχικά στον πρώτο δίσκο (disk 1) του H/Y και στην περίπτωση που αυτός γεμίσει, να έχει την επιλογή του δεύτερου δίσκου (disk 2).

TRACE DISPLAY

-Select display device: Επιλέγεται *this screen* για να εμφανιστούν τα ίχνη στην ίδια οθόνη.

-Maximum number of traces/screen: Καθορίζεται πόσα σεισμικά ίχνη θα εμφανίζονται στην οθόνη κάθε φορά. Επιλέγοντας το μηδέν που είναι και το προεπιλεγμένο, εμφανίζεται μόνο ένα CDP.

-Traces to overlap between screens: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν δεν επιλεγεί το μηδέν για το *Maximum number of traces/screen* και με αυτήν καθορίζεται πόσα σεισμικά ίχνη από την προηγούμενη εικόνα θα εμφανίζονται στην επόμενη.

-Number of ensembles (line segments/screen): Εισάγεται ο μέγιστος αριθμός των συνόλων των ιχνών που θα εμφανίζονται στην οθόνη κάθε φορά.

-Trace GAP between ensembles: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγεί αριθμός συνόλου ιχνών >1 στην εντολή *Number of ensembles/screen*. Καθορίζεται τότε το επιθυμητό κενό διάστημα ανάμεσα στα σύνολα των ιχνών που θα εμφανίζονται στην οθόνη.

-Do you want to use variable trace spacing?: Επιλέγεται No όταν δεν είναι επιθυμητή η χρήση μεταβαλλόμενου κενού διαστήματος μεταξύ των συνόλων των ιχνών.

-Output mode: Εισάγεται ο τρόπος εξόδου των σεισμικών δεδομένων. Επιλέχθηκε το *When done* που είναι και το προεπιλεγμένο.

-Trace display mode: Επιλέγεται ο τρόπος που θα εμφανίζονται τα σεισμικά ίχνη στην οθόνη. Ασπρόμαυρα, έγχρωμα κ.τ.λ.

-Offset BIAS for variable area: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγεί WT/VA ή VA στην εντολή “trace display mode”. Εισάγεται το σφάλμα % στην διαβάθμιση των χρωμάτων για την περιοχή που έχει επιλεγεί.

-Header plot parameter: Επιλέγεται μία επικεφαλίδα για τα ίχνη από τον κατάλογο των επικεφαλίδων, για σχεδιασμό. Η προεπιλεγμένη εντολή είναι η *No trace header entry* για την περίπτωση που δεν είναι επιθυμητή η σχεδίαση κανενός ίχνους κατεύθυνσης (header).

-Automatically save screens: Επιλέγεται Yes για να σώζει το πρόγραμμα αυτόματα κάθε καινούρια εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη.

-Save screens in color: Επιλέγεται Yes για να σώζονται οι εικόνες έγχρωμες.

-Maximum number of screen images to save: Επιλέγεται ο μέγιστος αριθμός των εικόνων που θα σώζονται από την εντολή “trace display”.

-Where to save screen images: Εισάγεται ο χώρος που θα σώζονται οι εικόνες που εμφανίζονται στην οθόνη. Επιλέχθηκε το *XServer*. Οι εικόνες που αποθηκεύονται εδώ μπορούν να ανακτηθούν και να εμφανιστούν πολύ πιο γρήγορα από αυτές που αποθηκεύονται στη μνήμη του προγράμματος.

-Polarity of trace display: Καθορίζεται η πολικότητα των σεισμικών δεδομένων που εμφανίζονται στην οθόνη. Επιλέχθηκε το *Normal* που είναι το προκαθορισμένο.

-Direction of trace plotting: Εισάγεται η διεύθυνση με την οποία θα εμφανίζονται τα ίχνη στην οθόνη. Επιλέχθηκε το προεπιλεγμένο *left to right*.

-Primary trace labeling header entry: Επιλέγεται μια επικεφαλίδα για τα ίχνη, η οποία θα χρησιμοποιηθεί σαν κύριος τίτλος σε κάθε περίπτωση.

-Secondary trace labeling header entry: Επιλέγεται μια επικεφαλίδα για τα ίχνη η οποία θα χρησιμοποιηθεί σαν δεύτερος τίτλος σε κάθε περίπτωση. Συνήθως επιλέγεται το CHAN που είναι και το προκαθορισμένο.

-Mode of secondary trace annotation: Η εντολή αυτή καθορίζει τη συχνότητα σχολιασμού του δευτέρου ίχνους. Επιλέχθηκε το *incremental* σύμφωνα με το οποίο, χαρακτηρίζεται το πρώτο ίχνος και κάθε νιοστό ίχνος που ακολουθεί αυτό.

-Increment for secondary trace annotation: Επιλέγοντας στην προηγούμενη εντολή *incremental*, εμφανίζεται η επιλογή αυτή κατά την οποία πρέπει να δοθεί η τιμή του σχόλιου προσαύξησης (annotation increment) ή κάποιου πολλαπλασίου αυτού.

-Trace scaling mode: Επιλέγεται ο τρόπος ταξινόμησης των ιχνών κατά αυξανόμενη σειρά (scaling). Επιλέχθηκε το *Conventional* που είναι και το προεπιλεγμένο.

-Trace excursion at which to clip: Η εμφάνιση της εντολής αυτής γίνεται όταν επιλεγεί *Conventional* στο *trace scaling mode*. Εισάγεται ο αριθμός των διαδρομών των ιχνών (trace excursions), για δεδομένα που περνάνε πριν αποκοπούν.

-Scalar for sample value multiplication: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγεί *Conventional* στο 'trace scaling mode'. Εισάγεται η επιπρόσθετη κλίμακα (additional scalar) για τον πολλαπλασιασμό των τιμών των ιχνών πριν αυτά εμφανιστούν στην οθόνη. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι το 1.0.

-Trace scaling option: Με την εντολή αυτή γίνεται ταξινόμηση των ήδη εμφανισμένων κατά αυξανόμενη σειρά (scaling) ιχνών και φανερώνεται όταν επιλεγεί *Conventional* στο *trace scaling mode*. Επιλέχθηκε το προεπιλεγμένο *individual*.

-Trace orientation: Επιλέγεται ο προσανατολισμός των σεισμικών ιχνών. Οι επιλογές είναι κατακόρυφος (*vertical*) ή οριζόντιος (*horizontal*). Επιλέχθηκε το προκαθορισμένο *vertical* το οποίο εμφανίζει τα κάθετα προσανατολισμένα σεισμικά ίχνη.

TRACE KILL/REVERSE

-Trace editing mode: Επιλέγεται αν τα ίχνη θα αποκόβονται ή θα αναστρέφονται. Επιλέχθηκε η αποκοπή (kill) για ίχνη που θα οριστούν στη συνέχεια.

-Get edits from the database: Εισάγεται No για να μη γίνει επιλογή αρχείου από τη βάση δεδομένων.

-Primary edit list header word: Οι κύριος, δευτερεύον και τριτεύον κώδικας (key) καθώς και οι επιλογές για τον προσδιορισμό των ιχνών, εμφανίζονται όταν επιλεγεί να μην ανακτηθεί αρχείο διόρθωσης ιχνών από τη βάση δεδομένων. Επιλέγεται μία επικεφαλίδα σαν ο βασικός κώδικας που θα προσδιορίσει τα ίχνη που θα διορθωθούν.

-Secondary edit list header word: Επιλέγεται προαιρετικά μία επικεφαλίδα σαν το δευτερεύον κώδικα (key) η οποία θα καθορίσει τα ίχνη που θα διορθωθούν.

-Tertiary edit list header word: Επιλέγεται προαιρετικά μία επικεφαλίδα σαν τον τριτεύον κώδικα (key) που θα καθορίσει τα ίχνη που θα διορθωθούν.

-Specify traces to be edited: Καθορίζονται τα ίχνη που θα διορθωθούν.

AUTOMATIC GAIN CONTROL

-Application mode: Με την εντολή αυτή, επιλέγεται ο τρόπος ενίσχυσης των πλατών για τα ίχνη και διατηρείται η δυνατότητα αναίρεσης της ενίσχυσης αυτής. Επιλέχθηκε *apply* για την απλή ενίσχυση των δεδομένων.

-Type of AGC scalar: Η εντολή αυτή αναφέρεται στον τύπο της ενίσχυσης. Επιλέχθηκε το *Mean* κατά το οποίο η ενίσχυση στηρίζεται στις μέσες απόλυτες τιμές των πλατών των δειγμάτων για τους διαδοχικούς χρόνους εισόδου.

-AGC operator length: Εισάγεται το επιθυμητό χρονικό μήκος του παραθύρου της ενίσχυσης (ms).

-Basis for scalar application: Επιλέγεται η περιοχή εφαρμογής της αυτόματης ενίσχυσης. Επιλέχθηκε το *centered* το οποίο αναφέρεται στο κεντρικό δείγμα για κάθε διαδοχική είσοδο.

-Exclude hard zeroes: Το προκαθορισμένο είναι *Yes* και επιλέγεται για τον αποκλεισμό των σημείων με μηδενικά πλάτη (*hard zeroes*) από την ενίσχυση. Συνήθως τα σημεία αυτά προκύπτουν από διαδικασίες αποκοπής ανεπιθύμητων σεισμικών ιχνών (*trace muting*) όπως είναι οι αποκοπές των πρώτων αφίξεων.

-Robust scaling: Επιλέγεται *No* όταν δεν είναι επιθυμητός ο περιορισμός της καμπύλης ενίσχυσης σε ένα συγκεκριμένο εύρος.

VELOCITY ANALYSIS

- Number of CDPs per CVS strip:** Εισάγεται ο αριθμός των CDPs που συμμετέχουν σε κάθε υπερομάδα CVS που εμφανίζεται στην οθόνη.
- Absolute offset of first bin center:** Καταχωρείται η απόλυτη απόσταση πηγής-πρώτου γεωφώνου.
- Bin size for vertically summing offsets:** Τοποθετούνται οι αποστάσεις πηγής-γεωφώνου, προκειμένου να μορφοποιηθούν οι υπερομάδες.
- Maximum stretch percentage for NMO:** Καταχωρείται το ποσοστό μέγιστης παραμόρφωσης της δυναμικής διόρθωσης για την ανάλυση ταχύτητας.
- Semblance window size:** Καταχωρείται το μέγεθος του “παραθύρου” για τον υπολογισμό των τιμών της συνάφειας.
- Window size for smoothing (in ms):** Επιλέγεται το χρονικό βήμα που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ταχύτητας.
- Minimum analysis velocity:** Καταχωρείται η ελάχιστη τετραγωνική ταχύτητα για την οποία θα γίνει ανάλυση.
- Maximum analysis velocity:** Καταχωρείται η μέγιστη τετραγωνική ταχύτητα για την οποία θα γίνει ανάλυση.
- Number of test velocities:** Επιλέγεται ο αριθμός των σταθερών ταχυτήτων που θα χρησιμοποιηθούν μεταξύ της μέγιστης και ελάχιστης ταχύτητας κατά τον υπολογισμό των τιμών του συνόλου.
- Interval velocity below last knee:** Επιλέγεται μία σταθερή τμηματική ταχύτητα για να εφαρμοστεί από τον τελευταίο επιλεγμένο χρόνο μέχρι το μέγιστο χρόνο εισαγωγής. Επιλέγοντας το μηδέν αγνοείται η εντολή αυτή.
- Semblance normalization mode:** Επιλέγεται ο τύπος κανονικοποίησης της συνάφειας ο οποίος επιτρέπει τη διάκριση ασθενών δυσδιάκριτων ανακλάσεων. Η κανονικοποίηση καθορίζεται αυτόματα από το πρόγραμμα και επιλέχθηκε το *Scale time slice*.
- Power factor for normalization:** Επιλέγεται ένας συντελεστής για την ανύψωση της τιμής ενός συνόλου κορυφών έτσι ώστε αυτό να είναι περισσότερο ευδιάκριτο από άλλα σύνολα τιμών που βρίσκονται γύρω από αυτό. Η τιμή 1.0 είναι η προεπιλεγμένη και δεν δίνει ανύψωση.
- Noise factor for normalization:** Επιλέγεται ένας συντελεστής που θα εμποδίσει τις ασήμαντα μικρές τιμές της προηγούμενης παραμέτρου, να φθάσουν κοντά σε αποδεκτά σύνολα. Οι τιμές που προτιμώνται είναι μεταξύ 0.0 και 0.4.

-Table to store velocity picks: Επιλέχθηκε η βάση δεδομένων στην οποία θα αποθηκεύονται οι μέσες τετραγωνικές ταχύτητες που θα επιλέγονται κατά την διάρκεια του προγράμματος.

-Extrapolate guide function from a table: Επιλέγεται No προκειμένου η συνάρτηση “οδηγός” να παράγεται από επιλεγμένα προηγούμενα σύνολα.

-Display horizons: Επιλέγεται No όταν οι ορίζοντες δεν φαίνονται στην επιφάνεια άθροισης (Gather tile).

-Use neural network velocity picker?: Επιλέγεται No όταν δεν είναι επιθυμητή η χρήση νευρωνικού δικτύου και η αυτόματη επιλογή των ταχυτήτων.

NORMAL MOVEOUT CORRECTION

-Direction for NMO application: Επιλέχθηκε το *forward* και εφαρμόστηκε η κανονική μορφή της δυναμικής διόρθωσης.

-Stretch mute percentage: Επιλέγεται το ποσοστό % της παραμόρφωσης της κυματομορφής, που είναι επιθυμητή για τα ίχνη που εμφανίζονται στην έξοδο μετά τη διόρθωση των ταχυτήτων. Τοποθετώντας την τιμή μηδέν, γίνεται αυτόματη αποκοπή των ιχνών.

-Get velocities from the database: Επιλέγεται No για να μην εισάγεται η συνάρτηση ταχύτητας υπέρθεσης από τη βάση δεδομένων.

-Specify NMO velocity function: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όταν επιλεγθεί No στο *Get velocities from the database*, και με αυτή προσδιορίζεται η ταχύτητα συνάρτησης του NMO.

TRACE MUTING

-Re-apply previous mutes: Επιλέγεται No για να μη γίνει εφαρμογή προηγούμενων παραμέτρων παύσης των ιχνών και να οριστούν καινούριες παράμετροι αποκοπής.

-Type of mute: Η εντολή αυτή καθορίζει τους χρόνους αποκοπής των ιχνών και τα κανάλια στα οποία θα γίνει η παύση. Οι διάφοροι τύποι αποκοπής ιχνών είναι οι:

Top: Πρόκειται για την εντολή που επιλέχθηκε η οποία επιτρέπει την αποκοπή στο πάνω μέρος των σειсмоγραμμάτων. Μπορούν να οριστούν οι αρχικές συνθήκες αποκοπής και στη συνέχεια οι συνθήκες αυτές να εφαρμοστούν σε όλα τα σεισμικά ίχνη.

Surgical: Στην επιλογή αυτή δεν υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής της παύσης σε όλα τα σεισμικά ίχνη. Για κάθε ένα απ' αυτά ορίζεται η επιθυμητή αποκοπή.

Bottom: Στην επιλογή αυτή η αποκοπή γίνεται στο κάτω μέρος των σειсмоγραμμάτων και υπάρχει η ίδια δυνατότητα με το top muting.

-Starting ramp: Η εντολή αυτή εμφανίζεται εάν επιλεγεί Top στο Type of mute και με αυτήν καθορίζεται η διαβάθμιση με την οποία θα πραγματοποιηθεί η αποκοπή αρχίζοντας από τα σημεία που έχουν οριστεί.

-Extrapolate mute times: Η εντολή αυτή εμφανίζεται εάν επιλεγεί Surgical στο Type of mute. Επιλέχθηκε Yes για να δωθούν οι χρόνοι των σημείων αποκοπής για όλα τα ίχνη.

-Get mute file from the database?: Επιλέγεται Yes για να υπάρχει η δυνατότητα παραπομπής της διαδικασίας στο αρχείο στο οποίο έχουν ήδη επιλεγεί τα ανεπιθύμητα σεισμικά γεγονότα.

-Select mute parameter file: Η εντολή αυτή εμφανίζεται αν επιλεγεί Yes στο Get mute file from the database. Με αυτήν επιλέγεται το όνομα του αρχείου στο οποίο έχει αποθηκευτεί η αποκοπή των ανεπιθύμητων σεισμικών γεγονότων. Στην παρούσα εργασία το όνομα του αρχείου είναι *mute (2000-2054)*.

CDP/ENSEMBLE STACK

-Sort order of input ensembles: Επιλέγεται η επικεφαλίδα που περιγράφει τη σειρά διαδοχής των εισερχόμενων ιχνών. Συνήθως πρόκειται για CDPs.

-Method for trace summing: Με την εντολή αυτή καθορίζεται ο τρόπος άθροισης των ιχνών σε κάθε σύνολο και ο τρόπος εμφάνισης αυτών στην έξοδο. Επιλέχθηκε το Mean κατά το οποίο τα δείγματα αθροίζονται και διαιρούνται με το πλήθος τους.

-Root power scalar for stack normalization: Εισάγεται ο εκθέτης της δύναμης που θα συνεισφέρει στην ομαλοποίηση των δειγμάτων. Επιλέχθηκε η τιμή 0,5.

-Apply final datum statics after stack: Επιλέγεται Yes για να χρησιμοποιηθούν τα τελικά δεδομένα μετά την άθροιση.

-Has NMO been applied: Επιλέγεται Yes εάν η διόρθωση NMO έχει εφαρμοστεί στα δεδομένα εισόδου.

SPIKING/PREDICTIVE DECONVOLUTION

-Type of deconvolution: Αναφέρεται ο τύπος της αποσυνέλιξης που εφαρμόστηκε στα δεδομένα. Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε η “αποσυνέλιξη πρόβλεψης ελαχίστης φάσης” (minimum phase predictive deconvolution).

-Deconvolution operator length: Εισάγεται το μήκος του αντίστροφου φίλτρου που εφαρμόστηκε στα δεδομένα (ms). Το μήκος αυτό καθορίζει το ποσοστό της αυτοσυσχέτισης που θα χρησιμοποιηθεί.

-Operator prediction distance(s): Η εντολή αυτή εμφανίζεται επιλέγοντας την αποσυνέλιξη πρόβλεψης. Εισάγεται ο τελεστής πρόβλεψης της απόστασης που θα εφαρμοστεί στα δεδομένα εισαγωγής. Το μήκος πρόβλεψης είναι το μήκος του παράθυρου πρόβλεψης (ms).

-Apply prediction filter connection: Επιλέγοντας την αποσυνέλιξη πρόβλεψης, είναι πολλές φορές δυνατή η εξομάλυνση των πολλαπλών *peg-leg* πρώτης περιόδου. Η διόρθωση αυτή είναι κατάλληλη μόνο για εκρήξεις και αποκρίσεις πολλαπλών που προέρχονται από σχεδόν ισοδύναμα βάθη νερού.

-Operator “white noise” levels: Αναφέρεται το ποσοστό του θορύβου το οποίο προστίθεται στα σεισμικά δεδομένα πριν την εφαρμογή της αποσυνέλιξης.

-Window rejection factor: Εισάγεται ένας σταθερός όρος με τη βοήθεια του οποίου θα πολλαπλασιαστεί ο τελεστής μήκους.

-Get deconvolution gates from the database: Επιλέγεται *No* αν είναι επιθυμητή η εισαγωγή παραμέτρων της deconvolution gate.

-Select primary deconvolution gate header word: Η εντολή αυτή εμφανίζεται αν επιλεγεί *No* στο *Get deconvolution gate from database?* Γίνεται εισαγωγή στο παράθυρο των επικεφαλίδων και επιλέγεται μια απ’αυτές. Η επικεφαλίδα αυτή θα καθορίζει τις τιμές της χρονικής σχεδιαστικής πύλης της αποσυνέλιξης.

-Select secondary deconvolution gate header word: Η εντολή αυτή εμφανίζεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Γίνεται εισαγωγή και πάλι στο παράθυρο των επικεφαλίδων και επιλέγεται μία ακόμα από αυτές αν αυτό θεωρηθεί απαραίτητο.

-Specify deconvolution gate parameters: Η εντολή αυτή εμφανίζεται αν επιλεγεί *No* στο *Get deconvolution gate from database?* Ορίζεται το τμήμα της κυματομορφής στο οποίο θα εφαρμοστεί η αποσυνέλιξη. Εισάγονται τιμές για την κύρια και δευτερεύουσα επικεφαλίδα (αν επιλεγθεί κάποια) και οι χρονικές πύλες για τον σχεδιασμό του τελεστή της αποσυνέλιξης.

-Output traces or filters: Επιλέχθηκε το *Normal deconvolution output* για να παραχθούν στην έξοδο αποσυνελιγμένα ίχνη.

-Apply a bandpass filter after deconvolution: Επιλέγεται No για να μην περιοριστεί η συχνότητα των δεδομένων κατά την αποσυνέλιξη.

-Re-apply trace mute after deconvolution: Επιλέγεται Yes για την αυτόματη επαναχρησιμοποίηση προηγούμενης εφαρμογής παύσης των ιχνών μετά την αποσυνέλιξη.

VELOCITY MANIPULATION

- Select the type of field you wish to edit:** Επιλέγεται ο τύπος του πεδίου στο οποίο θα επέμβουμε.
- Do you wish to edit an existing table?:** Επιλέγεται Yes για να επέμβουμε σε ένα υπαρκτό πίνακα στοιχείων.
- Select input velocity database entry:** Επιλέγεται ένας πίνακας παραμέτρων από τον κατάλογο αυτών.
- Do you wish to specify the bounds of the field?:** Επιλέγεται Yes για να γίνει εισαγωγή του συνόλου των τιμών των CDPs για τον τύπο του πεδίου.
- Minimum CDP coordinate of viewing box:** Εισάγεται η τιμή του μικρότερου CDP που θα εμφανιστεί.
- Maximum CDP coordinate of viewing box:** Εισάγεται η τιμή του μεγαλύτερου CDP που θα εμφανιστεί.
- Select output velocity database entry:** Επιλέγεται ο πίνακας παραμέτρων “test” από τον κατάλογο αυτών.
- Minimum depth (or time) of velocity field to edit:** Εισάγεται ο αρχικός χρόνος ή το βάθος για τον επιλεγμένο τύπο πεδίου.
- Maximum depth (or time) of velocity field to edit:** Το προεπιλεγμένο είναι το μηδέν για την εντολή αυτή που χρησιμοποιεί το μέγιστο χρόνο ή βάθος για τον επιλεγμένο τύπο πεδίου ταχυτήτων.