



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΗΣ

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΝΘΕΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ  
ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΤΙΚΗ ΜΕΣΣΑΡΑ

**Χατζημιχαηλίδου Ραφαηλία**

**Εξεταστική επιτροπή:**

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής (επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής

Κρητικάκης Γεώργιος, ΕΔΙΠ

**ΧΑΝΙΑ, 2016**

**Στην οικογένεια μου**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την επεξεργασία συνθετικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης για τη δυτική Μεσσαρά (Νομός Ηρακλείου) για την λεπτομερή απεικόνιση του αλπικού υποβάθρου.

Στη λεκάνη της Μεσσαράς σεισμικά δεδομένα τα οποία συλλέχθηκαν από την Δημόσια Επιχείρηση Πετρελαίου (ΔΕΠ) την δεκαετία του 1980 δεν παρέχουν επαρκή στοιχεία για την χαρτογράφηση του αλπικού υποβάθρου λόγω του αραιού δικτύου σεισμικών γραμμών.

Για το σχεδιασμό της σεισμικής διασκόπησης πραγματοποιήθηκε προσομοίωση της διάδοσης των σεισμικών κυμάτων και τρισδιάστατη απεικόνιση των σεισμικών τομών. Πιο αναλυτικά, επιλέχθηκαν 5 θέσεις σεισμικών γραμμών μελέτης. Στη συνέχεια, με βάση τα διαθέσιμα γεωφυσικά και γεωτρητικά στοιχεία δημιουργήθηκαν τα μοντέλα σεισμικής ταχύτητας. Ακολούθησε η επεξεργασία των συνθετικών δεδομένων με την εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης και της αποσυνέλιξης πρόβλεψης και παρουσιάστηκαν τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους. Στη συνέχεια έγινε προσπάθεια ερμηνείας των αποτελεσμάτων από την οποία προέκυψε η ανάγκη για πιο ρεαλιστική προσομοίωση λαμβάνοντας υπόψιν και τα ρήγματα.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τα παρακάτω άτομα των οποίων η βοήθεια ήταν πολύ σημαντική :

Για την ανάθεση του θέματος, την επιστημονική καθοδήγηση και τη συνεχή υποστήριξη για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, οφείλω πολλές ευχαριστίες στον επιβλέποντα Καθηγητή κ. Βαφείδη Αντώνιο. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής κ.Μανούτσογλου Εμμανουήλ και κ.Κρητικάκη Γεώργιο για τη τιμή που μου κάνουν με την συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή.

Για την πολυτίμη βοήθεια σε σχέση με τα προγράμματα που χρησιμοποίησα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους βοηθούς του εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής κ.Γιώργιο Κρητικάκη , κ.Νίκο Οικονόμου και κ. Νίκο Ανδρονικίδη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που μου έδωσαν την δυνατότητα να σπουδάσω.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	iv
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	x

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

1.1 Γεωλογική δομή της Κρήτης.....	1
1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης (Μεσσαράς).....	5

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ**

2.1 Εισαγωγή.....	8
2.2 Βασικές έννοιες της σεισμικής ανάκλασης.....	9
2.2.1 Ελαστικά κύματα.....	9
2.2.1.1 Κύματα χώρου.....	9
2.2.1.2 Επιφανειακά κύματα.....	10
2.2.2 Γεωμετρία ανάκλασης.....	11
2.2.2.1 Ανάκλαση σε οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια.....	11
2.2.2.2 Ανάκλαση σε κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια.....	13
2.3 Στάδια σεισμικής ανάκλασης.....	15
2.3.1 Συλλογή δεδομένων.....	15
2.3.2 Ψηφιακή επεξεργασία.....	16
2.3.2.1 Αποσυνέλιξη (deconvolution).....	16

2.3.2.2 Στατική διόρθωση (static correction).....	17
2.3.2.3 Σεισμική υπέρθεση (Stacking).....	18
2.3.2.3.1 Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP).....	18
2.3.2.3.2 Normal Moveout (NMO).....	19
2.3.2.4 Σεισμική χωροθέτηση (Migration).....	19
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup></b>	
<b>ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ</b>	
3.1 Συλλογή σεισμικών δεδομένων στο πεδίο μελέτης.....	21
3.2 Προεπεξεργασία για τη δημιουργία συνθετικών δεδομένων.....	22
3.3 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων.....	40
3.3.1 Εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης .....	46
3.3.2 Εφαρμογή της αποσυνέλιξης πρόβλεψης.....	49
 <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup></b>	
<b>ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS</b>	
4.1 Εισαγωγή.....	58
4.2 Εισαγωγή των τελικών σεισμικών τομών στο λογισμικό Rockworks.....	58
4.3 Μελλοντικές προτάσεις.....	64
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>65</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

<b>Σχήμα 1.1</b> Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al., 1996 και Reilinger et al., 1997). Τα βέλη αντιστοιχούν σε οριζόντια μετατόπιση σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη. Η παχιά μαύρη γραμμή δείχνει τη ζώνη υποβύθισης και οι κόκκινες γραμμές ρήγματα.....	2
<b>Σχήμα 1.2</b> Γεωλογικές τομές στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης (Φασσουλάς, 1995). Τα νούμερα υποδηλώνουν: 1. Νεογενή ιζήματα, 2. Οφιολίθους, 3. καλ. Αστερουσίων, 4. καλ. Τεκτονικού melange, 5 και 6. καλ. Πίνδου (φλύσχης και ανθρακικά), 7 και 8. καλ. Τρίπολης (φλύσχης και ανθρακικά), 9. καλ. Φυλλιτών - χαλαζιτών, 10 και 11. καλ. Πλακωδών ασβεστολίθων (μεταφλύσχης και ανθρακικά), DF ρήγμα απόσπασης, MDF κύριο ρήγμα απόσπασης.....	4
<b>Σχήμα 1.3</b> Η λεκάνη της Μεσσαράς (Βασιλάκης, 2006).....	5
<b>Σχήμα 1.4</b> Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ (κλίμακας 1:50.000). Με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσο Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις. (Vafidis et al., 2012).....	7
<b>Σχήμα 2.1</b> Απεικόνιση διαμήκων (longitudinal) και εγκάρσιων (transverse) κυμάτων ( <a href="https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg">https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg</a> ).....	10
<b>Σχήμα 2.2</b> Απεικόνιση της ανάκλασης κύματος σε οριζόντια επιφάνεια (Βαφείδης, 1993).....	12
<b>Σχήμα 2.3</b> Γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής του απευθείας κύματος και του ανακλώμενου κύματος συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης $x$ . Ο χρόνος $t_1(0)$ χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάθους $z$ (Βαφείδης, 1993).....	12
<b>Σχήμα 2.4</b> Πορεία δύο ανακλώμενων κυμάτων από την πηγή S προς τα γεώφωνα A και B. Η επιφάνεια ανάκλασης είναι κεκλιμένη με γωνία κλίσης $\theta$ (Βαφείδης, 1993).....	14
<b>Σχήμα 2.5</b> Γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια. Παρατηρείται ότι ο άξονας συμμετρίας της υπερβολής είναι μετατοπισμένος κατά $x'$ (Βαφείδης, 1993).....	14

<b>Σχήμα 2.6</b> Απεικόνιση λήψης σεισμικών δεδομένων στην ξηρά (Αποστολόπουλος, 2013).....	15
<b>Σχήμα 2.7</b> Σύγκριση των σεισμικών δεδομένων με και χωρίς επεξεργασία της κυματομορφής. α) CDP stack χωρίς αποσυνέλιξη β) CDP stack με αποσυνέλιξη (Cary, 1987).....	17
<b>Σχήμα 2.8 α)</b> CMP stack of data from the Santa Barbara Channel, offshore California.  β) Result of migration ( <a href="http://wiki.aapg.org/Seismic_migration">http://wiki.aapg.org/Seismic_migration</a> ).....	20
<b>Σχήμα 3.1 α)</b> Διάταξη συστοιχίας γεωφώνων <b>β)</b> Διάταξη πηγής (SP)-συστοιχίας γεωφώνων.....	22
<b>Σχήμα 3.2</b> Δορυφορική εικόνα με τη θέση των σεισμικών γραμμών στην περιοχή μελέτης (Google Earth).....	23
<b>Σχήμα 3.3</b> Δορυφορική εικόνα με τη θέση των σεισμικών γραμμών και των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων στην περιοχή μελέτης (Google Earth).....	24
<b>Σχήμα 3.4</b> Απεικόνιση της γεώτρησης BH_36 ως προς τη σεισμική τομή Z1. Η κόκκινη γραμμή αναπαριστά το υπόβαθρο.....	26
<b>Σχήμα 3.5.α</b> Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (1).....	30
<b>Σχήμα 3.5.β</b> Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.....	31
<b>Σχήμα 3.6.α</b> Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (2).....	32
<b>Σχήμα 3.6.β</b> Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.....	33
<b>Σχήμα 3.7.α</b> Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (3).....	34
<b>Σχήμα 3.7.β</b> Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.....	35
<b>Σχήμα 3.8.α</b> Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (4).....	36



<b>Σχήμα 3.8.b</b> Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.....	37
<b>Σχήμα 3.9.a</b> Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (8).....	38
<b>Σχήμα 3.9.b</b> Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.....	39
<b>Σχήμα 3.10</b> Απεικόνιση λειτουργίας του zero-offset model και του exploding reflector model ( <a href="http://www.reproducibility.org/RSF/book/bei/krch/paper_html/node5.html">http://www.reproducibility.org/RSF/book/bei/krch/paper_html/node5.html</a> ).....	41
<b>Σχήμα 3.11 a)</b> μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 1_P-N <b>b)</b> μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 2 <b>c)</b> μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 3 <b>d)</b> μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 4 <b>e)</b> μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 8.....	43
<b>Σχήμα 3.12</b> Απεικόνιση σεισμικών τομών υπέρθεσης. Στο αριστερό τμήμα απεικονίζεται η σεισμική τομή 2 για $dx=5m$ ενώ στο δεξί τμήμα, η τομή 2 για $dx=10m$ .....	45
<b>Σχήμα 3.13</b> Απεικόνιση της σεισμικής τομής υπέρθεσης με απορροφητικά όρια για τη σεισμική τομή 2. Παρατηρείται πώς με την είσοδο απορροφητικών ορίων στο μοντέλο, οι πολλαπλές ανακλάσεις εξαλείφονται.....	46
<b>Σχήμα 3.14</b> Μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας ( $v_{rms}^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για τη σεισμική γραμμή 2.....	47
<b>Σχήμα 3.15</b> Σεισμική γραμμή 1: <b>a)</b> σεισμική τομή υπέρθεσης <b>b)</b> σεισμική τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών.....	49
<b>Σχήμα 3.16</b> Σεισμική γραμμή 1_P-N: <b>a)</b> σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες <b>b)</b> σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές <b>c)</b> αποσυνέλιξη πρόβλεψης.....	53
<b>Σχήμα 3.17</b> Σεισμική γραμμή 2: <b>a)</b> σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες <b>b)</b> σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές <b>c)</b> αποσυνέλιξη πρόβλεψης.....	53
<b>Σχήμα 3.18</b> Σεισμική γραμμή 3: <b>a)</b> σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες <b>b)</b> σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές <b>c)</b> αποσυνέλιξη πρόβλεψης.....	54

**Σχήμα 3.19** Σεισμική γραμμή 4: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.....55

**Σχήμα 3.20** Σεισμική γραμμή 8: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.....56

**Σχήμα 4.1** Απεικόνιση των πρώτων 10km της σεισμικής τομής μελέτης Z1 με την βοήθεια του προγράμματος transform. Στο κατακόρυφο άξονα αναπαριστάται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος και στον οριζόντιο άξονα το μήκος της γραμμής μελέτης.....59

**Σχήμα 4.2** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα νοτιοδυτικά (SW). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.....60

**Σχήμα 4.3** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα νοτιοανατολικά (SE). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.....61

**Σχήμα 4.4** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα βορειοανατολικά (NE). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.....62

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

**Πίνακας 3.1** Δεδομένα γεώτρησης BH\_36. Οι στήλες (2) και (3) ορίζουν το βάθος στο οποίο φτάνουν τα γεωλογικά στρώματα.....27

**Πίνακας 3.2** Δεδομένα γεωτρήσεων. Οι στήλες (2)-(4) αφορούν στις χαρτογραφικές συντεταγμένες X,Y,Z (ΕΓΣΑ'87) και οι στήλες (9), (10) και (11), (12) αφορούν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος σε μοίρες και λεπτά αντίστοιχα.....28

**Πίνακας 3.3** Δεδομένα γεωτρήσεων. Οι στήλες (2)-(4) αφορούν στις χαρτογραφικές συντεταγμένες X,Y,Z (ΕΓΣΑ'87) και οι στήλες (9), (10) και (11), (12) αφορούν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος σε μοίρες και λεπτά αντίστοιχα.....29

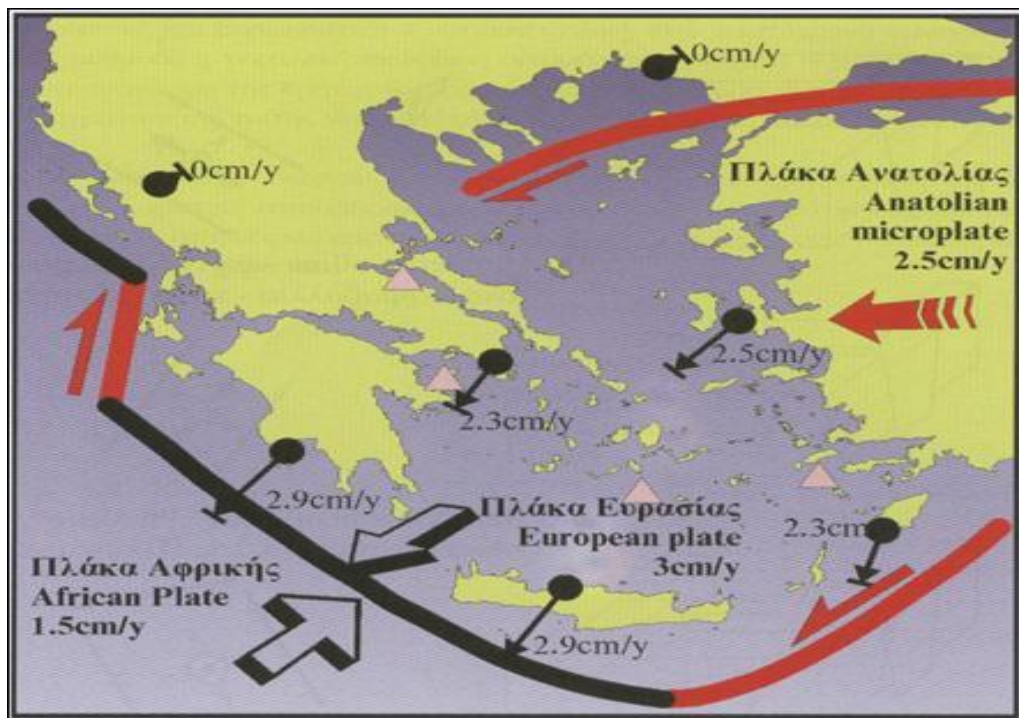
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

### **1. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ**

#### **1.1 Γεωλογική δομή της Κρήτης**

Η γεωλογική δομή της Ελλάδας χωρίζεται σε διάφορες γεωτεκτονικές ζώνες. Κάθε ζώνη, χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη στρωματογραφική διαδοχή των πετρωμάτων της όπως αυτά προέκυψαν από την τεκτονική δραστηριότητα.

Η γεωλογική δομή της Κρήτης συνδέεται με την συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας. Η Κρήτη έχει μια πολύπλοκη γεωλογική δομή και αυτό είναι αποτέλεσμα της γεωτεκτονικής θέσης του νησιού καθώς αυτό βρίσκεται πάνω από τις δύο συγκλίνουσες λιθοσφαιρικές πλάκες, την Αφρικανική και την Ευρασιατική με την πρώτη να καταβυθίζεται κάτω από την δεύτερη (Σχήμα 1.1).



**Σχήμα 1.1:** Η σημερινή κινηματική κατάσταση του Αιγαίου (τροποποιημένη από τον Gilbert et al. 1994, Noomen et al. 1996 και Reilinger et al. 1997). Τα βέλη αντιστοιχούν σε οριζόντια μετατόπιση σε σχέση με τη σταθερή Ευρώπη. Η παχιά μαύρη γραμμή δείχνει τη ζώνη υποβύθισης και οι κόκκινες γραμμές ρήγματα.

Χαρακτηρίζεται από << λεπιοειδή>> ανάπτυξη που είναι αποτέλεσμα τόσο των τεκτονικών διεργασιών στο Τριτογενές όσο και της τεκτονικής δραστηριότητας στη Μεταλπική περίοδο. Τα τεκτονικά καλύμματα των τεκτονικών ζωνών κατατάσσονται από κάτω προς τα πάνω ως εξής (Σχήμα 1.2) (Φασουλός, 1995):

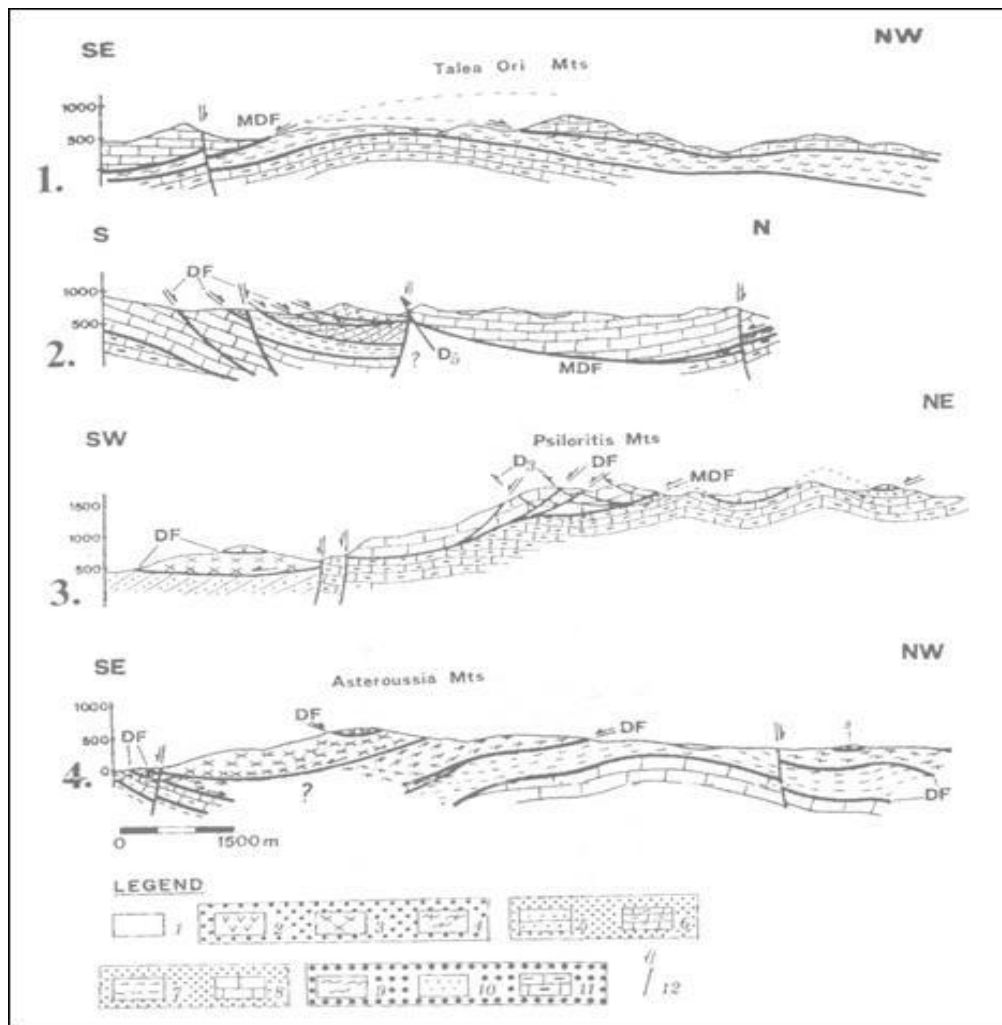
- **Ενότητα Ταλέη όρη - των πλακωδών ασβεστολίθων.** Η ενότητα αυτή αποτελείται από μία ακολουθία μαρμάρων τα οποία εμφανίζονται σε στρώματα μικρού πάχους και εμπεριέχουν διαστρώσεις ή κονδύλους πυριτόλιθων (Μανούτσου, 2011). Εμφανίζονται επίσης μεγάλες μάζες άστρωτων (μετα)-ασβεστολίθων, δολομιτών, ασβεστολιθικών κροκαλοπαγών και φυλλιτικών-χαλαζιακών πετρωμάτων.
- **Ενότητα του Τρυπαλίου.** Βρίσκεται τεκτονικά επωθημένη στην ενότητα Ταλέη Όρη - των Πλακωδών ασβεστολίθων και αποτελείται από μεταμορφωμένους δολομίτες, δολομιτικούς ασβεστολίθους, λατυποπαγείς ασβεστολίθους έως

γραουβάκες, σκούρους κυψελώδεις δολομίτες, άσπρα ζαχαρόκοκκα μάρμαρα και εμφανίσεις γύψου στη βάση. Η ηλικία τους καθορίστηκε μεταξύ Άνω Τριαδικού-Κάτω Ιουρασικού.

- **Ενότητα των Φυλλιτών-Χαλαζιτών.** Βρίσκεται πάνω στην Ομάδα Πλακωδών Ασβεστόλιθων και στην ενότητα του Τρυπαλίου. Περιλαμβάνει φυλλίτες, χαλαζίτες, μετα-ψαμμίτες, μετα-κροκαλοπαγή, φακοειδείς ανακρυσταλλωμένους ασβεστόλιθους, μετα-ανδεσίτες, μεταβασίτες. Η ηλικία της είναι μεταξύ Περμίου - Τριαδικού.
- **Ενότητα της Πίνδου.**

Πάνω από τις παραπάνω εξωτερικές ζώνες υπάρχουν τεκτονικά λείπια των εσωτερικών ζωνών με χαρακτηριστικές την ενότητα της Άρβης που περιλαμβάνει τμήματα οφιολιθικού συμπλέγματος και την ενότητα των Αστερουσίων που περιέχει γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.

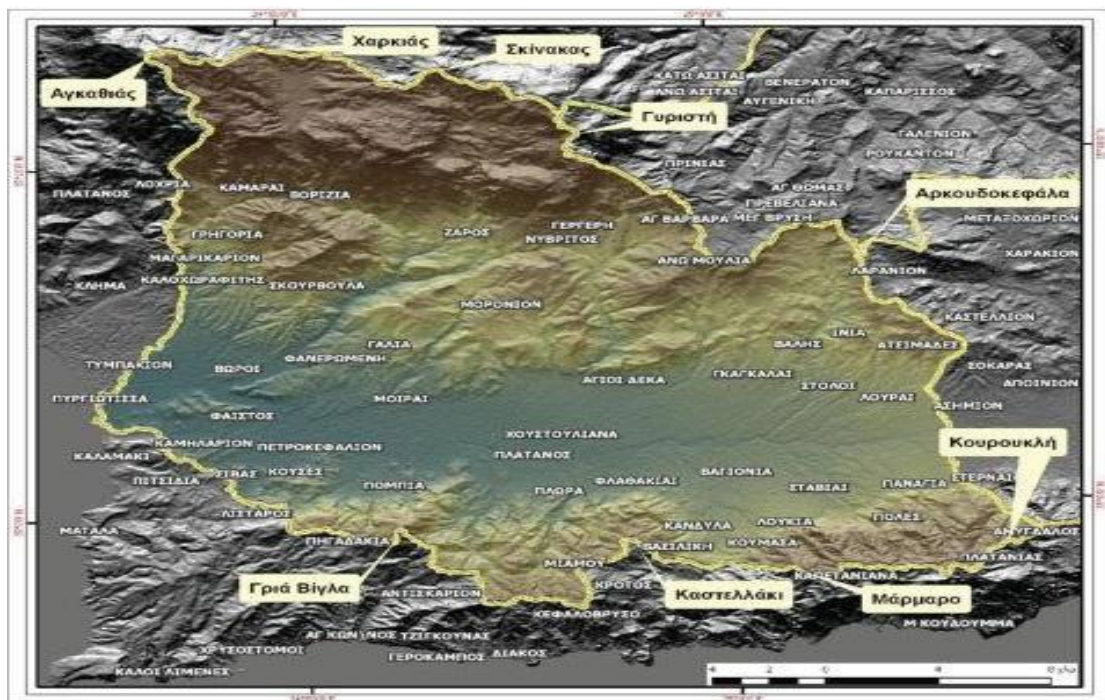
Τέλος, πάνω από τους αλπικούς σχηματισμούς βρίσκονται θαλάσσιες αποθέσεις με ηλικία από το Μέσο Μειόκαινο έως τις αρχές του Ανώτερου Πλειόκαινου.



**Σχήμα 1.2:** Γεωλογικές τομές στην περιοχή της κεντρικής Κρήτης (Φασσουλάς, 1995). Τα νούμερα υποδηλώνουν: 1. Νεογενή ιζήματα, 2. Οφιολίθους, 3. καλ. Αστερουσίων, 4. καλ. Τεκτονικού melange, 5 και 6. καλ. Πίνδου (φλύσχη και ανθρακικά), 7 και 8. καλ. Τρίπολης (φλύσχη και ανθρακικά), 9. καλ. Φυλλιτών - χαλαζιτών, 10 και 11. καλ. Πλακωδών ασβεστολίθων (μεταφλύσχη και ανθρακικά), DF ρήγμα απόσπασης, MDF κύριο ρήγμα απόσπασης.

## 1.2 Γεωλογία της περιοχής μελέτης (Μεσσαράς)

Η Μεσσαρά είναι μία μεγάλη εσωτερική πεδιάδα της νότιας Κρήτης στον Νομό Ηρακλείου με συνολική έκταση 1,2 εκατομμύρια στρέμματα. Εκτείνεται από ανατολικά προς δυτικά στη νότια ακτή της Κρήτης.



Σχήμα 1.3: Η λεκάνη της Μεσσαράς (Βασιλάκης, 2006).

Όσον αφορά στις υψομετρικές διαφορές που χαρακτηρίζουν την περιοχή, η λεκάνη εμφανίζει έντονο ανάγλυφο στις βόρειες και νότιες παρυφές της λεκάνης, όπου παρατηρούνται μορφολογικές ασυνέχειες και έντονη κατά βάθος διάβρωση. Η ενδιάμεση περιοχή παρουσιάζει ομαλό ανάγλυφο.

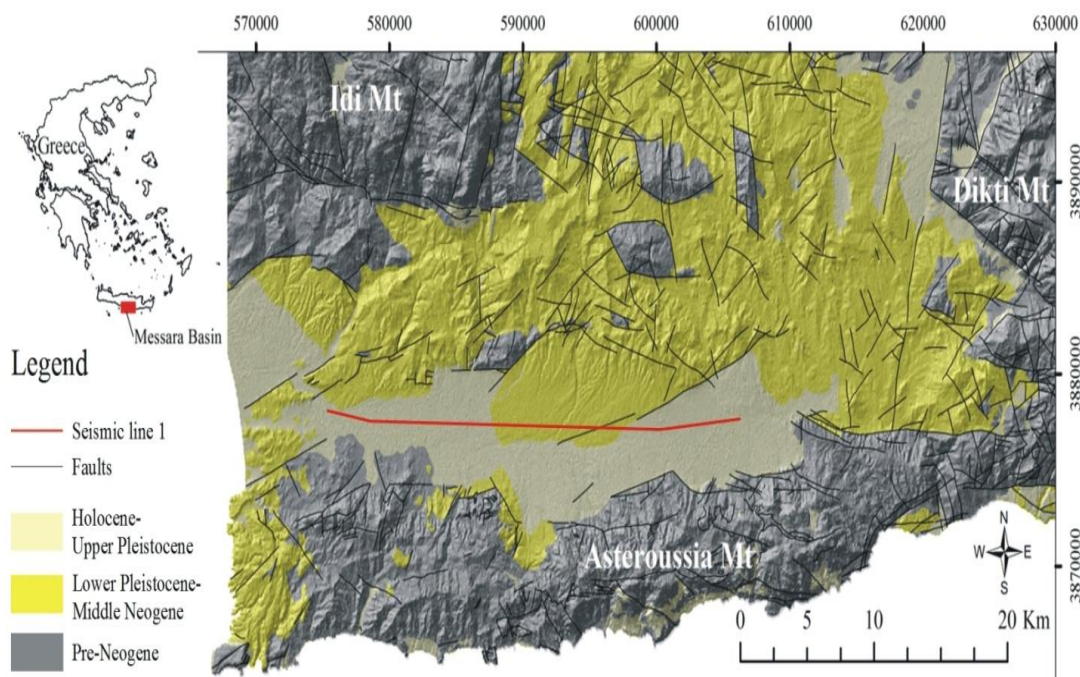
Η ευρύτερη περιοχή χαρακτηρίζεται χρονολογικά από την ύπαρξη αλπικών σχηματισμών ενώ τη λεκάνη καλύπτουν πολλά μεταλπικά ιζήματα (Σχήμα 1.4). Τα τελευταία αποτελούν μεταγενέστερους σχηματισμούς του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς, ανεξάρτητους από το Αλπικό ορογενετικό σύστημα. Το Νεογενές χωρίζεται σε δύο εποχές, το Μειόκαινο και το Πλειόκαινο. Το Τεταρτογενές είναι η

νεότερη χρονικά περίοδος της ιστορίας της Γης, που άρχισε πριν από 1,8-2 εκατομμύρια χρόνια και συνεχίζει μέχρι σήμερα. Χωρίζεται στο Πλειστόκαινο που είναι το κυριότερο τμήμα του και στο Ολιγόκαινο. Οι λιθοστρωματογραφικές ενότητες που παρατηρούνται ταξινομούνται σε έξι ομάδες σχηματισμών :

- **Ομάδα της Πρίνα.** Αποτελείται από ασβεστολιθικά (μαύρα) χονδρόκοκκα λατυποπαγή και λατυποκροκαλοπαγή, και προνεογενείς ασβεστολίθους με μη θαλάσσιο έως υφάλμυρο περιβάλλον απόθεσης. Η ομάδα της Πρίνα αποτελεί τη βάση των νεογενών. Η ηλικία είναι Μέσο Μειόκαινο.
- **Ομάδα Τεφελίου.** Τοποθετείται πάνω στην Πρίνα και αποτελείται από χαλαρά κροκαλοπαγή, άμμους, αργίλους και ιλύ με ποταμολιμναία και θαλάσσια προέλευση. Η ηλικία είναι Σερραβάλιο έως Άνω Τορτόνιο.
- **Ομάδα Βρυσσών.** Βρίσκεται είτε πάνω στην ομάδα Τεφελίου είτε πάνω στο αλπικό υπόβαθρο και αποτελείται από θαλάσσιους ασβεστολίθους, εναλλαγές μαργών και παρεμβολές γύψων. Η ηλικία είναι Άνω Τορτόνιο έως Κάτω Μεσσήνιο.
- **Ομάδα Ελληνικού.** Υπερκείμενη είτε πάνω σε παλαιότερους Νεογενείς σχηματισμούς είτε πάνω στην ομάδα Βρυσσών είτε πάνω στο υπόβαθρο και αποτελείται από κροκαλοπαγή χερσαίας προέλευσης, γύψους και λεπτόκοκκες ποταμολιμναίες, υφάλμυρες αποθέσεις. Η ηλικία είναι Άνω Μεσσήνιο.
- **Ομάδα Φοινικιάς.** Βρίσκεται πάνω στην Ελληνικού, Βρυσσών ή στο προνεογενές υπόβαθρο. Αποτελείται από θαλάσσιες αργίλους και μάργες. Η ηλικία είναι Πλειόκαινο.
- **Αγία Γαλήνη.** Υπερκείμενη στην Φοινικιάς. Αποτελείται από χερσαία κροκαλοπαγή, ποταμολιμναίες άμμους και αργίλους. Η ηλικία είναι Άνω Πλειόκαινο.

Πάνω στο Νεογενές ή απευθείας στο προνεογενές υπόβαθρο υπέρκεινται τα ιζήματα του Τεταρτογενούς τα οποία αποτελούνται κατά κύριο λόγο από χερσαίους συγκολλημένους ή ασύνδετους σχηματισμούς.





**Σχήμα 1.4:** Τεκτονοστρωματογραφικός χάρτης λεκάνης Μεσσαράς βασιζόμενος στη γεωλογική χαρτογράφηση του ΙΓΜΕ (κλίμακας 1:50.000). Με ανοικτό κίτρινο χρώμα οι αποθέσεις του Ολόκαινου – Ανώτερου Πλειστόκαινου, με κίτρινο οι αποθέσεις του Κατώτερου Πλειστόκαινου – Μέσο Νεογενούς και με γκρι οι προνεογενείς αποθέσεις. (Vafidis *et al.*, 2012).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>**

### **2. ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ**

#### **2.1 Εισαγωγή**

Η μέθοδος σεισμικής ανάκλασης είναι μία από τις πιο ακριβείς μεθόδους προσδιορισμού της δομής επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γής. Περιγράφεται από την Κυματική Θεωρία καθώς κατά την διάδοση σεισμικών κυμάτων στο υπέδαφος, τα υλικά σημεία που συνιστούν τα πετρώματα πραγματοποιούν ταλαντώσεις. Η μετατόπιση των υλικών σημείων μπορεί να απεικονιστεί σε γράφημα συναρτήσεως του χρόνου το οποίο καλείται σεισμόγραμμα. Τα σειсмоγράμματα δίνουν πληροφορίες για την φύση των πετρωμάτων που συνάντησαν οι σεισμικές ακτίνες κατά την διάδοσή τους.

Τα μετρούμενα μεγέθη στη μέθοδο σεισμικής ανάκλασης είναι οι χρόνοι διαδρομής των παραγόμενων ελαστικών κυμάτων και το πλάτος των σεισμικών κυμάτων, ενώ τα υπολογιζόμενα μεγέθη είναι η σεισμική ταχύτητα και το πάχος των στρωμάτων.

Στο παρελθόν, η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην αναζήτηση κοιτασμάτων υδρογονανθράκων. Σήμερα η εφαρμογή της έχει επεκταθεί στους τομείς ανίχνευσης υπογείων υδάτων και γεωθερμικών πεδίων καθώς και στη μελέτη του φλοιού της γης.

## 2.2 Βασικές έννοιες της σεισμικής ανάκλασης

### 2.2.1 Ελαστικά κύματα

Τα σεισμικά κύματα είναι ελαστικά κύματα των οποίων οι περίοδοι των σεισμικών κυμάτων είναι σχετικά μικρές δηλαδή η παραμόρφωση των πετρωμάτων κατά την διέλευσή τους μέσα από αυτά έχει μικρή διάρκεια. Τα ελαστικά κύματα διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τα κύματα χώρου και τα επιφανειακά κύματα.

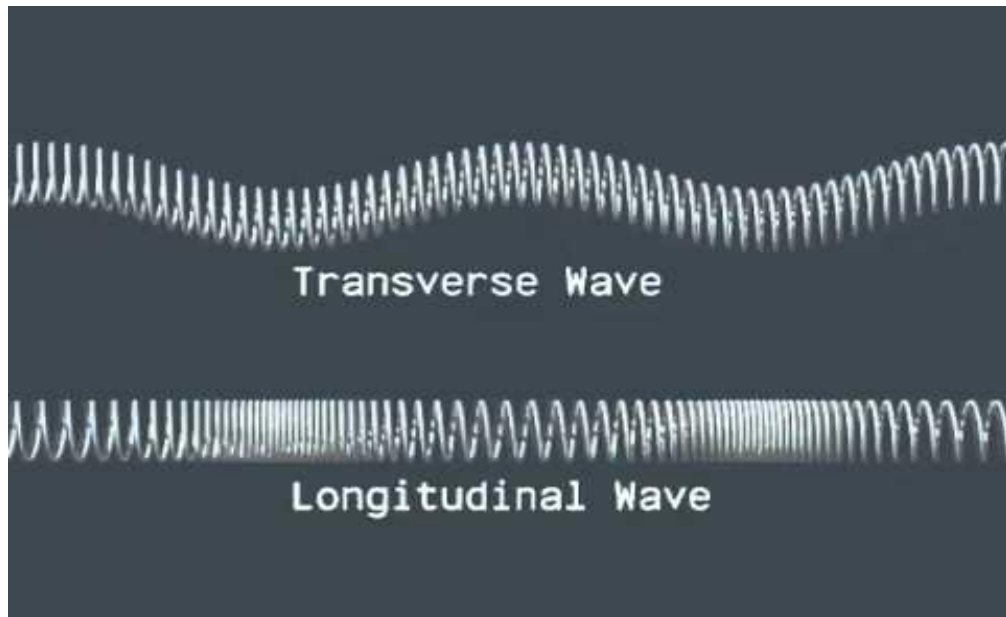
#### 2.2.1.1 Κύματα χώρου

Τα ελαστικά κύματα κατηγοριοποιούνται με βάση το είδος των παραμορφώσεων στο οποίο υπόκειται το ελαστικό μέσο σε επιμήκη ή διαμήκη (P) και σε εγκάρσια ή διατμητικά κύματα (S) (Σχήμα 2.1).

Στα **διαμήκη κύματα (P)**, τα υλικά σημεία που συνιστούν τα πετρώματα ταλαντώνονται παράλληλα με την διεύθυνση διάδοσης του κύματος ενώ χαρακτηριστικά εμφάνισής τους ως αποτέλεσμα της μετατόπισής τους είναι τα πυκνώματα και αραιώματα, δηλαδή τα σημεία με την μέγιστη και ελάχιστη ταλάντωση των υλικών σημείων αντίστοιχα. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται με μεγαλύτερη ταχύτητα από τα εγκάρσια.

Στα **εγκάρσια κύματα (S)**, τα υλικά σημεία που συνιστούν τα πετρώματα ταλαντώνονται κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης του κύματος ενώ χαρακτηριστικά εμφάνισής τους είναι τα όρη και οι κοιλάδες και έχουν την ίδια σημασία με τα πυκνώματα και αραιώματα αντίστοιχα. Συνήθως, το διάνυσμα μετατόπισης των υλικών σημείων κατά την διάδοση εγκάρσιων κυμάτων αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Η οριζόντια συνιστώσα συμβολίζεται με το *SH*. Η άλλη συνιστώσα συμβολίζεται με το *SV*

και βρίσκεται στο κατακόρυφο επίπεδο που περιέχει το διάνυσμα της διεύθυνσης διάδοσης του κύματος (Βαφείδης, 1993).



**Σχήμα 2.1:** Απεικόνιση διαμήκων (longitudinal) και εγκάρσιων (transverse) κυμάτων (<https://i.ytimg.com/vi/2Wlh3M2a10U/hqdefault.jpg>) .

### **2.2.1.2 Επιφανειακά κύματα**

Τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται κατά μήκος της ελεύθερης επιφάνειας του ελαστικού μέσου ενώ τα κύματα χώρου διαδίδονται προς όλες τις κατευθύνσεις. Τα επιφανειακά κύματα διαδίδονται σε σχετικά μικρότερες ταχύτητες και μεγαλύτερα πλάτη.

## 2.2.2 Γεωμετρία ανάκλασης

### 2.2.2.1 Ανάκλαση σε οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια

Κύμα, παραγόμενο από σεισμική πηγή η οποία βρίσκεται στην επιφάνεια της Γής στη θέση **S**, προσπίπτει σε οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια και καταγράφεται στην επιφάνεια από γεώφωνο τοποθετημένο στη θέση **R** (Σχήμα 2.2). Η οριζόντια διαχωριστική επιφάνεια η οποία διαχωρίζει δύο στρώματα με διαφορετικές ταχύτητες  $\alpha_1$  και  $\alpha_2$  καλείται ασυνέχεια ή ανακλαστήρας (reflector). Το κύμα που ανακλάται στην οριζόντια ασυνέχεια φτάνει στο σημείο **R** ακολουθώντας την διαδρομή **SAR** σε χρόνο  $t(\mathbf{x})$  ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση και καλείται χρόνος διαδρομής ανακλώμενου κύματος. Ισχύει ότι:

$$t_1^2 = \frac{4z_1^2}{\alpha_1^2} + \frac{x^2}{\alpha_1^2} = t_1^2(0) + \frac{x^2}{\alpha_1^2} \quad (2.1)$$

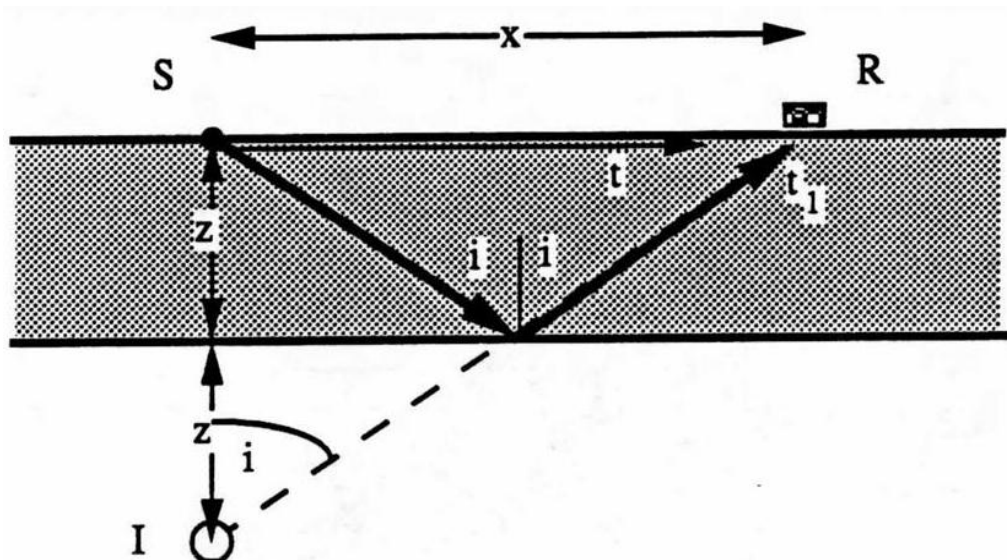
Όπου,

$x$ : απόσταση πηγής –γεωφώνου (SR) (m)

$z$ : πάχος στρώματος (m)

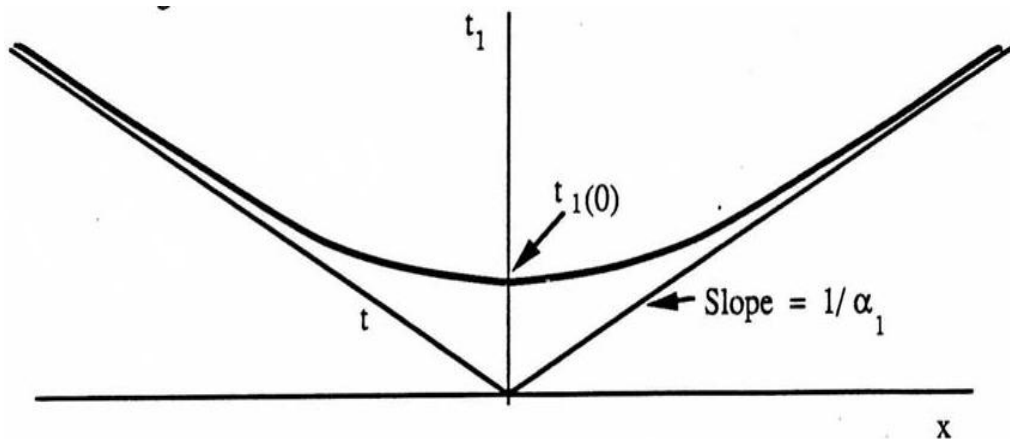
$I$ : αριθμός ανακλαστήρα

$t_1(0)$ : διπλός χρόνος κατακόρυφης ανάκλασης.



**Σχήμα 2.2:** Απεικόνιση της ανάκλασης κύματος σε οριζόντια επιφάνεια (Βαφείδης, 1993).

Η γραφική παράσταση του χρόνου διαδρομής συναρτήσει της απόστασης πηγής-γεωφώνου παρίσταται με υπερβολή και ονομάζεται δρομοχρονικό διάγραμμα (Σχήμα 2.3).



**Σχήμα 2.3:** Γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής του απευθείας κύματος και του ανακλώμενου κύματος συναρτήσει της οριζόντιας απόστασης  $x$ . Ο χρόνος  $t_1(0)$  χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του βάθους  $z$  (Βαφείδης, 1993).

Όταν το προσπίπτον κύμα διαδίδεται κάθετα σε διαχωριστική επιφάνεια, ο συντελεστής ανάκλασης (**R**) δίνεται από την σχέση:

$$R = \frac{\alpha_1 \cdot \rho_1 - \alpha_2 \cdot \rho_2}{\alpha_1 \cdot \rho_1 + \alpha_2 \cdot \rho_2} \quad (2.2)$$

Όπου,

$\alpha_1$ : ταχύτητα διάδοσης P κυμάτων (m/s)

$\rho_1$ : πυκνότητα στρώματος ( $\text{kg/m}^3$ ).

Το γινόμενο της ταχύτητας του στρώματος με την πυκνότητά του καλείται **ακουστική εμπέδηση (Z)** (acoustic impedance) και αποτελεί θεμελιώδη φυσική ιδιότητα για τη μέθοδο της σεισμικής ανάκλασης καθώς η αντίθεση της εμπέδησης μεταξύ γειτονικών γεωλογικών στρωμάτων δημιουργεί τις ανακλάσεις.

#### 2.2.2.2 Ανάκλαση σε κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια

Ο προσδιορισμός του χρόνου διαδρομής για μία κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια είναι περίπου ο ίδιος όπως και στην οριζόντια επιφάνεια. Το προσπίπτον κύμα ακολουθεί την διαδρομή **SOA** και **SOB** και η κεκλιμένη επιφάνεια σχηματίζει με την οριζόντια επιφάνεια γωνία  $\theta$  (Σχήμα 2.4).

Ο χρόνος διαδρομής  $t(x)$  δίνεται από την σχέση:

$$t^2 = (4 \cdot Z'^2 / \alpha_1^2) + X^2 / \alpha_1^2 \quad (2.3)$$

Όπου,

$$X = x + |2 \cdot h \cdot \sin \theta| = x + |x'|$$

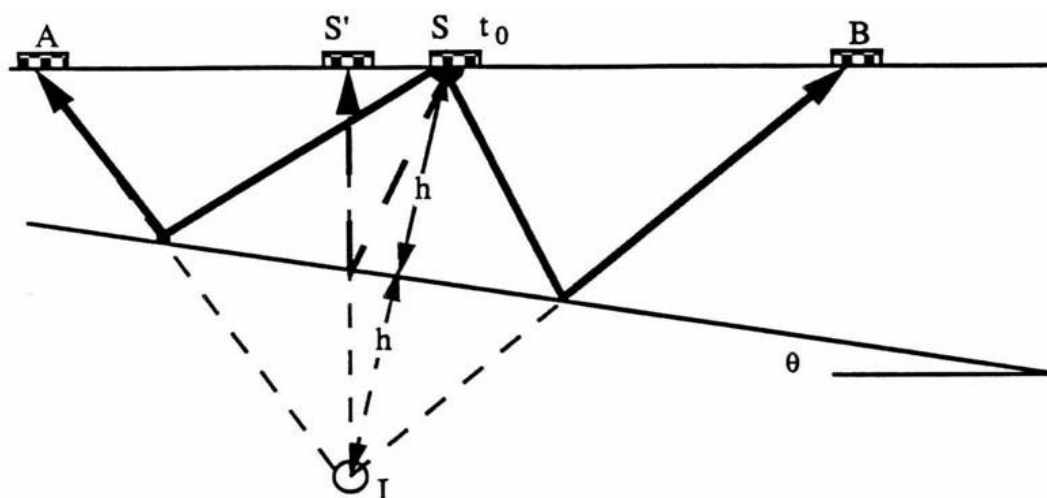
$x'$ : απόσταση πηγής S από το είδωλο I

Η κλίση της γωνίας  $\theta$  δίνεται από την σχέση:

$$\sin \theta = \frac{\alpha_1 \cdot (t_B^2 - t_A^2)}{4 \cdot t(0) \cdot x_B} \quad (2.4)$$

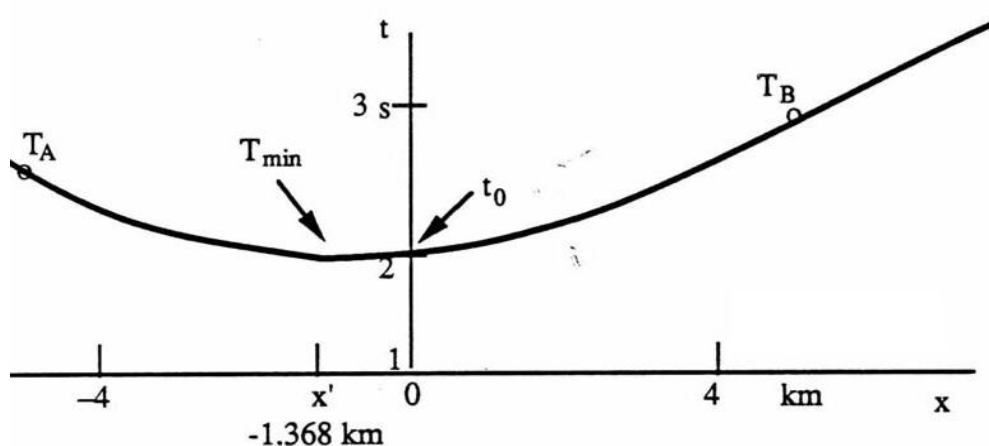
Όπου,

A,B: γεώφωνα τοποθετημένα εκατέρωθεν της πηγής S.



**Σχήμα 2.4:** Πορεία δύο ανακλώμενων κυμάτων απο την πηγή S προς τα γεώφωνα A και B. Η επιφάνεια ανάκλασης είναι κεκλιμένη με γωνία κλίσης  $\theta$  (Βαφείδης, 1993).

Η γραφική παράσταση του χρόνου διαδρομής  $t^2$  συναρτήσει της απόστασης πηγής-γεωφώνου  $x$  παρίσταται με υπερβολή και ο άξονας ασυμμετρίας είναι μετατοπισμένος κατά  $x'$  (Σχήμα 2.5). Ο χρόνος διαδρομής για μηδενική απόσταση πηγής γεωφώνου  $t(x=0)$  καλείται διπλός χρόνος ανάκλασης και υπολογίζεται από το διάγραμμα  $t^2 - X^2$ .



**Σχήμα 2.5:** Γραφική παράσταση των χρόνων διαδρομής ανακλώμενων κυμάτων από κεκλιμένη διαχωριστική επιφάνεια. Παρατηρείται ότι ο άξονας συμμετρίας της υπερβολής είναι μετατοπισμένος κατά  $x'$  (Βαφείδης, 1993).

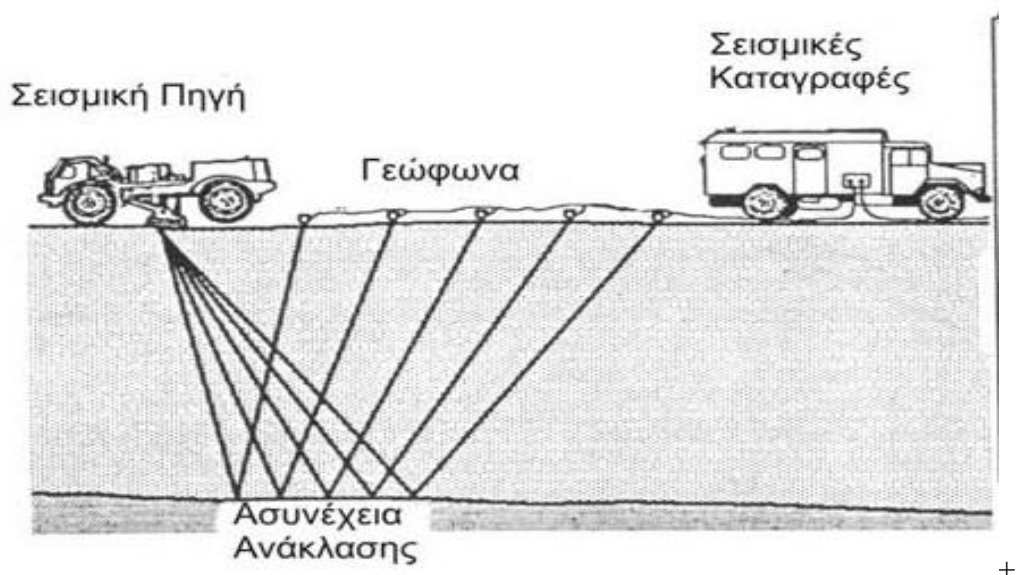


## 2.3 Στάδια σεισμικής ανάκλασης

Για την διεξαγωγή μιας σεισμικής διασκόπησης πραγματοποιούνται τρία βασικά στάδια: συλλογή των δεδομένων στο πεδίο μελέτης, ψηφιακή επεξεργασία και ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

### 2.3.1 Συλλογή δεδομένων

Κατά τη συλλογή σεισμικών δεδομένων, μια σεισμική πηγή, ένας σειсмоγράφος και μια ομάδα γεωφώνων τοποθετούνται με συγκεκριμένη διάταξη στην υπό μελέτη περιοχή. Η πηγή παράγει σεισμικά κύματα. Με την ανάλογη διάταξη, τα γεώφωνα μετατρέπουν τις σεισμικές δονήσεις που καταφτάνουν σε αυτά σε ηλεκτρικά σήματα. Τα ηλεκτρικά σήματα καταγράφονται από το σειсмоγράφο (Σχήμα 2.6). Η συλλογή των δεδομένων αποτελεί το πιο κοστοβόρο στάδιο στη σεισμική ανάκλαση.



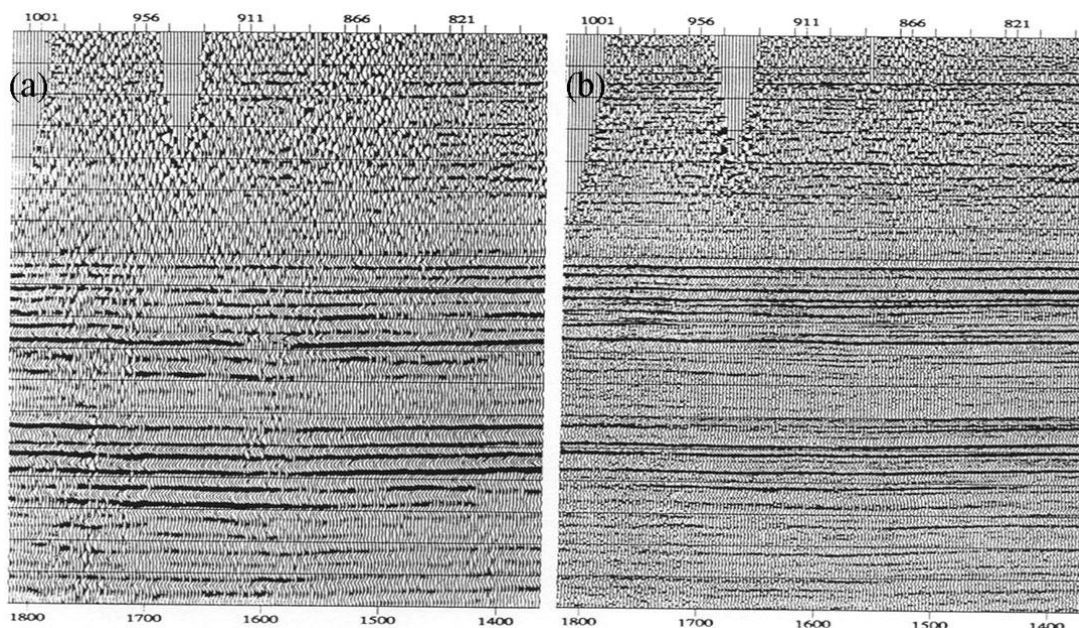
Σχήμα 2.6: Απεικόνιση λήψης σεισμικών δεδομένων στην ξηρά (Αποστολόπουλος, 2013).

### 2.3.2 Ψηφιακή επεξεργασία

Μετά από τη συλλογή των σεισμικών δεδομένων ακολουθεί ψηφιακή επεξεργασία η οποία αποτελείται από τέσσερα στάδια, την αποσυνέλιξη, την στατική διόρθωση, τη δυναμική διόρθωση, την σεισμική υπέρθεση και την σεισμική χωροθέτηση.

#### 2.3.2.1 Αποσυνέλιξη (deconvolution)

Η αποσυνέλιξη στοχεύει στην αύξηση της χρονικής ανάλυσης των σεισμικών δεδομένων συμπιέζοντας την κυματομορφή της πηγής (Σχήμα 2.7). Αποτέλεσμα αυτού είναι στο τελικό σεισμόγραμμα να απεικονίζονται μόνο η χρονοσειρά των συντελεστών. Κάθε σεισμικό ίχνος χαρακτηρίζεται από τρεις παράγοντες, τη θέση **της πηγής** (shot point), τη θέση **του δέκτη** (receiver point) και τη θέση **του υπεδάφους** (subsurface point). Τα διάφορα γεωλογικά στρώματα ορίζονται από την πυκνότητά τους και την ταχύτητα διάδοσης των σεισμικών κυμάτων. Το σεισμόγραμμα θεωρείται ότι προκύπτει από την συνέλιξη της απόκρισης του υπεδάφους στον μοναδιαίο παλμό με την κυματομορφή της πηγής. Η απόκριση του υπεδάφους ορίζεται από σειρά παλμών που αντιστοιχούν στο διπλό κατακόρυφο χρόνο των ανακλώμενων κυμάτων των οποίων το πλάτος καθορίζεται από τους συντελεστές ανάκλασης στα όρια των στρωμάτων (χρονοσειρά των συντελεστών ανάκλασης: reflectivity series). Επομένως, η απόσυνέλιξη είναι η αντίθετη διαδικασία της συνέλιξης.



**Σχήμα 2.7:** Σύγκριση των σεισμικών δεδομένων με και χωρίς επεξεργασία της κυματομορφής. a) CDP stack χωρίς αποσυνέλιξη b) CDP stack με αποσυνέλιξη (Cary, 1987).

Η αποσυνέλιξη συνήθως πραγματοποιείται πριν από την σεισμική υπέρθεση αν και σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμόζεται και μετά την υπέρθεση όπως συμβαίνει στη παρούσα εργασία.

### 2.3.2.2 Στατική διόρθωση (static correction)

Η στατική διόρθωση είναι μία διαδικασία που προηγείται της σεισμικής υπέρθεσης και αποσκοπεί στην εξουδετέρωση των επιδράσεων στα σεισμικά δεδομένα κοντά στην επιφάνεια της γής. Οι διορθώσεις αυτές περιλαμβάνουν:

- Στατική διόρθωση υψομέτρου, η οποία εκμηδενίζει τις διαφορές στο χρόνο άφιξης των ανακλώμενων κυμάτων που οφείλονται στις υψομετρικές διαφορές μεταξύ των πηγών και των γεωφώνων.
- Στατική διόρθωση υπολειμματικού πεδίου, η οποία εκμηδενίζει τις διαφορές στο χρόνο άφιξης των ανακλώμενων κυμάτων που οφείλονται πλευρικές μεταβολές στην ταχύτητα και το πάχος αποσαθρωμένου στρώματος.

### **2.3.2.3 Σεισμική υπέρθεση (Stacking)**

Η σεισμική υπέρθεση αποσκοπεί στην ενίσχυση του σήματος των σεισμικών ανακλάσεων με αντίστοιχη μείωση του τυχαίου θορύβου. Κατά τη διαδικασία αυτή συλλέγονται τα σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP gather), εφαρμόζεται σ' αυτά δυναμική διόρθωση και στη συνέχεια αθροίζονται για την παραγωγή ενός ενιαίου ίχνους (CMP stacking) του οποίου η μορφή μοιάζει με αυτή της μηδενικής απόστασης πηγής-γεωφώνου (zero-offset model). Το σεισμόγραμμα που θα προκύψει για κάθε διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου, χρειάζεται λιγότερο χώρο για να αποθηκευτεί σε μαγνητικό μέσο. Με την επανάληψη αυτής της διαδικασίας για όλες τις διατάξεις κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP gathers) και τον συνδυασμό των σειсмоγραμμάτων που προκύπτουν (CMP stacking) δημιουργείται η σεισμική τομή υπέρθεσης.

#### **2.3.2.3.1 Διάταξη κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP)**

Με βάση τις πληροφορίες για τις θέσεις των σεισμικών πηγών και των γεωφώνων, κάθε παραγόμενο ίχνος καταχωρείται στο μέσο σημείο της θέσης μεταξύ της πηγής και του δέκτη που σχετίζονται με το εν λόγω ίχνος. Τα ίχνη τα οποία καταχωρούνται στο ίδιο σημείο, ομαδοποιούνται και συνθέτουν σειсмоγράμματα κοινού ενδιαμέσου σημείου (CMP gather). Συχνά, οι όροι 'common depth point' (CDP: κοινού σημείου βάθους) και 'common midpoint' (CMP: κοινού ενδιαμέσου σημείου) χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την ίδια έννοια.

### 2.3.2.3.2 Normal Moveout (NMO)

Η κανονική χρονική απόκλιση (NMO) δίνεται από την σχέση (2.5) :

$$\Delta t_{(NMO)} = t(0) * [(1 + x^2/V_{NMO}^2 * t(0)^2)^{1/2} - 1] \quad (2.5)$$

Όπου,

$t(0)$ : διπλός χρόνος διαδρομής κατακόρυφης ακτίνας

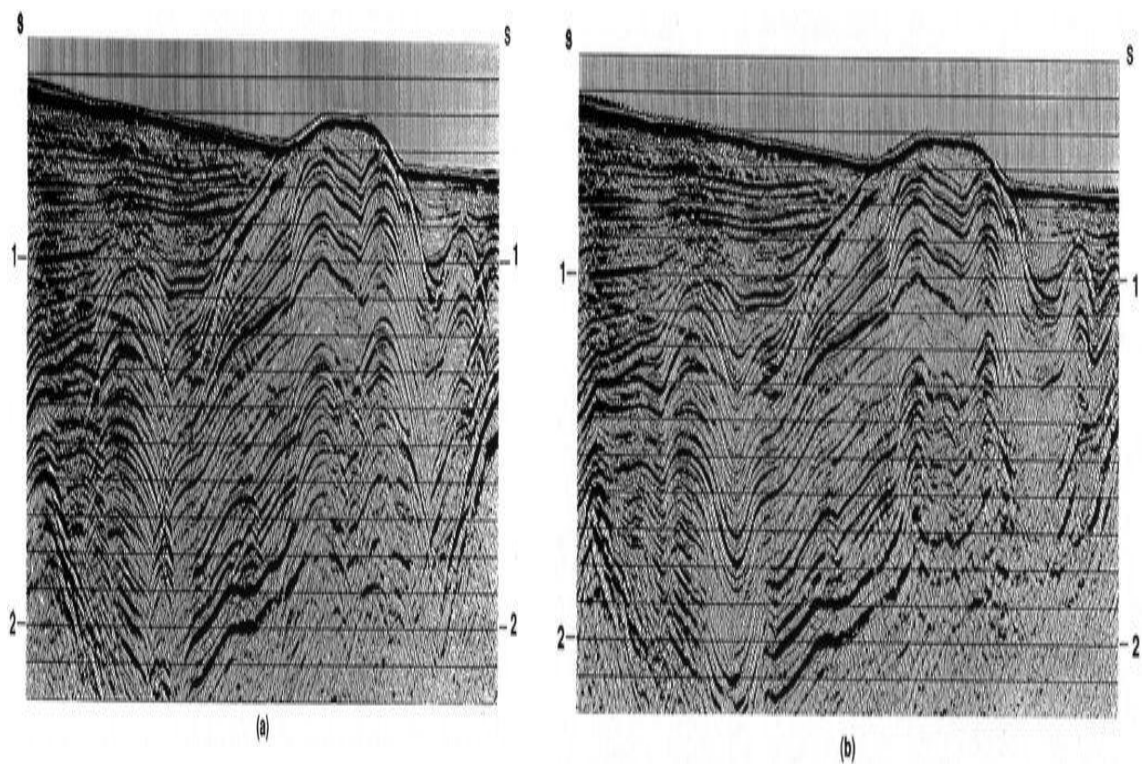
$V_{NMO}$ : μέση τετραγωνική ταχύτητα για ανάκλαση από οριζόντια

ασυνέχεια.

### 2.3.2.4 Σεισμική χωροθέτηση (Migration)

Σκοπός της σεισμικής χωροθέτησης είναι η ανακατασκευή και σωστή τοποθέτηση των επιφανειών ανάκλασης που παρουσιάζουν κλίση σε τομή υπέρθεσης. Η σεισμική χωροθέτηση αυξάνει την χωρική ανάλυση του υπεδάφους παρέχοντας λεπτομερή και αξιόπιστα χαρακτηριστικά της δομής του (Σχήμα 2.8). Η χωροθέτηση καθιστά τη σεισμική τομή συγκρίσιμη με την αντίστοιχη γεωλογική.

*Η σεισμική χωροθέτηση βελτιώνει τις τομές υπέρθεσης οι οποίες 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 αφίζεις που προέρχονται από περίθλαση στη σωστή τους θέση επιτυγχάνοντας έτσι ακριβέστερη εικόνα των τεκτονικά ρηγματωμένων περιοχών (Βαφείδης, 1993).*



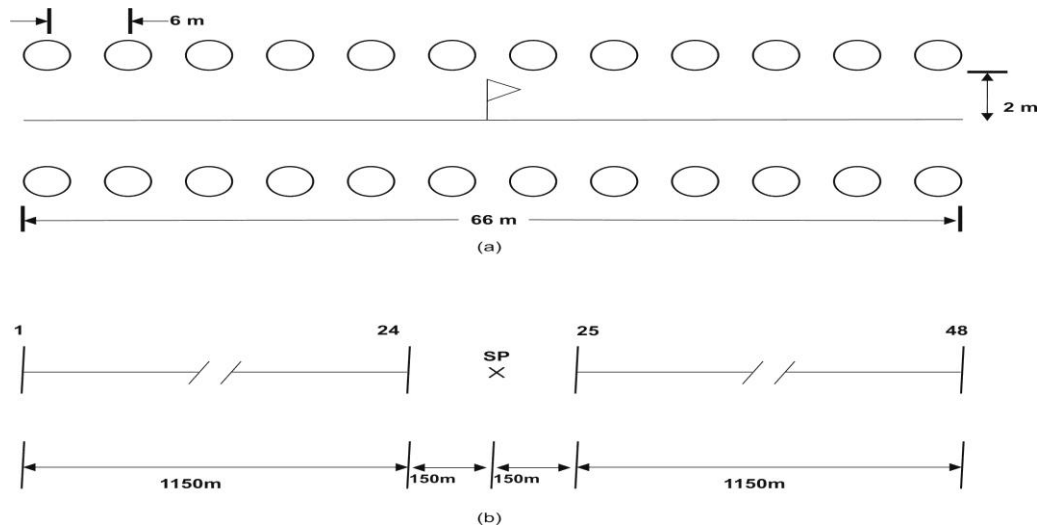
**Σχήμα 2.8** **a)** CMP stack of data from the Santa Barbara Channel, offshore California.  
**b)** Result of migration ([http://wiki.aapg.org/Seismic\\_migration](http://wiki.aapg.org/Seismic_migration)).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

### **3.ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ**

#### **3.1 Συλλογή σεισμικών δεδομένων στο πεδίο μελέτης**

Το 1982 μια έρευνα σεισμικής ανάκλασης διεξήχθη από την Δημόσια Επιχείριση Πετρελαίου (ΔΕΠ) στη λεκάνη της Μεσσαράς κατά μήκος τεσσάρων γραμμών Ανατολής-Δύσης και επτά γραμμών Βορρά-Νότου, προκειμένου να χαρτογραφήσει το αλπικό υπόβαθρο και τους υπερκείμενους γεωλογικούς σχηματισμούς της περιοχής. Το μήκος της σεισμικής γραμμής μελέτης Z1 είναι περίπου 30 χλμ με διεύθυνση Δύσης-Ανατολής. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν χρησιμοποιώντας διπλή διάταξη κοινής πηγής. Κάθε συστοιχία (Σχήμα 3.1a) αποτελείται από 24 γεώφωνα κατακόρυφης συνιστώσας (10 Hz). Το διάστημα συστοιχιών είναι 50 m. Ο αριθμός των θέσεων της σεισμικής πηγής είναι 294 με μεταξύ τους διάστημα 100 m. Για τη σεισμική πηγή εκρηκτικά βάρους 2-8 kg γομώνονται σε γεωτρήσεις βάθους 15-25m. Η ελάχιστη και μέγιστη οριζόντια απόσταση πηγής – γεωφώνου είναι 150 και 1300 m αντίστοιχα (Σχήμα.3.1b). Η ονομαστική υπεδαφική επικάλυψη για αυτή τη μελέτη είναι 12.

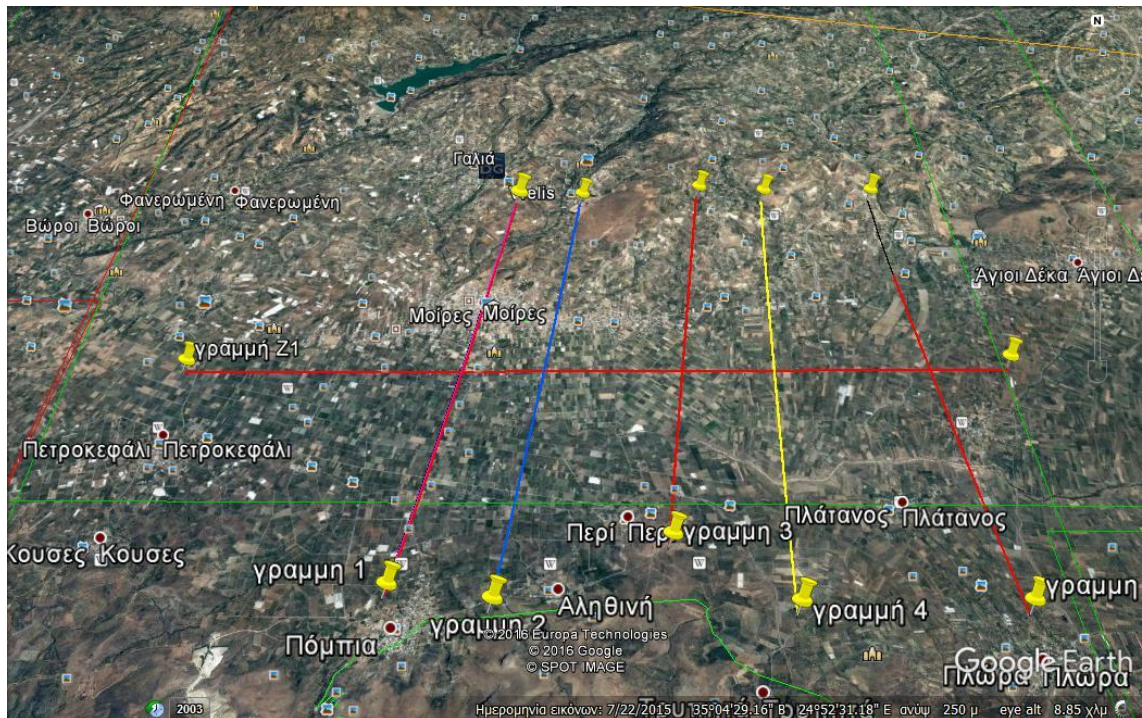


**Σχήμα 3.1** α) Διάταξη συστοιχίας γεωφώνων β) Διάταξη πηγής (SP)-συστοιχίας γεωφώνων.

### 3.2 Προεπεξεργασία για την δημιουργία συνθετικών δεδομένων

1. Χρήση χάρτη με ισόχρονες καμπύλες του αλπικού υποβάθρου και κλίμακα 1:50000 ο οποίος προέκυψε από τα σεισμικά δεδομένα της περιοχής μελέτης για εκτίμηση του βάθους υποβάθρου.
2. Χάραξη 5 σεισμικών τομών στο χάρτη με τις ισόχρονες καμπύλες πάνω στις οποίες θα πραγματοποιηθεί η μελέτη. Οι σεισμικές γραμμές είναι οι 1, 2, 3, 4 και 8 (Σχήμα 3.2).





**Σχήμα 3.2:** Δορυφορική εικόνα με τη θέση των σεισμικών γραμμών στην περιοχή μελέτης (Google Earth).

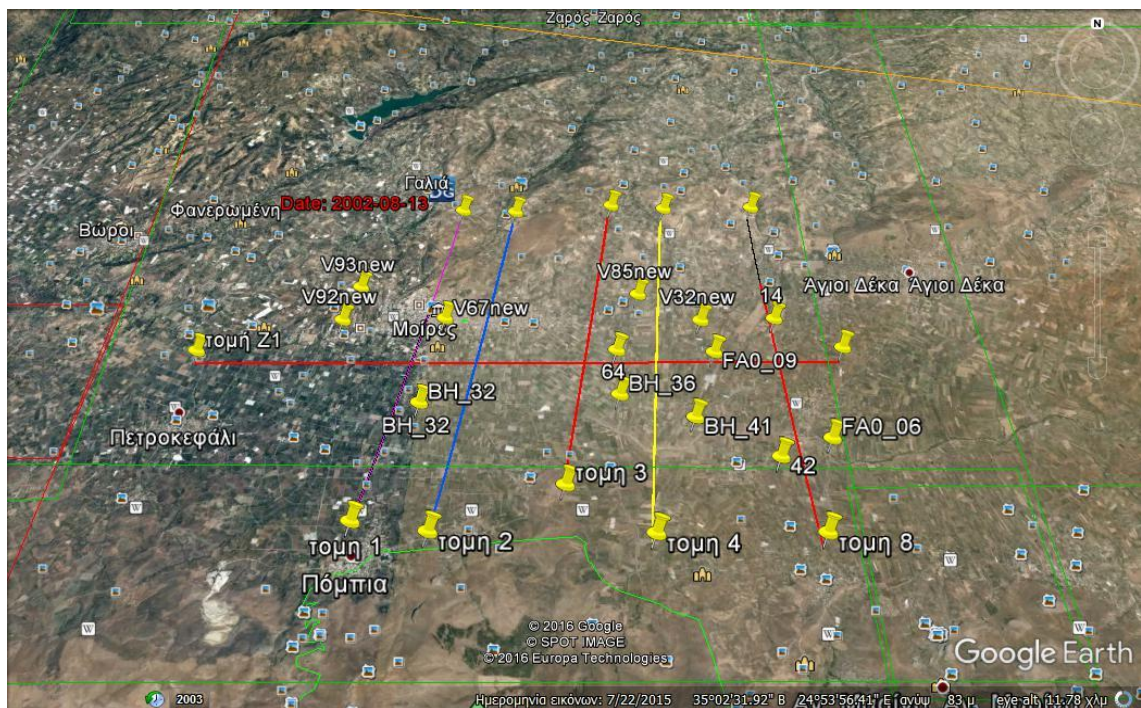
3. Προσδιορισμός των διπλών κατακόρυφων χρόνων για τον ανακλαστήρα του αλπικού υποβάθρου κατά μήκος των σεισμικών γραμμών μελέτης χρησιμοποιώντας το χάρτη με τις ισόχρονες καμπύλες σε κλίμακα 1:50000.
4. Προσδιορισμός μέσης ταχύτητας ( $u_{rms}$ ) των γεωλογικών στρωμάτων που προέκυψε από την επεξεργασία των σεισμικών δεδομένων της περιοχής μελέτης και τμηματικής ταχύτητας ( $u_{int}$ ) η οποία αναφέρεται στην πραγματική ταχύτητα διάδοσης στο γεωλογικό σχηματισμό. Επεξήγηση:

Σε κάθε σεισμική γραμμή πάνω στον χάρτη των ισόχρονων σημειώθηκε ο διπλός κατακόρυφος χρόνος  $t_1(sec)$  του ανακλώμενου κύματος που προέρχεται από το αλπικό υπόβαθρο στο σημείο τομής της με τη σεισμική γραμμή Z1. Αυτά τα δεδομένα σε συνδυασμό με τις πιο αντιπροσωπευτικές τιμές των ταχυτήτων ( $u_{rms}$ ) και ( $u_{int}$ ) παρατίθενται στους πίνακες 3.1 και 3.2.

5. Τοποθέτηση των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων με βάση τις συντεταγμένες τους στη δορυφορική εικόνα (Σχήμα 3.3). Υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου  $t_2(\text{sec})$  του ανακλώμενου κύματος που προέρχεται από τη διεπιφάνεια μεταξύ των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών και του διπλού κατακόρυφου χρόνου  $t_2(\text{sec})$  που αντιστοιχεί στο μέγιστο βάθος της κάθε γεώτρησης σύμφωνα με την σχέση (3.1) :

$$t = \frac{2 \cdot z}{v_{\text{int}}} \quad (\text{sec}) \quad (3.1)$$

Το βήμα (5) πραγματοποιήθηκε για την σύγκριση του χρόνου ( $t_2(\text{sec})$ ) του ανακλώμενου κύματος που προέρχεται από τα Νεογενή με τον χρόνο ( $t_1(\text{sec})$ ) του ανακλώμενου κύματος που προέρχεται από το αλπικό υπόβαθρο.



**Σχήμα 3.3:** Δορυφορική εικόνα με τη θέση των σεισμικών γραμμών και των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων στη περιοχή μελέτης (Google Earth).

6. Προσδιορισμός των διπλών κατακόρυφων χρόνων  $t_3(\text{sec})$  για τον ανακλαστήρα του αλπικού υποβάθρου στις θέσεις των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων

χρησιμοποιώντας το χάρτη με τις ισόχρονες καμπύλες σε κλίμακα 1:50000 σύμφωνα με την σχέση (3.2):

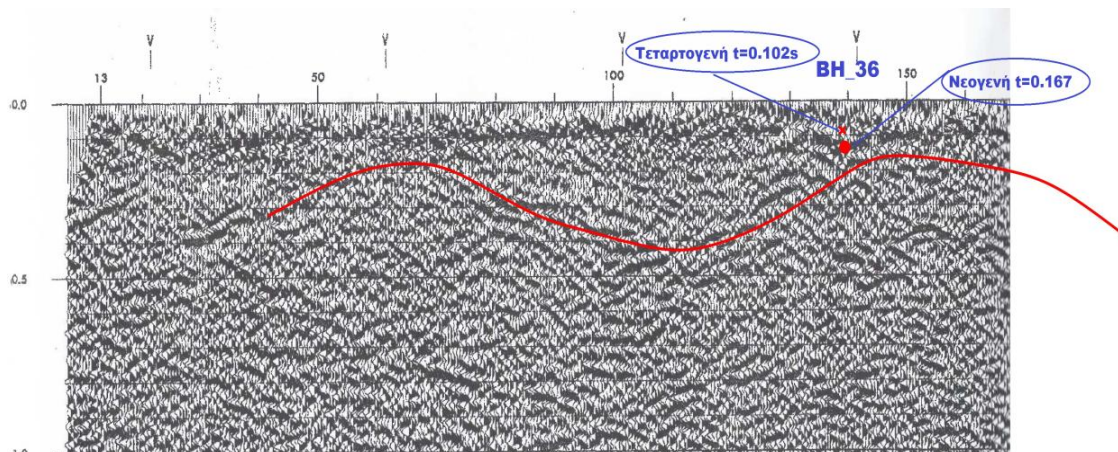
$$Z = \frac{t \cdot u_{\text{int}}}{2} \quad (\text{m}) \quad (3.2)$$

Το βήμα (6) πραγματοποιήθηκε για τη συσχέτιση του υπολογιζόμενου βάθους του υποβάθρου, με το αντίστοιχο βάθος που δίνεται από τις γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις.

Τα βήματα (5) και (6) πραγματοποιήθηκαν για τον έλεγχο των γεωτρήσεων και βυθοσκοπήσεων. Για να γίνει πιο κατανοητή η επεξεργασία που έγινε στα βήματα (5) και (6) παρατίθεται η επεξεργασία που έγινε για τη γεώτρηση **BH\_36** :

Η γεώτρηση **BH\_36** βρίσκεται κοντά στην σεισμική γραμμή (3). Ο διπλός κατακόρυφος χρόνος στη θέση όπου η σεισμική γραμμή (3) τέμνει την σεισμική γραμμή (Z1) και ο οποίος προσδιορίστηκε από τον χάρτη των ισόχρονων του αλπικού υποβάθρου, ισούται με  $t_1(\text{sec})=230 \text{ msec}$ . Η σεισμική γραμμή (3) βρίσκεται κοντά στη **πηγή** (shot point) (150) της σεισμικής γραμμής Z1 όπου η τμηματική ταχύτητα ισούται με  $u_{\text{int}} = 2400 \text{ m/sec}$ . Εφόσον έχει προσδιοριστεί η τιμή της ταχύτητας, ακολουθεί ο υπολογισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου  $t_2(\text{sec})$  του ανακλώμενου κύματος που προέρχεται από τη διεπιφάνεια μεταξύ των Τεταρτογενών και Νεογενών σχηματισμών και του διπλού κατακόρυφου χρόνου  $t_2(\text{sec})$  που αντιστοιχεί στο μέγιστο βάθος της κάθε γεώτρησης σύμφωνα με την σχέση (3.1). Τέλος, γίνεται προσδιορισμός του διπλού κατακόρυφου χρόνου  $t_3(\text{sec})$  και υπολογίζεται το βάθος του αλπικού υποβάθρου σύμφωνα με την σχέση (3.2) (πίνακας 3.3). Παρατηρείται πως το υπολογιζόμενο βάθος  $z_3=150 \text{ m}$  είναι κατα 50m μικρότερο από το βάθος που έδειξε η γεώτρηση ( $z=200 \text{ m}$ ). Αυτό συμβαίνει γιατί η γεώτρηση ( $t_2(\text{sec})$ ) βρίσκεται πιο νότια από τη γραμμή Z1 ( $t_1(\text{sec})$ ).





**Σχήμα 3.4:** Απεικόνιση της γεώτρησης BH\_36 ως προς τη σεισμική τομή Z1. Η κόκκινη γραμμή αναπαριστά το υπόβαθρο.

Στο σχήμα 3.4 παρατηρείται πως ο διπλός κατακόρυφος χρόνος που αντιστοιχεί στο μέγιστο βάθος της γεώτρησης ( $t_2(\text{sec})$ ) δεν συμπίπτει με τον διπλό κατακόρυφο χρόνο που προέρχεται από το αλπικό υπόβαθρο ( $t_1(\text{sec})$ ) και αυτό αφενός γιατί εφόσον η γεώτρηση δεν συναντά αλπικό υπόβαθρο δεν είναι γνώστο μέχρι ποιο βάθος φτάνουν τα Νεογενή και αφετέρου γιατί η γεώτρηση βρίσκεται πιο νότια από την σεισμική γραμμή Z1. Επίσης, ο διπλός κατακόρυφος χρόνος ( $t_2(\text{sec})$ ) δεν συμπίπτει με το διπλό κατακόρυφο χρόνο ( $t_3(\text{sec})$ ) και αυτό αποδίδεται στο γεγονός ότι στις ισόχρονες καμπύλες έγινε παρεμβολή.

7. Δημιουργία γραφημάτων βάθους – απόστασης  $z(\text{m})$ - $x(\text{m})$  (σχήματα 3.5a, 3.6a, 3.7a, 3.8a, 3.9a). Σε αυτό το βήμα επιτυγχάνεται η αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου καθώς επίσης και η διαχωριστική επιφάνεια των υπερκείμενων στρωμάτων των Νεογενών και Τεταρτογενών σχηματισμών.
8. Εύρεση υψομέτρων για τα σημεία τομής της κάθε σεισμικής γραμμής με τις ισόχρονες καμπύλες του χάρτη (1:50000) με την εφαρμογή του προγράμματος Google Earth.
9. Δημιουργία γραφημάτων υψομέτρου-απόστασης  $E(\text{m})$ -  $x(\text{m})$  για κάθε σεισμική γραμμή λαμβάνοντας υπόψιν και τα υψόμετρα της θέσης των γεωτρήσεων – βυθοσκοπήσεων τα οποία δίνονται από τις γεωτρήσεις και βυθοσκοπήσεις (σχήματα 3.5b, 3.6b, 3.7b, 3.8b, 3.9b). Το βήμα αυτό πραγματοποιήθηκε για τον έλεγχο της επίδρασης των υψομέτρων ως προς τον ανακλαστήρα του αλπικού υποβάθρου.

**Πίνακας 3.1:** Δεδομένα γεωτρήσεων. Οι στήλες (2)-(4) αφορούν στις χαρτογραφικές συντεταγμένες X,Y,Z (ΕΓΣΑ '87) και οι στήλες (9), (10) και (11), (12) αφορούν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος σε μοίρες και λεπτά αντίστοιχα.

Bore	Easting	Northing	Elevation	TD	Depth1	Depth2	Stratigraphy	latitude(φ)	longitude(λ)	φ (min)	λ(min)	t1(sec)	uint(m/s)
42	584700,3	3875704,0	105	300	0	32	Plio-Quaternary	35,023	24,930	1,382	55,805		
					32	300	Neogene						
					300	300	basement					0,340	2500
64	582412,3	3877722,0	82	180	0	154	Plio-Quaternary	35,041	24,905	2,485	54,312		
					154	180	Neogene						
					180	180	basement					0,230	2400
BH_32	579458,8	3876668,9	80	138	0	47	Plio-Quaternary	35,032	24,873	1,930	52,363		1+2τομή:
													2300
					47	114	Neogene						
					114	138	basement						1 τομή:
												0,330	2300
													2 τομή:
												0,430	2300
BH_36	582441,5	3876837,4	80	200	0	122	Plio-Quaternary	35,033	24,905	2,006	54,326		
					122	200	Neogene						
					200	200	basement					0,230	2400
BH_41	583538,5	3876410,6	80	210	0	86	Plio-Quaternary	35,030	24,917	1,770	55,045		
					86	210	Neogene						
					210	210	basement					0,130	2400
FAO_09	583914,6	3877674,7	105,665	150	0	90	Plio-Quaternary	35,041	24,922	2,452	55,300		8τομή:
													2500
													4τομή:
													2400
					90	90	Neogene						
14	584921,9	3878378,3	133	175	0	0	Plio-Quaternary	35,047	24,933	2,828	55,967		
					0	175	Neogene						
FAO_06	585480,2	3876038,5	100	106	0	70	Plio-Quaternary	35,026	24,939	1,559	56,320		
					70	106	Neogene						

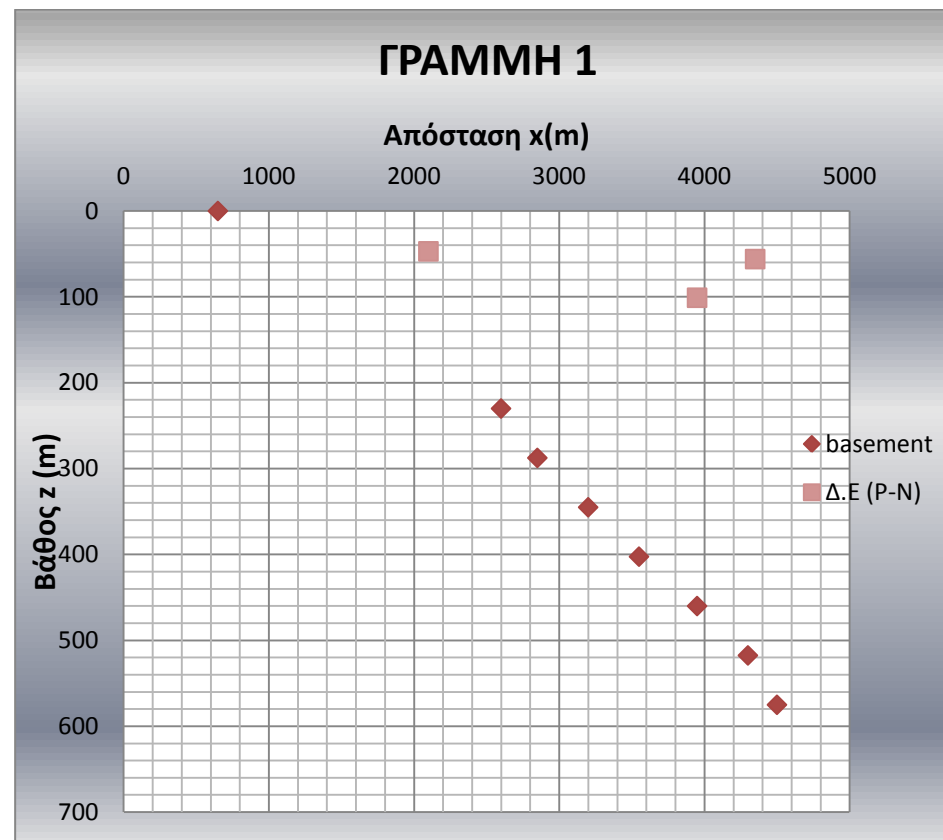
**Πίνακας 3.2:** Δεδομένα βυθοσκοπήσεων. Οι στήλες (2)-(4) αφορούν στις χαρτογραφικές συντεταγμένες X,Y,Z (ΕΓΣΑ '87) και οι στήλες (9), (10) και (11), (12) αφορούν στο γεωγραφικό πλάτος και μήκος σε μοίρες και λεπτά αντίστοιχα.

Bore	Easting	Northing	TD (m)	Depth1(m)	Depth2(m)	Stratigraphy	latitude(φ)	longitude(λ)	φ (min)	λ(min)	t1(sec)	uint(m/s)
V32_new	583752,6	3878345,96	200	0	66	Plio-Quaternary	35,047	24,920	2,816	55,198		
				66	200	Neogene						
				200	200	basement					0,130	2400
V67_new	579680,6	3878395,22	264	0	84	Plio-Quaternary	35,048	24,875	2,863	52,519		4η τομή:
												2400
												8η τομή:
												2500
				84	264	Neogene						4η τομή:
												2400
												8η τομή:
												2500
				264	264	basement						4η τομή:
											0,130	2400
												8η τομή:
											0,340	2500
V85_new	582773,6	3878904,21	235	0	95	Plio-Quaternary	35,052	24,909	3,123	54,557		3η+4η τομή:
				95	235	Neogene						2400
												4η+3η τομή:
				235	235	basement						2400
												4η τομή:
											0,130	2400
												3η τομή:
											0,230	2400
V92_new	578051	3878350,06	346	0	101	Plio-Quaternary	35,047	24,857	2,846	51,447		sp61:
												2250
				101	346	Neogene						sp61:
												2250
				346	346	basement						sp61:
											0,250	2250
V93_new	578241,9	3879068,4	226	0	56	Plio-Quaternary	35,054	24,860	3,233	51,577		sp61:
												2250
				56	226	Neogene						sp61:
												2250
				226	226	basement						sp61:
											0,250	2250

**Πίνακας 3.3:** Δεδομένα γεώτρησης BH\_36. Οι στήλες (2) και (3) ορίζουν το βάθος στο οποίο φτάνουν τα γεωλογικά στρώματα.

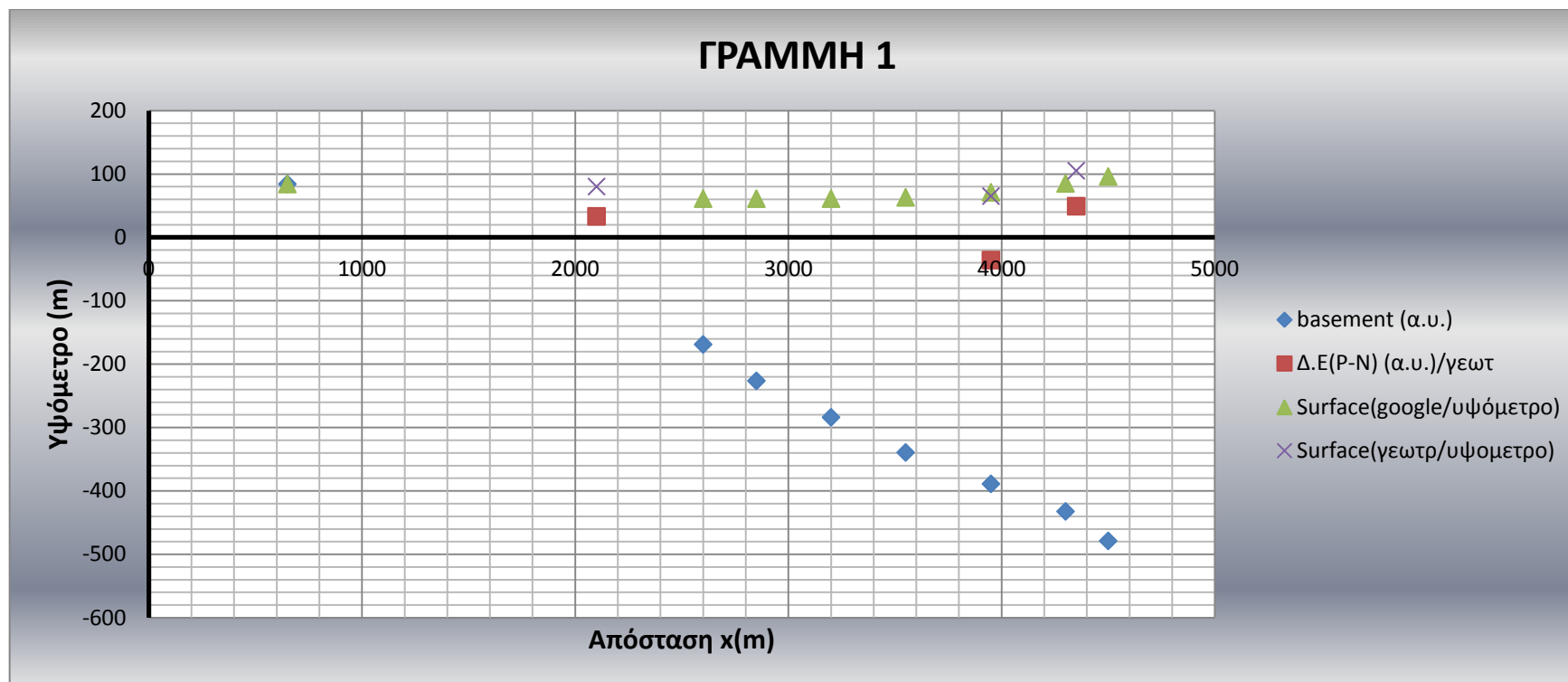
Bore	Depth1(m)	Depth2(m)	Stratigraphy	t1(sec)	uint(m/s)	t2(sec)	t3(sec)	z3(m)
BH_36	0	122	Plio-Quaternary			0,102		
	122	200	Neogene			0,167		
	200	200	basement	0,230	2400		0,125	150

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ 1					
uint=	2300	m/sec			
z=	uint*t/2	m			
bore: γεωτρήσεις κοντά στην τομή 8					
απόσταση x(km)	χρόνος t(sec)	βάθος z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m)(google)	Απόλυτο Υψόμετρο(m)
0,65	0,000	0	650	84	84
2,60	0,200	230	2600	61	-169
2,85	0,250	288	2850	61	-227
3,20	0,300	345	3200	61	-284
3,55	0,350	403	3550	63	-340
3,95	0,400	460	3950	71	-389
4,30	0,450	518	4300	85	-433
4,50	0,500	575	4500	96	-479
Δ.Ε (P-N): Διαχωριστική επιφάνεια (Τεταρτογενή-Νεογενή)					
bore	απόσταση x(km)	Δ.Ε (P-N) z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m) (γεωτρ)	Απόλυτο Υψόμετρο(m) (γεωτρήσεις)
BH32	2,10	47	2100	80	33
V92new	3,95	101	3950	65	-36
V93new	4,35	56	4350	105	49



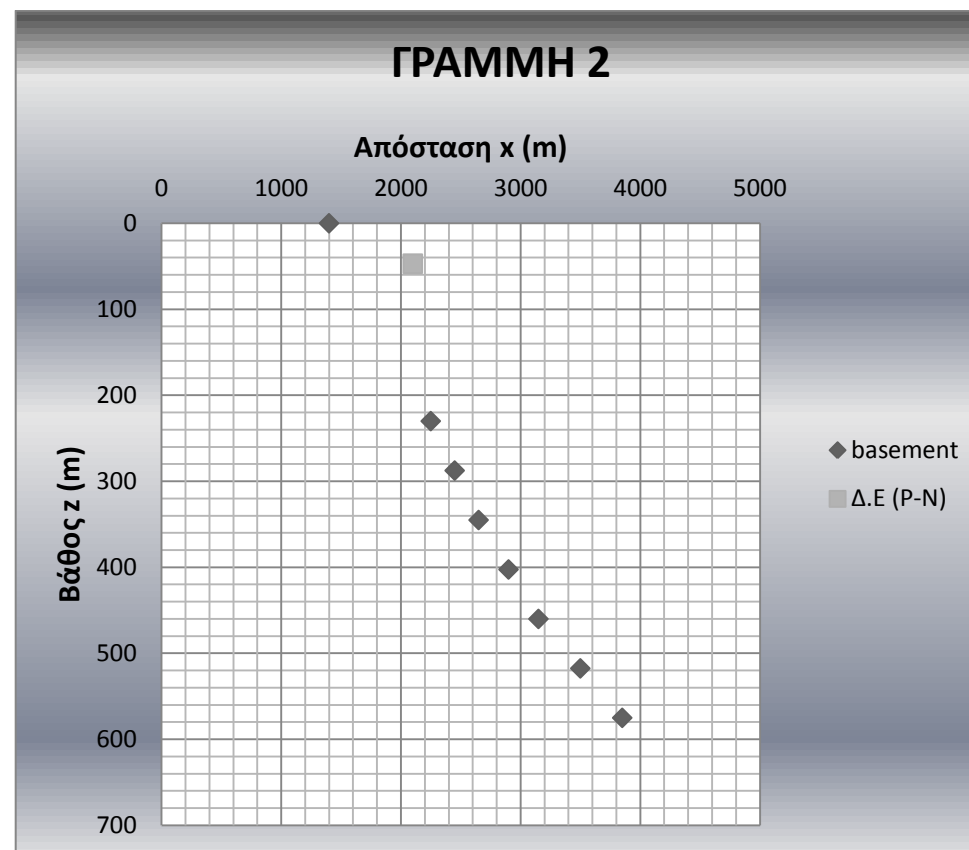
**Σχήμα 3.5α:** Αναπαράσταση του απικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (1).



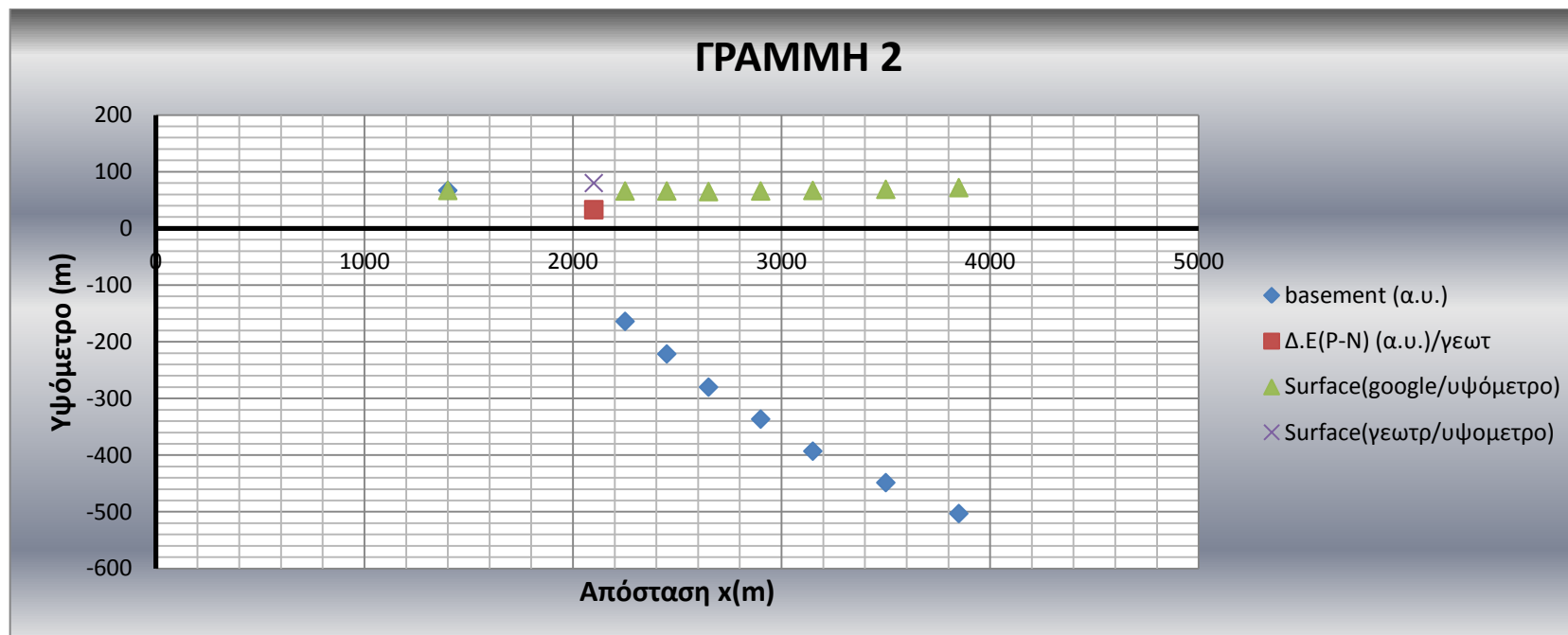


Σχήμα 3.5b: Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ 2					
uint=	2300	m/sec			
z=	uint*t/2	m			
bore:	γεωτρήσεις κοντά στην τομή 8				
απόσταση x(km)	χρόνος t(sec)	βάθος z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m)	Απόλυτο Υψόμετρο(m)
1,40	0,000	0	1400	67	67
2,25	0,200	230	2250	66	-164
2,45	0,250	288	2450	66	-222
2,65	0,300	345	2650	65	-280
2,90	0,350	403	2900	66	-337
3,15	0,400	460	3150	67	-393
3,50	0,450	518	3500	69	-449
3,85	0,500	575	3850	72	-503
Δ.Ε (P-N):	Διαχωριστική επιφάνεια (Τεταρτογενή-Νεογενή)				
bore	απόσταση x(km)	Δ.Ε (P-N) z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m) (γεωτρ)	Απόλυτο Υψόμετρο(m) (γεωτρήσεις)
BH32	2,10	47	2100	80	33

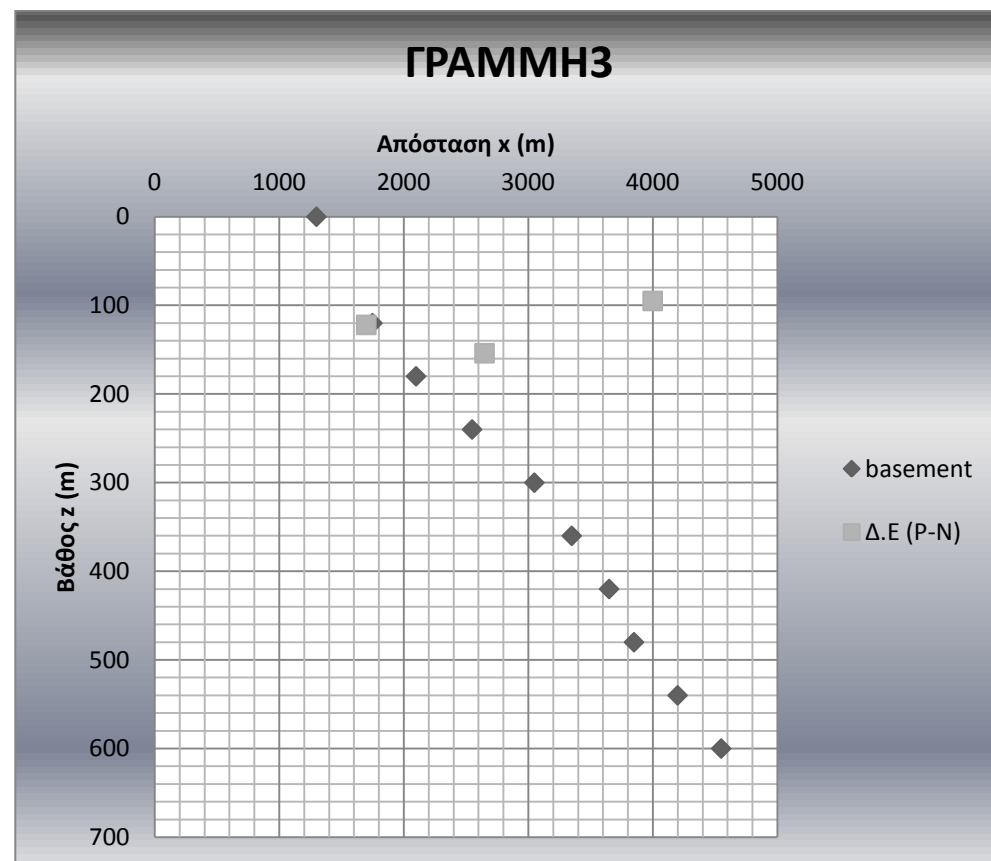


**Σχήμα 3.6α:** Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (2).

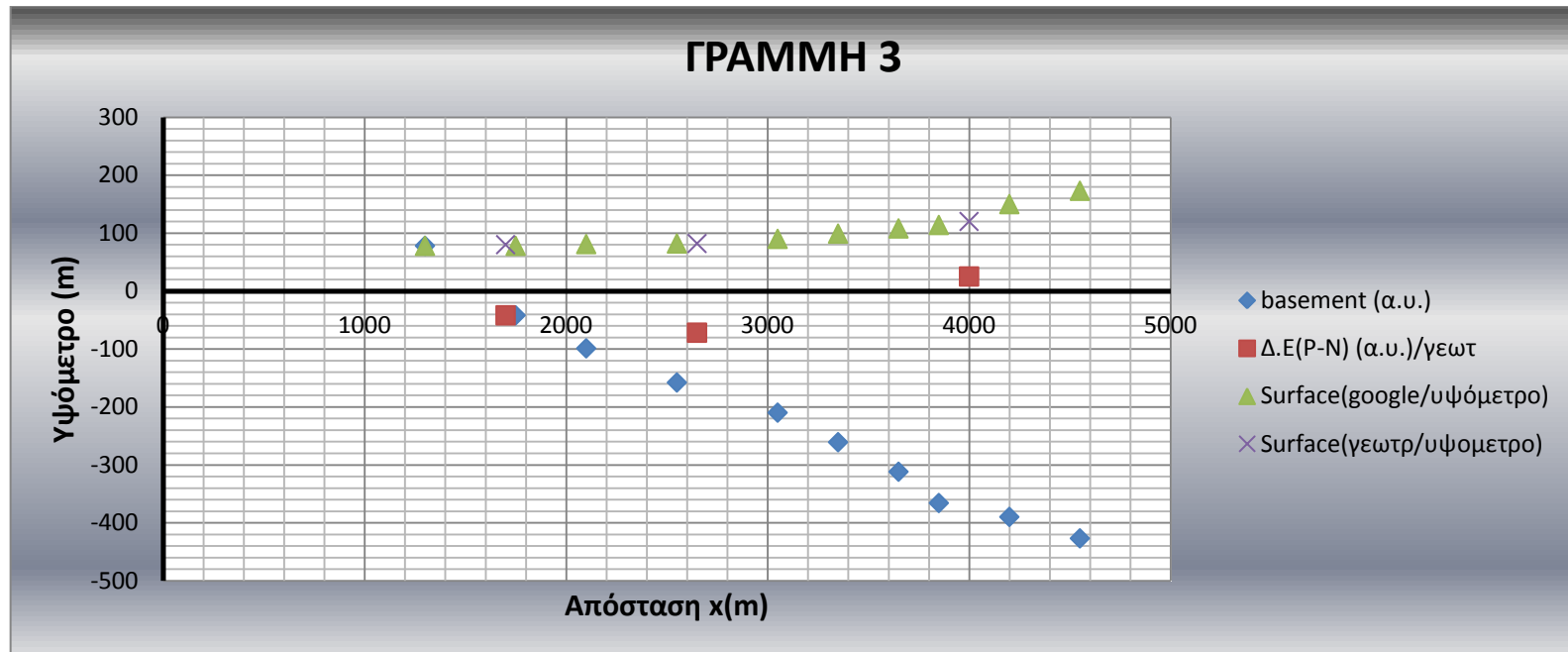


Σχήμα 3.6b: Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.

ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ 3					
uint=	2400	m/sec			
z=	uint*t/2	m			
bore: γεωτρήσεις κοντά στην τομή 8					
απόσταση x(km)	χρόνος t(sec)	βάθος z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m)	Απόλυτο Υψόμετρο(m)
1,30	0,000	0	1300	78	78
1,75	0,100	120	1750	78	-42
2,10	0,150	180	2100	81	-99
2,55	0,200	240	2550	82	-158
3,05	0,250	300	3050	90	-210
3,35	0,300	360	3350	99	-261
3,65	0,350	420	3650	108	-312
3,85	0,400	480	3850	114	-366
4,20	0,450	540	4200	150	-390
4,55	0,500	600	4550	173	-427
Δ.Ε (P-N): Διαχωριστική επιφάνεια (Τεταρτογενή-Νεογενή)					
bore	απόσταση x(km)	Δ.Ε (P-N) z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m) (γεωτρ)	Απόλυτο Υψόμετρο(m) (γεωτρήσεις)
BH36	1,70	122	1700	80	-42
64	2,65	154	2650	82	-72
V85new	4,00	95	4000	120	25

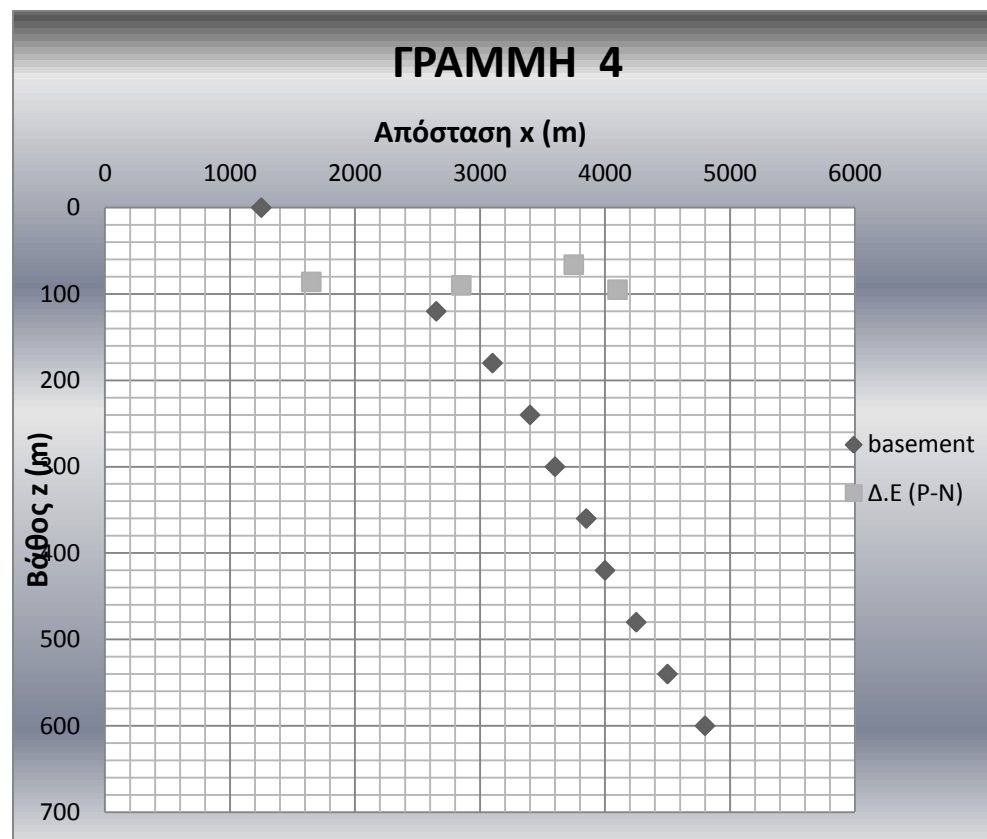


**Σχήμα 3.7α:** Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (3).

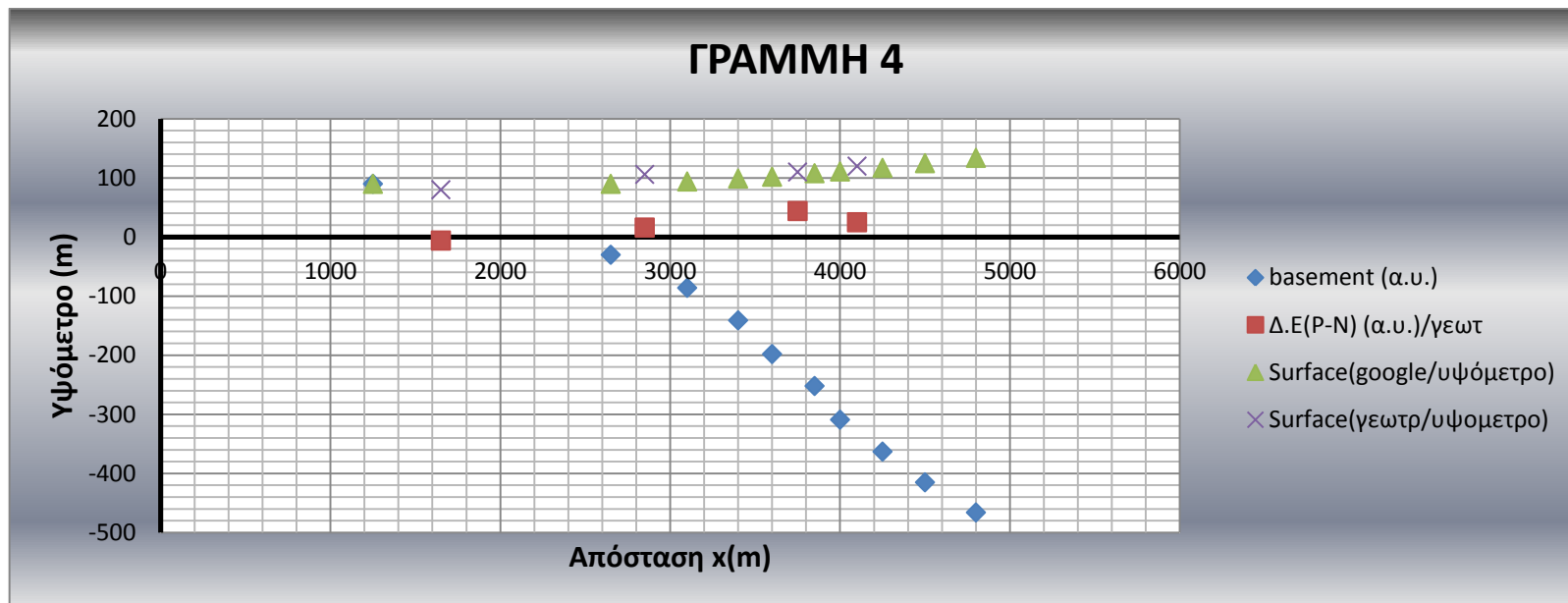


Σχήμα 3.7b: Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.

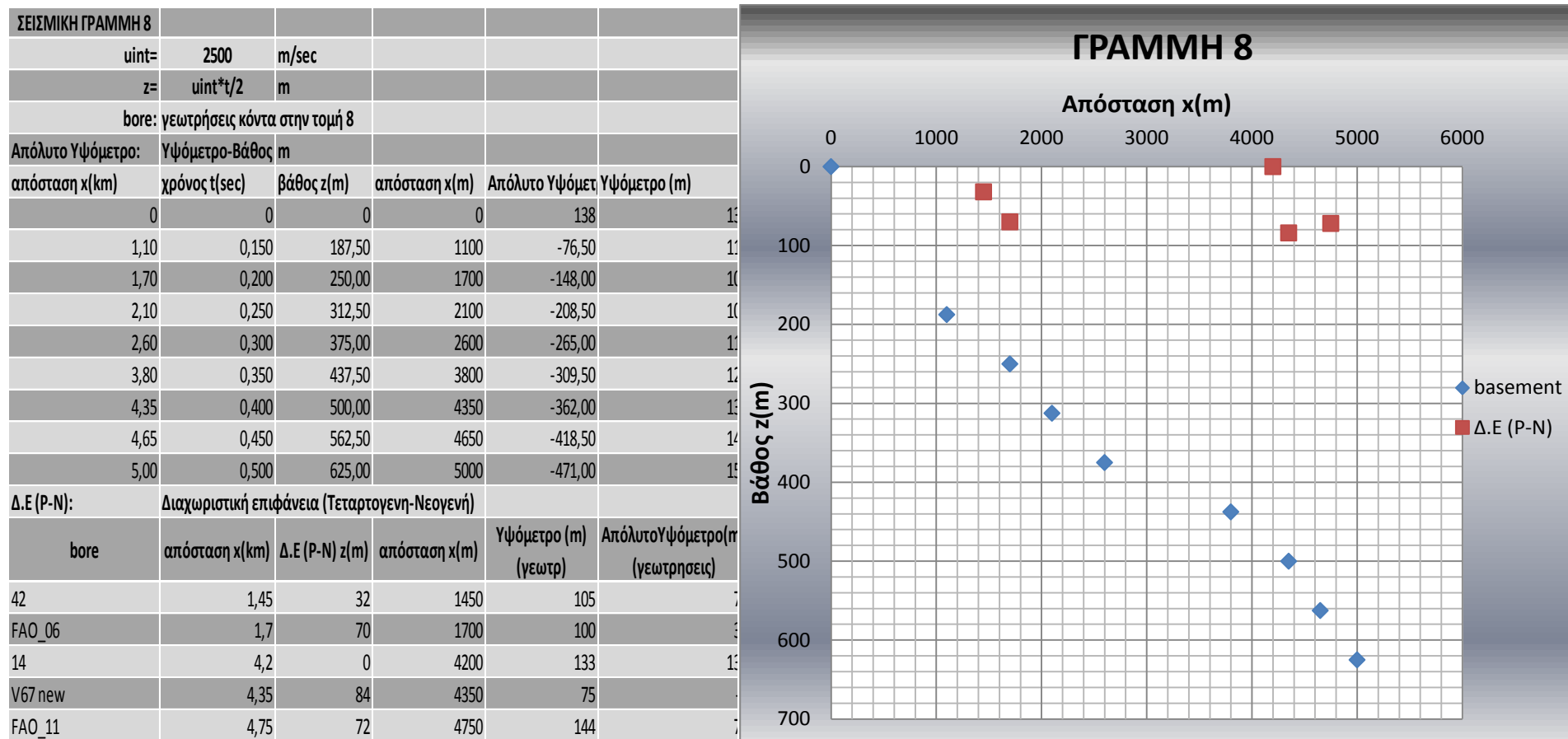
ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ 4					
uint=	2400	m/sec			
z=	uint*t/2	m			
bore: γεωτρήσεις κόντα στην τομή 8					
απόσταση x(km)	χρόνος t(sec)	βάθος z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m)	Απόλυτο Υψόμετρο(m)
1,25	0,000	0	1250	90	90
2,65	0,100	120	2650	90	-30
3,10	0,150	180	3100	94	-86
3,40	0,200	240	3400	99	-141
3,60	0,250	300	3600	102	-198
3,85	0,300	360	3850	108	-252
4,00	0,350	420	4000	111	-309
4,25	0,400	480	4250	117	-363
4,50	0,450	540	4500	125	-415
4,80	0,500	600	4800	134	-466
Δ.Ε (P-N): Διαχωριστική επιφάνεια (Τεταρτογενη-Νεογενή)					
bore	απόσταση x(km)	Δ.Ε (P-N) z(m)	απόσταση x(m)	Υψόμετρο (m) (γεωτρ)	Απόλυτο Υψόμετρο(m) (γεωτρήσεις)
BH41	1,65	86	1650	80	-6
FAO_09	2,85	90	2850	106	16
V32new	3,75	66	3750	110	44
V85new	4,10	95	4100	120	25



**Σχήμα 3.8α:** Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (4).

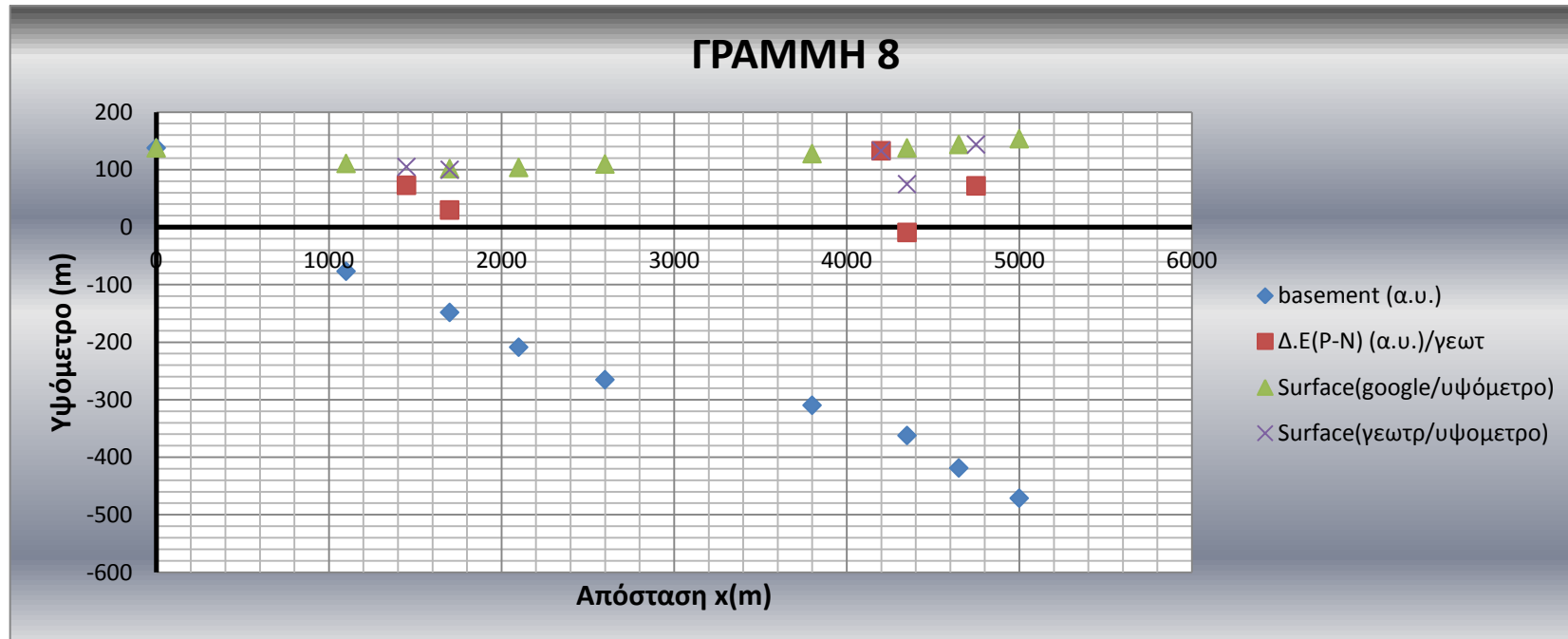


Σχήμα 3.8b: Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.



**Σχήμα 3.9α:** Αναπαράσταση του αλπικού υποβάθρου και της διαχωριστικής επιφάνειας (P-N) για την σεισμική γραμμή (8).





Σχήμα 3.9b: Γραφική παράσταση του υψομέτρου συναρτήσει της απόστασης.

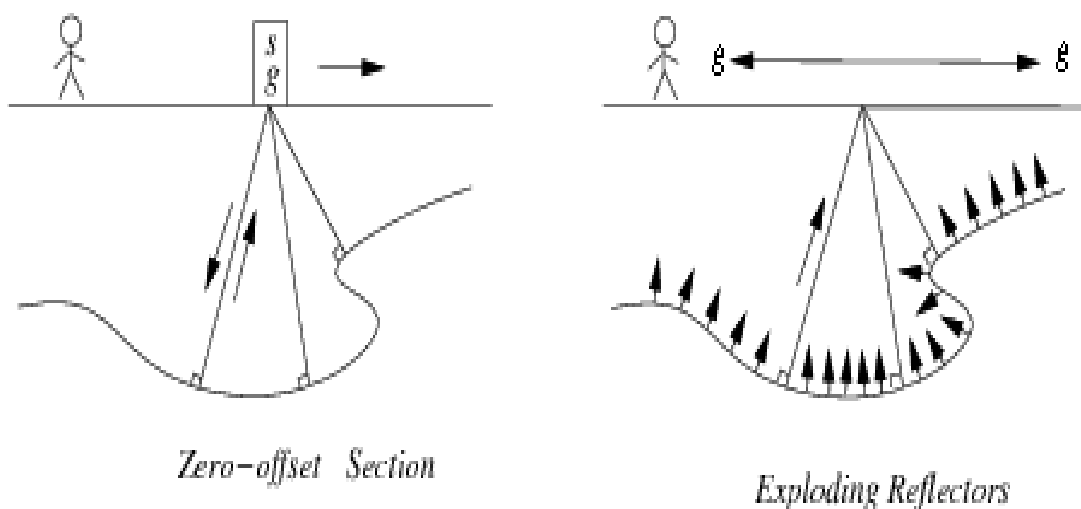
Όσον αφορά τα δεδομένα επεξεργασίας των γεωτρήσεων-βυθοσκοπήσεων (πίνακες 3.1 και 3.2), πραγματοποιήθηκαν με στόχο την απεικόνιση του αλπικού υποβάθρου και των γεωλογικών στρωμάτων των Τεταρτογενών – Νεογενών. Επειδή όμως παρατηρήθηκε ότι η πληροφορία για το αλπικό υπόβαθρο είναι περιορισμένη διότι υπάρχει μόνο μία γεώτρηση που να το έχει συναντήσει (BH\_32) και κατ' επέκταση δεν υπάρχει η δυνατότητα σύγκρισης με το υπολογιζόμενο βάθος  $z(3)$  (βλέπε παράδειγμα για γεώτρηση BH\_36, σελ.25), έγινε μία πρώτη προσπάθεια απεικόνισης του υποβάθρου η οποία δεν έλαβε υπόψιν τις πληροφορίες από τις γεωτρήσεις και βασίστηκε μόνο στα χάρτη των ισόχρονων που προέκυψε από τα σεισμικά δεδομένα. Εξίσου παρατηρήσιμη είναι και η περιορισμένη πληροφορία για την απεικόνιση των γεωλογικών στρωμάτων των Τεταρτογενών – Νεογενών καθώς ο αριθμός των γεωτρήσεων δεν είναι επαρκής για την διευκρίνιση της πορείας της διαχωριστικής επιφάνειας μεταξύ των δύο γεωλογικών στρωμάτων (σχήματα 3.5a, 3.6a, 3.7a, 3.8a, 3.9a). Γι' αυτό το λόγο, χρησιμοποιήθηκαν για μία μόνο σεισμική τομή (1) τα δεδομένα των γεωτρήσεων για την απεικόνιση της διαχωριστικής επιφάνειας μεταξύ Τεταρτογενών – Νεογενών, γιατί υπήρχε σχετικά ικανοποιητικός αριθμός γεωτρήσεων.

Όπως φαίνεται και στα διαγράμματα των υψομέτρων συναρτήσεως των αποστάσεων, η υψομετρική διαφορά των σημείων στην επιφάνεια για κάθε σεισμική γραμμή είναι της τάξεως μερικών δεκάδων μέτρων. Δεδομένου λοιπόν των μικρών υψομετρικών διαφορών, τα υψόμετρα δεν λήφθηκαν υπόψιν και για τις σεισμικές γραμμές ορίστηκε οριζόντια επιφάνεια ανεξάρτητη από τη μέση στάθμη της θάλασσας.

### **3.3 Δημιουργία συνθετικών δεδομένων**

Η δημιουργία των συνθετικών δεδομένων και η επεξεργασία αυτών, επιτυγχάνονται σε περιβάλλον Matlab. Το μοντέλο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία των σεισμικών τομών υπέρθεσης είναι γνωστό ως 'exploding reflector model'.

Όπως προαναφέρθηκε, στο στάδιο της σεισμικής υπέρθεσης γίνεται συνάθροιση των σειсмоγραμμάτων κοινού ενδιαμέσου σημείου και παράγεται ένα ενιαίο ίχνος του οποίου η μορφή μοιάζει με αυτή της μηδενικής απόστασης πηγής-γεωφώνου. Στις τομές υπέρθεσης δηλαδή, τα δεδομένα καταγράφονται όταν η πηγή και ο δέκτης συμπίπτουν (**zero-offset model**). Σε αυτή τη περίπτωση, η σεισμική τομή μπορεί να θεωρηθεί ότι προήλθε από μια εναλλακτική υποθετική γεωμετρία καταγραφής (**exploding reflector model**) κατά την οποία οι πηγές τοποθετούνται κατά μήκος των ανακλώμενων διεπιφανειών και οι αντίστοιχοι δέκτες τοποθετούνται στην επιφάνεια (Σχήμα 3.10). Οι πηγές ενεργοποιούνται ταυτόχρονα και εκπέμπουν κύματα τα οποία διαδίδονται προς τα πάνω. Οι δυνάμεις ενεργοποίησης των πηγών είναι ανάλογες του συντελεστή ανάκλασης. Με αυτό το τρόπο, οι πηγές θα τοποθετούνται εκεί που ο συντελεστής ανάκλασης είναι μη μηδενικός και επομένως θα υπάρχει ανακλαστήρας. Η σεισμική τομή που δημιουργείται από το **exploding reflector model** είναι σε μεγάλο βαθμό ισοδύναμη με αυτή του **zero-offset model** με μια σημαντική διάκριση. Η **‘zero-offset’** τομή καταγράφεται σε **διπλό** χρόνο διαδρομής ενώ η **‘exploding reflector’** τομή σε χρόνο διαδρομής και επομένως, τα κύματα διαδίδονται με ταχύτητα ίση με το μισό της πραγματικής ταχύτητας για να ταιριάξουν με τον άξονα του χρόνου που σχετίζεται με την **‘zero-offset’** τομή.



**Σχήμα 3.10:** Απεικόνιση λειτουργίας του zero-offset model και του exploding reflector model ([http://www.reproducibility.org/RSF/book/bei/krch/paper\\_html/node5.html](http://www.reproducibility.org/RSF/book/bei/krch/paper_html/node5.html)).

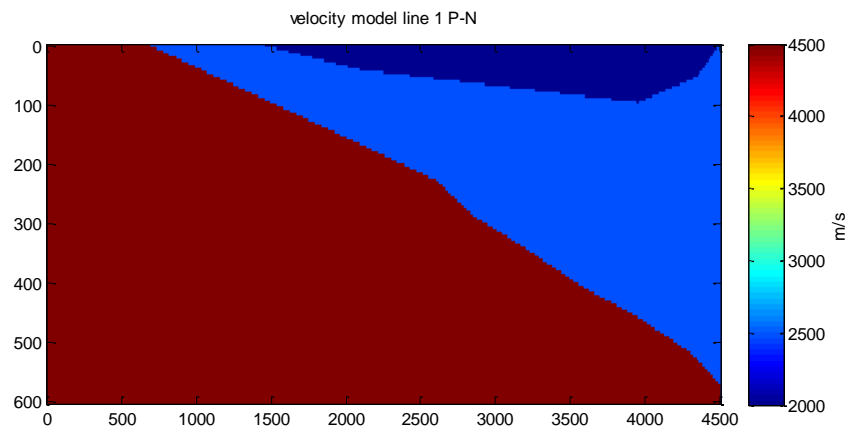
Η Matlab συνάρτηση που εφαρμόστηκε για την εφαρμογή του ‘exploding reflector model’ και κατ’ επέκταση την δημιουργία των τομών (**stacked sections**) είναι η εξής:

```
%exploding reflector model
dt = .001;
dtstep = .001;
tmax = 1.0;
dx = 5;
load tominVp; load tominxz;
vel=tominVp;
[seisn,seis,t]= afd_explode(dx,dtstep,dt,tmax,vel,x,zeros(size(x)),[5 10 40 50],0,2);
Figure
Imagesc (x,z,vel );
h = colorbar;
set (get(h,'y label') , 'string' , 'm/s' )
title ( 'velocity model' )
plotimage (seisf ,t ,x )
```

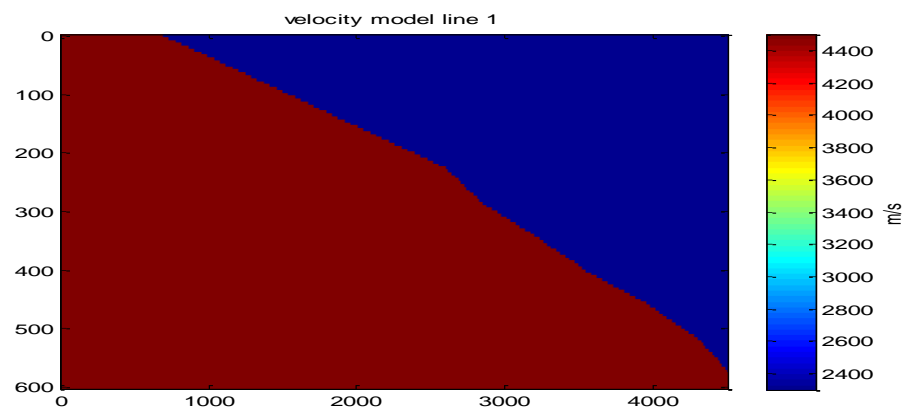
Όπου ,

- **dt** : βήμα δειγματοληψίας (s)
- **dtstep**: βήμα υπολογισμού κυματικού πεδίου (s)
- **tmax**: ο μέγιστος χρόνος καταγραφής του σειсмоγράμματος (s)
- **dx**: ισαπόσταση γεωφώνων (m)
- **vel**: πίνακας με το μοντέλο των ταχυτήτων
- **zeros(size(x))**: το βάθος των γεωφώνων.
- **[ 5 10 40 50 ]**: φασματικό περιεχόμενο της πηγής (Hz)
- **0**: δηλώνει ότι το κυματίδιο της πηγής είναι μηδενικής φάσης
- **2**: το αριθμητικό σχήμα για την επίλυση της εξίσωσης Laplace είναι 2<sup>ης</sup> τάξης
- **afd\_explode**: η συνάρτηση που δημιουργεί συνθετικά σειсмоγράμματα με τη χρήση του μοντέλου ‘exploding reflector’.

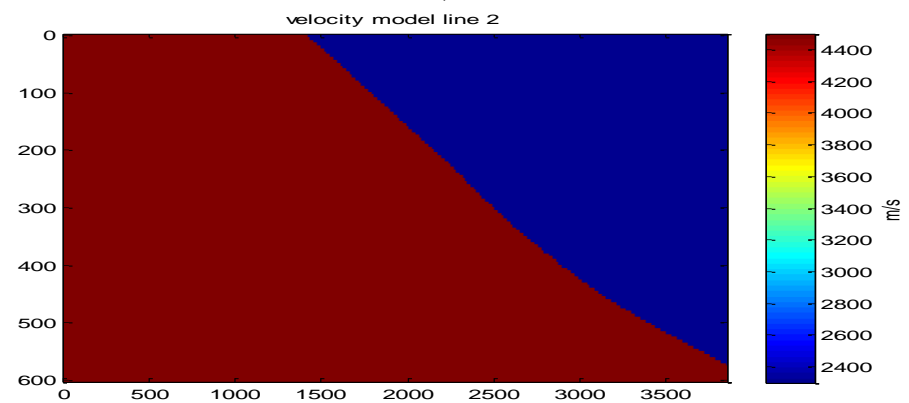
Σε πρώτη φάση, με την εκτέλεση της συνάρτησης δημιουργήθηκαν τα μοντέλα των ταχυτήτων και τα αντίστοιχες τομές υπέρθεσης για κάθε σεισμική τομή (Σχήμα 3.11).



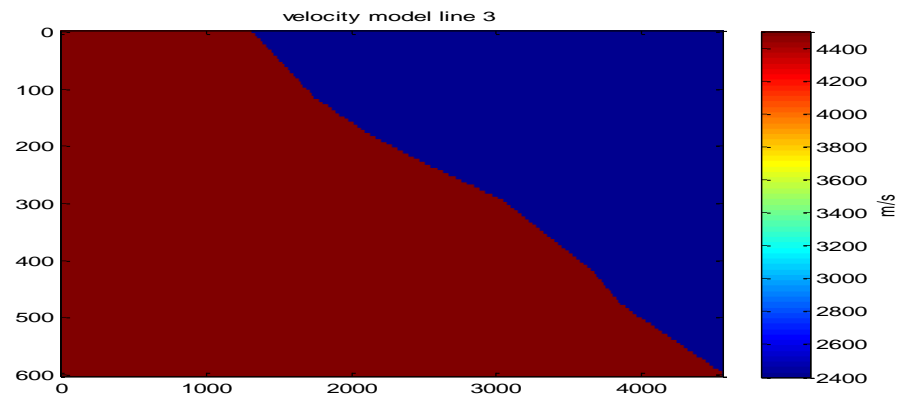
a)



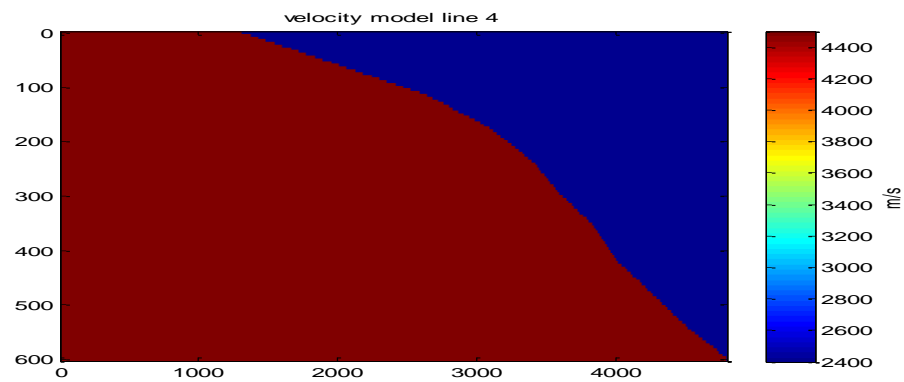
b)



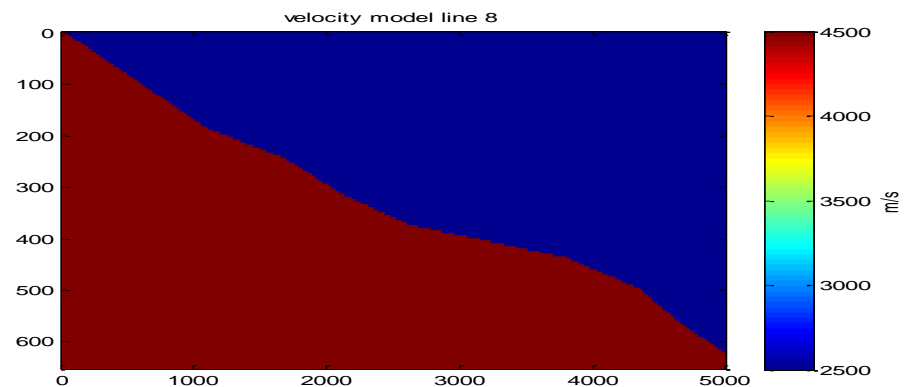
c)



d)



e)



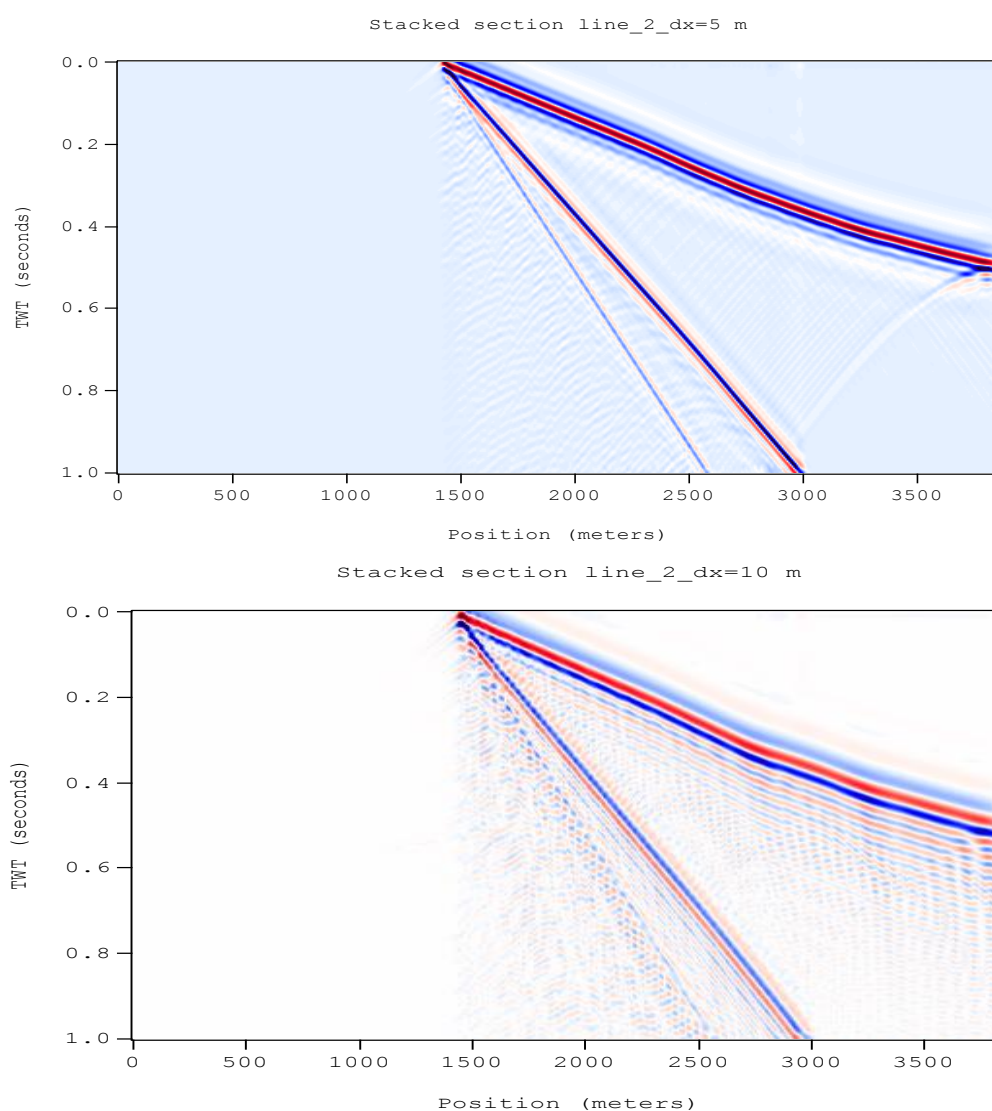
f)

**Σχήμα 3.11:** **a)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 1\_P-N **b)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 2 **c)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 2 **d)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 3 **e)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 4 **f)** μοντέλο ταχύτητας – βάθους για γραμμή 8.

Για την επιλογή της παραμέτρου διακριτοποίησης του μοντέλου ταχυτήτων ( $dx$ ) η οποία επηρεάζει την ακρίβεια των συνθετικών σειсмоγραμμάτων δημιουργήθηκαν δυο τομές υπέρθεσης για διαφορετικές τιμές ( $dx$ ) για τη γραμμή 2 (Σχήμα 3.12):

1.  $dx = 5$  m

2.  $dx = 10$  m

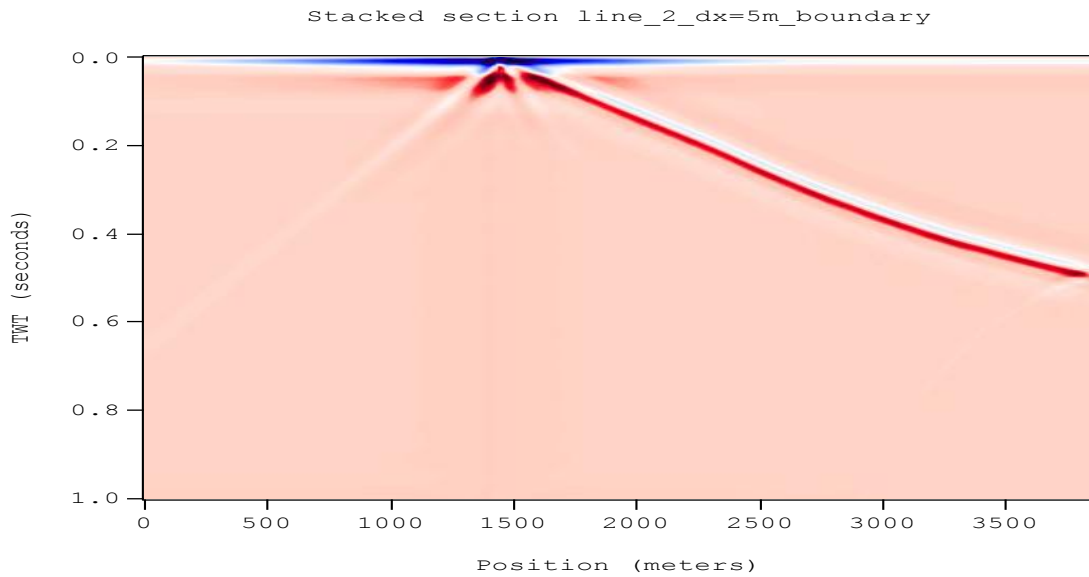


**Σχήμα 3.12:** Απεικόνιση σεισμικών τομών υπέρθεσης. Στο πάνω σχήμα απεικονίζεται η σεισμική τομή 2 για  $dx=5$ m ενώ στο κάτω σχήμα, η τομή 2 για  $dx=10$ m.

Από τη σύγκριση των παραπάνω σεισμικών τομών υπέρθεσης διαπιστώθηκε πως η 1<sup>η</sup> ( $dx=5$ ) παρουσιάζει λιγότερο έντονο το φαινόμενο της αριθμητικής διασποράς. Επομένως, η ισαπόσταση των γεωφώνων  $dx=5$ m είναι αυτή που χρησιμοποιήθηκε για όλες τις γραμμές.

Επιπλέον, έγινε δημιουργία της σεισμικής τομής υπέρθεσης βάζοντας απορροφητικά όρια στο πάνω όριο του μοντέλου (Σχήμα 3.13). Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε για να επιβεβαιωθεί ότι οι επιπλέον ανακλάσεις που εμφανίζονται

στη σεισμική τομή υπέρθεσης κάθε φορά, οφείλονται σε πολλαπλές ανακλάσεις στην επιφάνεια της γής.



**Σχήμα 3.13:** Απεικόνιση της σεισμικής τομής υπέρθεσης 2 με απορροφητικά όρια. Παρατηρείται πώς με την είσοδο απορροφητικών ορίων στο μοντέλο, οι πολλαπλές ανακλάσεις εξαλείφονται.

### 3.3.1 Εφαρμογή της σεισμικής χωροθέτησης

Στη σεισμική χωροθέτηση, τα σεισμικά κύματα διαδίδονται από την επιφάνεια της γής όπου βρίσκονται τα γεώφωνα προς τον ανακλαστήρα όπου βρίσκονται οι πηγές, δηλαδή αντίθετα από την διαδρομή που ακολουθούν στο **‘exploding reflector model’**. Επομένως, σε χρόνο  $t=0$  sec τα κύματα θα βρίσκονται στη θέση των πηγών και θα απεικονίζουν τις διαχωριστικές επιφάνειες. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερη απεικόνιση των διαχωριστικών επιφανειών οι οποίες βρίσκονται υπό κλίση. Η σεισμική χωροθέτηση με το **‘exploding reflector model’** πραγματοποιείται συνήθως σε τομές υπέρθεσης.

Η μέση τετραγωνική ταχύτητα ( $u_{rms}^2$ ) αναφέρεται σε μοντέλο  $N$  οριζόντιων στρωμάτων με τμηματική ταχύτητα  $u_i$ ,  $i=1, \dots, N$  και αντίστοιχο χρόνο ανάκλασης  $t_i$ ,  $i=1, \dots, N$  και ορίζεται από τη σχέση (3.3):



$$urms^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (t_i - t_{i-1}) u_i^2}{t_N} \quad (3.3)$$

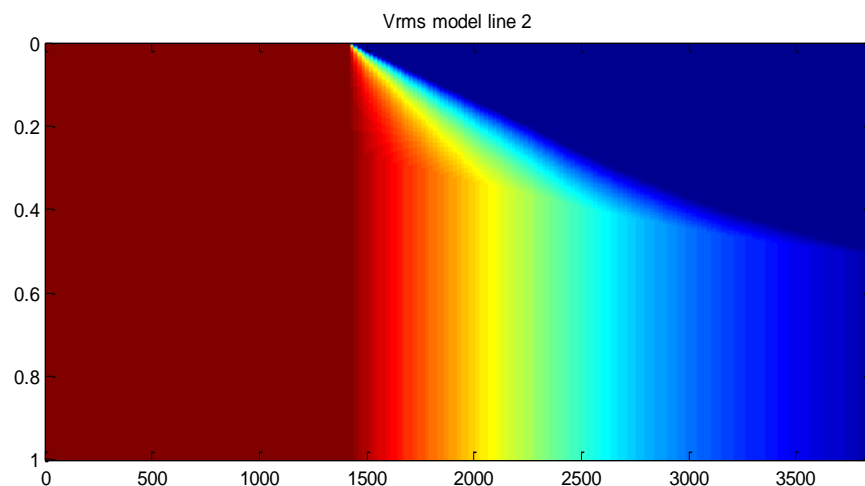
Για την αναγωγή της τμηματικής ταχύτητας σε μέση τετραγωνική ταχύτητα συναρτήσει του χρόνου χρησιμοποιήθηκε η εξής συνάρτηση:

**function[vrmsn,t]=vzmod2vrmsmod(vel,z,dt,t(end),1)**

Όπου,

- **vzmod2vrmsmod** : μετατρέπει ένα μοντέλο τμηματικής ταχύτητας συναρτήσει του βάθους (**velocity-depth-model**) σε μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας συναρτήσει του χρόνου (**vrms-time-model**) όπως απαιτείται για την χωροθέτηση
- **vel** : μοντέλο ταχύτητας-βάθους
- **t(end)**: τελευταία τιμή του χρόνου
- **1**: επεκτείνει την τελευταία τιμή της μέσης ταχύτητας μέχρι το tmax (extrapolation).

Στο σχήμα 3.14 παρατίθεται η μέση τετραγωνική ταχύτητα συναρτήσει του χρόνου για τη σεισμική τομή 2:



**Σχήμα 3.14:** Μοντέλο μέσης τετραγωνικής ταχύτητας ( $vrms^2$ ) συναρτήσει του χρόνου για τη σεισμική γραμμή 2.

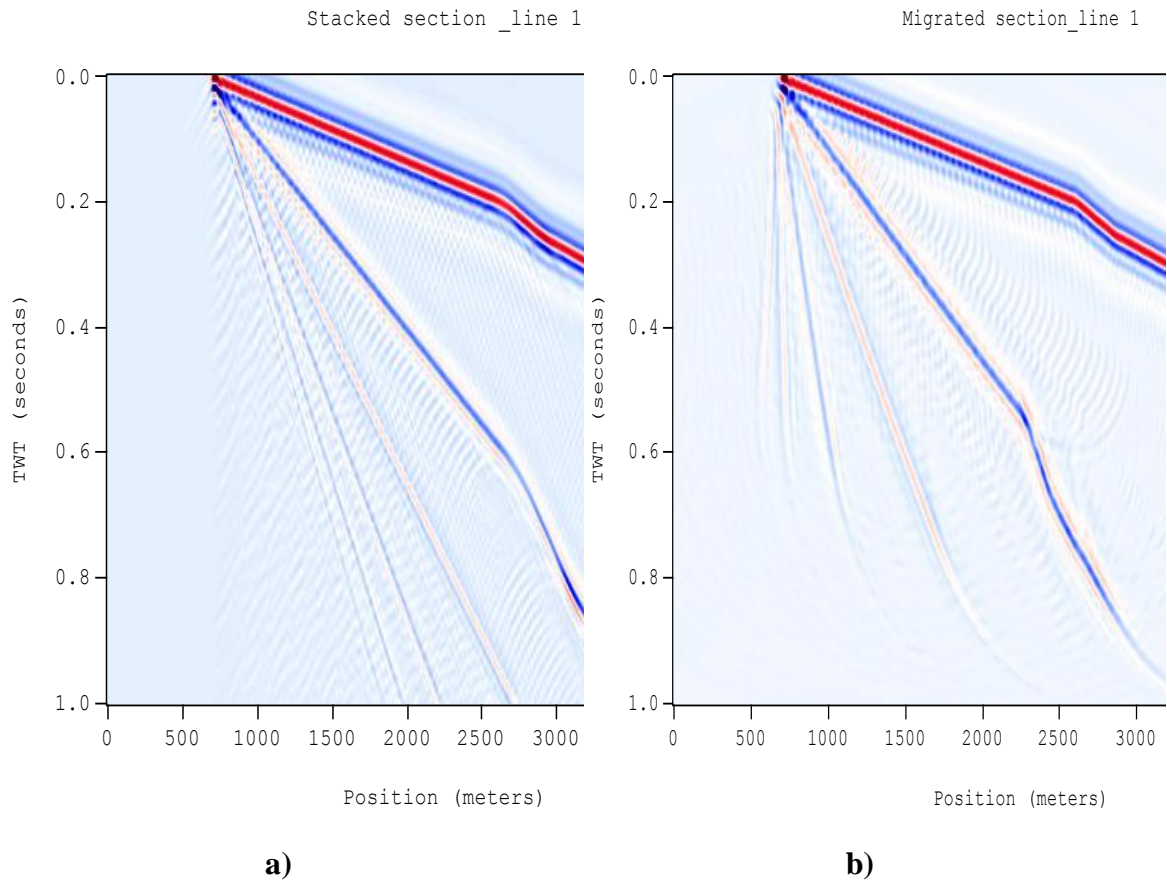
Το βήμα αυτό είναι απαραίτητο για την εφαρμογή της χωροθέτησης με πεπερασμένες διαφορές στις τομές (**stacked sections**). Η εφαρμογή της χωροθέτησης έγινε με σκοπό την αύξηση της χωρικής ανάλυσης του υπεδάφους και την δημιουργία των χωροθετημένων τομών (**migrated sections**). Η συνάρτηση που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των σειсмоγραμμάτων χωροθέτησης είναι η εξής:

**function[seismn,tmig,xmig]=fd15mig(seisn,vrmsn,t,x,dt);**

Όπου,

- **fd15mig** : εφαρμόζει στο σεισμόγραμμα της χωροθέτησης αποσυνέλιξη πρόβλεψης
- **tmig**: διάνυσμα με όλους τους χρόνους καταγραφής (sec)
- **xmig**: διάνυσμα με όλες τις θέσεις καταγραφής.

Συγκρίνοντας τη σεισμική τομή υπέρθεσης (stacked section) με τη χωροθετημένη (Σχήμα 3.15) προκύπτει ότι η χωροθέτηση τοποθετεί πιο σωστά τον ανακλαστήρα, δηλαδή περιορίζει το μήκος του πιο ρηχού τμήματός του και διορθώνει την κλίση του.



**Σχήμα 3.15:** Σεισμική γραμμή 1: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης **b)** σεισμική τομή χωροθέτησης με τη μέθοδο πεπερασμένων διαφορών.

### 3.3.2 Εφαρμογή της αποσυνέλιξης πρόβλεψης

Τα σειсмоγράμματα που προέκυψαν από την σεισμική χωροθέτηση με τη σειρά τους χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της αποσυνέλιξης πρόβλεψης η οποία αποσκοπεί στην όσο το δυνατόν καλύτερη απομάκρυνση των εσωτερικών ανακλάσεων και την δημιουργία των χωροθετημένων τομών απαλλαγμένων από τις πολλαπλές ανακλάσεις (**predictive sections**). Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των τομών αυτών με την εφαρμογή της αποσυνέλιξης πρόβλεψης είναι ο εξής:

```
for i=1:length(x);
[f,seispn(:,i)]=predictive(seismn(:,i),tf,tp,0.001);
end;
```

Όπου ,

- **length(x):** το πλήθος των ιχνών
- **tp:** χρόνος πρόβλεψης (ms)
- **tf:** διάρκεια του φίλτρου (ms) ( $tp < tf$ )
- **0.001:** ποσοστό θορύβου.

Ο χρόνος πρόβλεψης και η διάρκεια του φίλτρου που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε σεισμική τομή είναι οι εξής:

**Line 1:**      tp= 200 ms

tf= 700 ms

**Line 1 P-N:** tp= 100 ms

tf= 300 ms (1<sup>ο</sup> στάδιο)

tp= 200 ms

tf= 700 ms (2<sup>ο</sup> στάδιο)

**Line 2:**      tp= 200 ms

tf= 300 ms

**Line 3:**      tp= 200 ms

tf= 300 ms

**Line 4:**      tf= 200 ms

tp= 400 ms

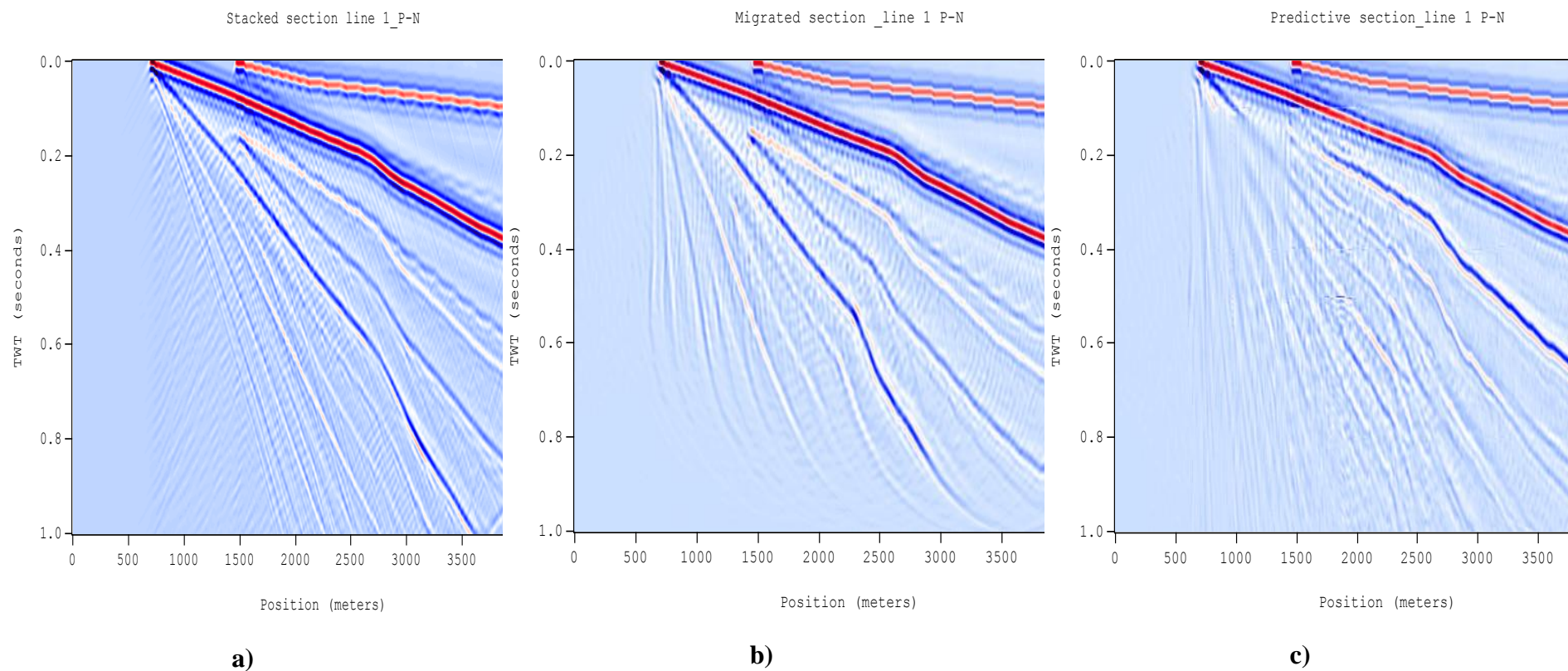
**Line 8:**      tp=200 ms

tf= 300 ms

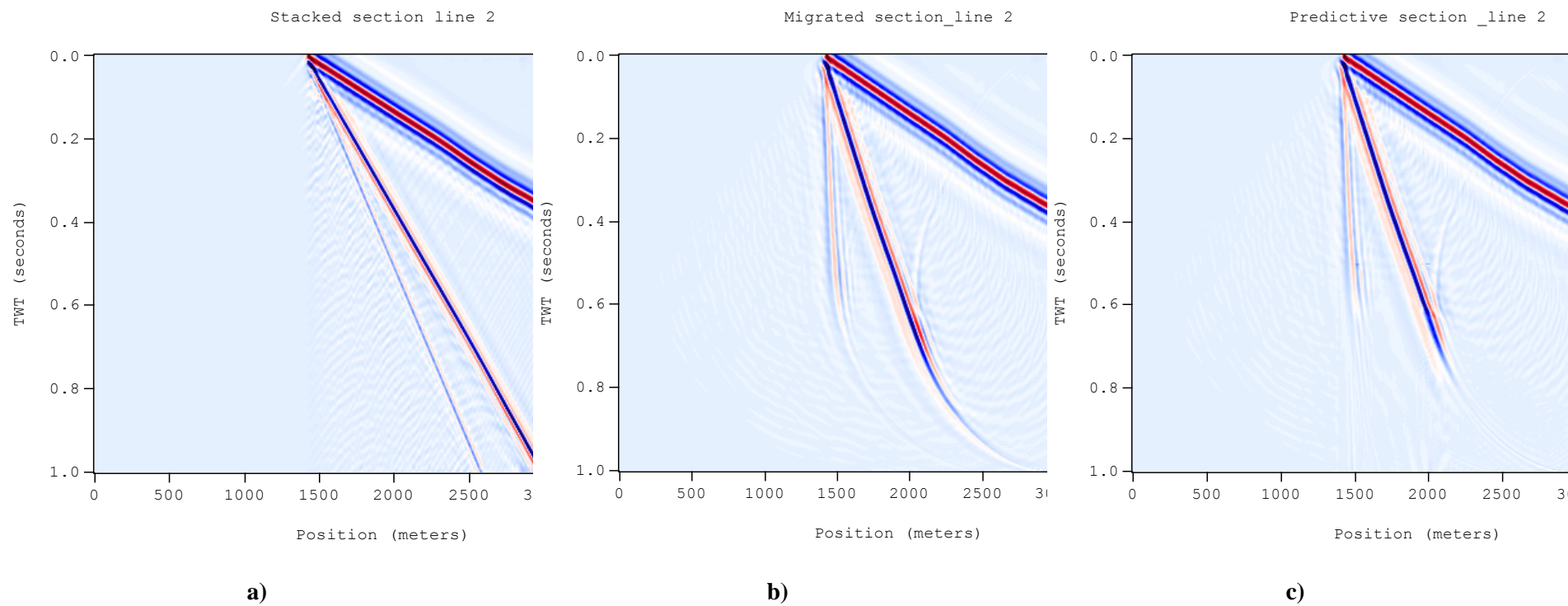
Το κριτήριο για την επιλογή των τιμών για το χρόνο πρόβλεψης και διάρκεια του φίλτρου είναι το εξής:

Προσδιορίζεται από το σεισμόγραμμα χωροθέτησης πόσο χρόνο χρειάζεται για να δημιουργηθεί η κύρια ανάκλαση και ορίζεται η διπλάσια τιμή για το χρόνο πρόβλεψης (**tp**). Η διάρκεια του φίλτρου (**tf**) παίρνει τιμές μεγαλύτερες του χρόνου πρόβλεψης και επιλέγεται αυτή που δίνει το καλύτερο αποτέλεσμα στο σεισμόγραμμα αποσυνέλιξης πρόβλεψης.

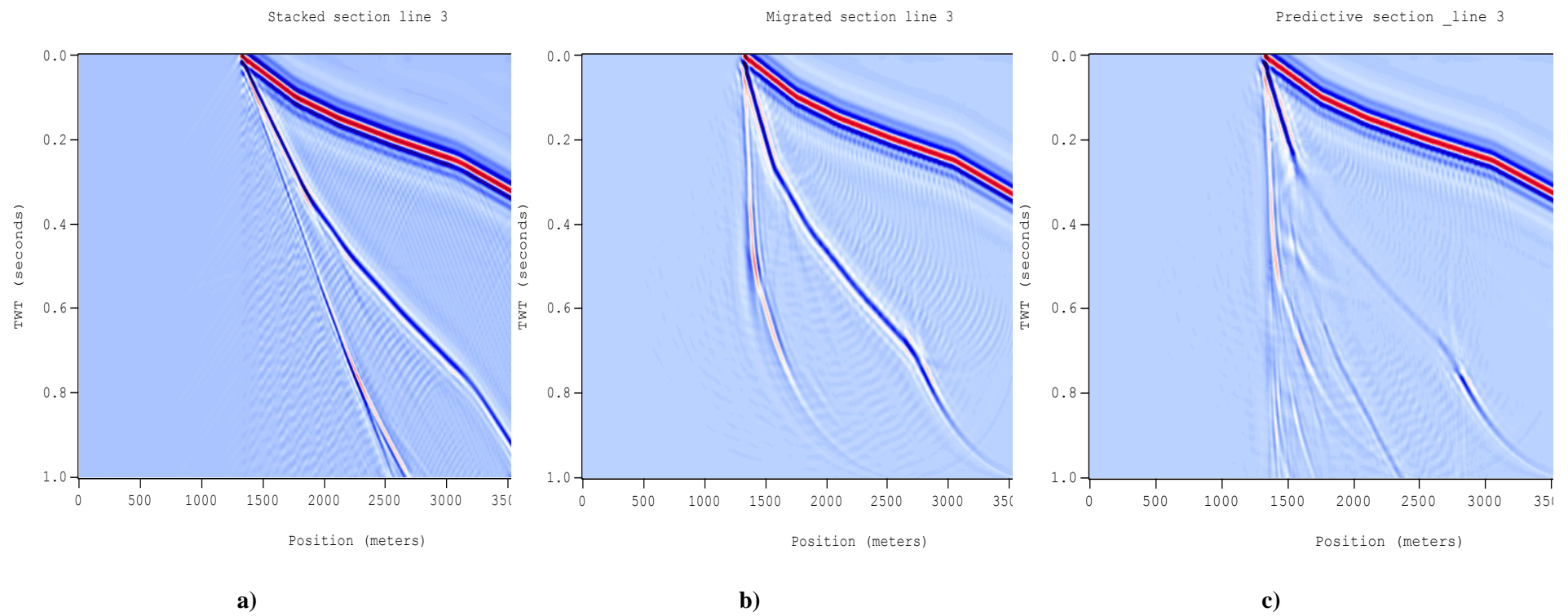
Με τη χρήση του προγράμματος 'transform' έγινε απεικόνιση τω σεισμικών τομών με την κατάλληλη χρωματική κλίμακα. Τα αποτελέσματα των παραπάνω διεργασιών παρουσιάζονται στα σχήματα 3.16 έως 3.20.



**Σχήμα 3.16:** Σεισμική γραμμή 1\_P-N: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης με δύο ανακλαστήρες **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.

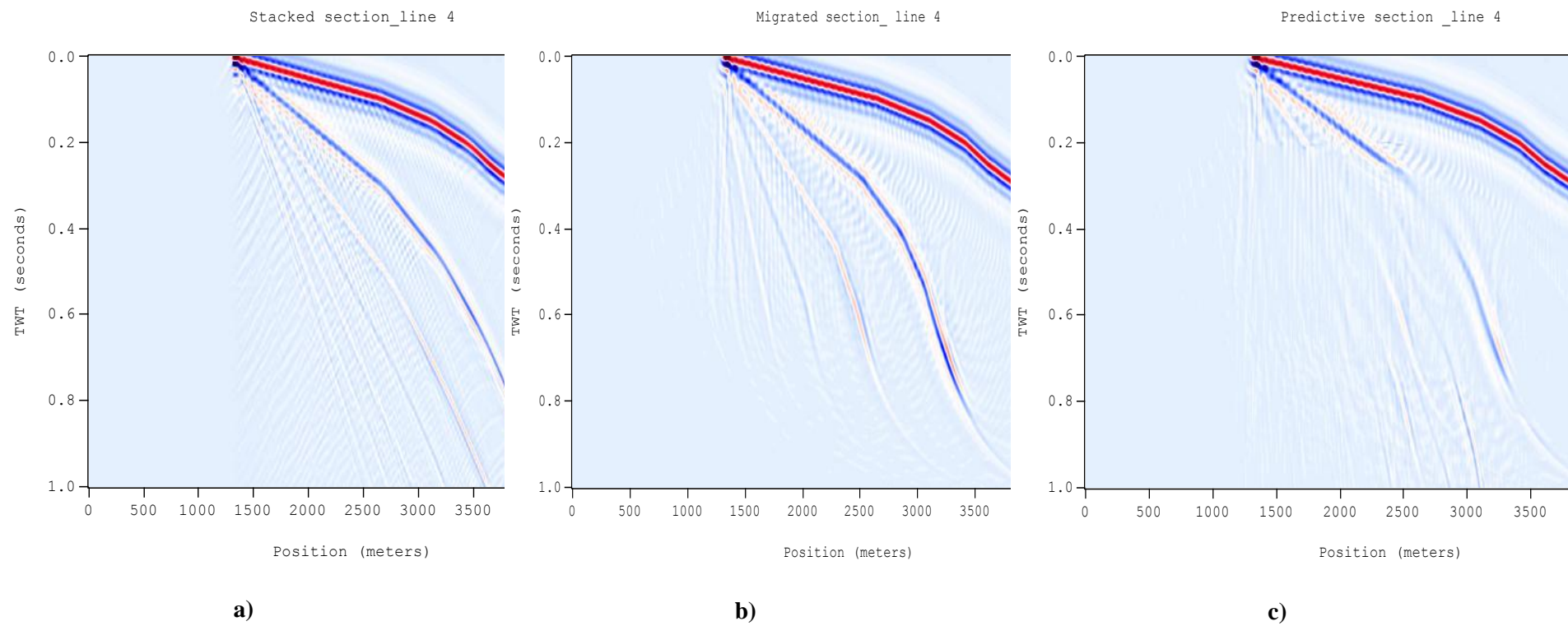


**Σχήμα 3.17:** Σεισμική γραμμή 2: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.

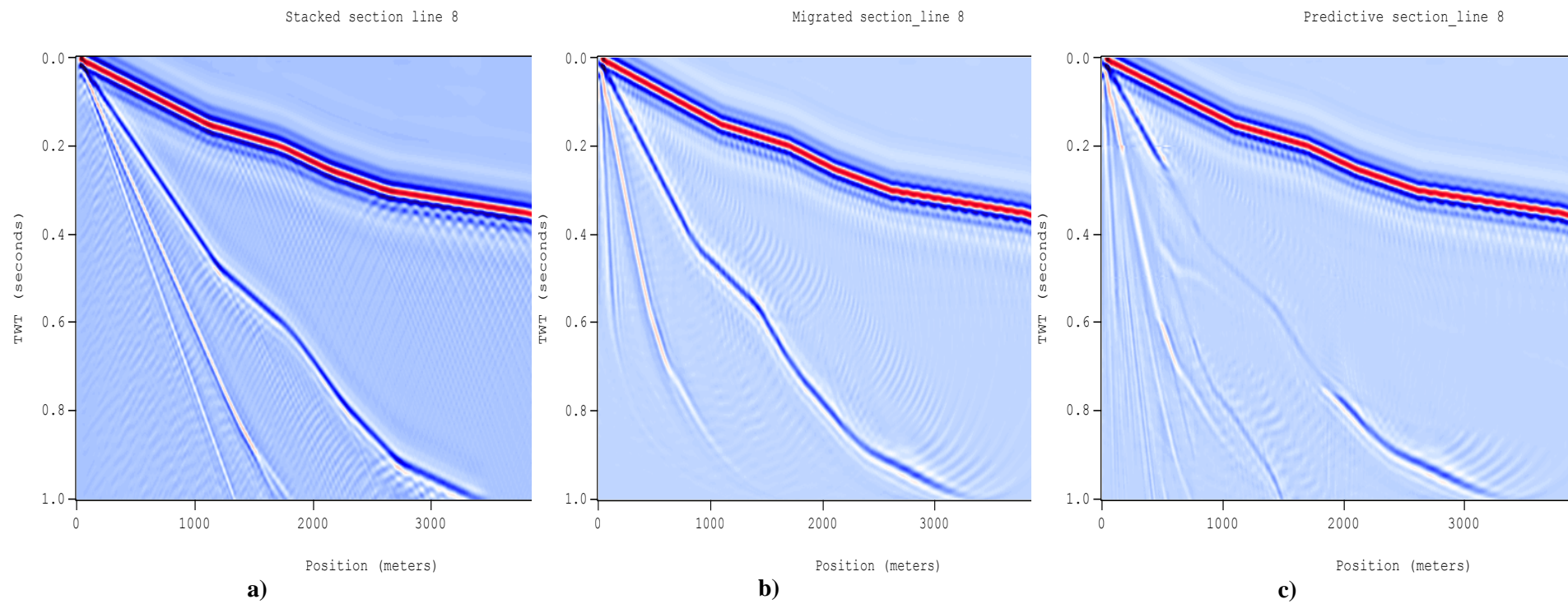


**Σχήμα 3.18:** Σεισμική γραμμή 3: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.





**Σχήμα 3.19:** Σεισμική γραμμή 4: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.



**Σχήμα 3.20:** Σεισμική γραμμή 8: **a)** σεισμική τομή υπέρθεσης **b)** σεισμική χωροθέτηση με πεπερασμένες διαφορές **c)** αποσυνέλιξη πρόβλεψης.

Παρατηρείται στις τομές υπέρθεσης (stacked section), η χωροθέτηση τοποθέτησε πιο σωστά τους ανακλαστήρες λαμβάνοντας υπόψιν τις κλίσεις τους. Επιπρόσθετα η αποσυνέλιξη πρόβλεψης εξασθένησε ικανοποιητικά τις πολλαπλές ανακλάσεις από το αλπικό υπόβαθρο.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**

### **4.ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΤΟΜΩΝ ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ROCKWORKS**

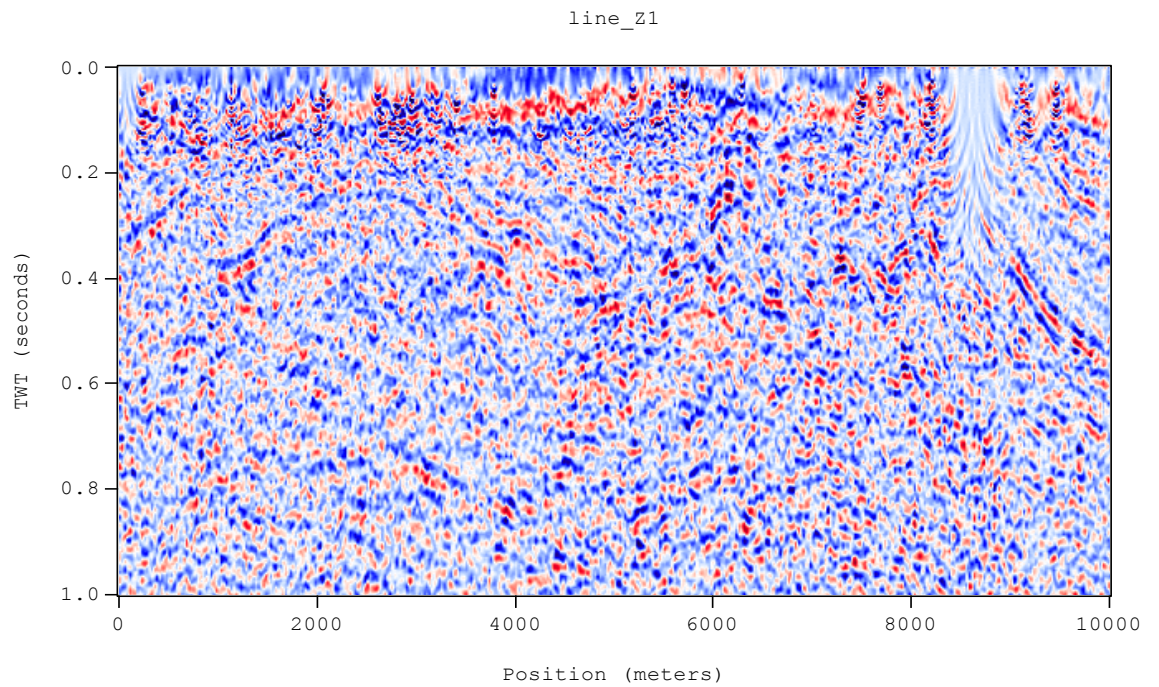
#### **4.1 Εισαγωγή**

Το λογισμικό Rockworks είναι ένα χρήσιμο εργαλείο στις γεωφυσικές διασκοπήσεις καθώς παρέχει την δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του υπεδάφους. Τα περιβάλλοντα εργασίας του λογισμικού Rockworks είναι :

- Borehole data manager: Πρόκειται για εισαγωγή δεδομένων από γεωτρήσεις, διακλάσεις, λιθολογικές περιγραφές πυρήνων και γεωφυσικές μετρήσεις.
- Rock wave utilities: Πρόκειται για εισαγωγή δεδομένων από το MSExcel.

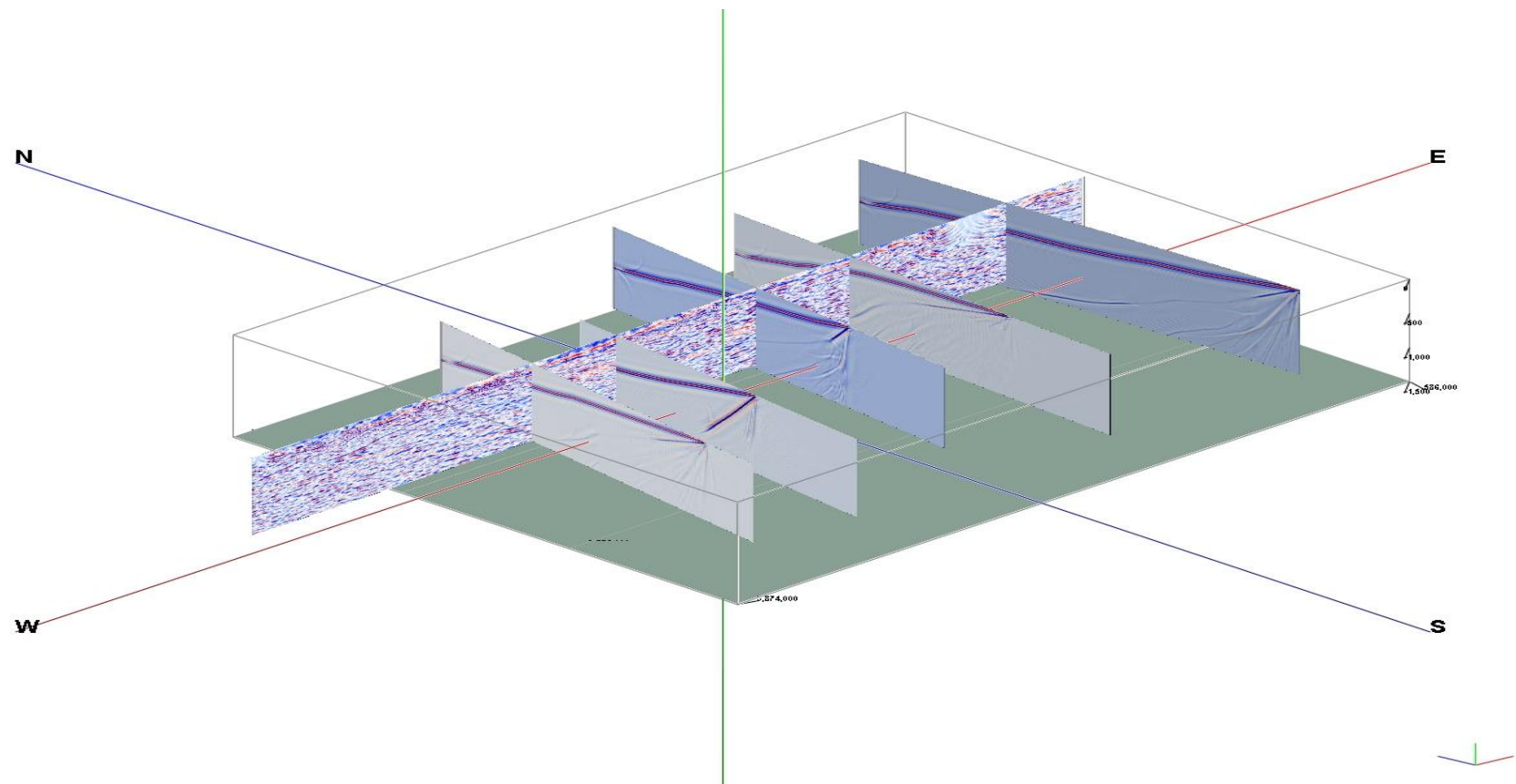
#### **4.2 Εισαγωγή των τελικών σεισμικών τομών στο λογισμικό Rockworks**

Τα πρώτα 10 km από τη σεισμική τομή υπέρθεσης της γραμμής Z1 η οποία προέκυψε από την επεξεργασία των πραγματικών δεδομένων σεισμικής ανάκλασης και η οποία χρησιμοποιήθηκε για την διασταύρωση με τις τελικές συνθετικές σεισμικές τομές χρησιμοποιήθηκαν για τη συνδυαστική απεικόνιση όλων των σεισμικών τομών στο λογισμικό Rockworks (Σχήμα 4.1).

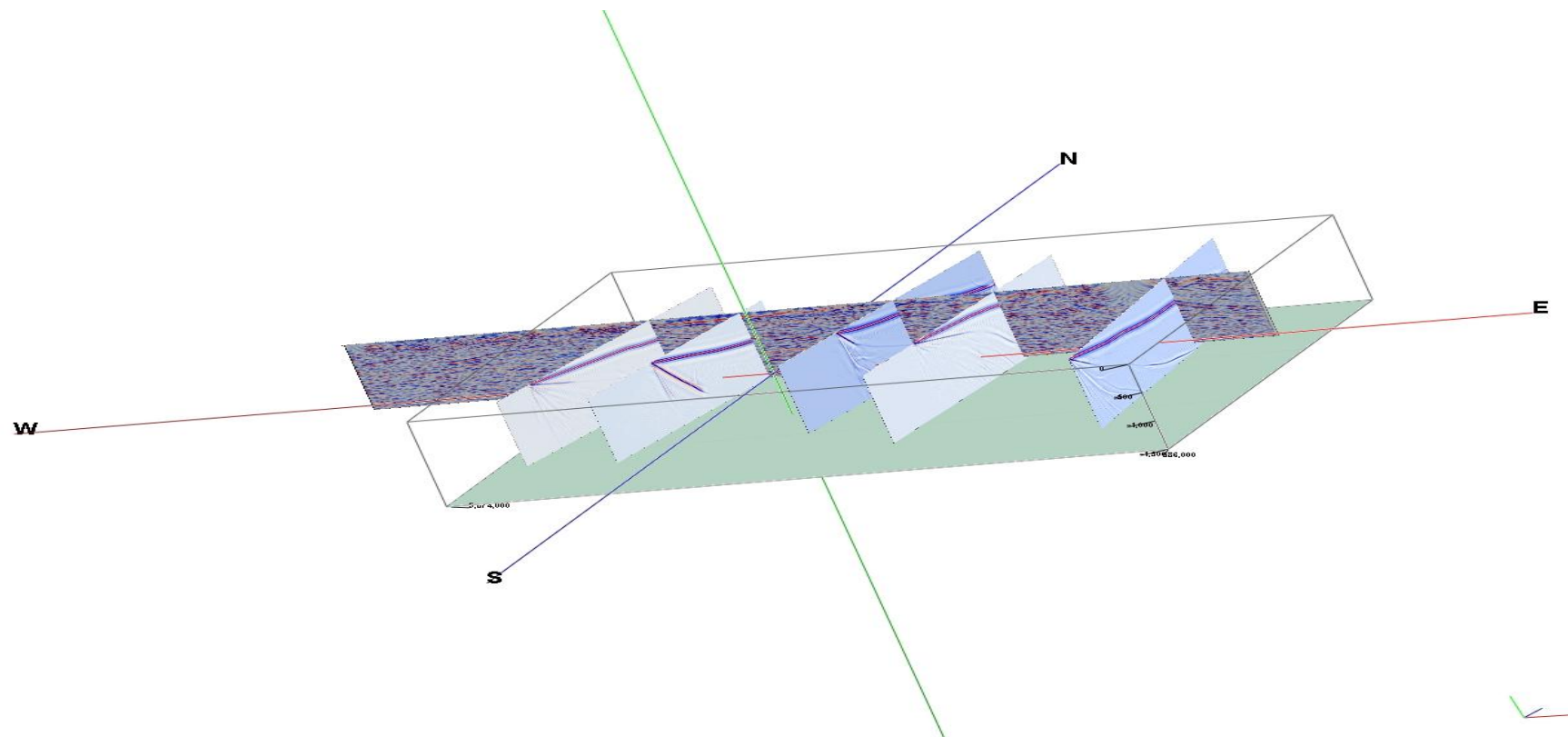


**Σχήμα 4.1:** Απεικόνιση των πρώτων 10km της σεισμικής τομής Z1 με την βοήθεια του προγράμματος transform. Στο κατακόρυφο άξονα αναπαριστάται ο διπλός κατακόρυφος χρόνος και στον οριζόντιο άξονα το μήκος της γραμμής μελέτης.

Τα τελικά σειсмоγράμματα που προέκυψαν από την αποσυνέλιξη πρόβλεψης εισήχθηκαν στο λογισμικό Rockworks δίνοντας τα παρακάτω μοντέλα (Σχήματα 4.2, 4.3, 4.4).

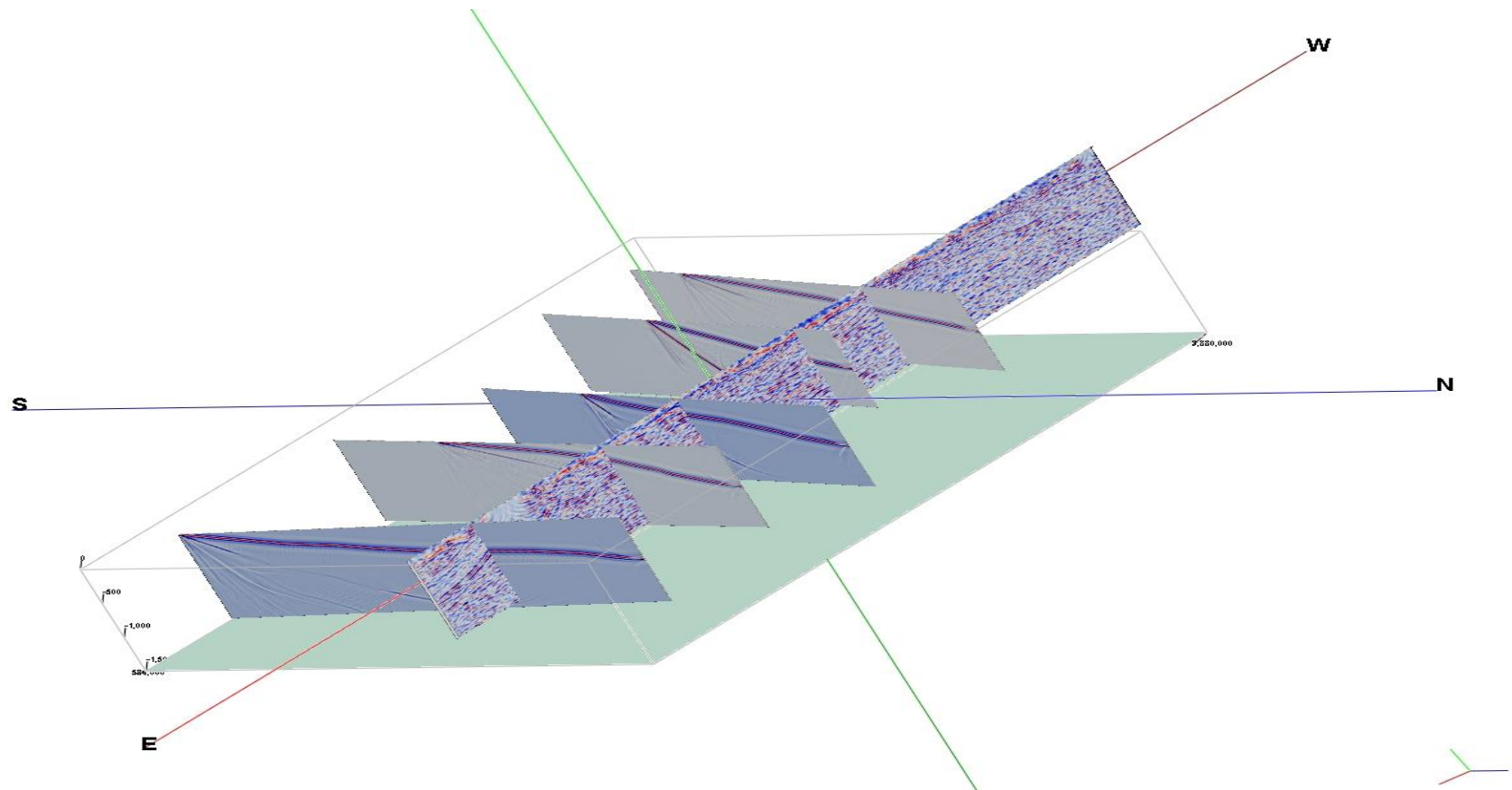


**Σχήμα 4.2:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα νοτιοδυτικά (SW). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.



**Σχήμα 4.3:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα νοτιοανατολικά (SE). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.





**Σχήμα 4.4:** Τρισδιάστατη απεικόνιση των συνθετικών σεισμικών τομών και της σεισμικής τομής Z1 με το λογισμικό Rockworks. Προβολή από τα βορειοανατολικά (NE). Σημειώνεται ότι οι σεισμικές τομές με διεύθυνση (SN) τοποθετούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά ως εξής: 1,2,3,4,8.



Από τα παραπάνω σχήματα προκύπτουν οι εξής παρατηρήσεις:

- Line 1 - Z1

Ο ανακλαστήρας της οροφής του αλπικού υποβάθρου όπως διακρίνεται στη σεισμική τομή Z1 τοποθετείται λίγο πιο χαμηλά δηλαδή σε μεγαλύτερους χρόνους ανάκλασης σε σχέση με την τομή 1.

- Line 2 - Z1

Ο ανακλαστήρας της οροφής του αλπικού υποβάθρου όπως διακρίνεται στη σεισμική τομή Z1 συμπίπτει με τον ανακλαστήρα όπως τον τοποθετεί η τομή 2.

- Line 3 - Z1

Μεταξύ της τομής 2 και της τομής 3 φαίνεται ξεκάθαρα ο ανακλαστήρας της οροφής του αλπικού υποβάθρου όπως τον απεικονίζει η σεισμική τομή Z1 και παρατηρείται πώς συμπίπτει με την τομή 3 σχηματίζοντας ένα σύγκλινο.

- Line 4 - Z1

Στη τομή 4, ο ανακλαστήρας της οροφής του αλπικού υποβάθρου βρίσκεται πιο ψηλά δηλαδή σε μικρότερους χρόνους ανάκλασης σε σχέση με τη σεισμική τομή Z1 και αυτό φαίνεται καλύτερα στο σχήμα 4.4.

- Line 8 - Z1

Ο ανακλαστήρας της οροφής του αλπικού υποβάθρου όπως τον απεικονίζει η σεισμική τομή Z1 συμπίπτει με την τομή 8. Δεξιά από την τομή 8 (σχήμα 4.4) φαίνεται ξεκάθαρα από την Z1 το σχηματιζόμενο ύβωμα.

Είναι αντιληπτό πώς σε κάποιες τομές η θέση των ανακλαστήρων δεν συμπίπτει με αυτήν που προκύπτει με την σεισμική τομή Z1 δεν είναι καλή, όχι όμως με μεγάλες αποκλίσεις. Το γεγονός αυτό πιθανόν αποδίδεται στις υψομετρικές διαφορές οι οποίες δεν λήφθηκαν υπόψιν κατά την προσομοίωση.

### 4.3 Μελλοντικές προτάσεις

Παρακάτω γίνεται μια ανάφορά σε μελλοντικές πρότασεις για την περιοχή της Μεσσαράς οι οποίες βασίζονται στα αποτελέσματα που προέκυψαν από την παρούσα εργασία.

- Πιο ρεαλιστική προσομοίωση του υπεδάφους της περιοχής λαμβάνοντας υπόψιν και τα ρήγματα.
- Σχεδιασμός των πραγματικών πειραμάτων σύμφωνα με την ροή επεξεργασίας που ακολουθήθηκε σε αυτή την εργασία, δηλαδή πύκνωση των γραμμών μελέτης με διέυθυνση Βορρά-Νότου και χρήση των ίδιων παραμέτρων (ισαπόσταση γεωφώνων, χρόνοι διαδρομής, φασματικό περιεχόμενο, ποσοστό θορύβου, διάρκεια καταγραφής κ.λ.π.).

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Ελληνική**

1. Αποστολόπουλος Γ.2013. Σημειώσεις Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής.Επίκουρος καθηγητής Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου Αθήνας, από:  
[http://www.metal.ntua.gr/uploads/4694/1168/total-gapo-notes-Applied\\_Geophysics-2013nn-1.pdf](http://www.metal.ntua.gr/uploads/4694/1168/total-gapo-notes-Applied_Geophysics-2013nn-1.pdf).
2. Βασιλάκης Ε. 2006. Μελέτη της τεκτονικής δομής της λεκάνης της Μεσσαράς, Κεντρικής Κρήτης με τη βοήθεια τεχνικών τηλεσκόπησης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (ΕΚΠΑ), σελ. 162, από:  
<http://thesis.ekt.gr/thesisBookReader/id/21417#page/162/mode/2up>.
3. Βαφείδης Α., 1993, Εφαρμοσμένη Γεωφυσική Ι - Σεισμικές μέθοδοι, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων.
4. Μανούτσογλου Ε. 2011. Γεωλογία της Ελλάδος . Επίκουρος καθηγητής. Πολυτεχνείο Κρήτης Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων,σελ.129.
5. Τρανός Μ. Γεωλογία Νεογενούς και Τεταρτογενους. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,  
από:<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg764e/ch2/ch21.htm>.
6. Φασουλάς Χ.1995.Κινηματική και Παραμόρφωση των καλυμμάτων της Κεντρικής Κρήτης.Διδ.Διατρ.Αριστοτέλειο Παν.Θεσ/νίκης,  
σελ259,από:<http://emeric.ims.forth.gr/>.
7. Hamdan H.2004. Ανάπτυξη Μεθόδου Πολλαπλά Ανακλώμενων Κυμάτων σε Καταγραφές Γεωραντάρ και Εφαρμογή σε Περιβαλλοντικά Προβλήματα, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, σελ.42.

### **Διεθνής**

1. Douwe J.J.van Hinsbergen and Johan E.Meulenkamp (2006).Neogene supradetachment basin development on Crete (Greece) during exhumation of the South Aegean core complex.Vening Meinesz Research School of Geodynamics(VMSG). Utrecht University, Faculty of Geosciences, CD Utrecht,The Netherlands, Department of Geology, University of Leicester,

UK.,pp 105-108,

from:[https://www.researchgate.net/publication/263381698\\_Neogene\\_supradetachment\\_basin\\_development\\_on\\_Crete\\_Greece\\_during\\_exhumation\\_of\\_the\\_South\\_Aegean\\_core\\_complex](https://www.researchgate.net/publication/263381698_Neogene_supradetachment_basin_development_on_Crete_Greece_during_exhumation_of_the_South_Aegean_core_complex) .

2. Mousa W. and Al-Shuhail A. 2011.Processing of Seismic Reflection Data Using Matlab™.
3. Vafidis, A., Andronikidis, N., Economou, N., Panagopoulos, G., Zelilidis, A., and Manoutsoglou, E., (2012), Reprocessing and interpretation of seismic reflection data at Messara Basin, Crete, Greece, **Journal of the Balkan Geophysical Society**, 15, no 2, 31-40.
4. Cary P., 2006, Reflections on the Deconvolution of Land Seismic Data. Sensor Geophysical LTD., Calgary, Canada, from:  
<http://csegrecorder.com/articles/view/reflections-on-the-deconvolution-of-land-seismic-data>.
5. Gilbert, L.E, Kastens, K., Hurst, K., Paradissis, D., Veis, G., Billiris, H., Hoeppe, W. and Schluter, W., 1994, Strain results and tectonics from Aegean GPS experiment (abstract) EOS Trans. AGU, 75 (16):116.
6. Noomen, R., Springer, T.A, Ambrosius, B.A.C., Hetzberger, K., Kuijper, D.C., Mets, G.J., Overgaauw, B., and Walker, K.F., 1996, Crustal deformation in the Mediterranean area computed from SLR and GPS observations, J. Geodyn., 21,pp. 73-96.
7. Reilinger, R., McClusky, S., Oral, B., King, R., Toksoz, M.N., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., and Sanli, I., 1997, Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone, J. Geophys. Res., v145, pp.157-182.
8. Yilmaz O.1987. Seismic Data Processing Society of Exploration Geophysicists, pp 244-249.

- [http://wiki.seg.org/wiki/CMP\\_sorting](http://wiki.seg.org/wiki/CMP_sorting)
- [http://gpg.geosci.xyz/content/seismic/reflection/seismic\\_reflection\\_stacking.html](http://gpg.geosci.xyz/content/seismic/reflection/seismic_reflection_stacking.html)
- [http://wiki.aapg.org/Seismic\\_migration](http://wiki.aapg.org/Seismic_migration)