



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Χ. ΦΛΕΒΑΡΑΚΗΣ

**Η συμβολή των λογισμικών προγραμμάτων στην έρευνα και εκμετάλλευση
υδρογονανθράκων και η εφαρμογή τους σε τεμάχιο της Βόρειας Θάλασσας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Χ. ΦΛΕΒΑΡΑΚΗΣ

**Η συμβολή των λογισμικών προγραμμάτων στην έρευνα και εκμετάλλευση
υδρογονανθράκων και η εφαρμογή τους σε τεμάχιο της Βόρειας Θάλασσας**

Υποβλήθηκε στο τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Κοιτασματολογίας

Επιβλέποντες καθηγητές:

Γεωργακόπουλος Ανδρέας , Καθηγητής

Αλμπανάκης Κωνσταντίνος, Αναπληρωτής καθηγητής

Η συμβολή των λογισμικών προγραμμάτων στην έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων και η εφαρμογή τους σε τεμάχιο της Βόρειας Θάλασσας

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.

Ευχαριστίες

Η διπλωματική εργασία, η συγγραφή της οποίας είναι αποτέλεσμα μακροχρόνιας και αδιάκοπης προσπάθειας αφιερώνεται στην οικογένειά μου της οποίας, η αγάπη και η στήριξη αποφαίνεται κινητήριος δύναμη και στο πρώτο μου επιστημονικό, συγγραφικό εγχείρημα.

Βέβαια, μια ιδέα για να αποκτήσει υπόσταση απαιτεί θέληση, γνώση και υλικοτεχνική υποδομή. Αυτά, μου παραχωρήθηκαν και με το παραπάνω από τον κ.κ. Γεωργακόπουλο Ανδρέα και τον κ.α.κ. Αλμπανάκη Κωνσταντίνο τους οποίους ευχαριστώ θερμά.

Τέλος, θα ήθελα να επισημάνω την υποστήριξη της dGb Earth Sciences σε υλικοτεχνικό επίπεδο καθώς μου δόθηκε άδεια χρήσης του ανοικτού κώδικα λογισμικό πρόγραμμα OpendTect και των συνοδευτικών δεδομένων που προέκυψαν από την έρευνα υδρογονανθράκων στη Βόρεια Θάλασσα.

Περιεχόμενα

1.0 Διαδικασίες έρευνας κοιτασμάτων υδρογονανθράκων.....	2
1.1 Μελέτες γραφείου.....	3
1.2 Γεωφυσικές έρευνες.....	3-8
1.3 Ερευνητικές γεωτρήσεις.....	9-11
2.0 Υλικά και μέθοδοι.....	11
2.1 Λογισμικά προγράμματα απεικόνισης του υπεδάφους κι ο ρόλος τους στην αναζήτηση υδρογονανθράκων	11-12
2.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	12-14
2.3 Λογισμικά προγράμματα.....	14-15
2.3.1 Σχετικά με το OpendTect.....	15-16
2.3.2 Δυνατότητες προγράμματος.....	16-17
2.3.3 Περιβάλλον εργασίας του OpendTect.....	18
2.3.4 Δημιουργία Survey και φόρτωση δεδομένων.....	18
2.3.5 Δημιουργία Survey και φόρτωση σεισμικών κυμάτων.....	19-26
2.3.6 Εισαγωγή οριζόντων.....	26-30
2.3.7 Εισαγωγή δεδομένων από γεωτρήσεις.....	30-39
3.0 Γεωτεκτονική εξέλιξη Βόρειας Θάλασσας.....	40-42
3.1 Προκάμβριο – Πέρμιο.....	42-43
3.2 Πέρμιο – Τριαδικό.....	44
3.3 Ιουρασικό – Κρητιδικό.....	44-45
3.4 Παλαιόκαινο – Ολιγόκαινο.....	45-46
3.5 Μειόκαινο - Πλειστόκαινο.....	47-49
4.0 Η δράση του ποτάμιου συστήματος του Ηριδανού.....	49-51
4.1 Τεκτονική.....	51
4.2 Μορφολογική ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου του δέλτα.....	52-53
5.0 Θαλάσσιο Ολλανδικό οικόπεδο F3.....	54
6.0 Διαδικασία ταυτοποίησης χαρακτηριστικών δομών.....	54-64
7.0 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	65
Βιβλιογραφία.....	66-67

1.0 Διαδικασίες έρευνας κοιτασμάτων υδρογονανθράκων

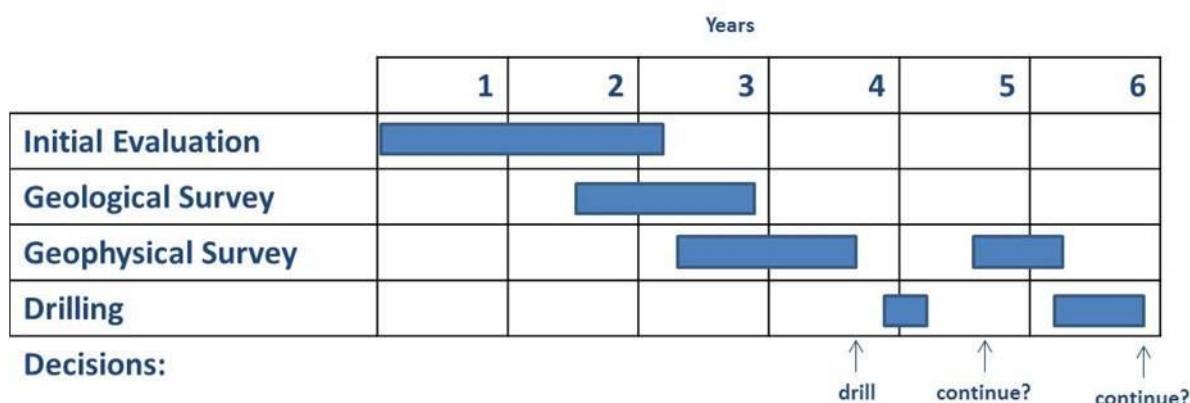
Η βιομηχανία των υδρογονανθράκων χωρίζεται σε τρεις τομείς.

- Upstream (έρευνα και παραγωγή)
- Midstream (μεταφορά, αποθήκευση και εμπορία)
- Downstream (διύλιση και επεξεργασία προϊόντων αργού)

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναπτυχθούν οι μέθοδοι και η ροή εργασιών για την ανακάλυψη κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου που ανήκουν στον Upstream τομέα. Πιο αναλυτικά σε αυτόν τον κλάδο περιλαμβάνονται οι διαδικασίες εντοπισμού πιθανών πετρελαιοφόρων σχηματισμών, η όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων και τέλος η ανάπτυξη παραγωγικών γεωτρήσεων.

Το πρωταρχικό αυτό στάδιο είναι το πιο χρονοβόρο, με υψηλά έξοδα και με αρκετά μεγάλο ρίσκο καθώς υπάρχουν πάρα πολλοί αστάθμητοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να υπολογισθούν έτσι ώστε η συνολική επιχειρηματική διαδικασία της εταιρείας που τα διεξάγει να έχει κέρδος μετά την παραγωγή. Η μείωση του exploration risk επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό των παραμέτρων που καθορίζουν εάν ένας σχηματισμός μπορεί να αποβεί πετρελαιοφόρος. Η ροή των εργασιών που οδηγούν στον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων έχει ως εξής:

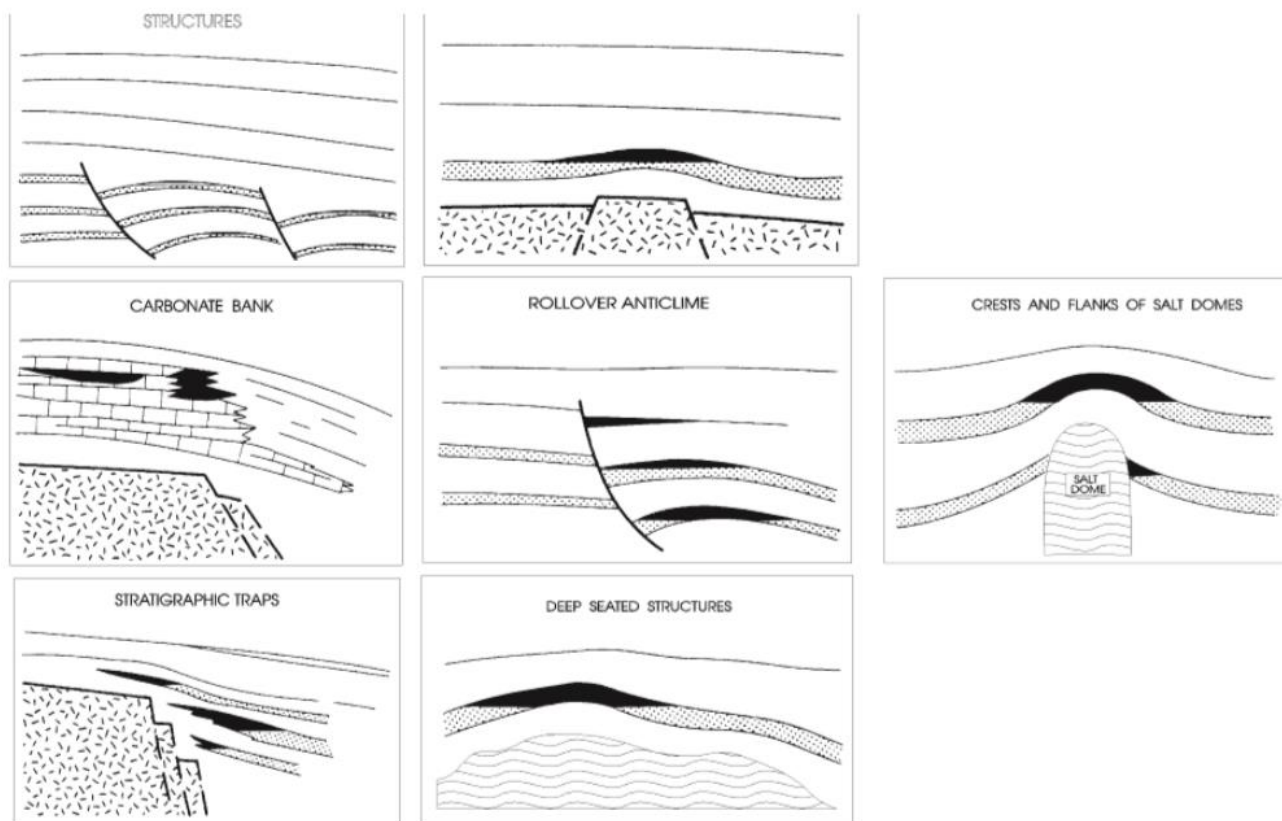
1. Μελέτες γραφείου (desk study)
2. Τηλεπισκόπηση
3. Γεωφυσικές έρευνες
4. Ερευνητικές γεωτρήσεις



Εικόνα 1: Χρονοδιάγραμμα ερευνητικού προγράμματος (πηγή <http://www.oil-gasportal.com>)

1.1 Μελέτες γραφείου

Η αρχική διαδικασία της έρευνας πιθανών στόχων για περαιτέρω μελέτες ξεκινάει από το γραφείο, με σκοπό να εντοπισθούν σε γεωλογικούς χάρτες, αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, ιζηματογενείς λεκάνες με συγκεκριμένες δομές. Βέβαια, αυτές οι δομές όπως ρήγματα, σύγκλινα, δόμοι άλατος και υποθαλάσσιοι κρατήρες που αναβλύζουν υδρογονάνθρακες δεν αρκούν σαν πληροφορία για να συνεχίσουμε στο επόμενο στάδιο της υπαίθριας εργασίας. Απαραίτητη είναι η γνώση του παλαιοπεριβάλλοντος της συγκεκριμένης περιοχής με την τροφοδοσία της λεκάνης σε οργανική ύλη καθώς αυτή είναι το βασικό συστατικό που θα υποστεί μετατροπές στο χημισμό της για να καταλήξει υδρογονάνθρακας. Ωστόσο, το συγκεκριμένο στάδιο έρευνας συχνά λείπει στις μέρες μας καθώς οι πληροφορίες για τις ελπιδοφόρες περιοχές έχουν ήδη διευκρινιστεί στο πέρασμα των χρόνων με αποτέλεσμα η εργασία να ξεκινάει με τις γεωφυσικές μεθόδους.



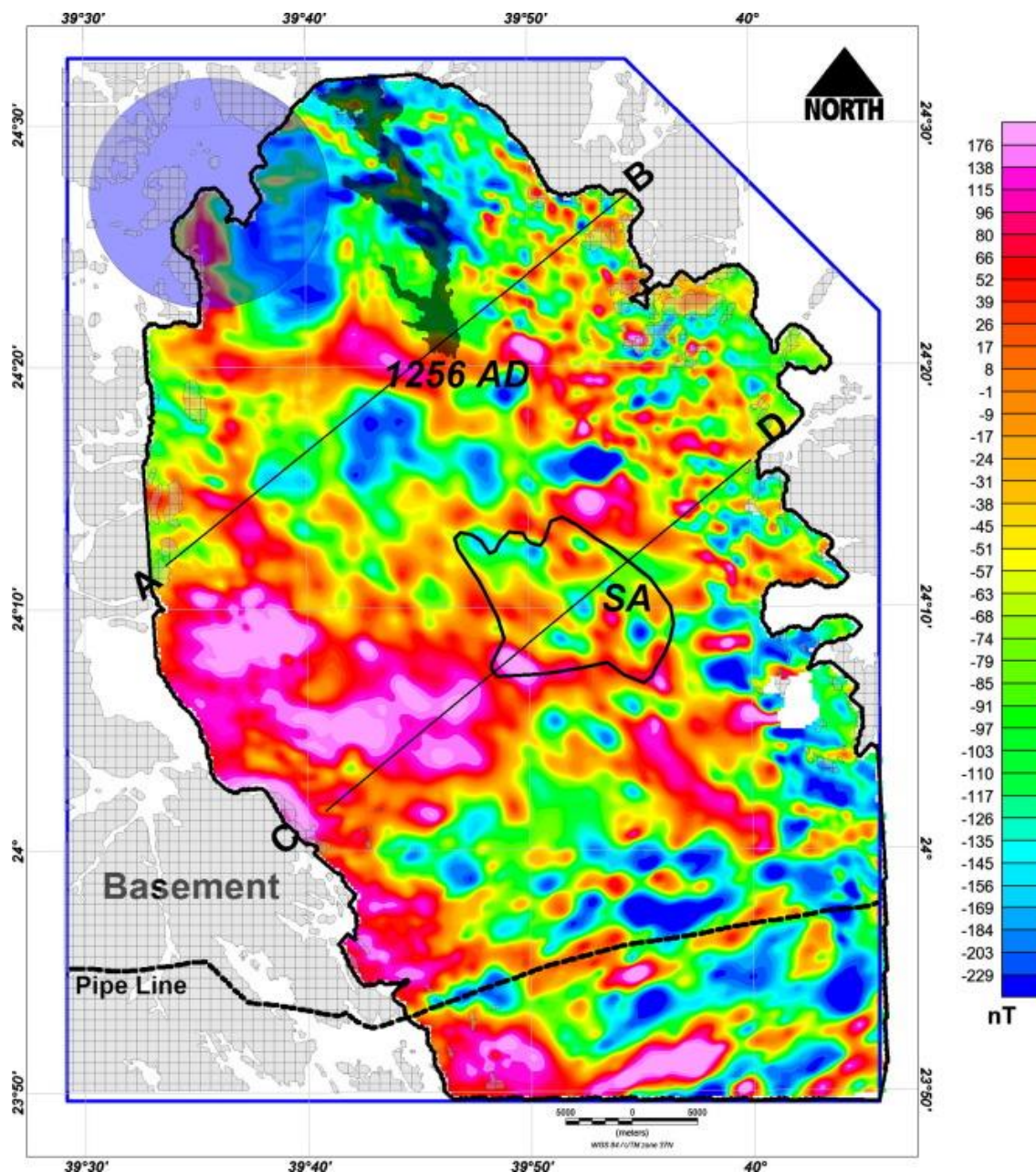
Εικόνα 2: Χαρακτηριστικές δομές που μπορούν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες

1.2 Γεωφυσικές έρευνες

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιούνται μια σειρά γεωφυσικών μεθόδων πολύ σημαντικές για την έρευνα γιατί θα καθορίσουν εάν προχωρήσει η μελέτη στο πιο δαπανηρό βήμα που είναι οι γεωτρήσεις (wildcats). Για το λόγο αυτό πρέπει να εξαντλήσουμε όλες τις πιθανότητες συνδυάζοντας τις παρακάτω μεθόδους:

1. Αερομαγνητική διασκόπηση
2. Βαρυτομετρική διασκόπηση
3. Σεισμικά ανακλάσεως

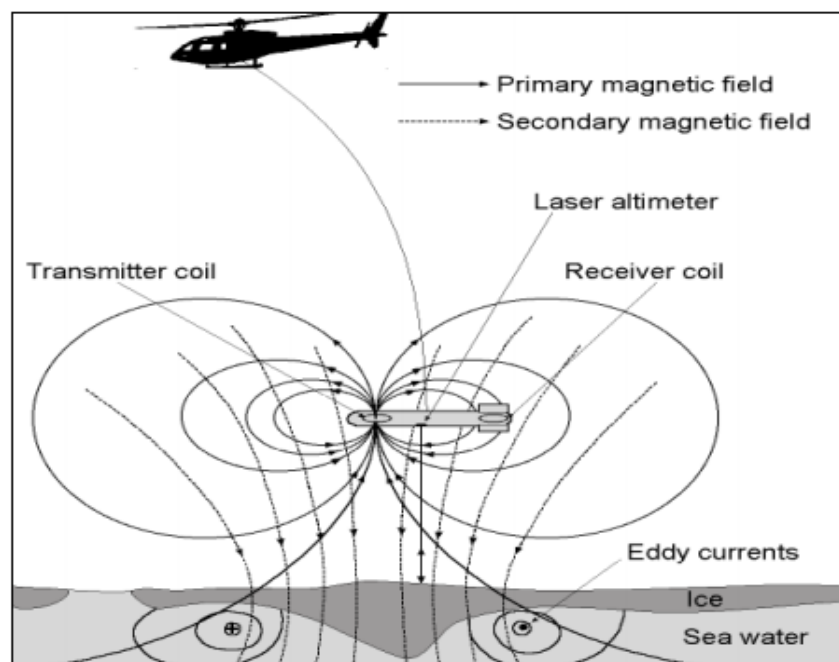
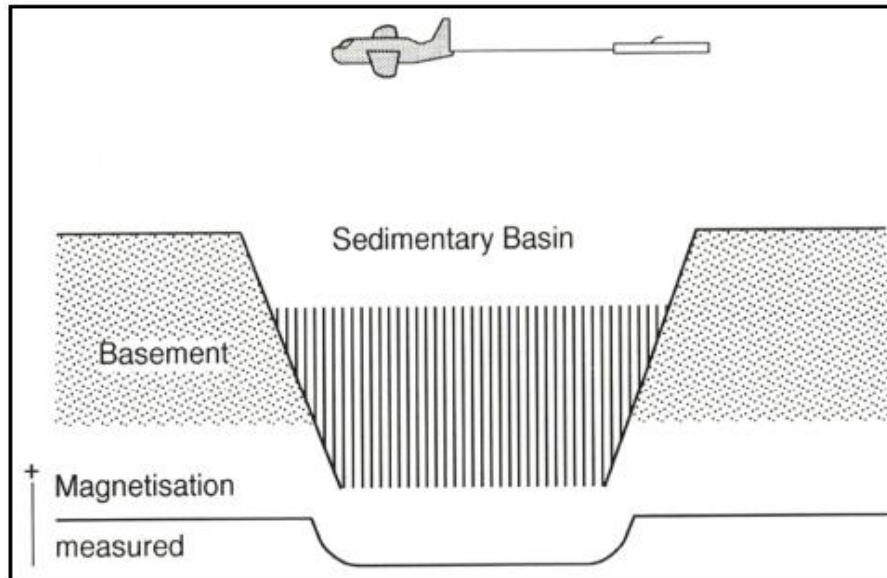
Η Αερομαγνητική διασκόπηση, όπως δηλώνει και το όνομά της, είναι η μέθοδος στην οποία από αέρος μετρώνται οι μαγνητικές διακυμάνσεις της υπό μελέτη περιοχής (ξηρά και θάλασσα). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου έγκειται στο ότι μπορούν να καλυφθούν μεγάλες αποστάσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα και με σημαντική ακρίβεια στις μετρήσεις. Η συλλογή των δεδομένων από αυτή την μέθοδο οδηγεί στην κατασκευή των αντίστοιχων χαρτών.

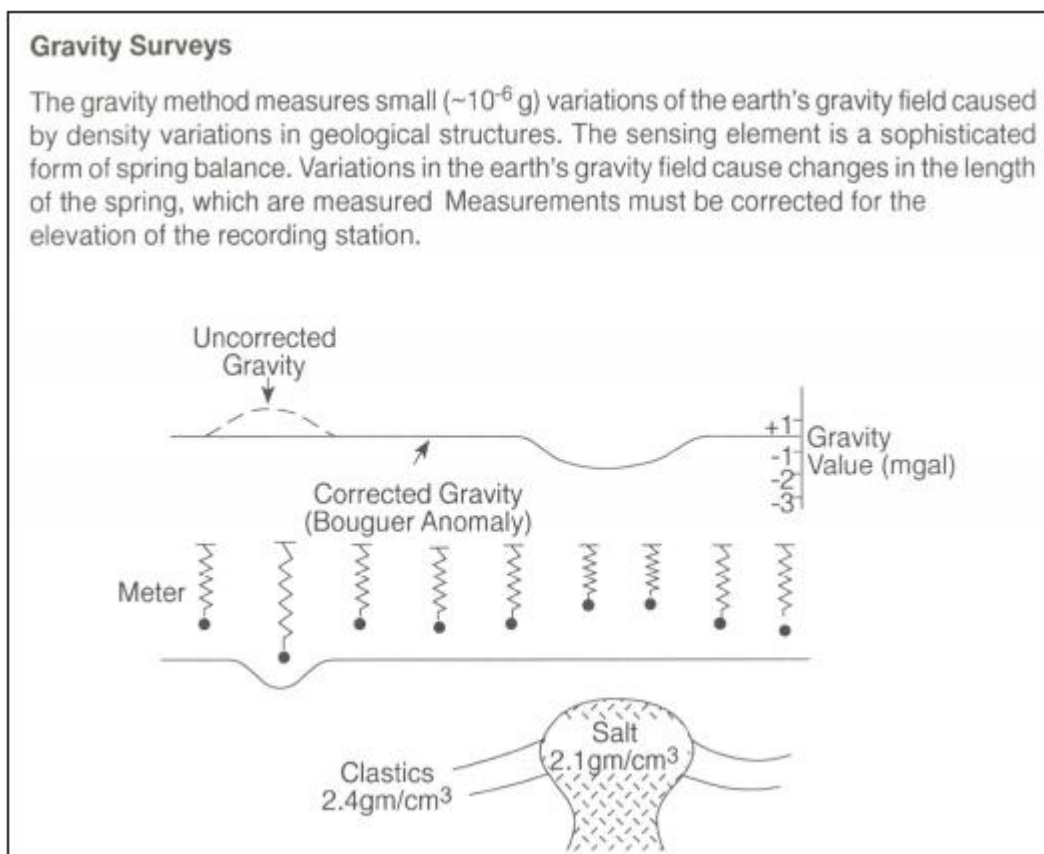


Εικόνα 3: Χάρτης μαγνητικού πεδίου στην πόλη El-Madinah της Σαουδικής Αραβίας(πηγή: NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics)

Η Βαρυτομετρική διασκόπηση είναι συμπληρωματική της προηγούμενης μεθόδου και εξετάζει τις μεταβολές του βαρυτικού πεδίου, λόγω διαφορετικής πυκνότητας των πετρωμάτων, του προκαθορισμένου χώρου. Σε αντίθεση με την αερομαγνητική διασκόπηση η βαρυτομετρική προσφέρει και μετρήσεις πολύ μικρών διακυμάνσεων, της τάξεως των 10^{-6} (1μg). Παράλληλα, και για τις δύο διασκοπήσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλα εξοπλισμένα αεροσκάφη τα οποία ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία σε σταθερό υψόμετρο εντός δεδομένου κανάβου.

* Για την βαρυτομετρική διασκόπηση θαλάσσιας περιοχής χρησιμοποιούνται ερευνητικά πλοία





Ο συνδυασμός των δεδομένων από την βαρυτομετρική και μαγνητική διασκόπηση οδηγούν σε μια πιο λεπτομερή εικόνα του υπεδάφους γνωρίζοντας το βάθος του υποβάθρου, το πάχος των ιζηματογενών στρωμάτων, την εμφάνιση διαπυρικών δομών και γενικότερα την τεκτονική του χώρου.

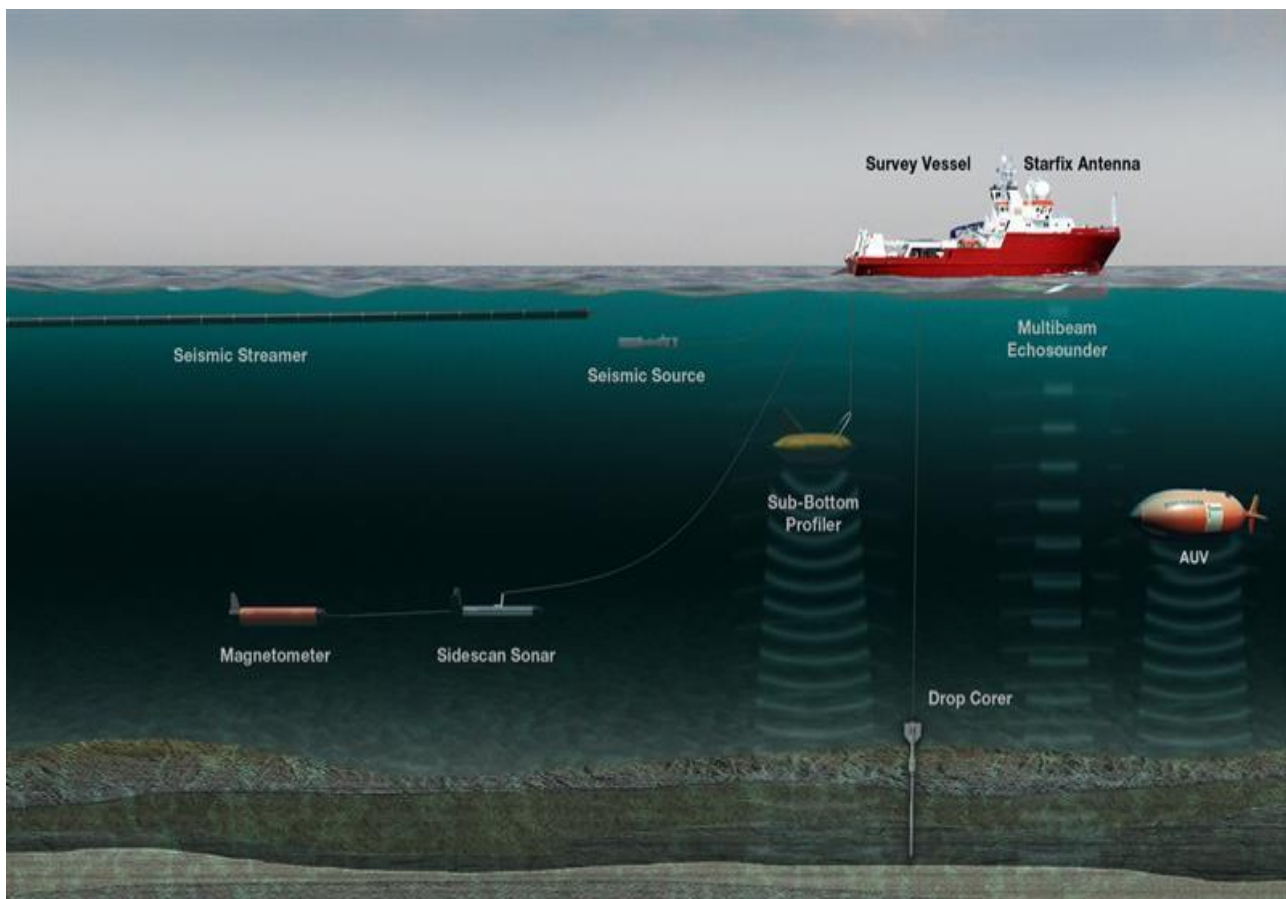
Τα σεισμικά ανακλάσεως αποτελούν τη βασικότερη μέθοδο γεωφυσικής διασκόπησης. Αυτά χρησιμοποιούνται για την ακόμη πιο λεπτομερή χαρτογράφηση των ελαστικών ιδιοτήτων των διαφόρων στρωμάτων. Η μέθοδος βασίζεται στην μεταβολή της ταχύτητας των εκπνεόμενων κυμάτων από μία πηγή, αφού υποστούν ανάκλαση στα διάφορα πετρώματα του υπεδάφους και παραληφθούν από ειδικά όργανα, τα οποία ονομάζονται παραλήπτες-receivers, τα υδρόφωνα (θαλάσσια έρευνα) και τα γεώφωνα (έρευνα ξηράς). Η μεταβολή της ταχύτητας των κυμάτων οφείλεται στην διαφορετική πυκνότητα των στρωμάτων, και μας δίνει πληροφορίες για την λιθολογία και την γεωμετρία τους. Το σύνολο των δεδομένων που συλλέγουμε από τις γεωφυσικές μεθόδους εισάγονται στο λογισμικό πρόγραμμα, OpendTect, που θα αναλυθεί παρακάτω.

Τα δεδομένα που τροφοδοτούν το λογισμικό πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία είναι από οικόπεδο Νότια της Βόρειας Θάλασσας, συνεπώς θα αναλυθεί η μέθοδος σεισμικής χαρτογράφησης σε θαλάσσιο περιβάλλον.

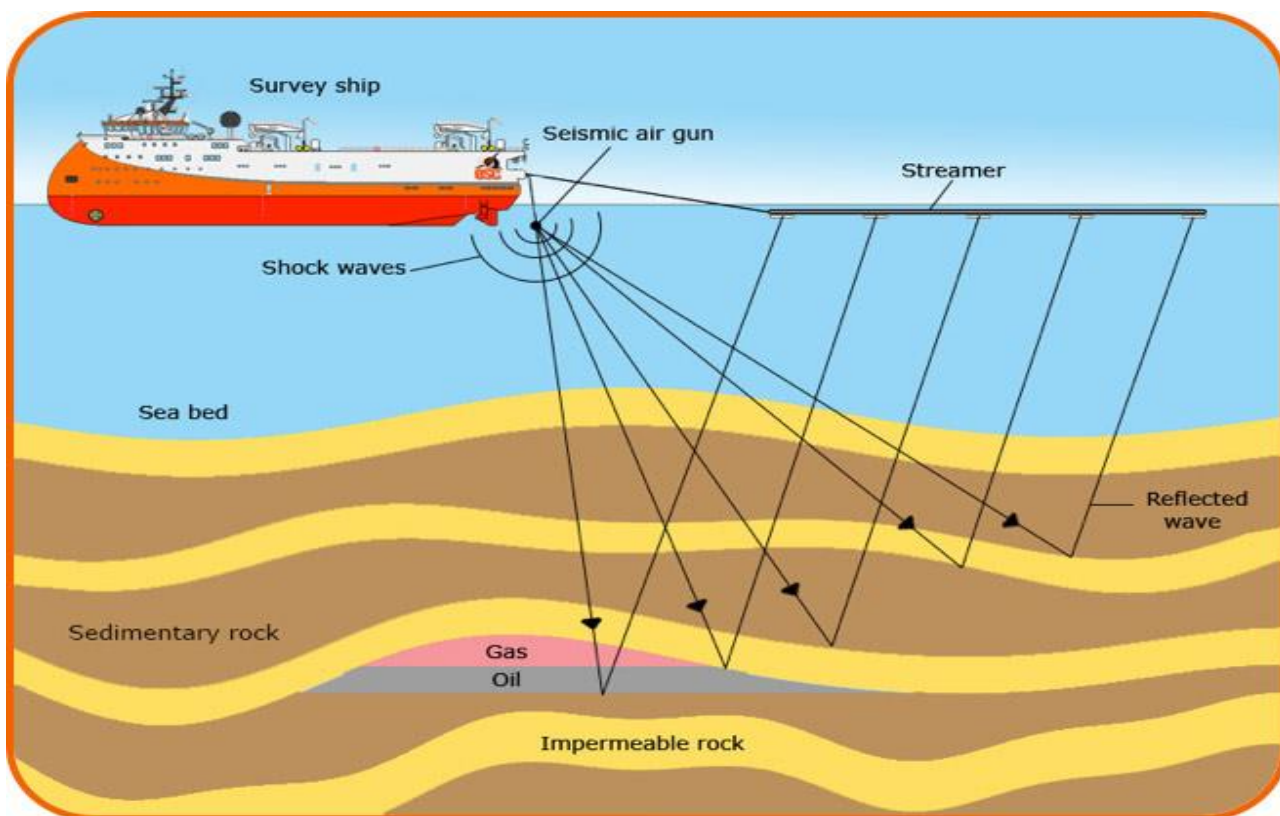
Η θαλάσσια σεισμική διασκόπηση γίνεται με ειδικά εξοπλισμένα πλοία, τα οποία ακολουθούν συγκεκριμένη πορεία εντός καθορισμένου κανάβου. Ο κάναβος και η πορεία που έχει χαραχθεί από τους επιστήμονες γίνεται με βάση των τεκτονικών δομών και άλλων σχηματισμών που έχουν χαρακτηριστεί ως οδηγοί.

Τα ελαστικά κύματα που διαδίδονται με την μορφή ακουστικής ενέργειας παράγονται από τα air-guns, τα οποία είναι τοποθετημένα στο πίσω μέρος του πλοίου, βυθισμένα 2-5 μ. κάτω από την στάθμη της θάλασσας. Ο αριθμός των πηγών αυτών μπορεί να φτάσει και τα σαράντα οκτώ (48) για βέλτιστο αποτέλεσμα και με βάθος διασκόπησης πάνω από 10 χιλιόμετρα. Ο παραγόμενος παλμός επαναλαμβάνεται κάθε 5-12 δευτερόλεπτα και οφείλεται σε πεπιεσμένο αέρα 14-21 Μρα (2000-3000 psi).

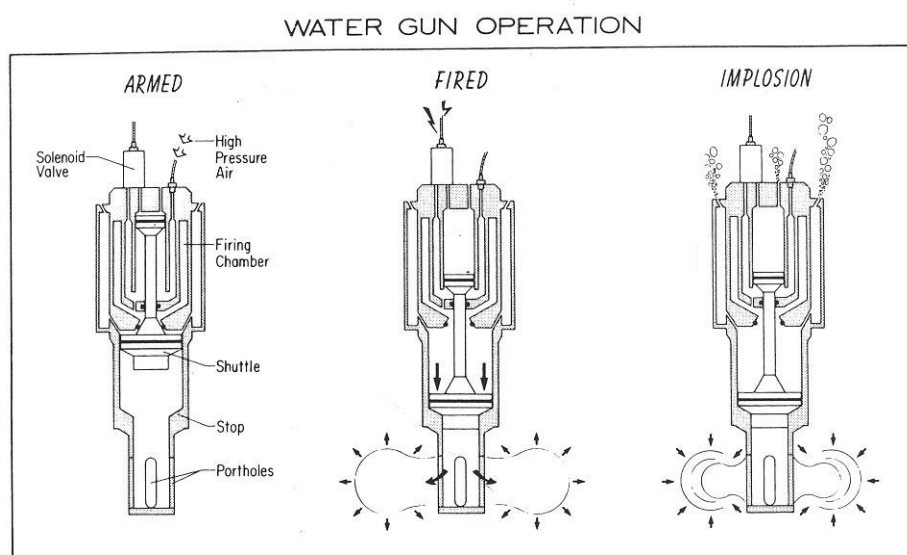
Τα ανακλώμενα ελαστικά κύματα επιστρέφουν στην επιφάνεια της θάλασσας, και καταγράφονται από τα υδρόφωνα (seismic streamers), με την ταυτόχρονη αποθήκευση των συντεταγμένων και του χρόνου διαδρομής τους. Τα υδρόφωνα είναι επιμήκη καλώδια με ειδικούς αισθητήρες που ακολουθούν τα air-guns με μήκος έως 6 km και με παράλληλη διάταξη. Ο αριθμός των υδρόφωνων μπορεί να φτάσει και τα 12. Με αυτόν τον τρόπο, γίνονται γνωστά η μορφολογία των γεωλογικών σχηματισμών και η ακριβής τοποθεσία τους. Τα πρωτογενή αυτά σεισμικά δεδομένα υπόκεινται επεξεργασία με την βοήθεια λογισμικών προγραμμάτων όπως το OpendTest και το Petrel καταλήγοντας σε σεισμικά προφίλ και τρισδιάστατες αναπαραστάσεις.



Εικόνα 4: Πλοίο εκτέλεσης γεωφυσικών μεθόδων



Εικόνα 5: Ανάκλαση κυμάτων στα διάφορα στρώματα (πηγή: <http://www.osc.co.uk>)

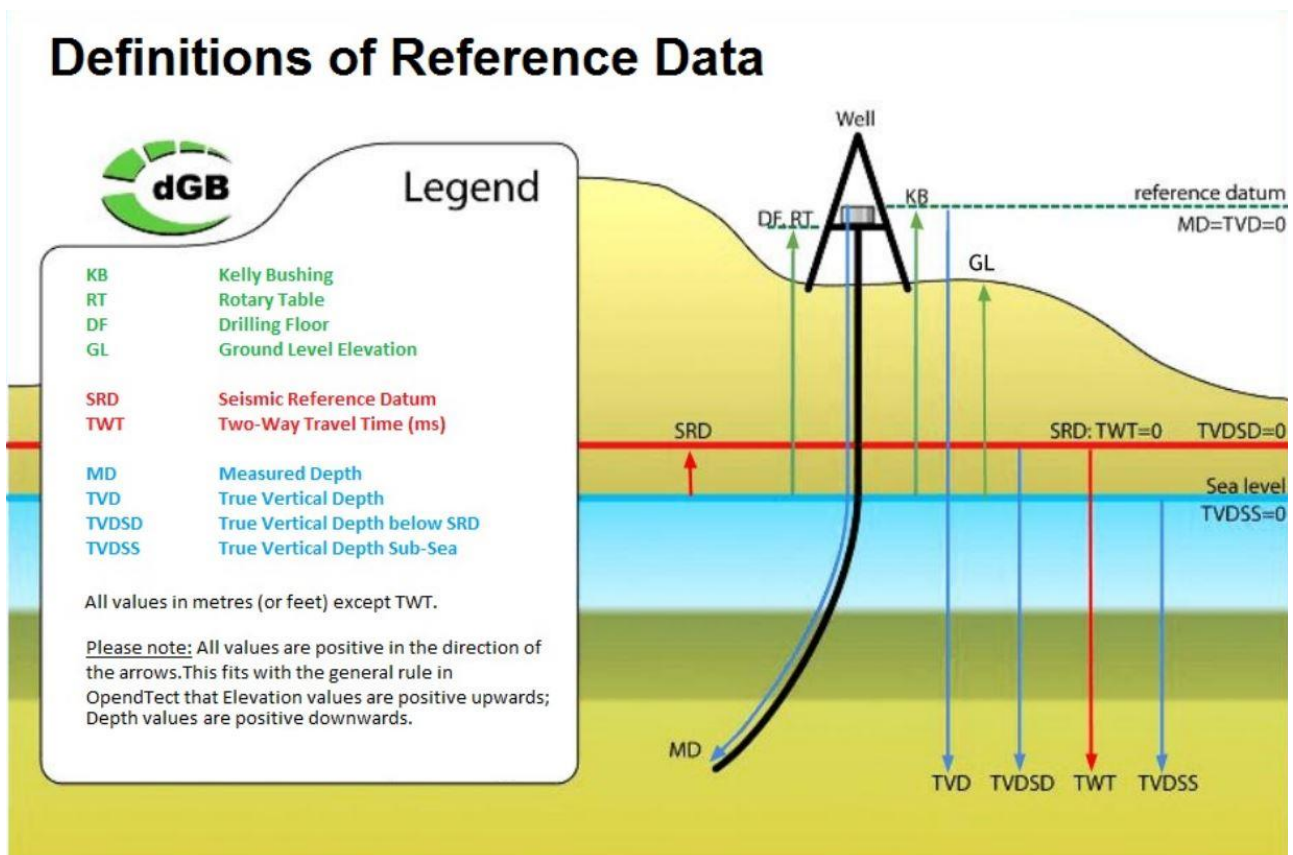


Εικόνα 6: Αρχή λειτουργίας water-gun (πηγή: <https://woodshole.er.usgs.gov>)

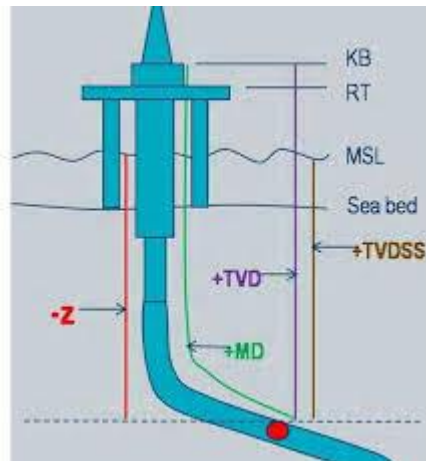
1.3 Ερευνητικές γεωτρήσεις

Το σύνολο των πληροφοριών που έχουμε συγκεντρώσει από τις μεθόδους που προαναφέρθηκαν έχουν σκοπό να μας υποδείξουν τους πιθανούς πετρελαιοφόρους σχηματισμούς ώστε να ολοκληρωθεί το στάδιο της αναζήτησης με την ανάπτυξη των γεωτρήσεων. Η διαδικασία όρυξης μιας ερευνητικής γεώτρησης και ειδικότερα θαλάσσιας αποτελεί το πιο χρονοβόρο και κοστοβόρο κομμάτι της έρευνας. Τέλος, οι γεωτρήσεις και μόνο αυτές είναι ικανές, να επαληθεύσουν τις πληροφορίες από τις προηγούμενες μεθόδους και παράλληλα να επιβεβαιώσουν την ύπαρξη κοιτάσματος υδρογονανθράκων.

Η διάτρηση των στρωμάτων δεν είναι αποκλειστικά κάθετη αλλά μπορεί να γίνει και οριζόντια, ανάλογα με την γεωμετρία του ρεζερβουάρ. Συνεπώς, αντιλαμβανόμαστε πως προκύπτουν διαφορετικές μετρήσεις βαθών σε σύγκριση με την κάθετη απόσταση. Τα βάθη που προκύπτουν και που θα συναντήσουμε στις παραμέτρους του OpendTest απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 7: Βάθη που προκύπτουν κατά τη διάτρηση (<https://dgbes.com>)



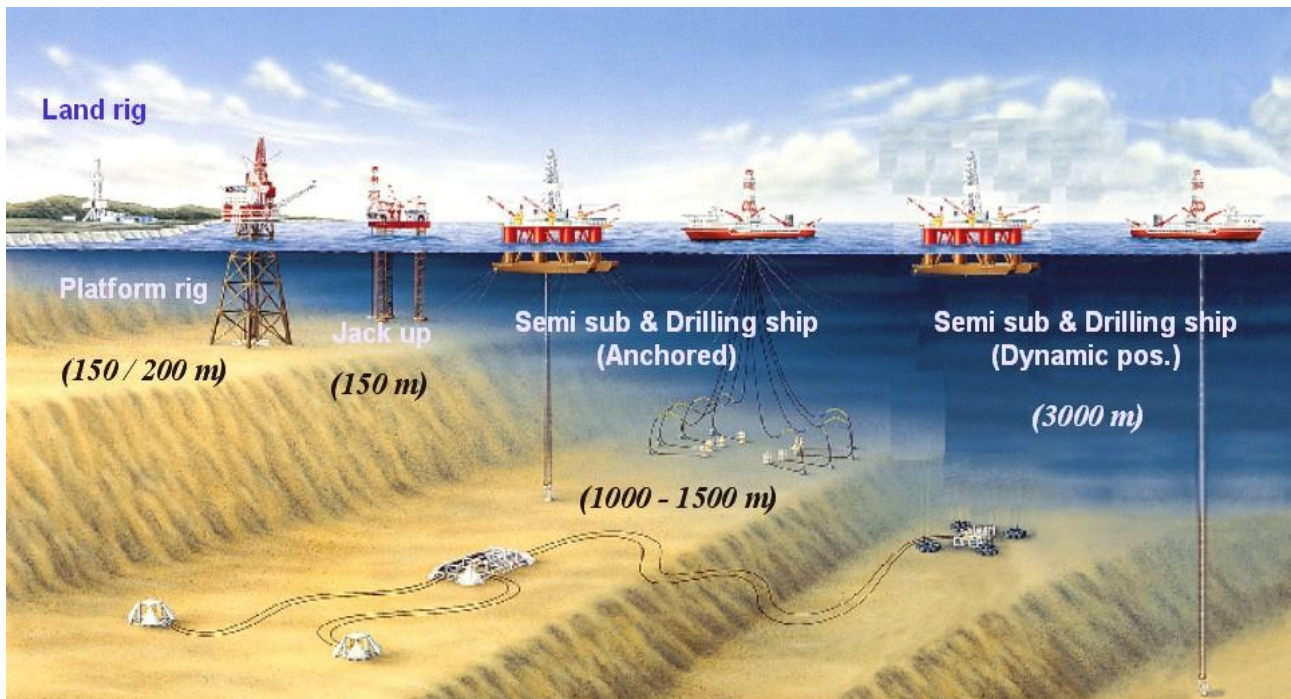
Εικόνα 8: Τα διαφορετικά βάθη που προκύπτουν σε θαλάσσιες γεωτρήσεις

Οι πληροφορίες εξάγονται τόσο κατά την διάρκεια όρυξης της γεώτρησης όσο και κατά το πέρας της. Κατά τη διάτρηση χρησιμοποιούνται ειδικά συνθετικά ρευστά τα οποία βοηθούν:

- στη λίπανση και τη ψύξη του κοπτικού άκρου ώστε να μειώνονται οι τριβές και οι θερμοκρασίες για αποτροπή ανάφλεξης
- στη σταθεροποίηση και τη στεγανοποίηση των διατρηθέντων τοιχωμάτων δημιουργώντας ένα προστατευτικό υμένιο
- στη μεταφορά των θρυμμάτων στην επιφάνεια
- στη διατήρηση των θρυμμάτων σε αιώρηση κατά την διακοπή της κυκλοφορίας

Συνεπώς, ενώ λαμβάνει χώρα η διάτρηση παραλαμβάνουμε στην επιφάνεια τα θρύμματα των αντίστοιχων στρωμάτων, τα οποία αναλύονται σε εργαστήρια για τις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες, ώστε να επιβεβαιωθούν οι προηγούμενες εκτιμήσεις και να εισαχθούν στο λογισμικό πρόγραμμα με ακρίβεια. Παράλληλα, μπορούν να διεξάγονται διαγραφίες ανοικτού πηγαδιού (open hole logging) διαδικασία που έχει τις ίδιες αρχές με την ιατρική μαγνητική τομογραφία (MRI). Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιούνται δύο μαγνήτες για να προσδιορίσουν την φύση του υλικού που υπέστη διάτρηση. Ο ένας σταθερός μαγνήτης αντανακλά τους περιοδικούς παλμούς από τον άλλο ηλεκτρομαγνήτη. Η κλίμακα των παλμών αυτών αλλάζει ανάλογα με το αν συναντηθεί σχίστης, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Και αυτό το αποτέλεσμα της συγκεκριμένης μεθόδου έρχεται να επιβεβαιώσει τις προηγούμενες μετρήσεις σχετικά με την γεωμετρία και τη σύσταση των γεωλογικών σχηματισμών, με κοινό στόχο πάντοτε την πιστότερη απεικόνιση του χώρου. Επιπρόσθετα, πολύ σημαντικά στοιχεία εξάγονται από την πυρηνοληψία κατά την διάρκεια της διάτρησης καθώς εντοπίζονται τα πετρελαιοφόρα στρώματα τα οποία ελέγχονται σε χημικά εργαστήρια με σκοπό τον χαρακτηρισμό του κοιτάσματος. Τέλος, μετρήσεις εντός του πηγαδιού των ραδιενεργών στοιχείων, του ηλεκτρικού ρεύματος, των

ηχητικών κυμάτων και των ακτίνων-γ μας παρέχουν στοιχεία για την πυκνότητα, το πορώδες, τις υδροστατικές πιέσεις και το είδος του πετρώματος.



Εικόνα 9 Οι πλατφόρμες διάτρησης και απόληψης πετρελαίου μεταβάλλονται με το βάθος

2.0 Υλικά και μέθοδοι

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία αξιοποιήθηκαν τόσο τα γεωφυσικά δεδομένα όσο και τα στοιχεία από γεωτρήσεις σε θαλάσσιο τεμάχιο του Ολλανδικού κράτους. Με τη βοήθεια του λογισμικού προγράμματος OpendTest και ύστερα από τη ροή εργασιών που αναλύεται στα επόμενα κεφάλαια, γίνεται ξεκάθαρη υπεδάφια εικόνα με ποιοτικό και ποσοτικό χαρακτήρα.

2.1 Λογισμικά προγράμματα απεικόνισης του υπεδάφους κι ο ρόλος τους στην αναζήτηση υδρογονανθράκων

Με την βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των γεωφυσικών μεθόδων εντοπίζονται ιζηματογενείς λεκάνες οι οποίες μπορούν να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες. Αφού εντοπισθούν οι συγκεκριμένες περιοχές ακολουθεί μια διαδικασία σύνθεσης της γνώσης. Με την βοήθεια των λογισμικών προγραμμάτων οι πετρελαϊκές εταιρείες που

δραστηριοποιούνται στον τομέα της έρευνας και της εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων μπορούν να μειώσουν σημαντικά το exploration risk. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα δεδομένα από τις γεωφυσικές μεθόδους, τις δορυφορικές εικόνες και τέλος τις γεωτρήσεις μπορούν να συνδυαστούν μέσα σε λογισμικά προγράμματα παρέχοντας στον ειδικό γεωλόγο και μηχανικό μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για το υπέδαφος. Έτσι, έννοιες όπως ρεζερβουάρ, ιδιότητες περατότητας των στρωμάτων, δυνατότητα παγίδευσης, μητρικό πέτρωμα και ωρίμανση, δημιουργία και μετανάστευση υδρογονανθράκων καθώς και ο σχετικός χρόνος μεταξύ δημιουργίας και της παγίδευσής τους προβάλλονται στην οθόνη ενός υπολογιστή.

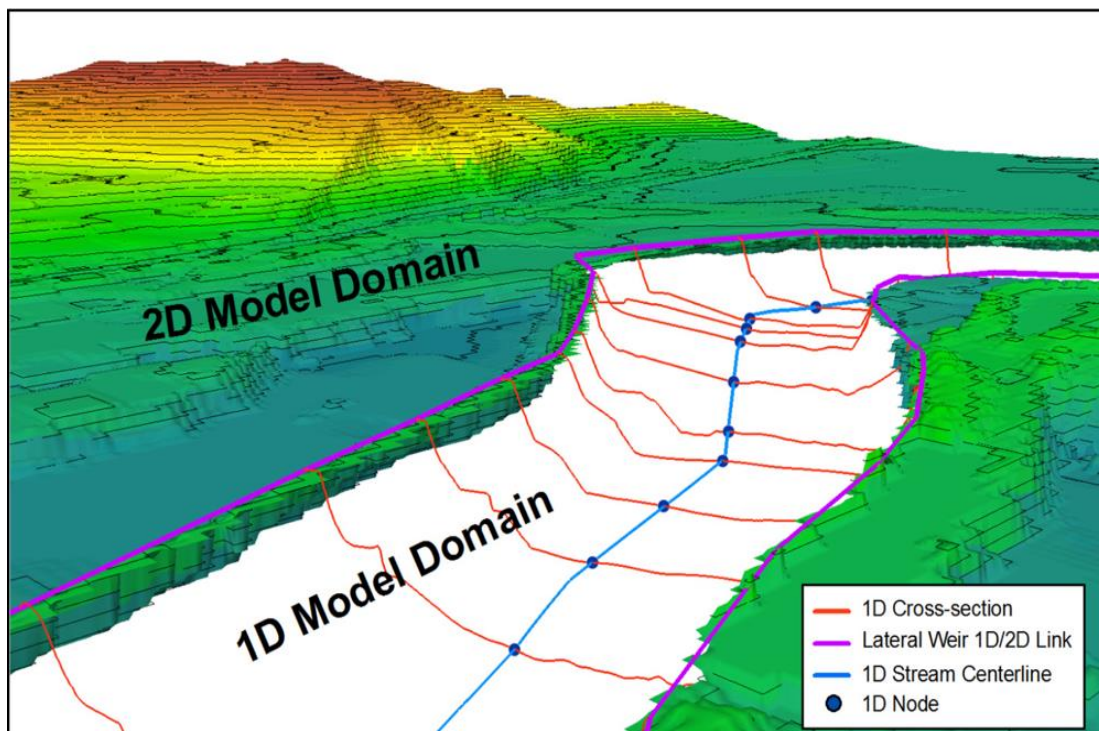
2.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η χρήση λογισμικών προγραμμάτων για την απεικόνιση ιζηματογενών λεκανών ξεκίνησε τη δεκαετία του 80'. Τα δεδομένα στα οποία βασιζόταν η διαδικασία ήταν σε μορφή 1D, όπως αυτά λαμβάνονταν από γεωτρήσεις. Το κύριο χαρακτηριστικό στο οποίο βασίστηκε η multi-1D προσομοίωση είναι ο συνδυασμός των γεωχημικών μοντέλων και της ροής θερμότητας με σκοπό τη δημιουργία χαρτών στους οποίους απεικονίζεται η γένεση και η μετανάστευση των υδρογονανθράκων, χαρακτηρίζοντας έτσι την ωριμότητα του μητρικού πετρώματος. Βασική παράμετρος για την δημιουργία μοντέλου ήταν η μεταβολή της θερμοκρασίας στο γεωλογικό χρόνο κατά το σχηματισμό της λεκάνης. Μόλις υπολογισθούν οι μεταβολές αυτές, εφαρμόζονται εξισώσεις που αφορούν την κινητικότητα των χημικών στοιχείων για να προσδιοριστεί ο βαθμός γένεσης των υδρογονανθράκων. Άλλες παράμετροι που έπρεπε να προσδιοριστούν ήταν η πίεση των ρευστών στους πόρους, ο ρυθμός ιζηματογένεσης και το πορώδες των πετρωμάτων.

Το διάστημα 1990 – 1998 νέες, καινοτόμες δυνατότητες εισήλθαν στα λογισμικά προγράμματα μοντελοποίησης λεκανών. Οι σημαντικότερες προσθήκες ήταν ο διαχωρισμός των τριών ρευστών φάσεων (νερό, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ενός πετρελαϊκού συστήματος, η απεικόνιση ειδικών γεωλογικών δομών (αλατούχοι δόμοι, μαγματικές διεισδύσεις κ.α.), όπως επίσης και η αναπαράσταση της ροής και της συμπεριφοράς των ρευστών. Οι εξισώσεις που διέπουν την κίνηση ενός οιοδήποτε ρευστού βασίζονται στο νόμο του Darcy:

$$Q = \left(\frac{k}{\mu}\right) \left(\frac{A(p_1 - p_2)}{B L}\right)$$

όπου Q: η παροχή, k: η διαπερατότητα, μ : το ιξώδες του ρευστού, A: η επιφάνεια διά μέσου της οποίας ρέει το ρευστό, $p_1 - p_2$: η πτώση της πίεσης, L: η απόσταση ροής του ρευστού και B: ο συντελεστής όγκου του σχηματισμού. Χρησιμοποιώντας παραλλαγές της εξίσωσης τα μοντέλα μπορούσαν να δώσουν ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις ροές των ρευστών στις δύο διαστάσεις. Συνεπώς, ο συνδυασμός των δισδιάστατων μοντέλων Darcy και σεισμικών μαζί με τη τεκτονική ανάλυση οδήγησαν στην εξέλιξη των μεθόδων μοντελοποίησης.



Εικόνα 10: Συσχέτιση μονοδιάστατων δεδομένων και σύνθεσή τους για τη δημιουργία δισδιάστατων δεδομένων

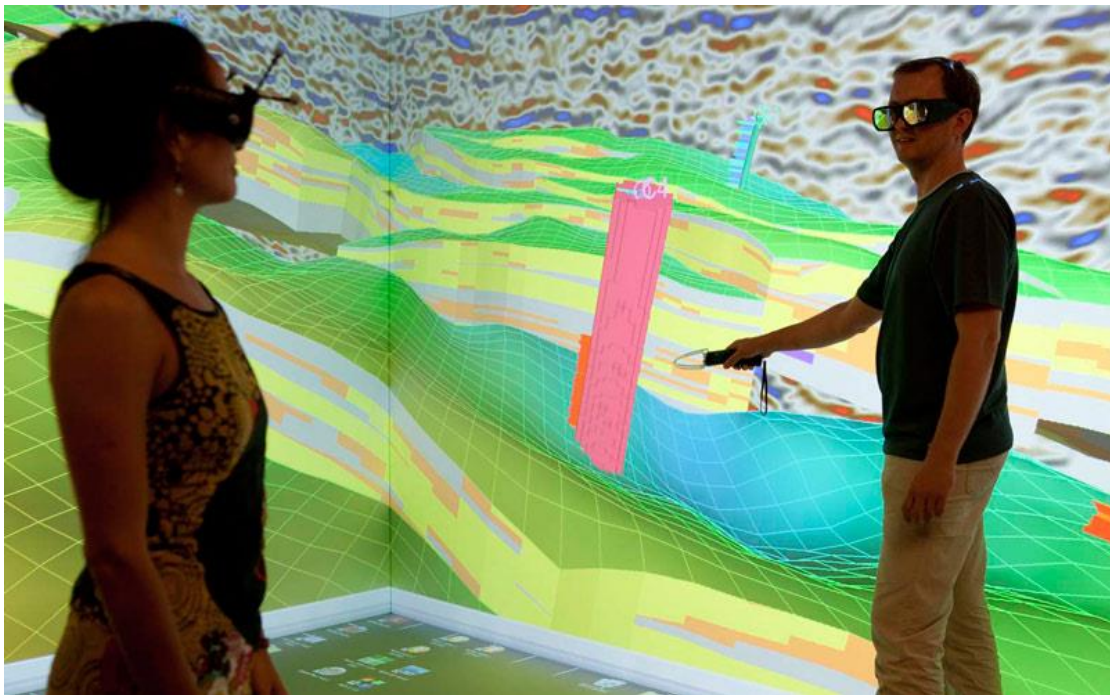
Από το 1998 και έπειτα, τα προγράμματα μοντελοποίησης λεκανών αναβαθμίστηκαν σημαντικά. Η δημιουργία τρισδιάστατων (3D) μοντέλων έγινε, εφικτή, ενώ και η ροή των πετρελαϊκών ρευστών απεικονίζεται, επίσης, στις τρεις διαστάσεις. Ωστόσο, για να επιτευχθούν τα παραπάνω απαιτούνται υπολογιστές αυξημένων δυνατοτήτων, καθώς δεν είναι σπάνια τα χαμηλής ανάλυσης αποτελέσματα συχνά να οδηγούν σε λανθασμένες εκτιμήσεις κατά τα στάδια αναζήτησης και εκμετάλλευσης κοιτασμάτων.

Τα τελευταία χρόνια έχουν προστεθεί πολλές νέες δυνατότητες στα λογισμικά προγράμματα μοντελοποίησης λεκανών που τα καθιστούν ένα απαραίτητο εργαλείο στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπως επίσης και σε διεργασίες για την έρευνα και εκμετάλλευση κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών. Ακόμα, όσο οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές αποκτούν καλύτερα χαρακτηριστικά, τόσο περισσότερο διευκολύνεται η κατασκευή και η ερμηνεία των τρισδιάστατων μοντέλων.

2.3 Λογισμικά προγράμματα

Από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την παραγωγή των υδρογονανθράκων για την αποτελεσματικότερη απόληψή τους είναι το E&P Petrel by Schlumberger και το OpendTect by dGB. Και τα δύο είναι λογισμικά ερμηνείας και επεξεργασίας σεισμικών κυμάτων, τα οποία οπτικοποιούν πολυδιάστατα σεισμικά δεδομένα. Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία χρησιμοποιείται το ανοικτού κώδικα τμήμα του προγράμματος OpendTect το οποίο είναι ελεύθερο για λήψη από το site της dGB Earth Sciences , όπως επίσης και τα δεδομένα που τροφοδοτούν το λογισμικό. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό και των δύο λογισμικών είναι ότι μπορούν να επεξεργαστούν την ίδια μορφή δεδομένων με αποτέλεσμα ο γεωεπιστήμονας να χρησιμοποιεί για την ίδια εργασία και τα δύο προγράμματα, ανάλογα με την αποτελεσματικότητά τους και την ευκολία στην διαχείριση (OpendTect Pro & Petrel).

Τα κοινά αρχεία που χρησιμοποιούνται και στα δύο προγράμματα και μπορούν να επεξεργαστούν , να τροποποιηθούν και να εισαχθούν ξανά στο βασικό λογισμικό που χρησιμοποιεί ο χρήστης είναι:



- Αρχεία SEG-Y , δηλαδή δισδιάστατα 2D και τρισδιάστατα 3D σεισμικά δεδομένα
- Δισδιάστατοι και τρισδιάστατοι ορίζοντες
- Δεδομένα από διαγραφίες πηγαδιών που αναπαρίστανται στο τριαξονικό σύστημα
- Κυματομορφές
- Τρισδιάστατα pre-stack σεισμικά (προσαρμοσμένα με το βάθος)
- Ρήγματα (από την έκδοση 6.0.4 και μετά)

2.3.1 Σχετικά με το OpendTect

Το OpendTect είναι μια λογισμική πλατφόρμα στην οποία μπορούν να συνδυαστούν πολλές θεωρίες διαφόρων επιστημονικών τομέων με κοινό στόχο την ερμηνεία των γεωφυσικών και άλλων δεδομένων.

Αυτό το πρόγραμμα υποστηρίζεται από λειτουργικά συστήματα όπως τα Windows , τα Linux και τα Macintosh. Επίσης, είναι μια ανοικτού κώδικα λογισμική πλατφόρμα η οποία συνοδεύεται με τον πηγαίο κώδικά της ο οποίος είναι γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού C++. Το OpendTect χωρίζεται σε δύο τμήματα εκ των οποίων το ένα είναι ελεύθερο για λήψη και το άλλο απαιτεί άδεια και χρηματικό αντίτιμο για τη χρήση του.

Το λογισμικό αυτό δίνει την δυνατότητα στο χρήστη να έχει μια πιο ολοκληρωμένη άποψη για την δομή του υπό έρευνα υπεδάφους. Αυτό συμβαίνει επειδή τα δεδομένα που τροφοδοτούν το πρόγραμμα είναι πολλά και διαφορετικής φύσεως (γεωφυσικά δεδομένα, δεδομένα γεωτρήσεων, δορυφορικές εικόνες κ.α.), οδηγώντας τον κύκλο εργασιών σε πιο ασφαλή βήματα καθώς είναι γνωστά τόσο το ρίσκο όσο και οι ελπιδοφόρες περιοχές. Γενικά, όσο μεγαλύτερος ο όγκος δεδομένων τόσο υψηλότερες οι πιθανότητες για καλύτερη ερμηνεία της απεικόνισης από τους ειδικούς γεωλόγους και μηχανικούς.

Οι επιμέρους εργασίες χωρίζονται στο πρόγραμμα με τα Εργαλεία και τα Plug-ins. Έτσι το λογισμικό διαιρείται με βάση τα δεδομένα που θέλει να διαχειριστεί ο χρήστης στην εκάστοτε περίπτωση. Συνεπώς, τα πρωταρχικά και βασικά χαρακτηριστικά του προγράμματος είναι τα γεωφυσικά δεδομένα και η επεξεργασία τους μέσω της εφαρμογής διαφόρων αλγορίθμων.

Βασικά δεδομένα που εισάγονται στο OpendTect:

- SEG-Y data τα οποία αναφέρονται σεισμικά δεδομένα
- LAS data που παρέχουν πληροφορίες από τις γεωτρήσεις
- ASCII data τα οποία σχετίζονται με χαρακτηριστικά από γεωτρήσεις

Στο OpendTect μπορούν να αναπαρασταθούν:

- Δισδιάστατα και τρισδιάστατα σεισμικά δεδομένα (pre/post-stack*)
- Δεδομένα γεωτρήσεων
- Ρήγματα
- Ορίζοντες

pre/post-stack*: Μέθοδοι γεωμετρικής αναπροσαρμογής των σεισμικών δεδομένων για την ακριβέστερη αναπαράσταση των δομών και των ορίων των στρωμάτων.

2.3.2 Δυνατότητες του προγράμματος

- Διακυμάνσεις κυματομορφών σε διαγράμματα (χ,ψ) των οριζόντων για τον πιο γρήγορο και ακριβή εντοπισμό των στρωμάτων και των ρηγμάτων
- Αναδόμηση των σεισμικών δεδομένων με γεωμηχανικά κριτήρια και αρχές ,για να μειωθεί η αβεβαιότητα τη γεωλογικής απεικόνισης
- Μετατροπή των συντεταγμένων για μεγαλύτερη χωρική ακρίβεια στα τρισδιάστατα (3D) σεισμικά δεδομένα
- Εργαλεία αντιστάθμισης των σεισμικών και αναπαράστασης της μεταβολής της ταχύτητας για την γεφύρωση του χάσματος μεταξύ χρόνου και βάθους
- Γρήγορη και διαισθητική ανάλυση σεισμικής συχνότητας χρησιμοποιώντας το εργαλείο της φασματικής ανάλυσης
- Βιβλιοθήκες χαρακτηριστικών (σχετικά με επιφάνεια ή όγκο) με διαδραστικό έλεγχο των παραμέτρων για τον καθορισμό σύνθετων στρωματογραφικών και τεκτονικών δομών
- Ολοκληρωμένη ερμηνεία όγκου απομονωμένης περιοχής για την γρήγορη ανάλυση πολύπλοκων μορφών όπως κάρστ, δόμους άλατος και συστήματα καναλιών
- Χρήση διαφορετικών χρωμάτων για την οριοθέτηση διαφορετικών στρωματογραφικών στοιχείων

Συμβολή του OpendTect στην έρευνα

Πολύ σημαντικός είναι ο ρόλος της συνδυασμένης γεωλογικής πληροφορίας καθώς ο επιστήμονας μπορεί να δει σε πραγματικό χρόνο τα παρακάτω:

- Προσομοίωση της διαδικασίας ωρίμανσης στο μητρικό πέτρωμα καθώς και της δημιουργίας και της μετανάστευσης έως την παγίδευση των υδρογονανθράκων
- Αναπαράσταση πετρελαϊκού συστήματος σε συνδυασμό με χάρτες

- Κατασκευή τρισδιάστατων πετρελαϊκών συστημάτων με την ταυτόχρονη αναπαράσταση των συνθηκών στα όρια μεταξύ των στρωμάτων
- Εκτίμηση μέτρου περατότητας του cap rock και μέγιστης περιεκτικότητας υδρογονανθράκων σε ύψος στήλης
- Συνδυασμός των αποτελεσμάτων από διάφορες εκτιμήσεις (πορώδες, λιθολογία, κοκκομετρία, μετανάστευση, παγίδευση κ.α.) για την ολοκλήρωση της αναπαράστασης του μοντέλου

Τα οφέλη που προκύπτουν από την τροφοδότηση με δεδομένα στο λογισμικό της ενότητας αυτής είναι πολύ σημαντικά καθώς δίνεται η δυνατότητα στο γεωεπιστήμονα να χαρακτηρίσει μια περιοχή μελέτης σαν ελπιδοφόρα για την απόληψη υδρογονανθράκων. Στην ενότητα αυτή μπορούν να προσομοιωθούν και να εκτιμηθούν ιδιότητες-κλειδιά, που μειώνουν το exploration risk, όπως :

- Χαρακτηριστικά δομής παγίδευσης
- Reservoir
- Τροφοδοσία οργανικής ύλης
- Ιδιότητες αδιαπέρατου στρώματος
- Βαθμός ιζηματογένεσης και διαγένεσης
- Θερμική κατάσταση της λεκάνης
- Λιθολογίες

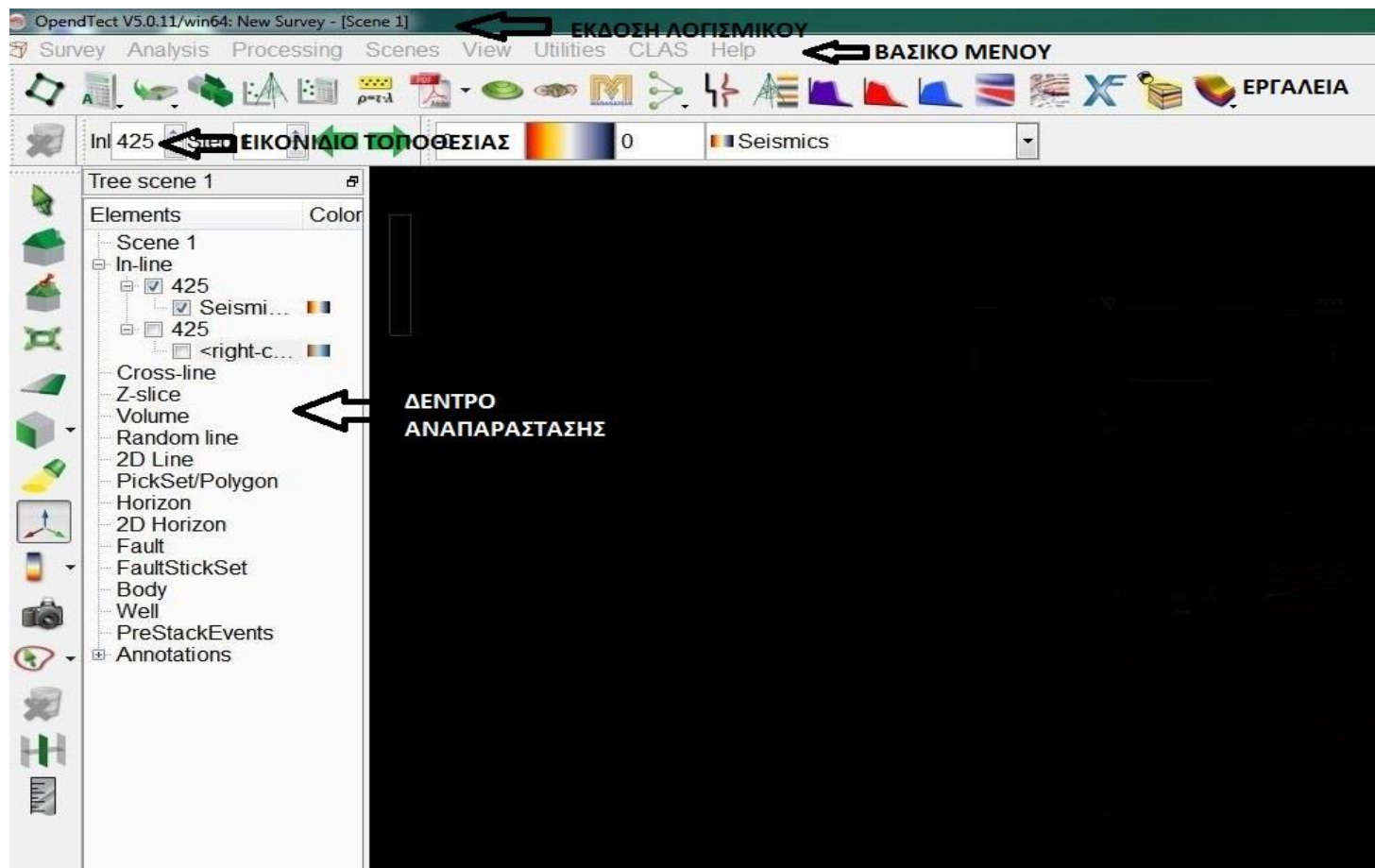
Αρχικά, χρησιμοποιώντας δεδομένα από γεωτρήσεις μπορεί να δομηθεί ένα μονοδιάστατο μοντέλο του πετρελαϊκού συστήματος. Η τροφοδότηση του μοντέλου με στοιχεία από γεωτρήσεις σε συνδυασμό με τα γεωφυσικά δεδομένα οδηγούν στην τρισδιάστατη απεικόνιση του υπεδάφους παρέχοντας παράλληλα την δυνατότητα αναπαράστασης της εξέλιξης της λεκάνης κατά τον γεωλογικό χρόνο (4D). Συνεπώς, με την οπτικοποίηση όλων των δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω γίνονται γνωστά στον γεωεπιστήμονα η πλειονότητα των παραμέτρων που καθορίζουν ένα κοίτασμα αφήνοντας στην κρίση του εάν η περιοχή μελέτης μπορεί να χρήζει εκμετάλλευσης.

Η λήψη και η χρήση του παραπάνω προγράμματος υπόκειται στα πνευματικά δικαιώματα της dGB EARTH SCIENCES και είναι αποκλειστικά για ακαδημαϊκή χρήση Copyright © 2002-2016 by dGB Beheer B.V.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced and/or published by print, photo print, microfilm or any other means without the written consent of dGB Beheer B.V.

2.3.3 Περιβάλλον εργασίας του OpendTest

Το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος έχει την παρακάτω μορφή.



2.3.4 Δημιουργία Survey και φόρτωση δεδομένων

Αρχικά το survey αναφέρεται σε ένα τρισδιάστατο πλέγμα του οποίου ο X και ο Ψ άξονας αντιστοιχεί στις ορθογώνιες συντεταγμένες (με τη βοήθεια γραμμικής μετατροπής) ενώ ο Z άξονας αναφέρεται στο βάθος ή στο χρόνο. Ο κύριος άξονας ο οποίος αναπαρίσταται στο OpendTest είναι ο Z ενώ τα δεδομένα των άλλων αξόνων οπτικοποιούνται απευθείας χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο πεδίο ταχύτητας. Απαραίτητη προϋπόθεση για την φόρτωση των 3D δεδομένων αποτελεί ο περιορισμός τους εντός του τρισδιάστατου πλαισίου (εκτός των 2D γραμμικών στοιχείων που μπορούν να βρίσκονται και εκτός του ορισθέντος τρισδιάστατου πεδίου). Επίσης, σε κάθε survey μπορούν να αναπαρασταθούν είτε ξεχωριστά τα δισδιάστατα και τα τρισδιάστατα σεισμικά δεδομένα είτε ταυτόχρονα ακόμη και με διαφορετικό προσανατολισμό των

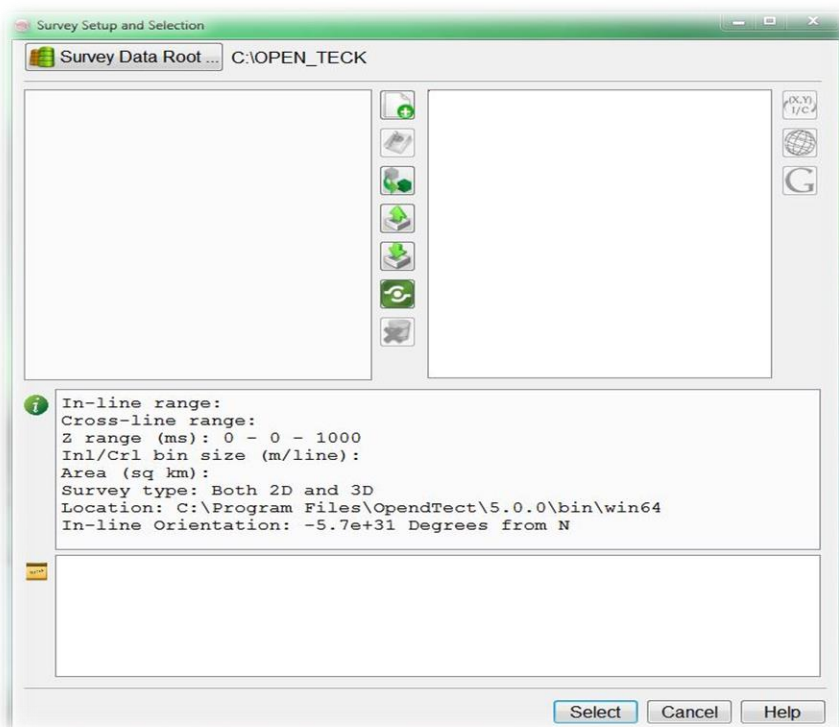
διοδιάστατων. Τέλος, οι διαστάσεις του πλέγματος που έχουν αρχικά τεθεί αποτελούν βασικό παράγοντα για την δημιουργία των 3D από 2D οριζόντων.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα βήματα για την δημιουργία ενός ερευνητικού σχεδίου και τον τρόπο με τον οποίο το εμπλουτίζουμε με δεδομένα.

2.3.5 Δημιουργία Survey και φόρτωση σεισμικών κυμάτων

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα για την συγκεκριμένη εργασία:

1. Επιλογή Survey => Select/Set up



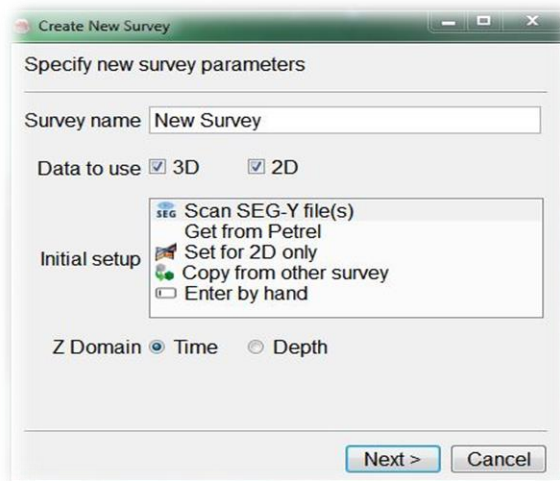
2. Επιλογή
Survey

του



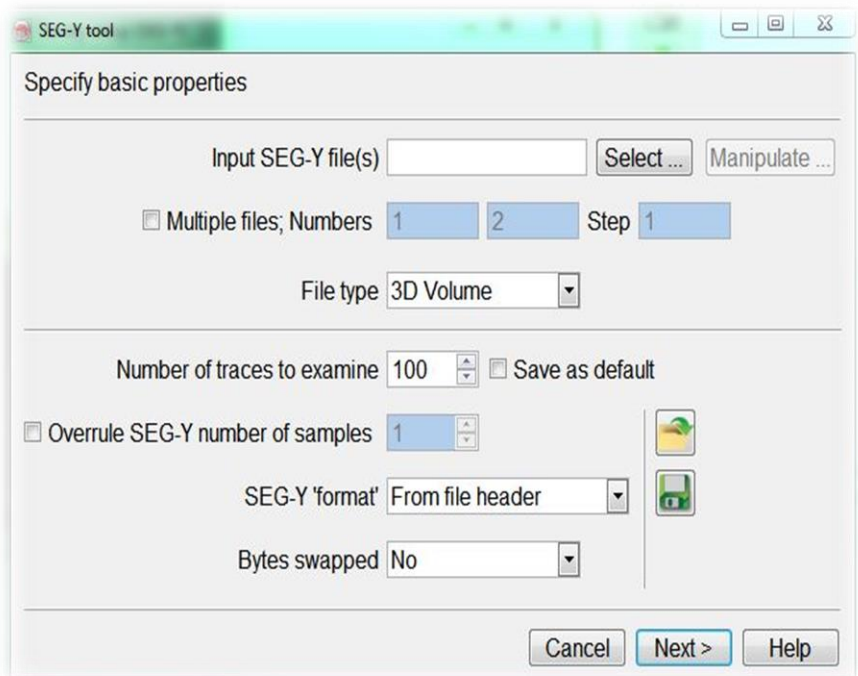
εικονιδίου για την δημιουργία καινούργιου

3. Αφού ορίσουμε το όνομα του Survey επιλέγουμε το είδος του αρχείου (SEG-Y) που θα φορτωθεί καθώς και την αναπαράσταση κατά τον Z άξονα που είναι ο χρόνος

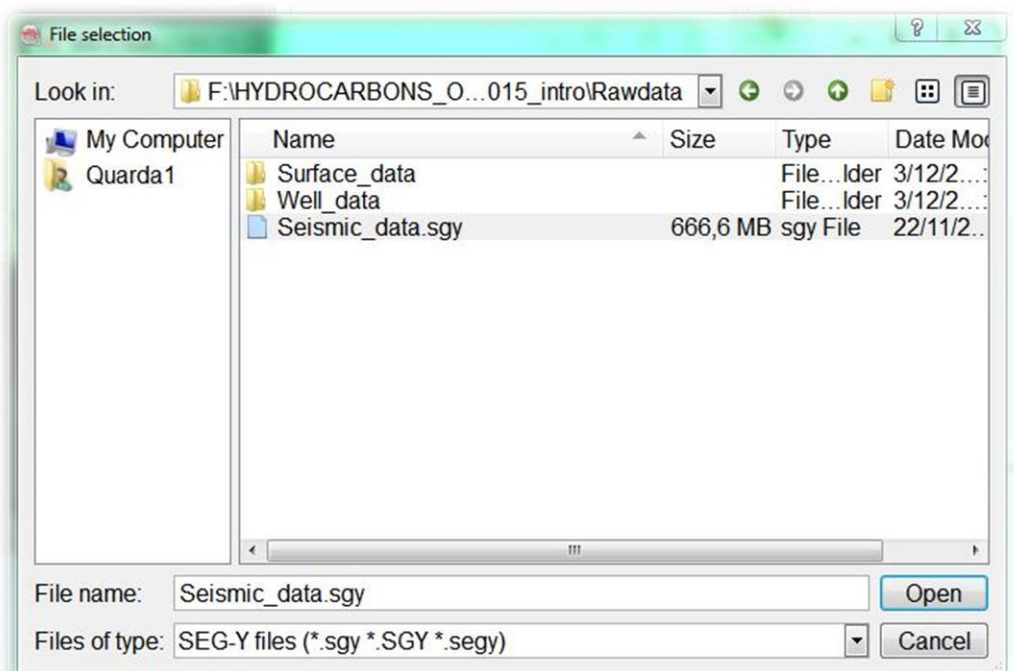


* Η μετατροπή του Z άξονα από χρόνο σε βάθος γίνεται απευθείας με τη βοήθεια μοντέλου ταχυτήτων

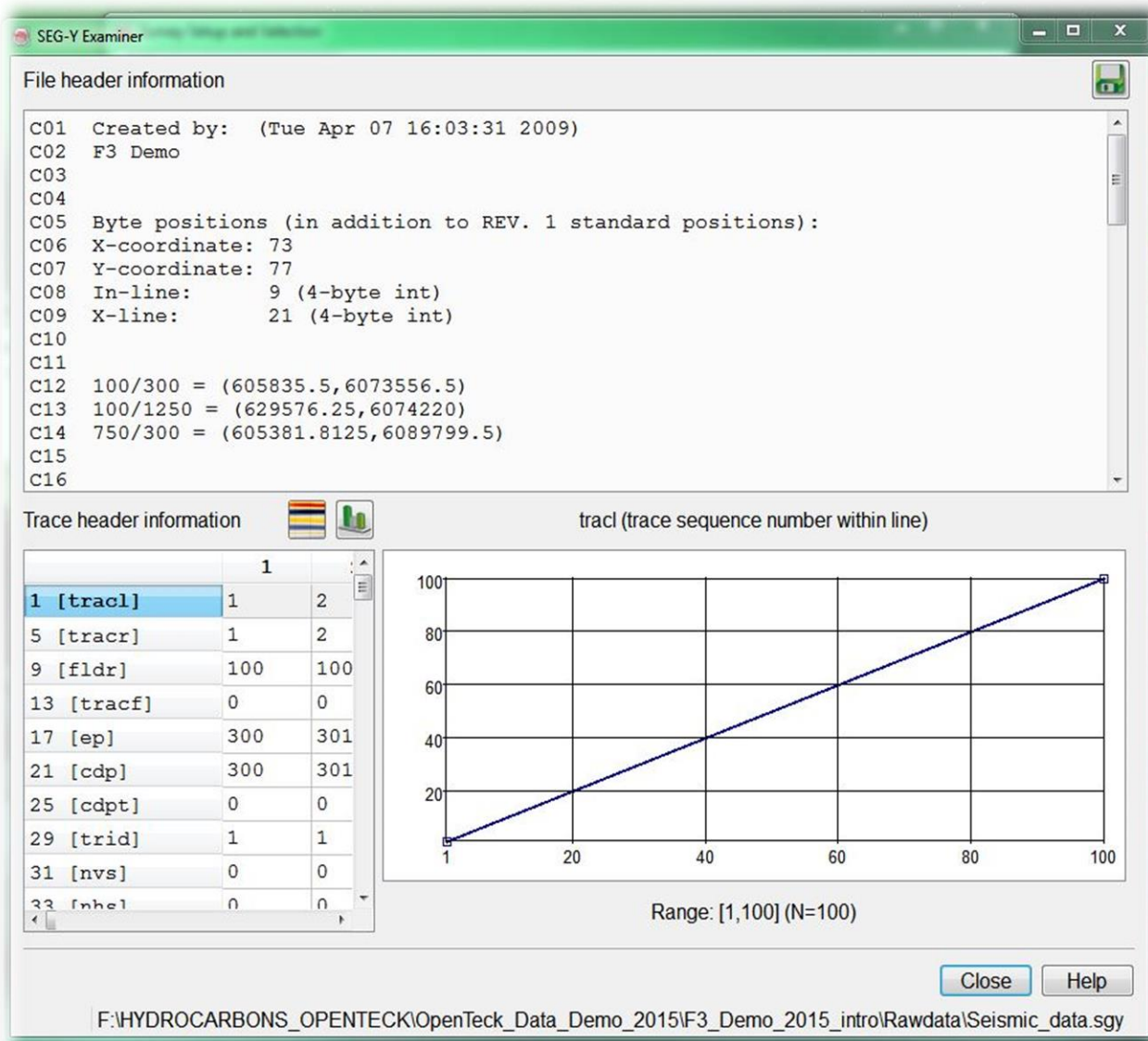
4. Στο ακόλουθο παράθυρο επιλέγουμε το αρχείο SEG-Y που θα αναπαρασταθεί, τις διαστάσεις (2D, 3D) και τέλος ανά πόσα βήματα θα εξετάζεται



5. Επιλογή του αντίστοιχου αρχείου από τα δεδομένα που έχουν ληφθεί από το site της dGB EARTH SCIENCES με διεύθυνση => file: \HYDROCARBONS_OPENDTECT\OpendTect_Data_Demo_2015_intro\Rawdata\Seismic_data.sgy



6. Προβολή των πληροφοριών του SEG-Y αρχείου (π.χ. Συντεταγμένων)



* Η επιλογή του



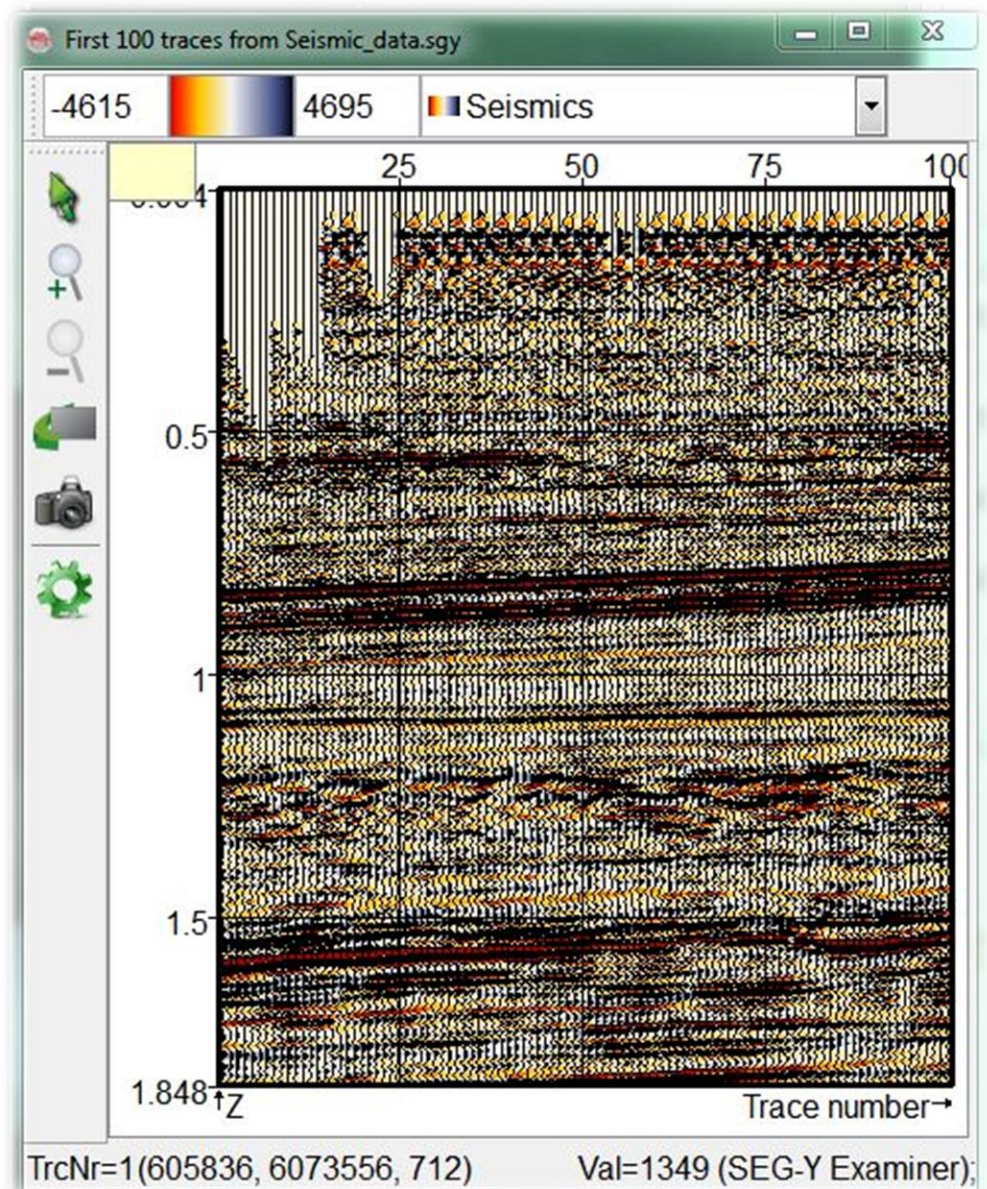
εικονιδίου οδηγεί στο βήμα 7

** Η επιλογή του

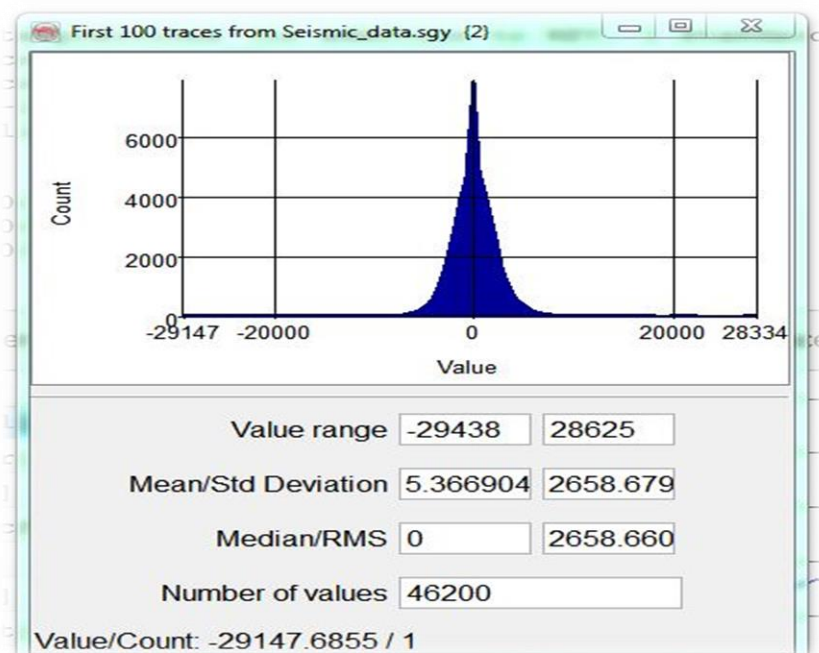


εικονιδίου οδηγεί στο βήμα 8

7. Αναπαρά-
σταση σε
διαξονικό
σύστημα
της
μεταβολής
των
ταχυτήτων
των
σεισμικών
κυμάτων



8. Ιστόγραμμα
μεταβολής σεισμικών
πλατών του αρχείου
SEG-Y



9. Επεξεργασία των στοιχείων που φορτώθηκαν από το αρχείο πριν την αναπαράσταση

Survey name: New Survey

Location on disk: C:\OPEN_TECK

Survey type: Both 2D and 3D

Ranges/coordinate settings: Enter below

Survey ranges:

In-line range: 100 750 Step 1

Cross-line range: 300 1250 Step 1

Z range: 4 1848 Step 4 msec

Display depths in: ☒ meter ☐ feet

Seismic Reference Datum (m): 0

Coordinate settings: ☒ Easy ☐ Advanced

First In-line/Cross-line: 100 300 = (X,Y) 605835.4755102 6073556.33469388

Another position on above In-line: 100 1250 = (X,Y) 629576.2755102 6074219.93469388

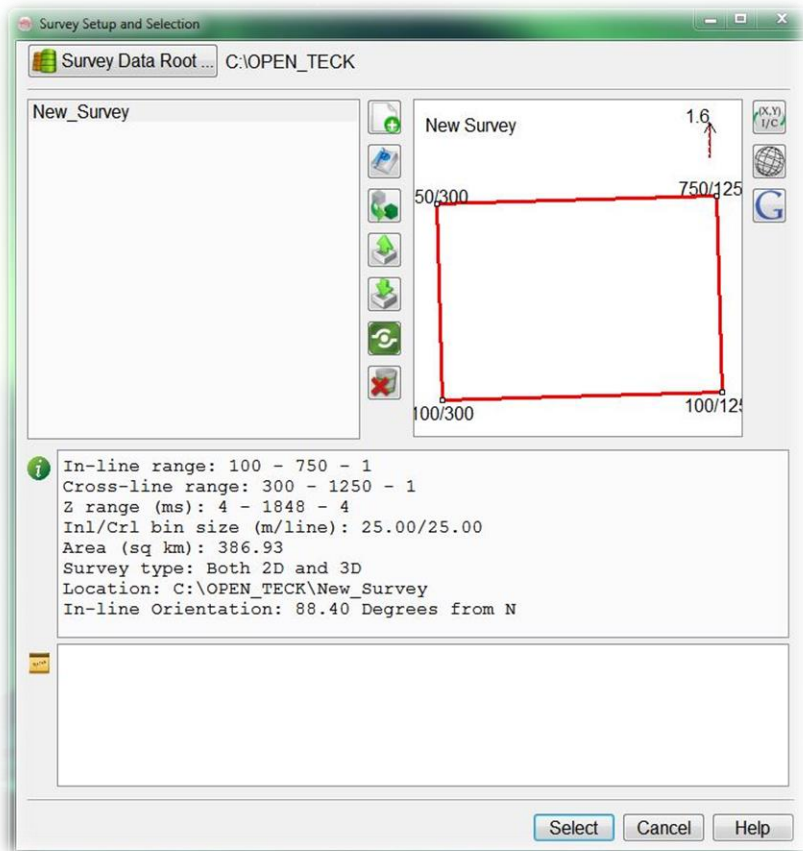
Position not on above In-line: 750 1250 = (X,Y) 629122.5 6090463.2

Apply ☐ Coordinates are in feet

OK Cancel Help

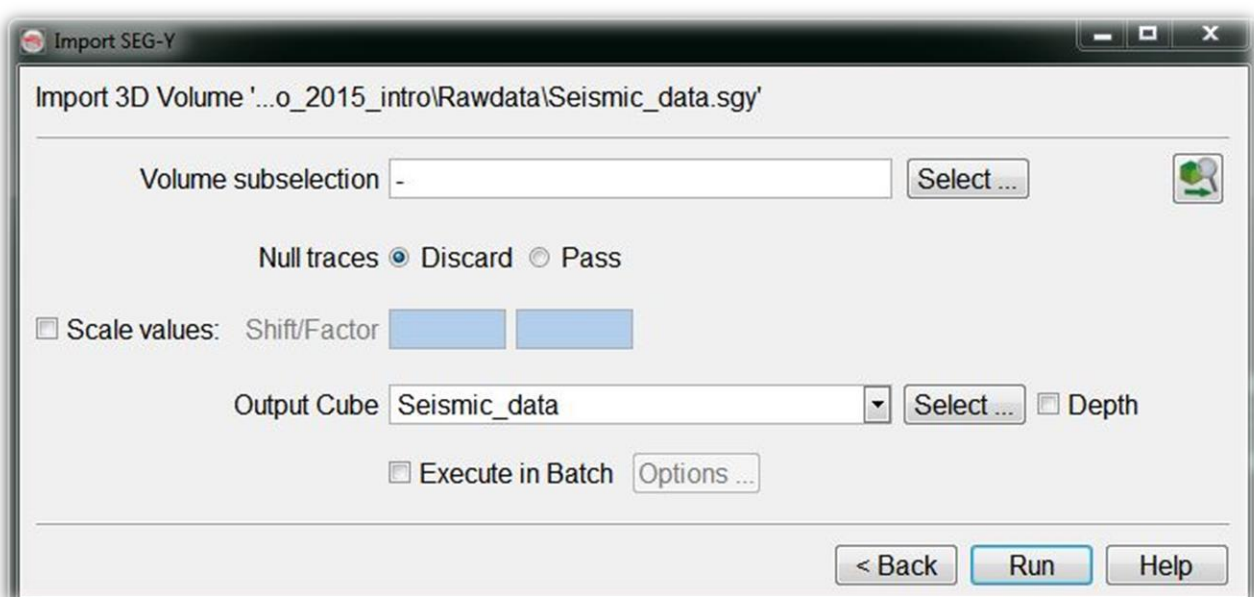
Free space on disk: 19.1 GB

10. Ακριβής γεωμετρία
εξαγόμενου Survey

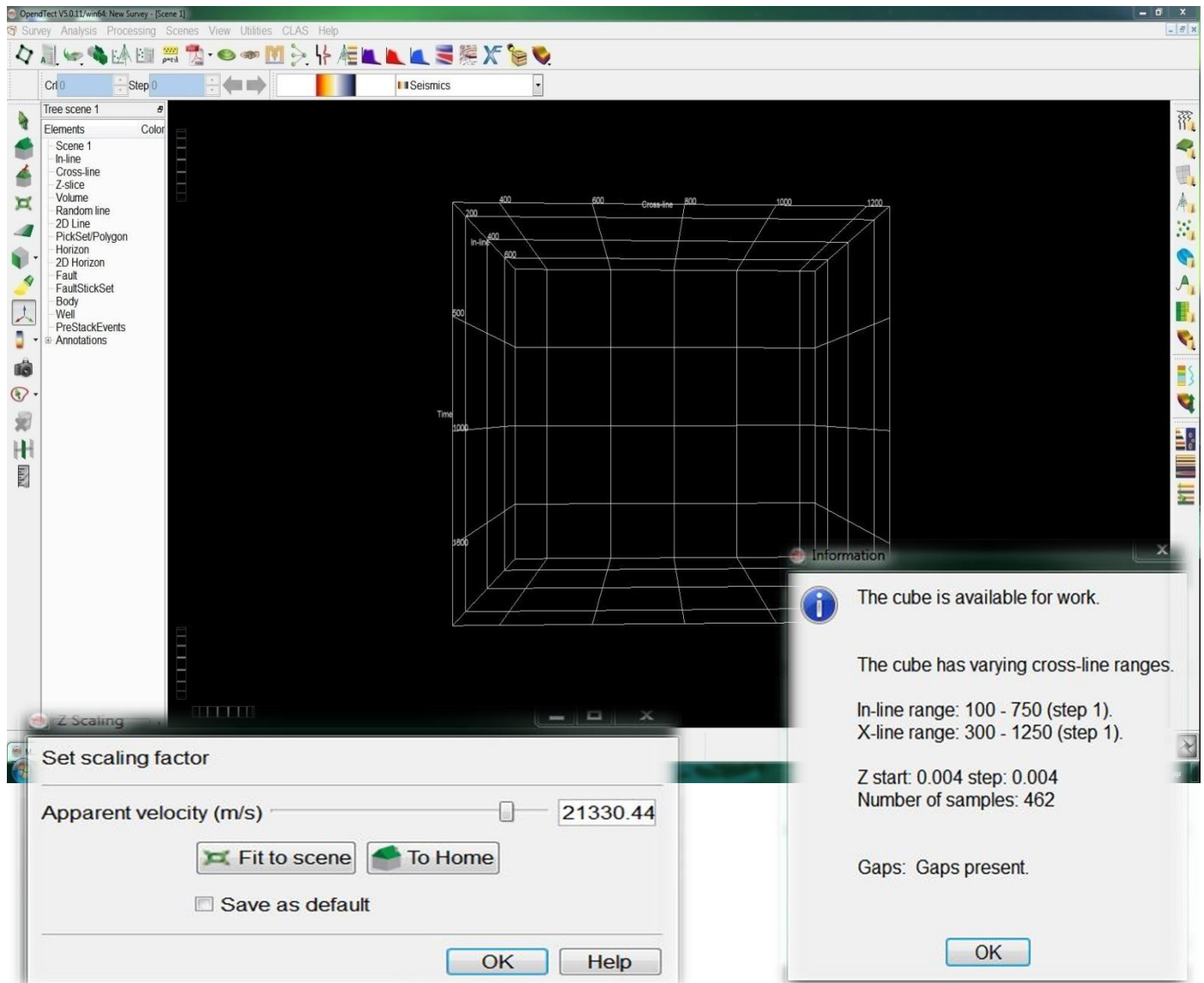


του

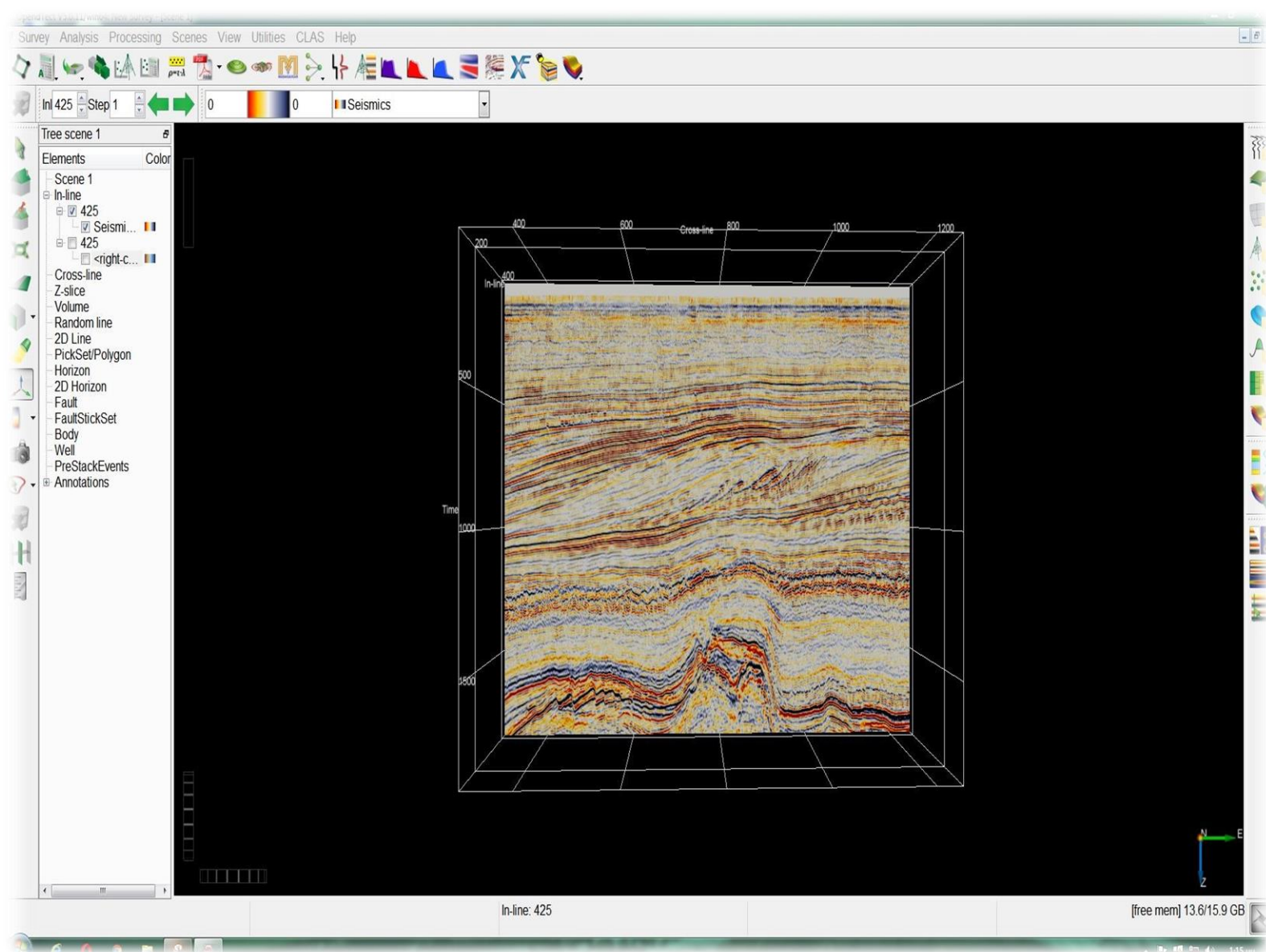
11. Σε αυτό το βήμα ορίζεται το όνομα του εξαγόμενου κύβου



12. Αφού τελειώσει η εισαγωγή των δεδομένων στο περιβάλλον εργασίας εμφανίζεται το τρισδιάστατο πλέγμα και δύο παράθυρα όπου στο ένα μας δίνονται οι διαστάσεις του κύβου και στο δεύτερο η μπάρα προσαρμογής του πλέγματος



13. Τέλος, από το δέντρο αναπαράστασης επιλέγουμε τα εξής: Scene1 → In-line → 425 → Seismics και προσαρμόζονται τα δισδιάστατα σεισμικά δεδομένα εντός του κύβου που έχουμε ορίσει

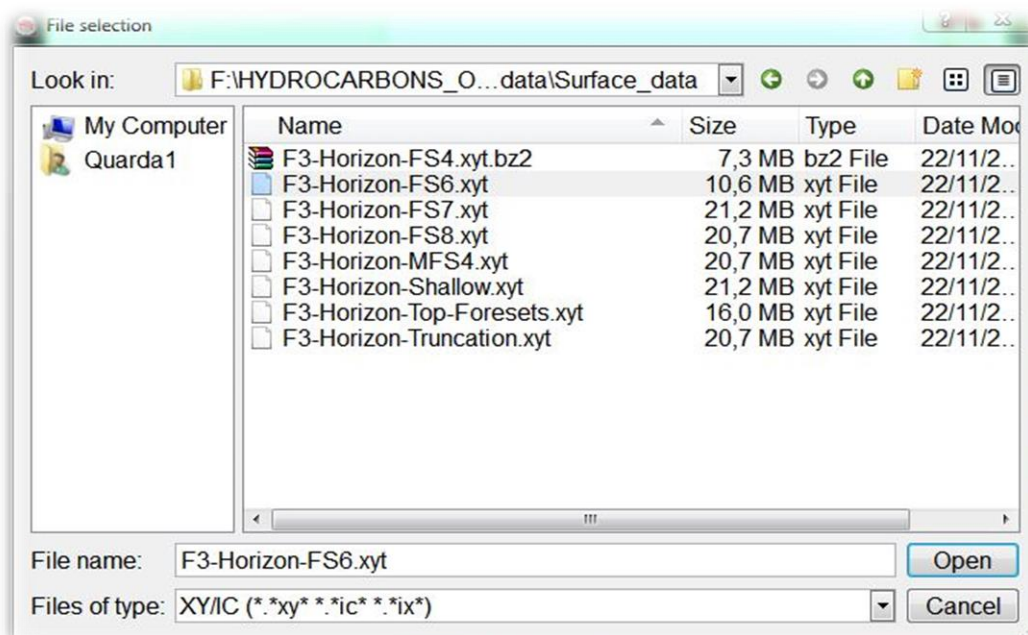
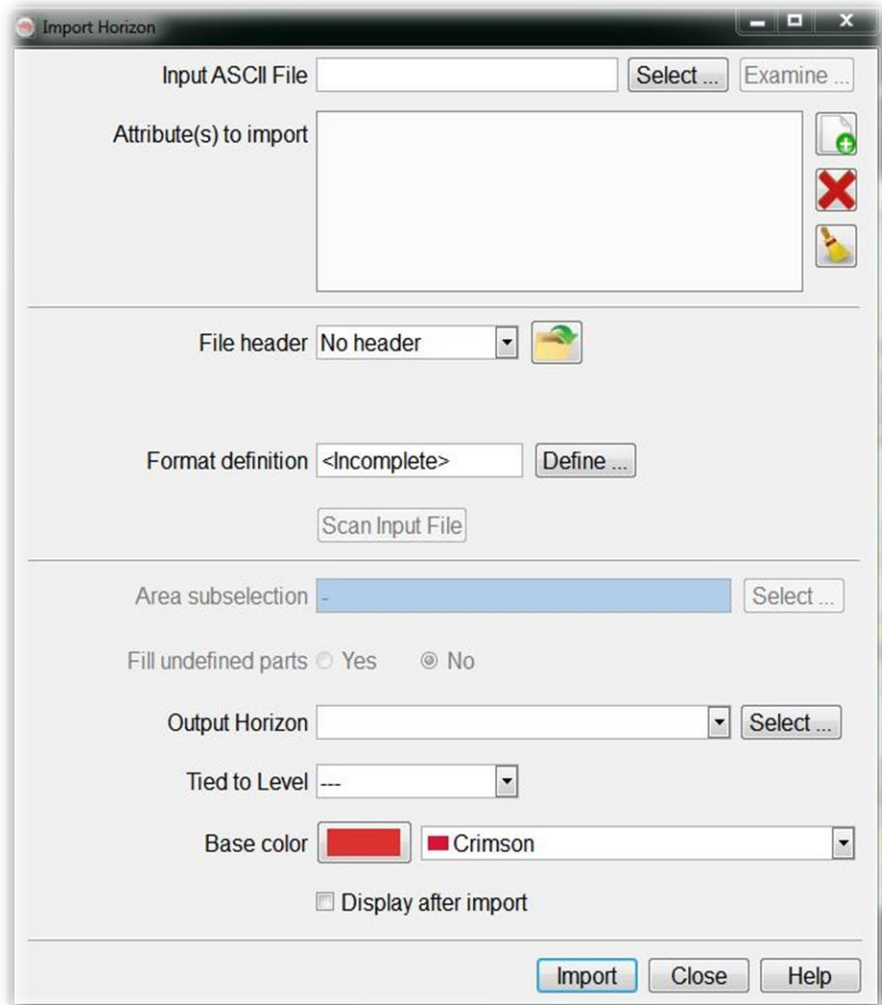


2.3.6 Εισαγωγή οριζόντων

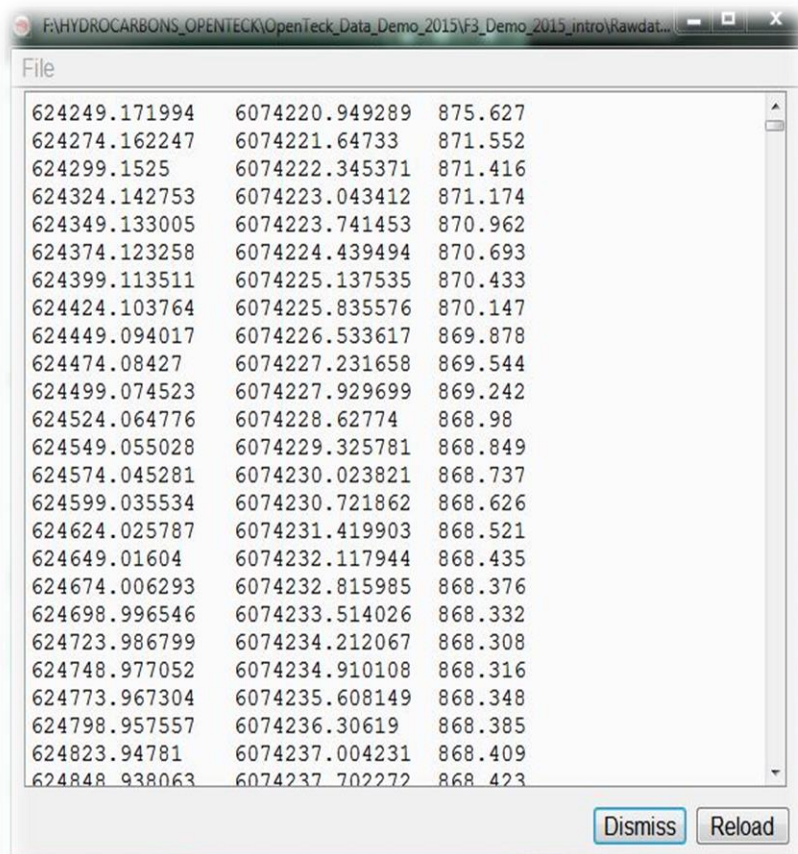
Υπάρχουν δύο είδη οριζόντων. Οι δισδιάστατοι και οι τρισδιάστατοι ορίζοντες οι οποίοι συνδέονται αντίστοιχα με δισδιάστατα και τρισδιάστατα σεισμικά δεδομένα.

Τα βήματα που ακολουθούνται για την εισαγωγή οριζόντων από ASCII αρχεία:

1. Στο Βασικό Μενού επιλέγουμε Survey → Import → Horizon → ASCII → Geometry 3D με αποτέλεσμα να ανοίγει το συγκεκριμένο παράθυρο. Στο τμήμα όπου αναγράφεται Input ASCII File επιλέγουμε το αρχείο F3-Horizon-FS6.xyt

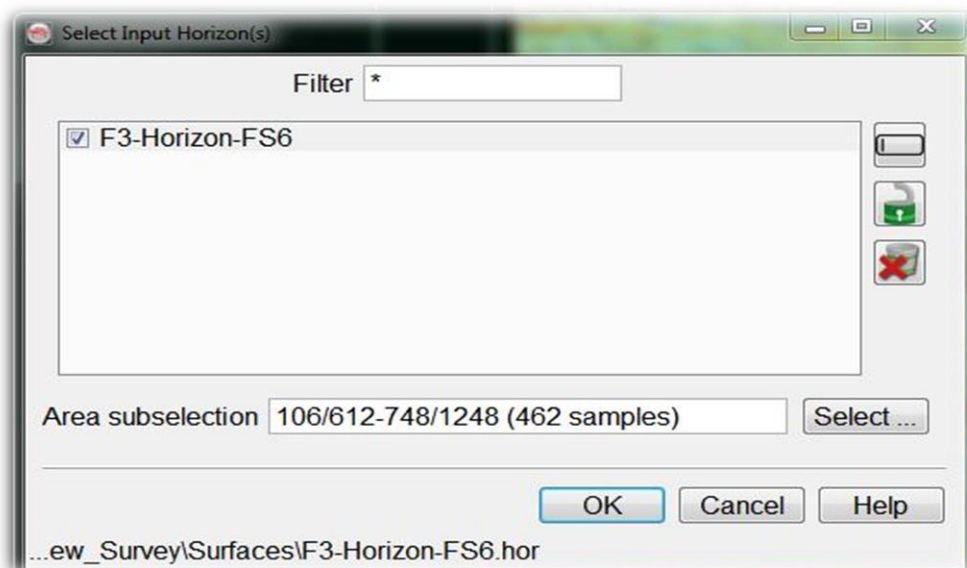


2. Αφού γίνει η επιλογή του αρχείου και ορισθεί το τμήμα του Output Horizon (γίνεται αυτόματα με την επιλογή των δεδομένων) κάνουμε δεξί κλικ στο κουτάκι Display after import. Εφόσον γίνει η παραπάνω διαδικασία κάνουμε Import (εισαγωγή) και μας εμφανίζεται το παράθυρο με τα στοιχεία του ορίζοντα στους X, Y & Z άξονες

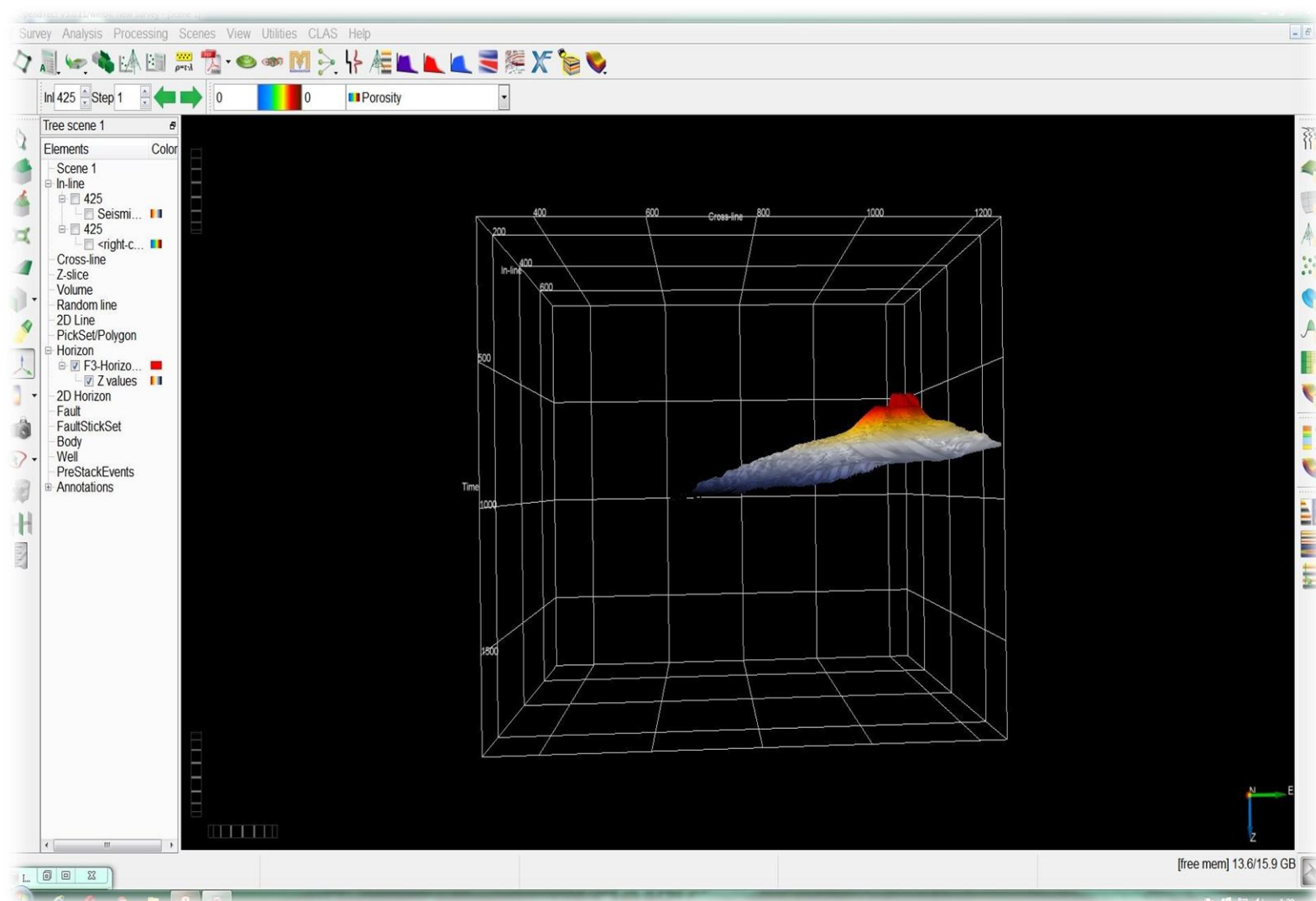


File		
624249.171994	6074220.949289	875.627
624274.162247	6074221.64733	871.552
624299.1525	6074222.345371	871.416
624324.142753	6074223.043412	871.174
624349.133005	6074223.741453	870.962
624374.123258	6074224.439494	870.693
624399.113511	6074225.137535	870.433
624424.103764	6074225.835576	870.147
624449.094017	6074226.533617	869.878
624474.08427	6074227.231658	869.544
624499.074523	6074227.929699	869.242
624524.064776	6074228.62774	868.98
624549.055028	6074229.325781	868.849
624574.045281	6074230.023821	868.737
624599.035534	6074230.721862	868.626
624624.025787	6074231.419903	868.521
624649.01604	6074232.117944	868.435
624674.006293	6074232.815985	868.376
624698.996546	6074233.514026	868.332
624723.986799	6074234.212067	868.308
624748.977052	6074234.910108	868.316
624773.967304	6074235.608149	868.348
624798.957557	6074236.30619	868.385
624823.94781	6074237.004231	868.409
624848.938063	6074237.702272	868.423

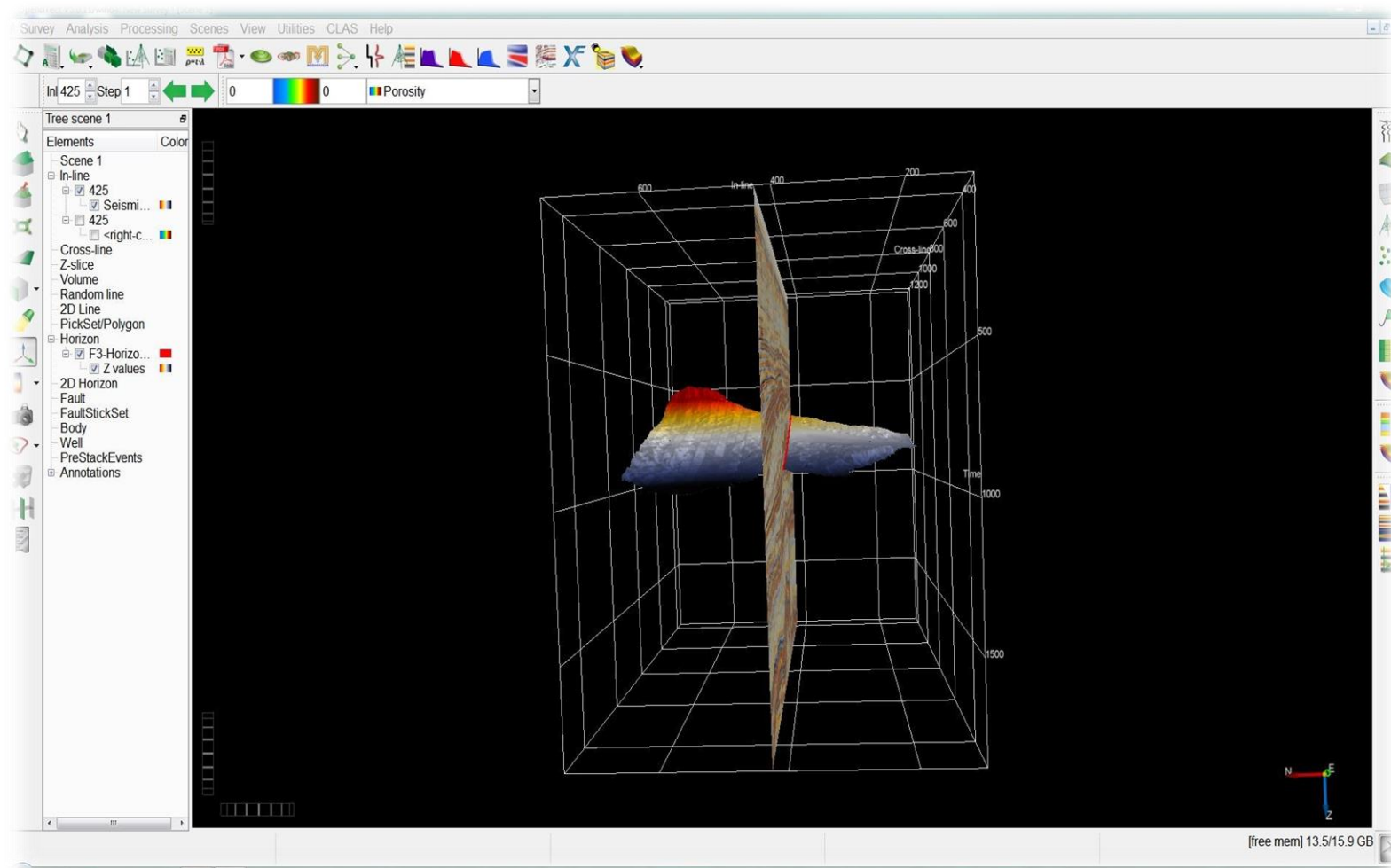
* Σε περίπτωση που έχουμε φορτώσει περισσότερους από έναν ορίζοντες μπορούμε να επιλέξουμε στο παρακάτω παράθυρο ποιό να αναπαρασταθούν



3. Η τελική μορφή του ορίζοντα στον οποίο αναπαρίσταται η μεταβολή του πορώδους με διάφορα χρώματα



4. Ταυτόχρονη αναπαράσταση του ορίζοντα και των δισδιάστατων σεισμικών



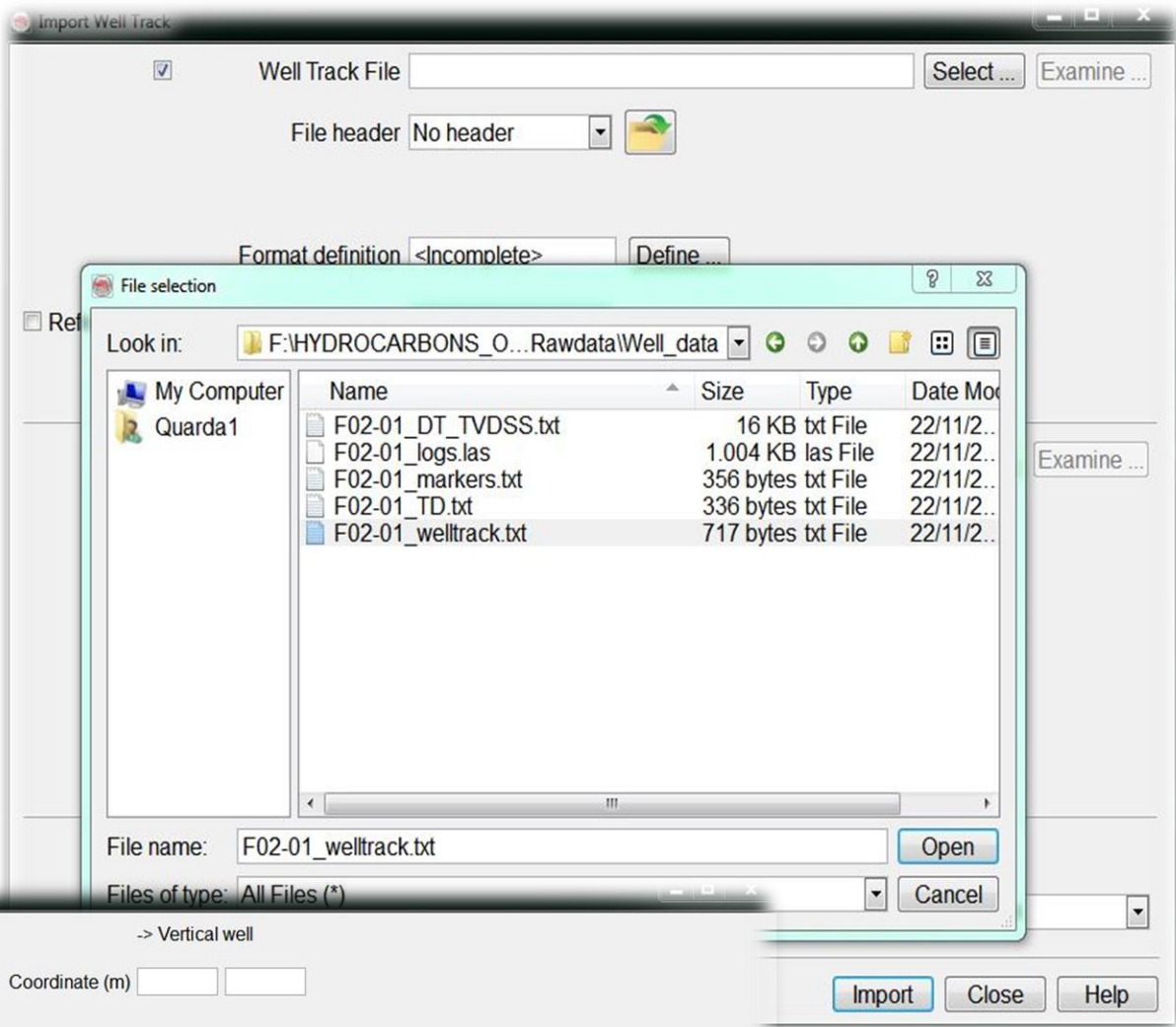
2.3.7 Εισαγωγή δεδομένων από γεωτρήσεις

Οι γεωτρήσεις που εισάγονται για αναπαράσταση στο πρόγραμμα φέρουν όνομα και σχεδόν κάθετη διεύθυνση προς τον οριζόντιο άξονα. Σε αυτές μπορούν να αναπαρασταθούν και δεδομένα από το borehole-logging όπως:

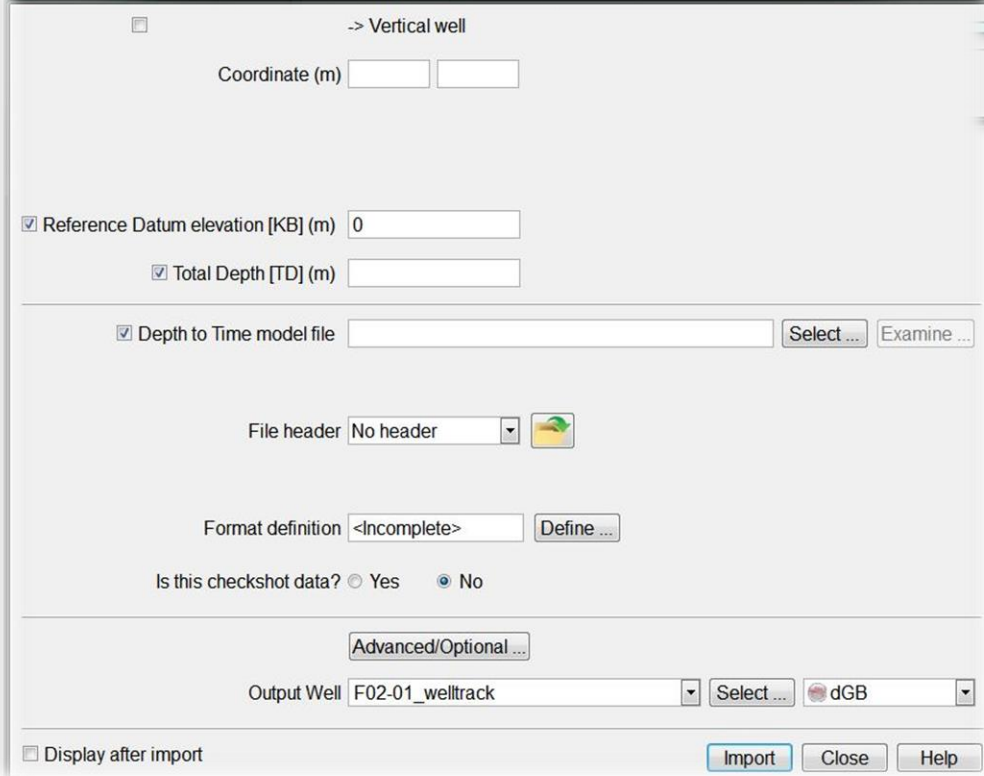
- πορώδες
- ακτίνες-γ
- πυκνότητες
- Ρ κύματα
- μετρήσεις παχών

Για την εισαγωγή των δεδομένων των πηγαδιών ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

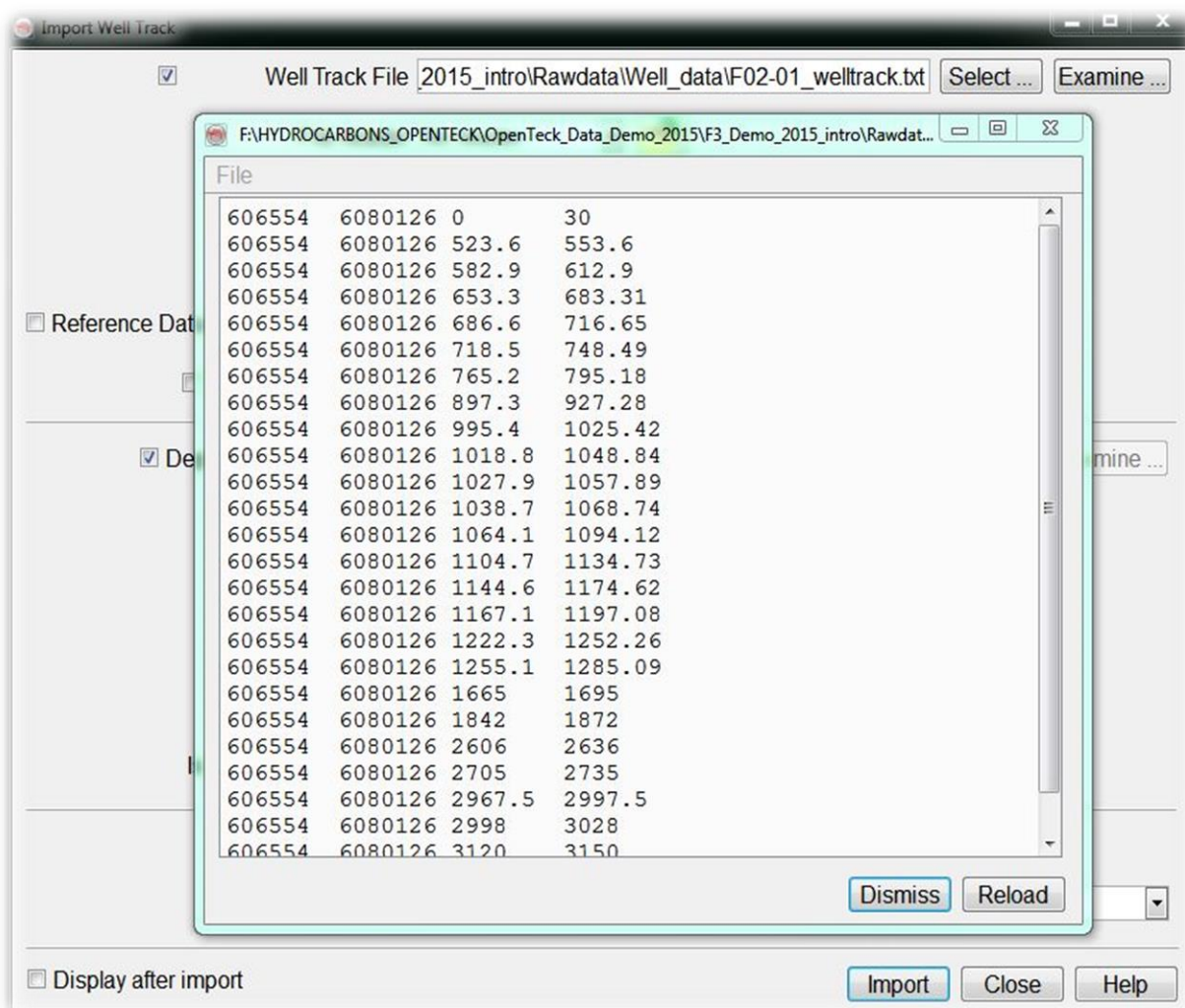
1. Φορτώνουμε τα δεδομένα των γεωτρήσεων από ASCII & LAS αρχεία επιλέγοντας από την μπάρα του Βασικού Μενού Survey → Import → Wells → ASCII → Track και στο τμήμα του Well Track File φορτώνουμε το αρχείο F02-01_welltrack.txt



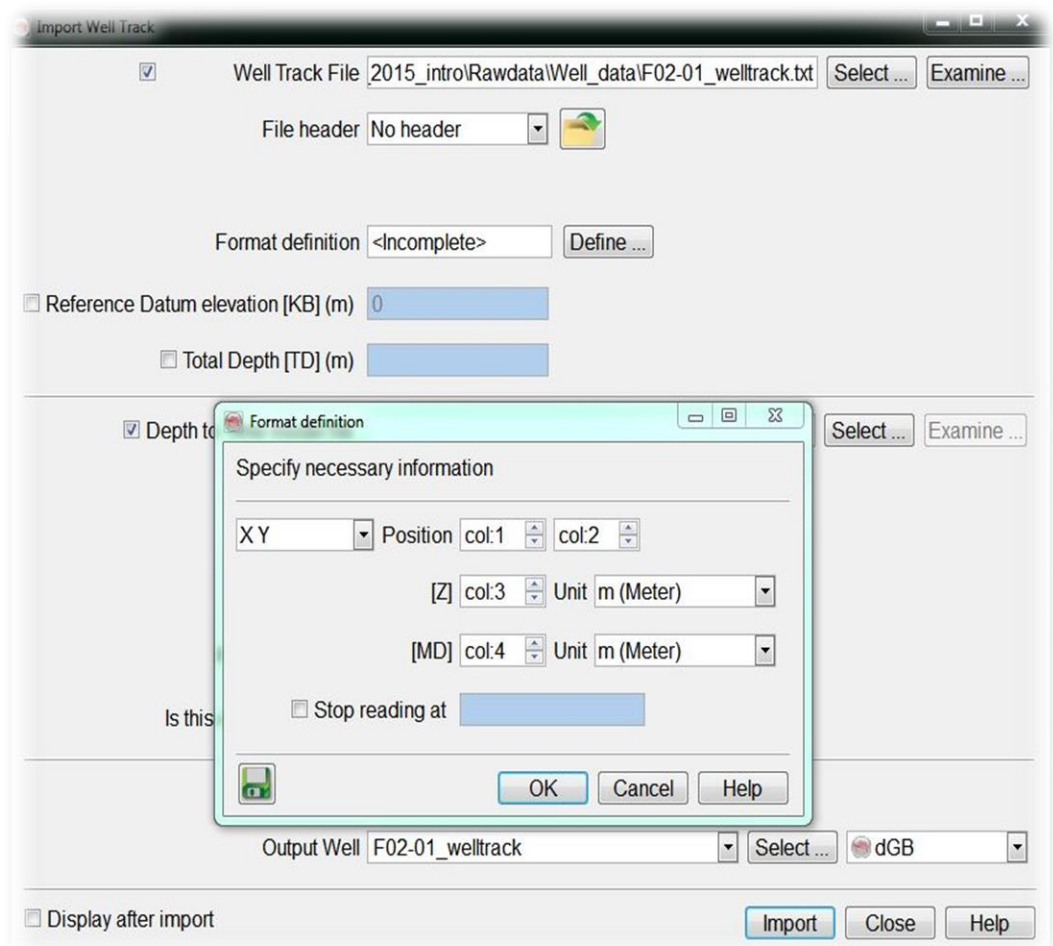
* Μετά την επιλογή του αρχείου εμφανίζεται το ακόλουθο παράθυρο στο οποίο έχει ορισθεί αυτόματα το πεδίο του Output Well. Ακόμη πρέπει να έχουν "τσεκαριστεί" τα πεδία των Reference Datum elevation, Total Depth & Depth to Time model.



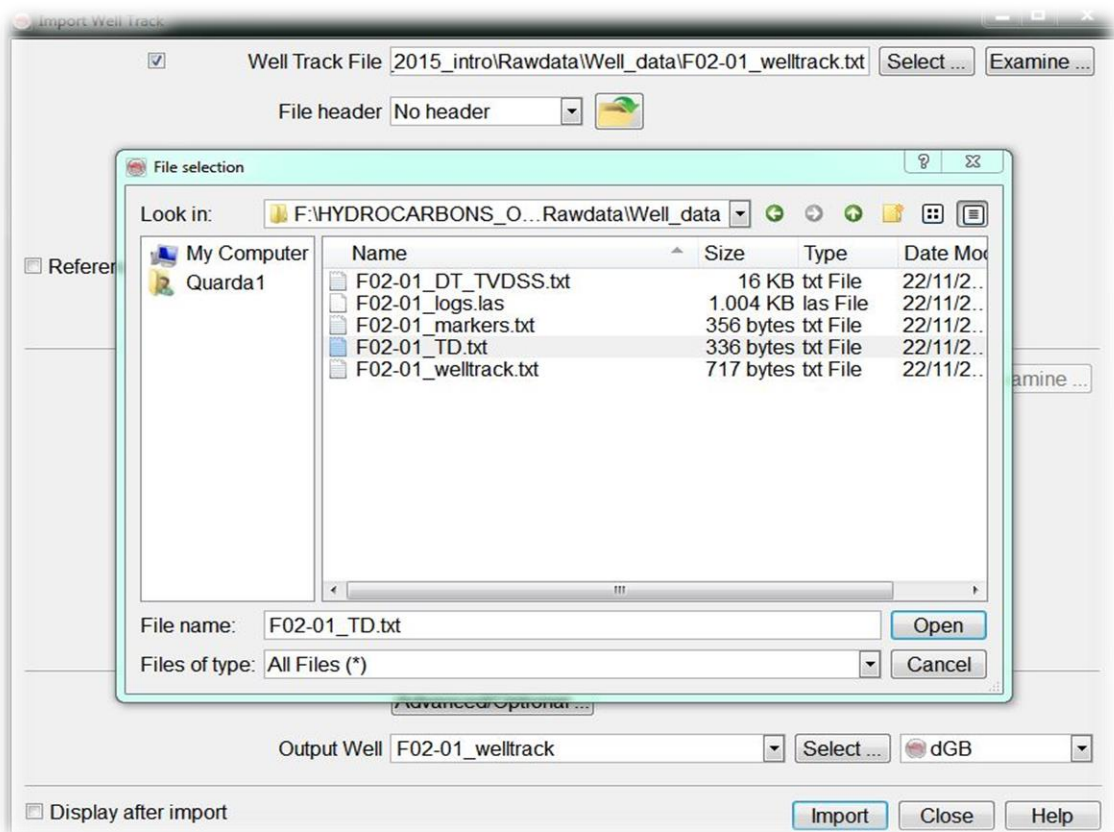
2. Η επιλογή Examine εμφανίζει τα δεδομένα της γεώτρησης, δηλαδή του X(1η στήλη), Y(2η) , Z(3η) άξονα καθώς επίσης και το MD (measured depth) το οποίο αντιστοιχεί στην τέταρτη στήλη



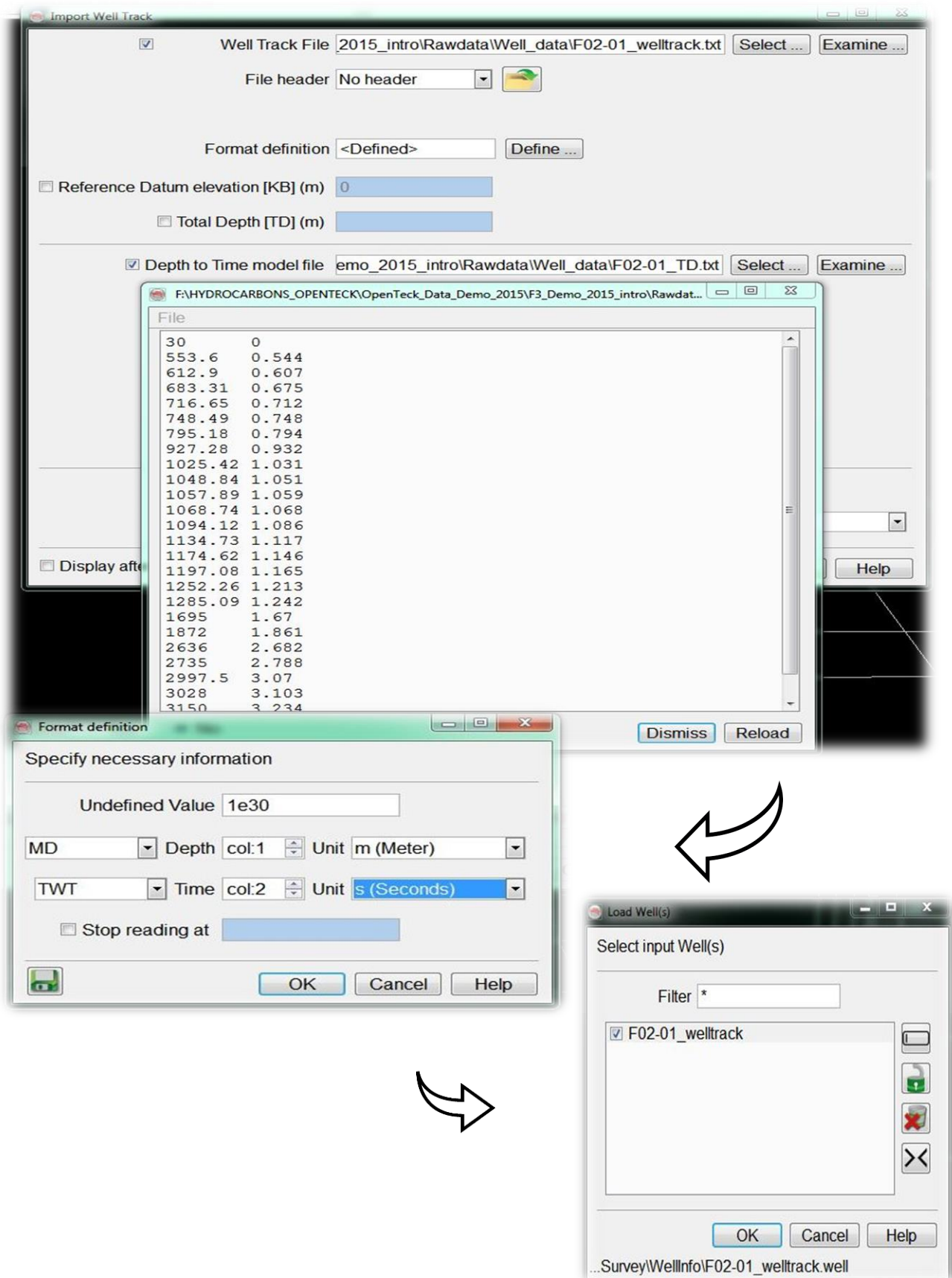
3. Το εικονίδιο Define στο πεδίο του Format Definition δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να ορίσει τις παραμέτρους των X, Y, Z & MD



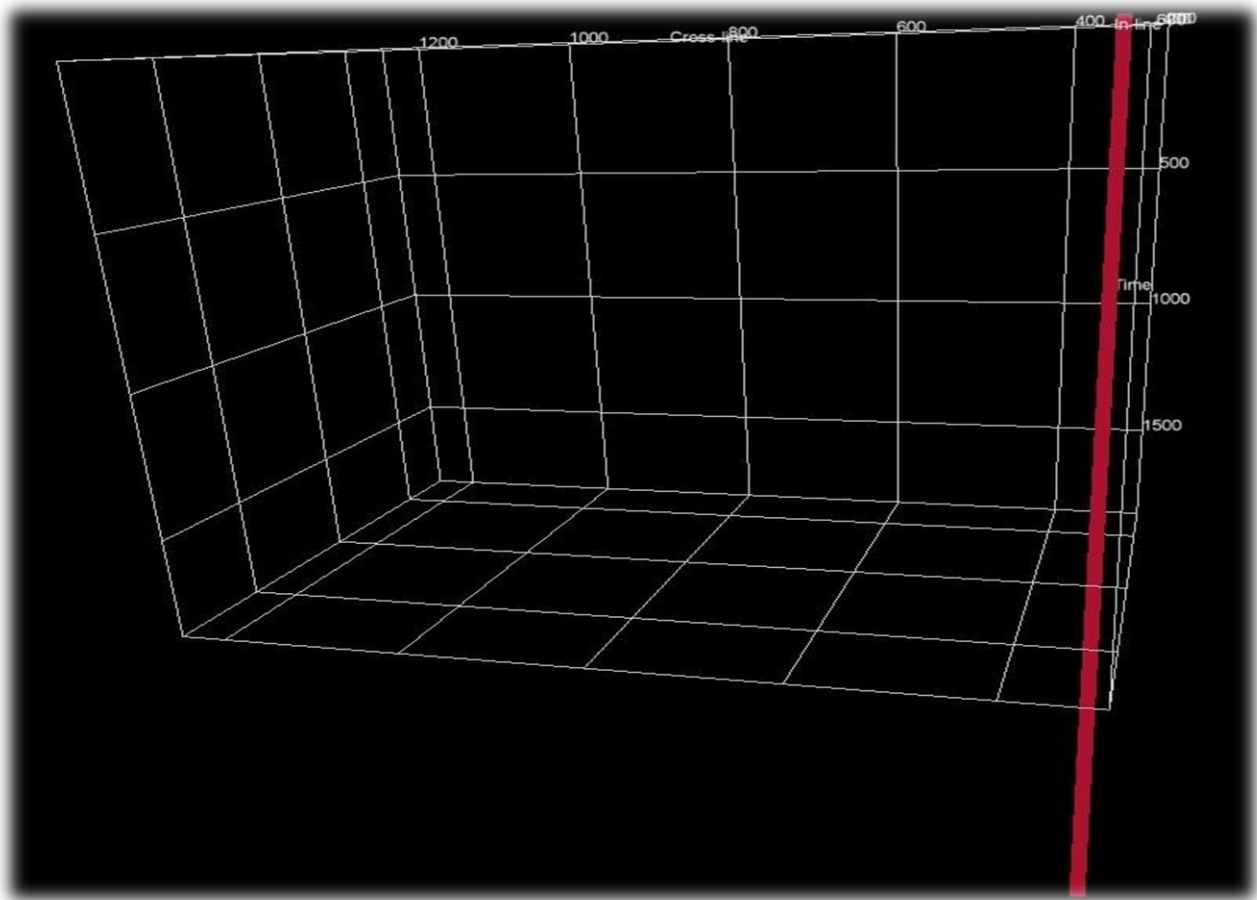
4. Στο πεδίο του Depth to Time model File επιλέγουμε το αντίστοιχο αρχείο TD.txt



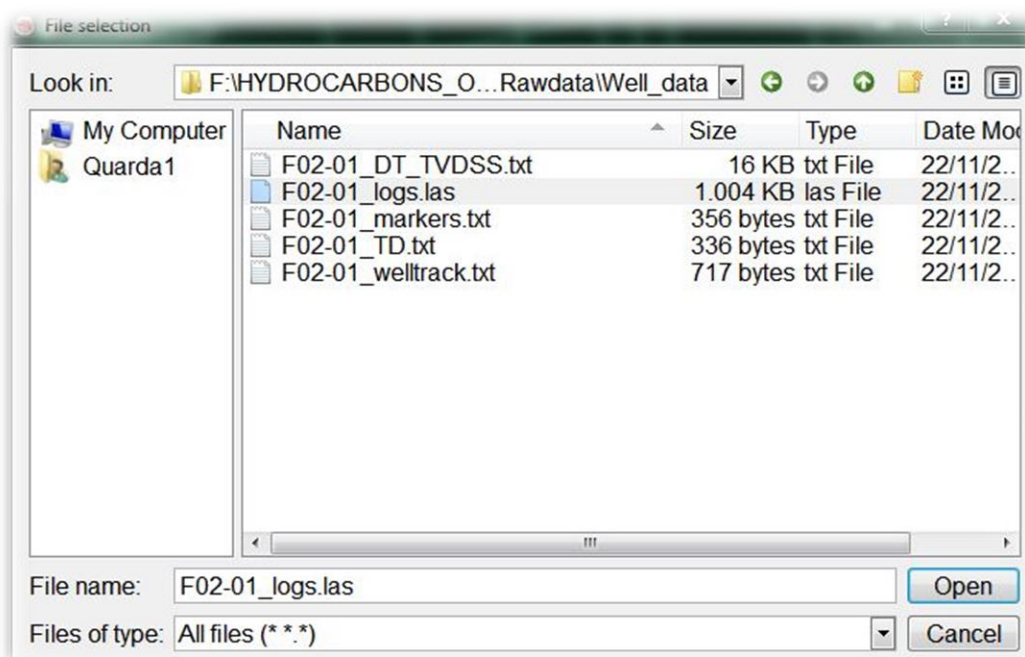
5. Πίνακας αντιστοίχισης βάθους (m) και χρόνου (sec). Επεξεργασία των μετρήσεων με την επιλογή Examine και φόρτωση στο πλέγμα



6. Το ευθύγραμμο τμήμα αποτελεί την απεικόνιση της γεώτρησης η οποία μπορεί να εκτείνεται και εκτός του τρισδιάστατου πλέγματος



7. Εισαγωγή των log files στη γεώτρηση: Survey → Import → Wells → ASCII → Logs και επιλογή του αρχείου .las



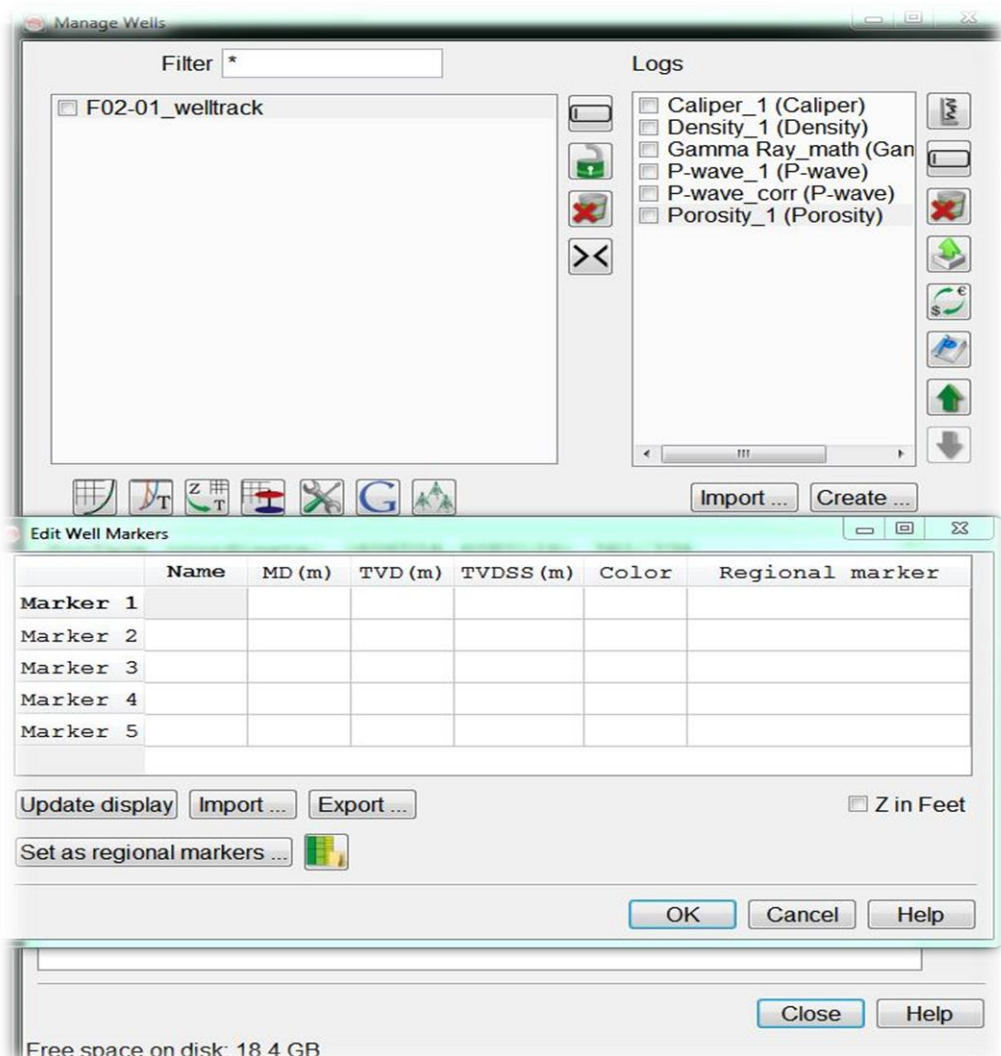
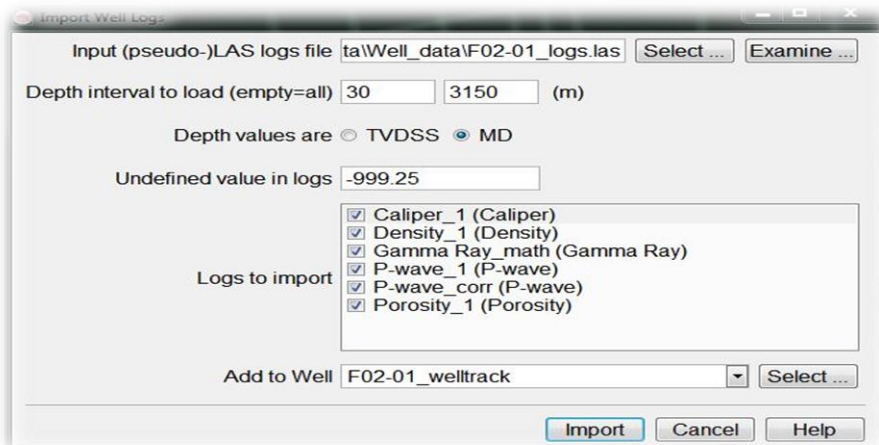
8. Προσοχή! Το πεδίο Depth Values are πρέπει να απευθύνεται στο MD (measured depth) όπως έχει ορισθεί στα προηγούμενα βήματα

* Αφού κάνουμε import το αρχείο επιλέγουμε το Marker και ανοίγει ο πίνακας των Markers

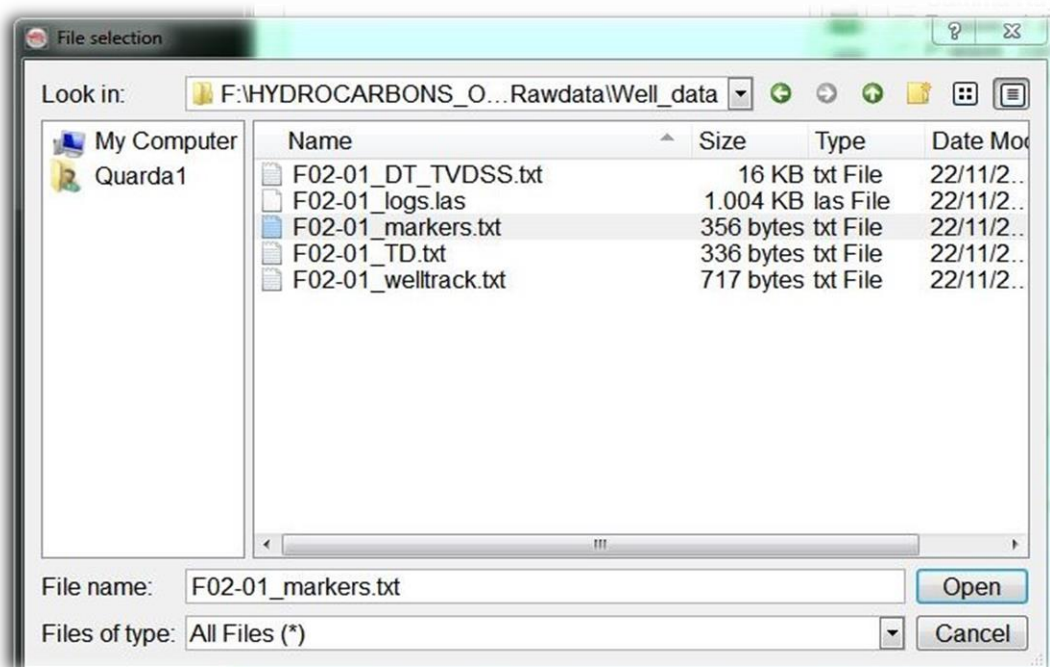
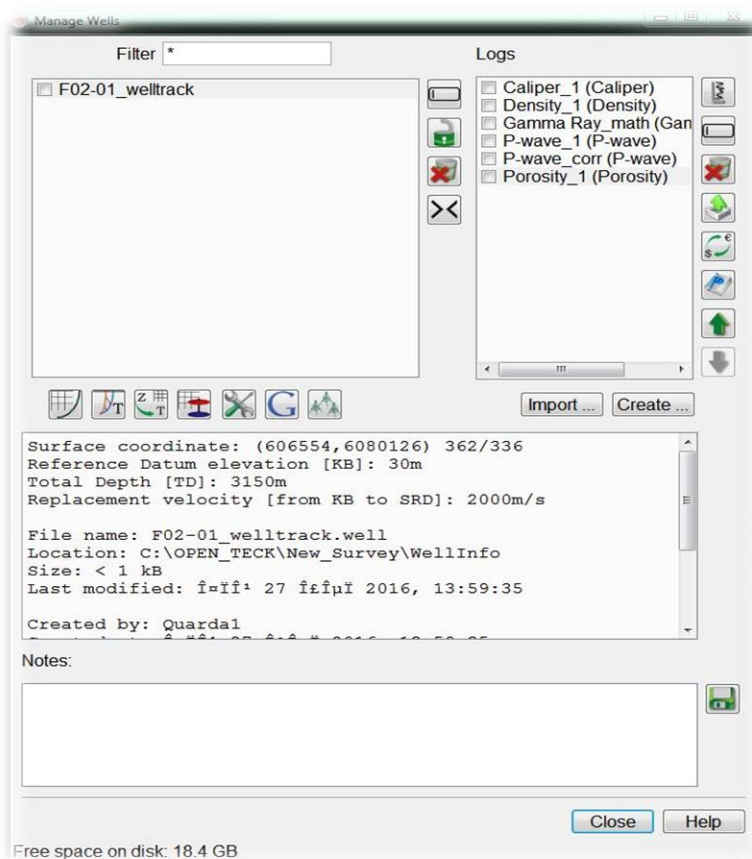


εικονίδιο

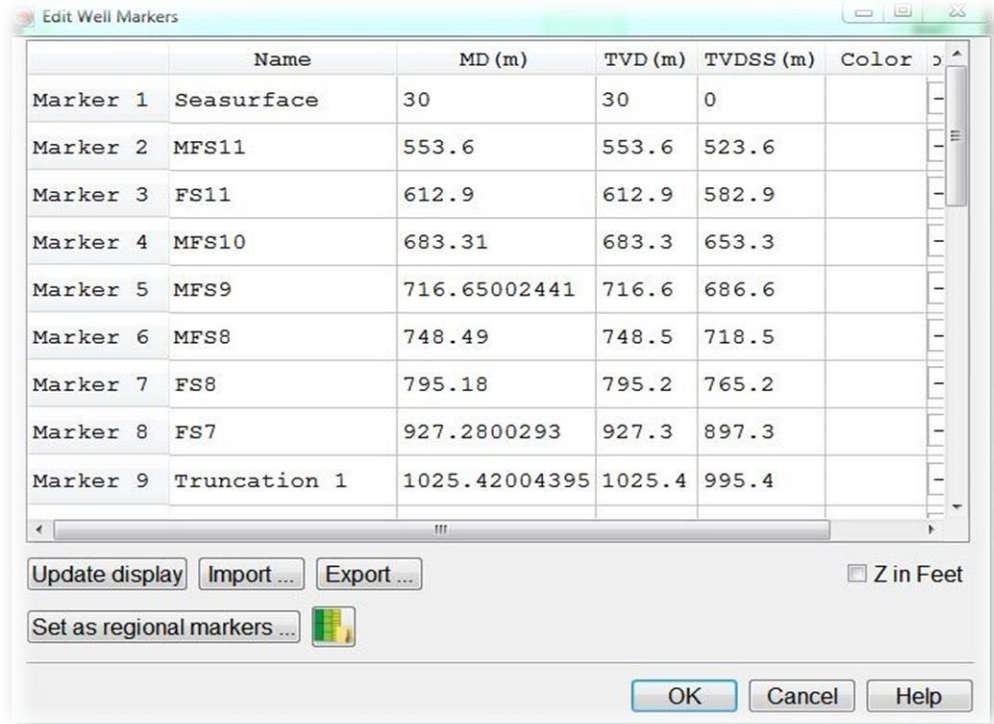
Edit



9. Στο παράθυρο Edit Well Markers κάνουμε δεξί κλικ στο Import και επιλέγουμε το αντίστοιχο αρχείο F02-01_marker.s.txt



10. Το αρχείο markers.txt αποτελεί έναν πίνακα αντιστοίχισης των μεγεθών : MD (measured depth), TVD (true vertical depth) και TVDSS (true vertical depth subsea)



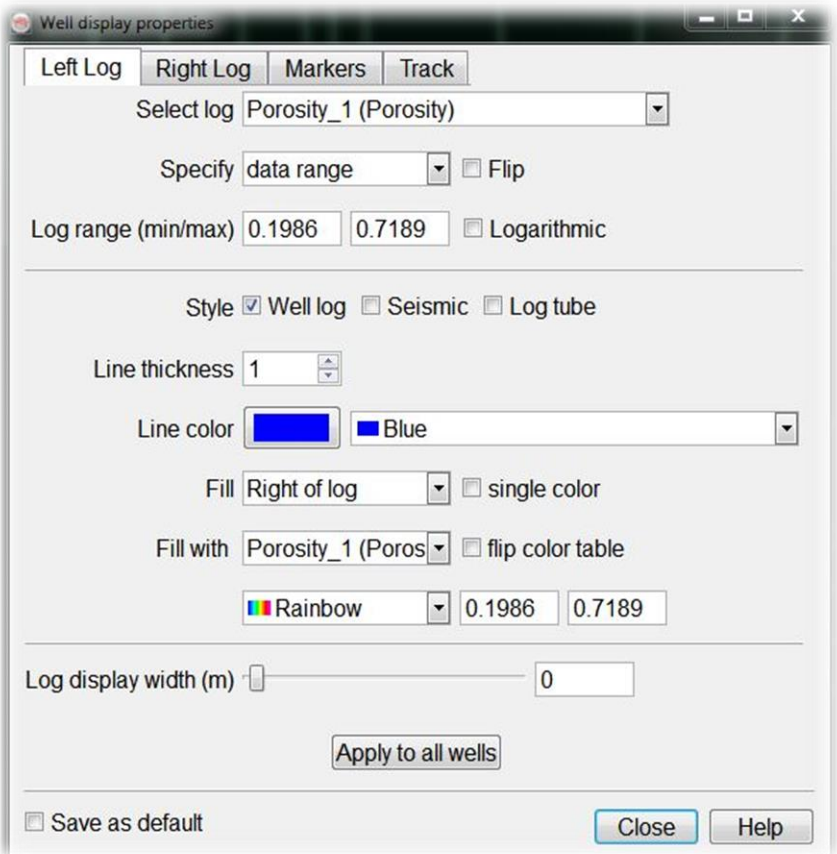
	Name	MD (m)	TVD (m)	TVDSS (m)	Color
Marker 1	Seasurface	30	30	0	
Marker 2	MFS11	553.6	553.6	523.6	
Marker 3	FS11	612.9	612.9	582.9	
Marker 4	MFS10	683.31	683.3	653.3	
Marker 5	MFS9	716.65002441	716.6	686.6	
Marker 6	MFS8	748.49	748.5	718.5	
Marker 7	FS8	795.18	795.2	765.2	
Marker 8	FS7	927.2800293	927.3	897.3	
Marker 9	Truncation 1	1025.42004395	1025.4	995.4	

Buttons: Update display, Import ..., Export ..., Set as regional markers ..., Z in Feet (checkbox), OK, Cancel, Help

* Με την προσθήκη χρωμάτων σε κάθε marker γίνεται πιο εύκολα η διάκριση μεταξύ τους

11. Τέλος ορίζουμε στο πρόγραμμα ποιές ιδιότητες των μετρήσεων και με ποιο χρώμα θα αναπαρασταθούν

* Μπλε χρώματος γραμμή για το αριστερό log που θα εκφράζει το πορώδες



Well display properties

Left Log | Right Log | Markers | Track

Select log: Porosity_1 (Porosity)

Specify: data range | Flip (checkbox)

Log range (min/max): 0.1986 | 0.7189 | Logarithmic (checkbox)

Style: ☒ Well log | ☐ Seismic | ☐ Log tube

Line thickness: 1

Line color: Blue

Fill: Right of log | single color (checkbox)

Fill with: Porosity_1 (Poros) | flip color table (checkbox)

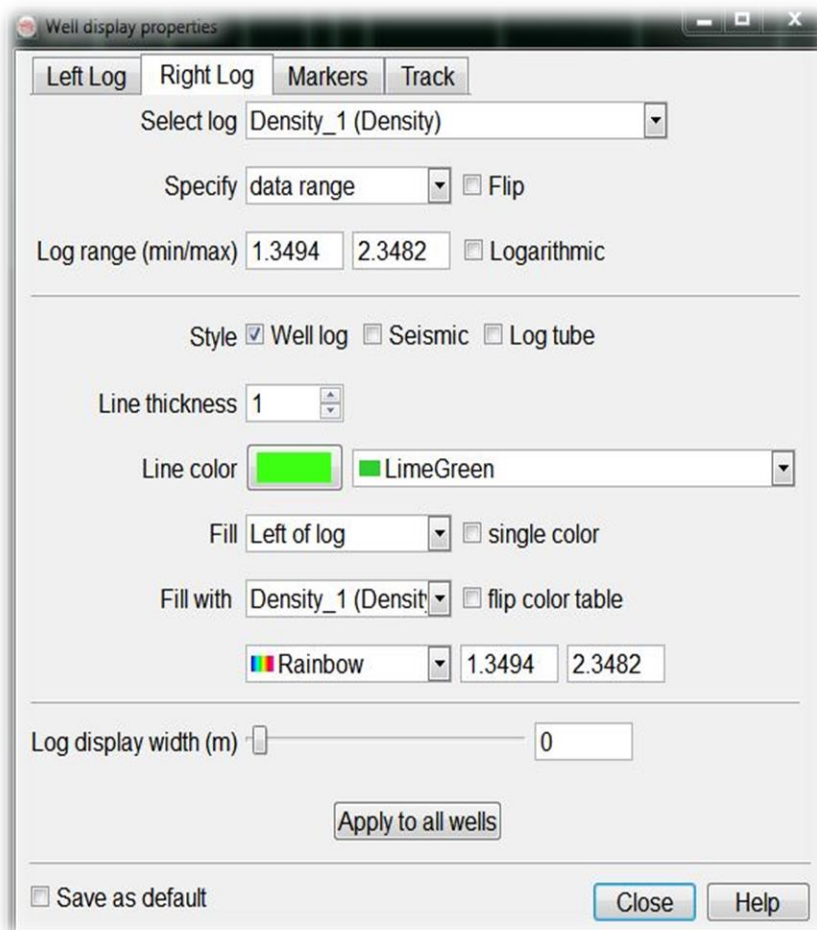
Rainbow | 0.1986 | 0.7189

Log display width (m): 0

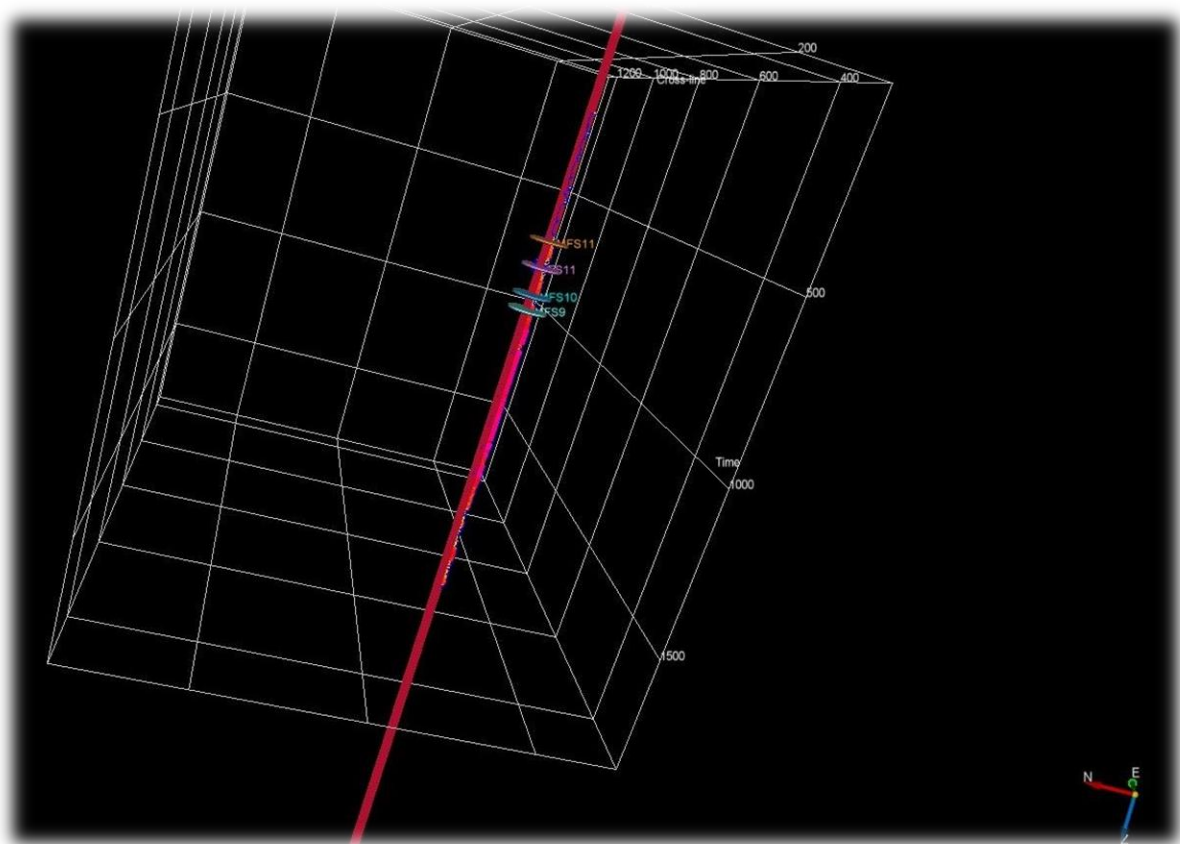
Apply to all wells

Save as default (checkbox) | Close | Help

* Με ανοικτό πράσινο χρώμα γραμμής θα ορίζεται η πυκνότητα στο δεξί log



12. Τελική εικόνα γεώτρησης και προσανατολισμός στο χώρο



3.0 Γεωτεκτονική εξέλιξη της Βόρειας Θάλασσας

Η δημιουργία της λεκάνης της Βόρειας Θάλασσας οφείλεται σε μια μακροχρόνια και πολύπλοκη διαδικασία ανυψώσεων και καθιζήσεων του υποβάθρου λόγω τεκτονικής. Κατά τις περιόδους τέλος Σιλουρίου, Λιθανθρακοφόρου, Ιουρασικού, Κρητιδικού και πολλές φορές στα μέσα του Μεσοζωϊκού η περιοχή ανυψωνόταν λόγω τεκτονικής δημιουργώντας εξάρματα τα οποία υπόκειντο διάβρωση. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλου πάχους ιζηματογενών στρωμάτων ηλικίας κατώτερου Παλαιοζωϊκού. Τα ιζήματα αυτά παραμορφώθηκαν ελαφρώς λόγω πλουτωνικών διεισδύσεων γρανιτικής σύστασης κατά τη διάρκεια του Καληδονικού ορογενούς στα τέλη Σιλουρίου με αρχές Δεβονίου.

Οι επικρατούσες παρατάξεις ΔΒΔ και ΒΔ των ρηγμάτων στα άνω Παλαιοζωϊκά, Μεσοζωϊκά και Καινοζωϊκά στρώματα θεωρητικά ακολουθούν τις δομές των κατώτερων σχηματισμών του κάτω Παλαιοζωϊκού υποβάθρου. Το Καληδονικό ορογενές οδήγησε στην ανύψωση του μεγαλύτερου μέρους του Νότιου τμήματος της Βόρειας Θάλασσας, το οποίο αποτέλεσε την κύρια πηγή ιζημάτων, καθώς έλαβαν χώρα έντονες διαβρωτικές διεργασίες κατά το Δεβόνιο. Στις αρχές του Λιθανθρακοφόρου εκτατικές δυνάμεις στο φλοιό δημιούργησαν λεκάνες οι οποίες καλύφθηκαν από βαθιάς θάλασσας (4000μ.) έως δελταϊκά ιζήματα. Επίσης, σε κάποια γεωφυσικά δεδομένα αποδεικνύεται ότι κάτω από τεκτονικά κέρατα του Λιθανθρακοφόρου βρίσκονται γρανιτικοί βαθύλιθοι.

Πριν από σχεδόν 325εκ. χρόνια οι εκτατικές δυνάμεις είχαν σταματήσει σηματοδοτώντας μια νέα φάση θερμικής καθίζησης. Αυτή η νέα φάση σε συνδυασμό με το Ερκύνιο ορογενές (360 εκ. χρ. πριν) τροποποίησαν εκ νέου τις γεωλογικές δομές νότια της Βόρειας Θάλασσας. Κατά την διάρκεια (310-270 εκ χρ.) τέλη Λιθανθρακοφόρου έως τις αρχές του Περμίου είχαμε τοπική ανύψωση της περιοχής που οδήγησε στην διάβρωση 1500μ. ιζήματος του Λιθανθρακοφόρου. Μετά την Ερκύνια ορογένεση το νότιο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας άρχισε να υποχωρεί πάλι λόγω ισοστατικής ισορροπίας και περισσότερα από 2700μ. Περμοτριάδικού ιζήματος άρχισαν να αποτείνονται συμπεριλαμβανομένου ερυθροστρώματα και παχιές ακολουθίες εβαποριτών.

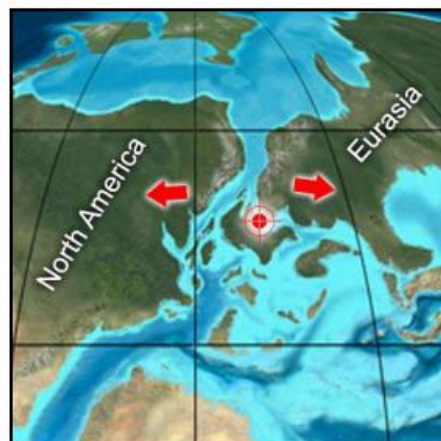
Η γεωτεκτονική εξέλιξη της Βόρειας Θάλασσας μπορεί να κατανοηθεί καλύτερα με βασικό κριτήριο την δράση των ορογενετικών γεωτεκτονικών κινήσεων του Καληδονικού, του Ερκύνιου και του Αλπικού ορογενούς. Ωστόσο, στα τελευταία στάδια της αναζήτησης υδρογονανθράκων κριτικής σημασίας στη διαφοροποίηση των φάσεων της εξέλιξης της λεκάνης αποτελεί ο χρόνος. Συμπερασματικά, τα στοιχεία που εξάγονται από την λεπτομερή και αποσπασματική πληροφορία τόσο για την πετρολογία όσο και για την τεκτονική της περιοχής δίνουν μια ακριβέστερη εικόνα στην γεωλογική βάση δεδομένων.



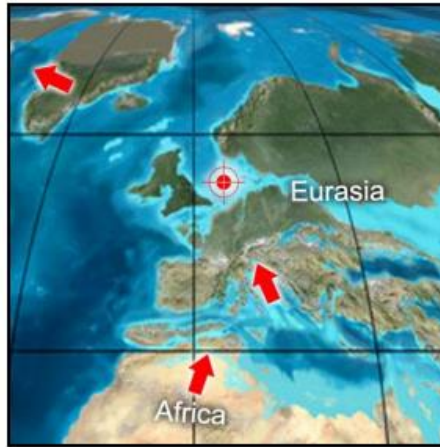
Εικόνα 11: Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση της Βόρειας Θάλασσας (κόκκινο σημείο) κατά το Καληδονικό ορογενές



Εικόνα 12: Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση της Βόρειας Θάλασσας (κόκκινο σημείο) κατά το Ερκύνιο ορογενές



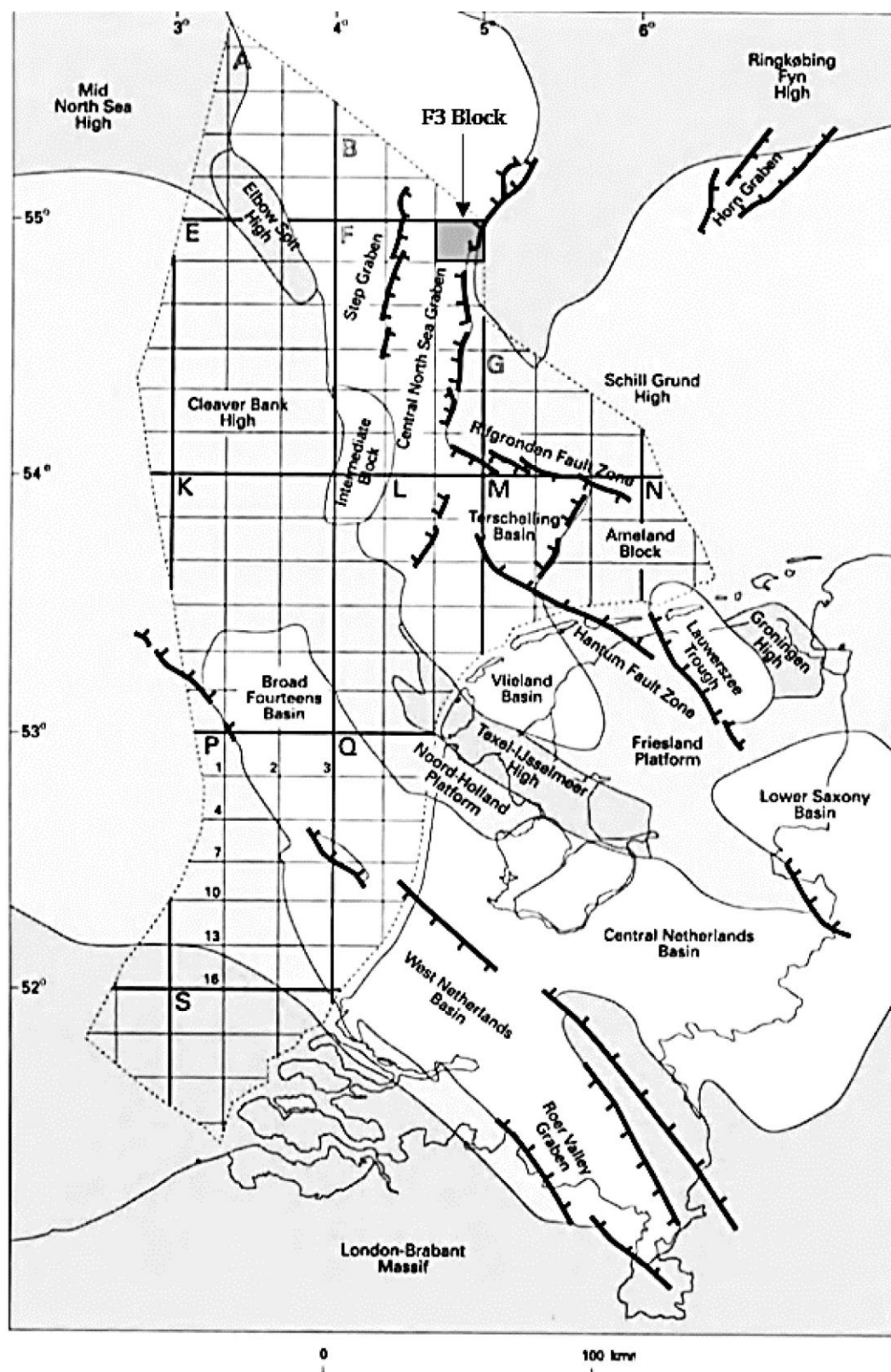
Εικόνα 13: Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση της Βόρειας Θάλασσας (κόκκινο σημείο) κατά την Κιμμερική φάση



Εικόνα 14: Παλαιογεωγραφική αναπαράσταση της Βόρειας Θάλασσας (κόκκινο σημείο) κατά την Αλπική φάση

3.1 Προκάμβριο – Πέρμιο

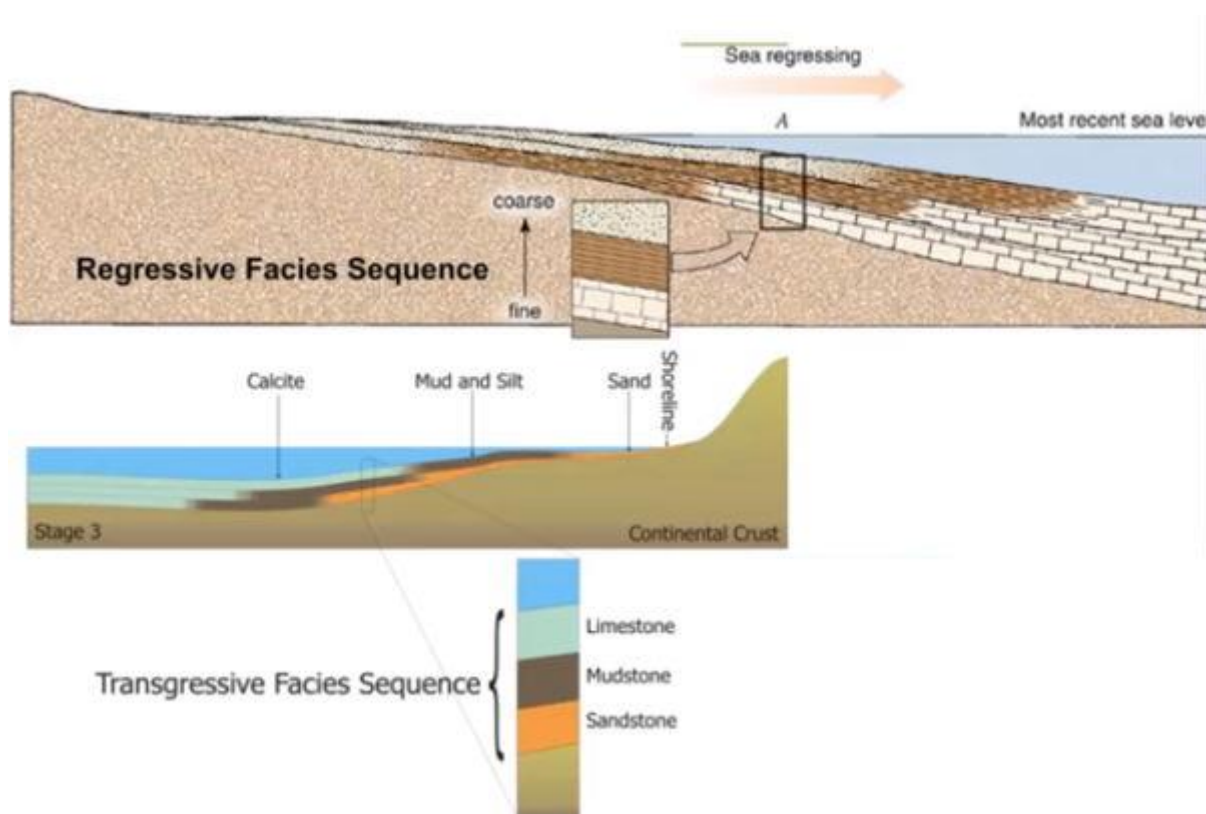
Η δράση του Καληδονικού ορογενούς (490-390 εκ. χρ.) οδήγησε στον σχηματισμό των κατώτερων οριζόντων του Κ. Παλαιοζωϊκού με ηφαιστειοκλαστικά και μεταμορφωμένα πετρώματα (Cameron 1993). Στο Δεβόνιο παρατηρούνται αλλουβιακές αποθέσεις (Ziegler 1990). Στις αρχές του Λιθανθρακοφόρου λαμβάνει χώρα εκτατική ρηξιγενής τεκτονική με σχηματισμό των τριών κύριων τεκτονικών κεράτων της Βόρειας Θάλασσας (Ringkobing, Fyn, MNS) τα οποία εσωκλείουν τις δύο μεγάλες τεκτονικές λεκάνες (Central Graben, Horn Graben) οι οποίες με τη σειρά τους δέχονται ιζήματα πάχους έως 4.000 μ. (Leeder 1987). Οι εκτατικές δυνάμεις μειώνουν την έντασή τους κατά το Μ.-Α. Λιθανθρακοφόρο σχηματίζοντας στο Βεστφάλιο τον ομώνυμο ανθρακοφόρο ορίζοντα λιγνίτη ο οποίος και αποτελεί μητρικό πέτρωμα για σχηματισμό βιογενούς αερίου στα νότια τμήματα της Βόρειας Θάλασσας (Guion 1988). Επίσης, κατά το Παλαιοζωϊκό (370-290 εκ. χρ.) λαμβάνει χώρα το Ερκύνιο ορογενές το οποίο ανυψώνει το νοτιότερο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας με ανάπτυξη οροσειρών που αργότερα θα τροφοδοτήσουν με ιζήματα τις λεκάνες.



Εικόνα 15: Τεκτονικές λεκάνες (Central Graben, Horn Graben) και τεκτονικά εξάρματα (Ringkøbing, Fyn, MNS)

3.2 Πέρμιο – Τριαδικό

Το Πέρμιο απαντάται σε ιζήματα όπως αιολικούς και ποτάμιους τουρβιδιτικούς σχηματισμούς πάχους 4.000 μ. (Camero 1993). Κατά την διάρκεια του Περμίου παρατηρήθηκε οπισθοχώρηση της θάλασσας και η επικράτηση της στεριάς. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ομαλή μετάβαση των ιζημάτων σε εβαποριτικά, ανθρακικά και αργιλικά πετρώματα (Glennie 1990). Οι παραπάνω λιθολογικές ενότητες παραμορφώνονται στο Τριαδικό λόγω ανύψωσης του υποβάθρου, δράση η οποία έθεσε πρόσφορο έδαφος για την δημιουργία δομών άλατος. Αρχές Τριαδικού εντοπίζονται ιζήματα άμμων και πηλινών, συνδυασμός κατάλληλος για να φιλοξενήσει φυσικό αέριο. Οι αποθέσεις του Μ.-Α. Τριαδικού χαρακτηρίζονται από δολομίτες με ανυδρίτη και αλίτη (Fisher 1990).



Εικόνα 16: Πακέτο διαφορετικών ιζηματογενών λιθολογιών που ακολουθούν της απόσυρσης της θάλασσας

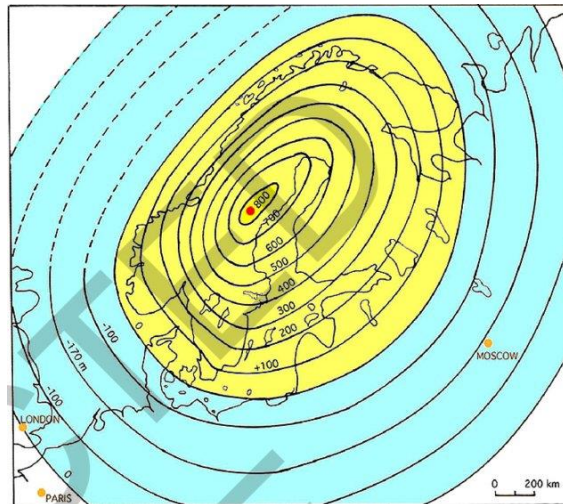
3.3 Ιουρασικό – Κρητιδικό

Η σημερινή ΒΒΔ – ΝΝΑ διάταξη της Βόρειας Θάλασσας αναπτύχθηκε κατά το Κ. Ιουρασικό όταν εκατικές δυνάμεις στον φλοιό δημιούργησαν κανονικά ρήγματα που συνετέλεσαν στην διάνοιξη της Κεντρικής τεκτονικής λεκάνης (Central Graben), η οποία καλύφθηκε από ιζήματα πάχους 2.000 μ. πλούσια σε οργανικό υλικό. Κατά το Μ. Ιουρασικό τοπικές ανυψώσεις εντός της λεκάνης διάβρωσαν πολλά από αυτά τα ιζήματα (Glennie 1990). Αυτές οι ανοδικές κινήσεις σταμάτησαν πυροδοτώντας εκ νέου καθίζηση της Κεντρικής λεκάνης από Α. Ιουρασικό έως Κ. Κρητιδικό (Herngreen 1987). Τέλος, τα πετρώματα του Ιουρασικού χαρακτηρίζονται από μετάβαση ιζημάτων ρηχής θάλασσας σε αργιλικούς σχιστόλιθους πλούσιους σε οργανικό υλικό

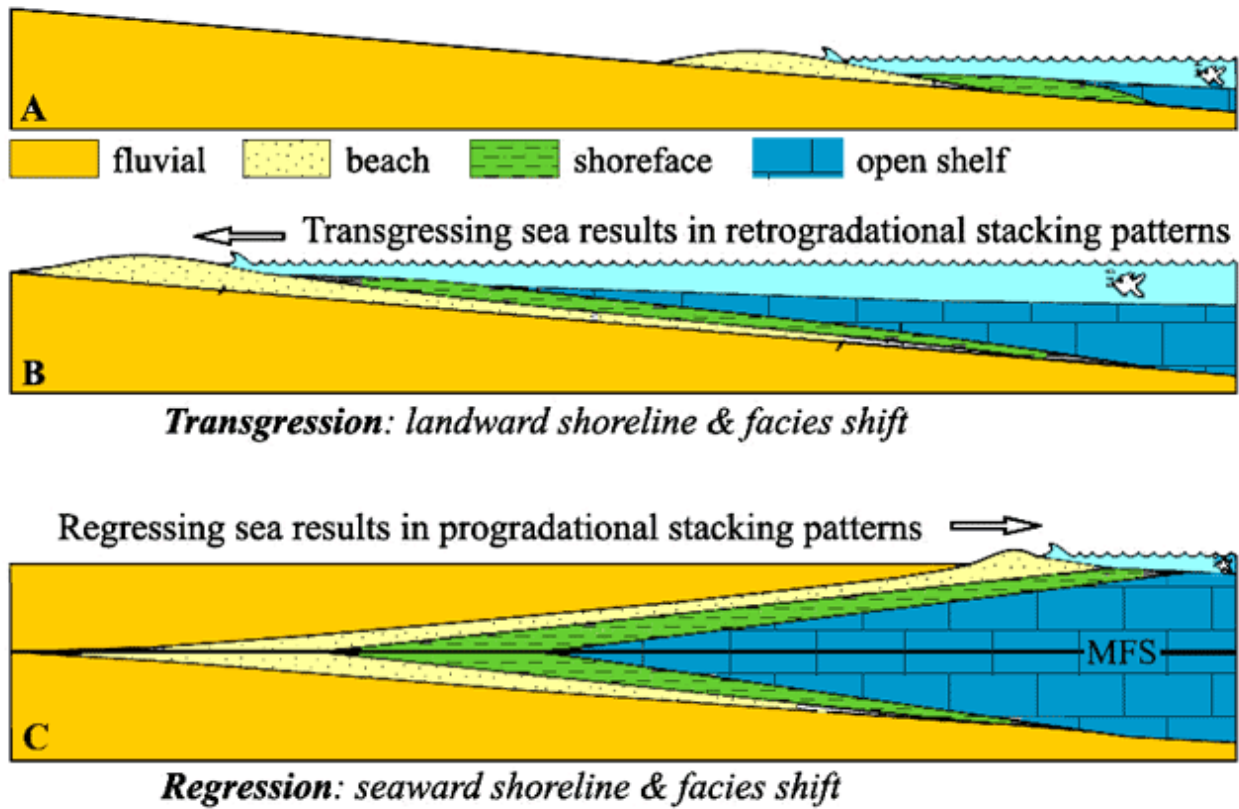
(Brown 1990). Στο Κ. Κρητιδικό έχουμε εμφανίσεις νηριτικών ασβεστολίθων και πηλινών. Στη συνέχεια του Μ. Κρητιδικού σταματά η εκτατική τεκτονική και κατ' επέκταση η θερμική ανισορροπία στο δυναμικό σύστημα αντισταθμίζεται από την εκ νέου υποχώρηση της λεκάνης. (Cameron 1993). Το τέλος του Κρητιδικού σηματοδοτείται από δράση συμπίεστικής ρηξιγενούς τεκτονικής που ενεργοποιεί το μεγάλο ρήγμα που περιβάλλει τη λεκάνη ανυψώνοντας τμήματα τα οποία υπόκεινται διάβρωση. Κατά αυτόν τον τρόπο εμπλουτίζεται η λεκάνη με ιζήματα λευκών κοκκόλιθων πλούσιων σε μαγνήσιο ύψους 1.500 μ. . Πάνω σε αυτούς τους σχηματισμούς επικάθονται ασύμφωνα άλλα ιζήματα του Παλαιογενούς, γεγονός που μαρτυρά την ραγδαία χέρσωση της περιοχής (Cameron 1993). Τέλος, ακολουθεί νέα καθίζηση της λεκάνης και τροφοδοσία της με θαλάσσια ιζήματα πάχους 1.000 μ. (Glennie 1990).

3.4 Παλαιόκαινο – Ολιγόκαινο

Αρχές Παλαιοκαίνου συμπίεστικές ΒΔ τάσεις και τοπικές ανυψώσεις δημιούργησαν πρόσφορο έδαφος για τη διείσδυση μανδυακού υλικού έως το σχηματισμό της νήσου της Ισλανδίας (Hills 2008). Παράλληλα, την ίδια χρονική περίοδο έλαβαν χώρα ηπειρωτικές κινήσεις της Σκανδιναβικής χερσονήσου με την κατακόρυφη ανύψωσή της να οδηγεί στην αποφόρτιση των επιφανειακών υδάτων στα νότια και νοτιοδυτικά (Gibbard 2014). Ωστόσο, κατά το Παλαιόκαινο η Σκανδιναβία δεν αποτελεί αποκλειστική πηγή τροφοδοσίας σε ιζήματα για το νότιο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας καθώς τοπικές ανυψώσεις της Β. Βρετανίας δημιούργησαν αποθέσεις 1.000 μ. . Στα τέλη Παλαιοκαίνου η εικόνα του νότιου τμήματος της Βόρειας Θάλασσας θυμίζει μια περιοχή χαμηλής αποφόρτισης ιζημάτων με αρκετά μέρη της Α. Αγγλίας κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Κατά το Ηώκαινο παρατηρείται νέα καθίζηση στη λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας λόγω θερμικών παραγόντων. Με κύριες αποθετικές περιοχές το Viking Graben και το Central Graben αποτεύθονται υλικά από Βόρεια και τα Δυτικά για το σχηματισμό του ορίζοντα London Clay ο οποίος έως το Μ. Μειόκαινο είχε διαβρωθεί και αντικατασταθεί από προ-δελταϊκές αποθέσεις (Knox 2010). Στα τέλη του Μειοκαίνου παρατηρείται υποχώρηση της θάλασσας σε περιβάλλον οπισθοτόξιας λεκάνης λόγω ανύψωσης της περιοχής. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στην αναστροφή στην ιζηματογένεση και κατ' επέκταση των γεωλογικών σχηματισμών (Gibbard 2014). Στο Ολιγόκαινο περιθωριακές λεκάνες στα δυτικά και βορειοανατολικά ανυψώνονται με ομαλό ρυθμό διατηρώντας τις ήρεμες συνθήκες ιζηματογένεσης και ταυτόχρονα την τροφοδοσία σε υλικό. Παράλληλα, η ανοδική πορεία της Σκανδιναβικής ασπίδας και η δράση ανάστροφων ρηγμάτων ανύψωσαν περεταίρω το νότιο τμήμα της Βόρειας Θάλασσας. Αποτέλεσμα των παραπάνω τεκτονικών κινήσεων είναι η προοδευτική επικράτηση της χέρσου από ανατολικά προς τα δυτικά και η ανάπτυξη αντίστοιχων ιζηματογενών ακολουθιών (σιγμοειδείς αποθέσεις) (Gibbard 2014) όπως επίσης και ανάστροφων ρηγμάτων (δομές παγίδευσης). Τέλος, επισημαίνεται ότι η έντονη αλλαγή στη γεωμορφολογία οφείλεται σε παγετώδη γεγονότα που επηρέασαν τόσο ισοστατικά τις περιοχές, όσο και τη διακύμανση της στάθμης του νερού.



Εικόνα 17: Ανοδική κίνηση της Σκανδιναβικής ασπίδας και το επίκεντρό της

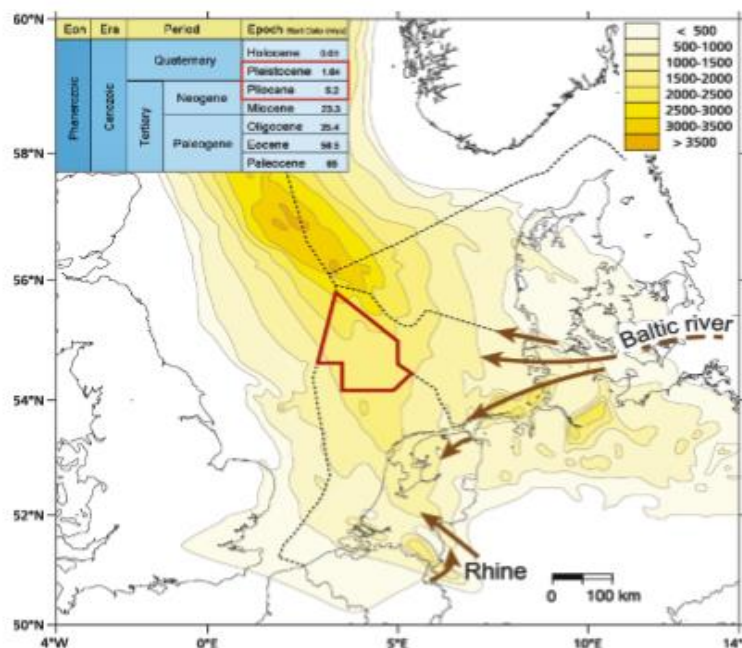


After Catuneanu (2002)

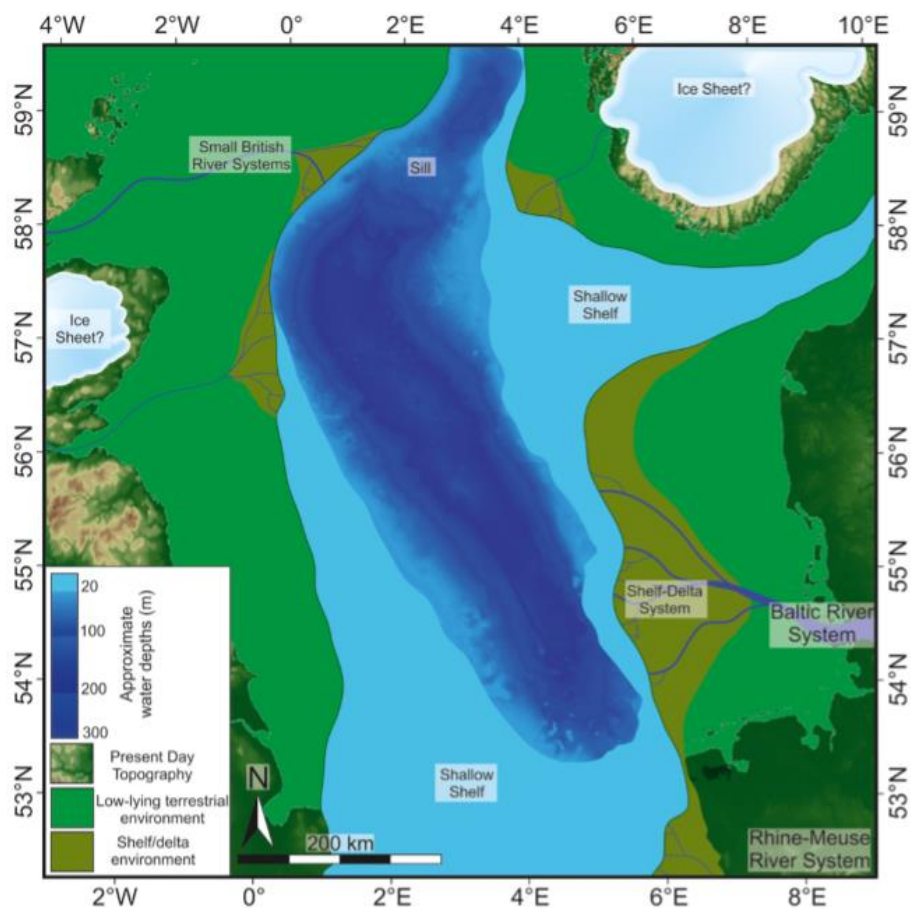
Εικόνα 18: Ανάστροφη ιζηματογένεση λόγω απόσυρσης της θάλασσας

3.5 Μειόκαινο – Πλειστόκαινο

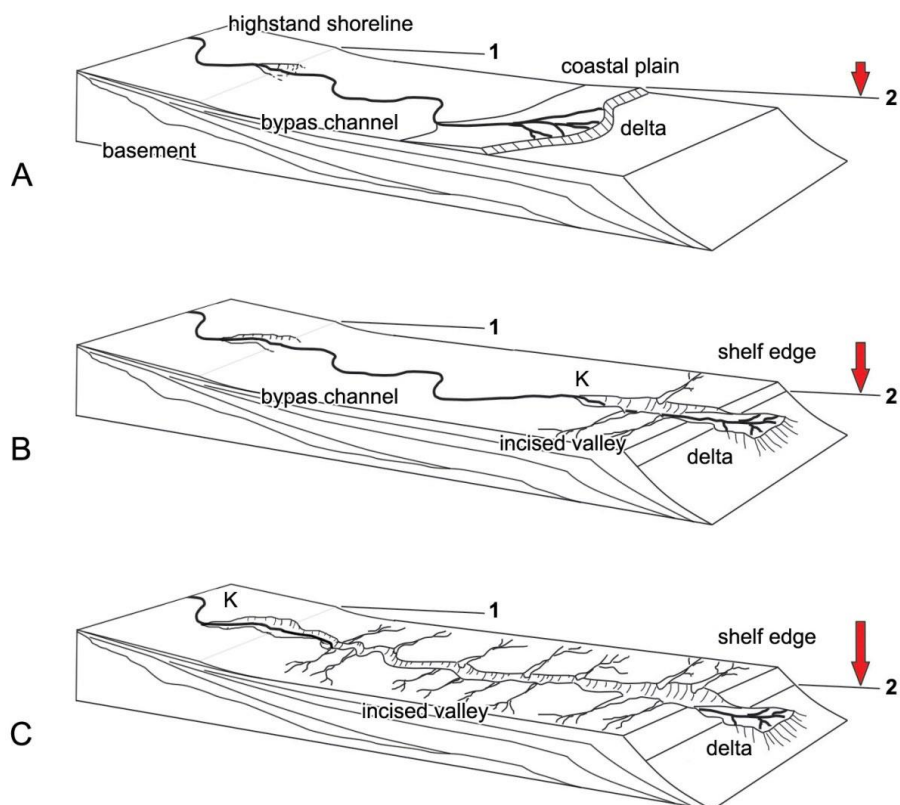
Η πλήρης ανάπτυξη του Ηριδανού ποταμού εξελίσσεται στο Νεογενές τροφοδοτώντας με υλικό από ανατολικά και βόρεια. Σε αυτή τη χρονική περίοδο επικρατούν μαιανδρικά ποτάμια συστήματα τα οποία αποθέτουν άμμους, αργίλους, χάλικες, κροκάλες και λάτυπες με παρουσία οργανικού υλικού (Gibbard). Τέλη Μειοκαίνου η απότομη ανύψωση της Σκανδιναβικής ασπίδας αλλάζει τη γεωμορφολογία και η δράση του Ηριδανού γίνεται ποταμοχειμάρια αυξάνοντας την παροχή σε ιζήματα νοτιοανατολικά της Βόρειας Θάλασσας. Κατά τη μετάβαση στο Πλειόκαινο και έως το τέλος του λόγω έντονων συνθηκών τόσο στη διάβρωση όσο και στην ιζηματογένεση παρατηρείται επικράτηση της χέρσου με οπισθοχώρηση της θάλασσας στον Ολλανδικό χώρο (Jarsen 2007). Η ανοδική κίνηση της Νορβηγίας υπολογίζεται στα 2.000 μ. κατά το Νεογενές. Οι έντονες ηπειρογενετικές κινήσεις είχαν αντίκτυπο και σε μικρότερη κλίμακα δημιουργώντας βαθιές χαραδρώσεις στη χέρσο που έφταναν τα 300 μ. . Η ποταμοχειμάρια δράση του Ηρίδανου ποταμού συνεχίζεται έως το Α. Μειόκαινο με την συνεχή χέρσευση τμημάτων της βορειοδυτικής Ευρώπης προς τα δυτικά (Gibbard 2014). Αρχές Πλειοκαίνου λαμβάνει χώρα καθίζηση της λεκάνης με ταυτόχρονη άνοδο της στάθμης των νερών και υποχώρηση της χέρσου στα νότια. Η ισορροπία στο σύστημα δράσης των όμβριων υδάτων επέρχεται με την μετατροπή της μορφολογίας των κλάδων του ποταμού σε πλεξοειδή και αναστομόμενη. Τα παραπάνω συνετέλεσαν στην απόθεση χαλαζιακών άμμων και χαλίκων κατά το Μειόκαινο. Με αυτόν τον τρόπο συνέχισε να εξαπλώνεται το δέλτα του Ηριδανού ποταμού προς τα δυτικά και τα βορειοδυτικά έως και τις αρχές του Πλειστοκαίνου (Overeem 2001). Παράλληλα και ίσως κυρίαρχα στο δυναμικό αυτό μοντέλο με τα γεωτεκτονικά φαινόμενα που έχουν αναφερθεί λαμβάνει χώρα η Πλειοκαινική – Πλειστοκαινική περίοδος των παγετώνων. Η δράση αυτή αύξησε την ένταση της διάβρωσης καθώς και την εμφάνιση των κλάδων του ποταμού. Στα μέσα Πλειστοκαίνου καθοριστικό ρόλο έλαβε η δράση του Ρήνου με τις δελταϊκές του αποθέσεις να καλύπτουν μεγάλο μέρος νοτίως της Βόρειας Θάλασσας. Αποτέλεσμα της αποθετικής δράσης του Ρήνου ήταν η δημιουργία φυσικού φράγματος που απέκοπτε τη ροή προς τη λεκάνη (Gibbard 2014). Τέλος, έως το πέρας το Πλειστοκαίνου ο ποταμός Ηριδανός είχε σταματήσει να τροφοδοτείται από την Σκανδιναβική ασπίδα, παρόλο που η ανυψωτική της κίνηση συνεχίζεται μέχρι σήμερα.



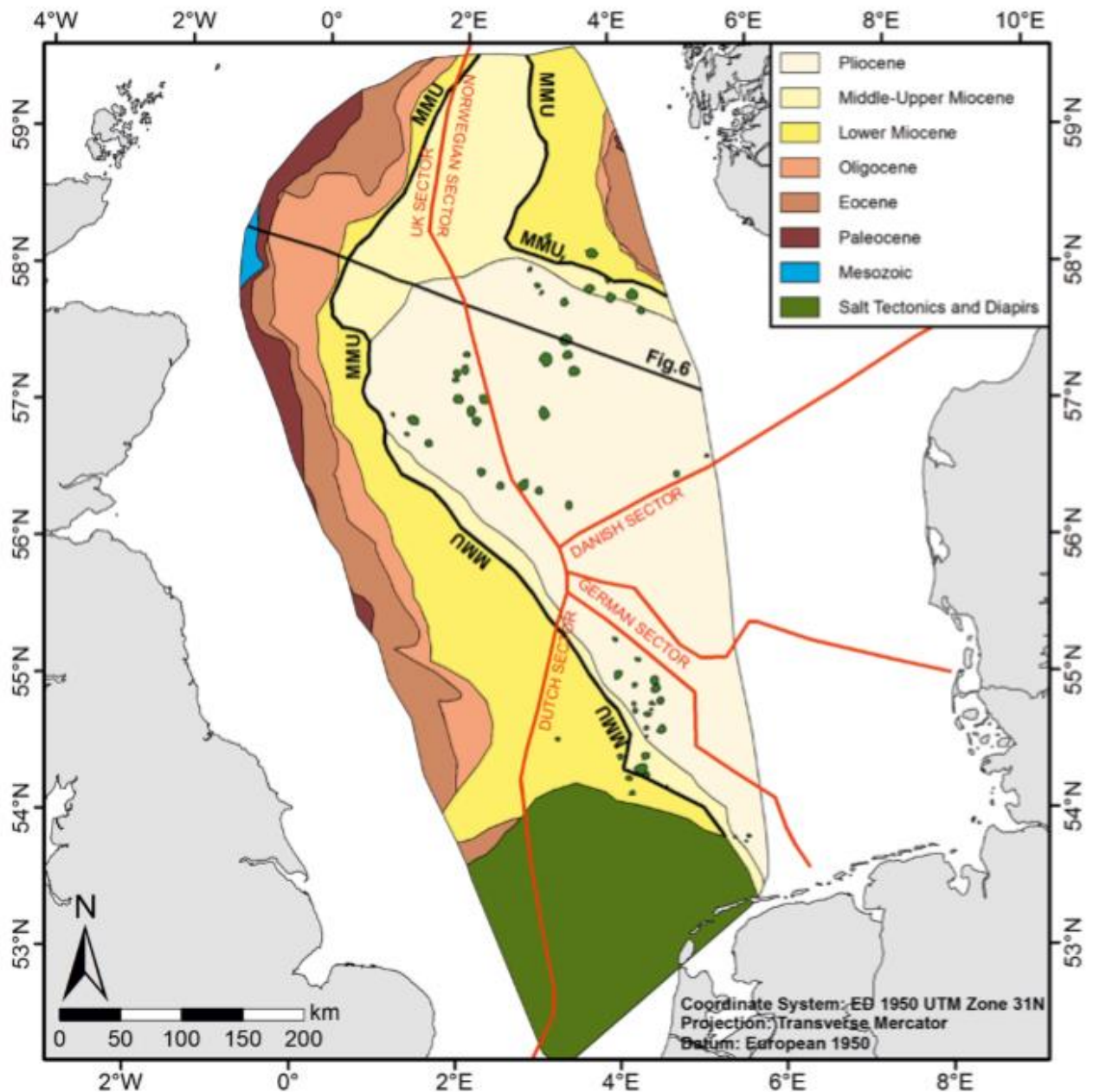
Εικόνα 19: Πλειοκαινική - Πλειστοκαινική διαβρωτική και αποθετική δράση του Ηριδανού και του Ρήνου ποταμού



Εικόνα 20: Παλαιογεωγραφική απεικόνιση της Βόρειας Θάλασσας πριν από 2.58 εκ. χρόνια



Εικόνα 21: Προοδευτική εμβάθυνση του ποτάμιου συστήματος και ανάπτυξη του δέλτα στην παγετώδη περίοδο

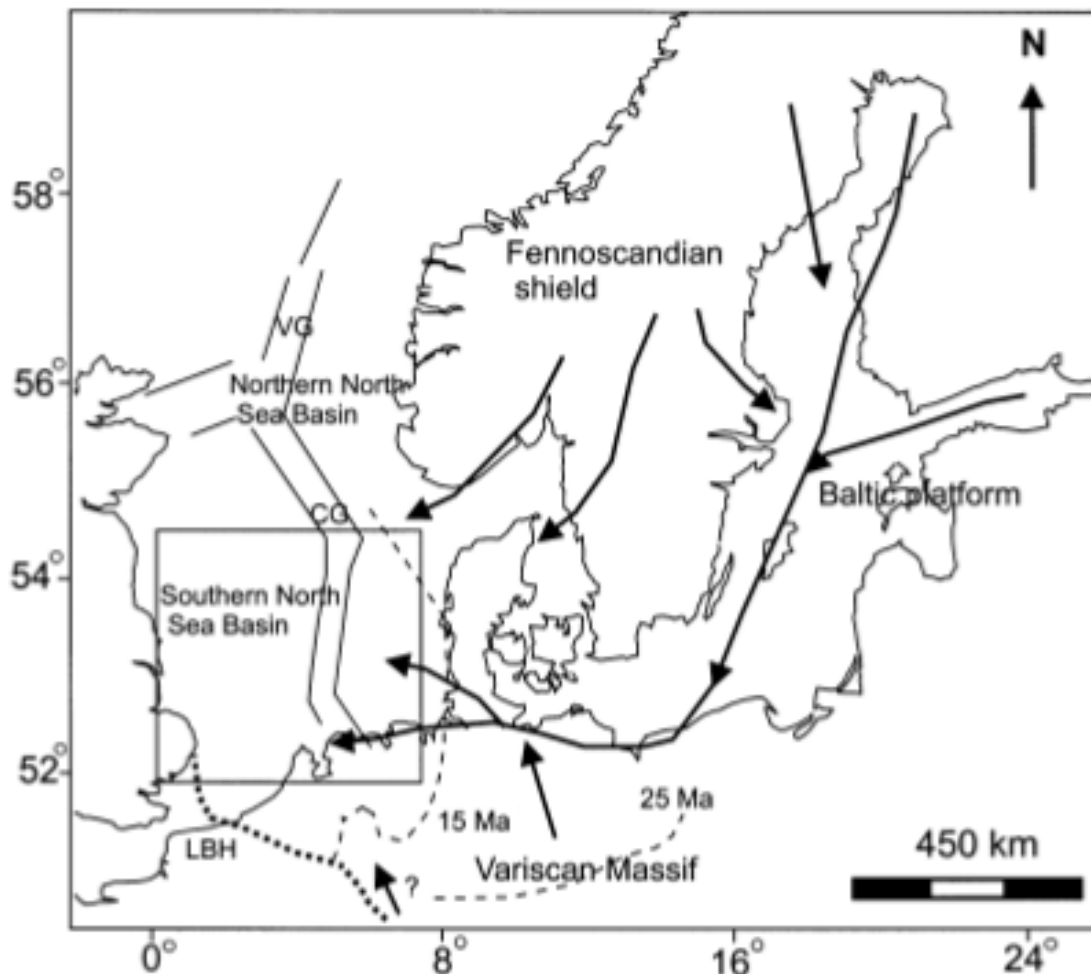


Εικόνα 22: Τεταρτογενής χάρτης της Βόρειας Θάλασσας

4.0 Η δράση του ποτάμιου συστήματος του Ηριδανού

Το δελταϊκό σύστημα του Ηριδανού αναπτύχθηκε στα τέλη του Καινοζωϊκού αποξηραίνοντας κυρίως την βορειοδυτική Ευρώπη λόγω ανύψωσης της Σκανδιναβικής ασπίδας, μια κίνηση που πυροδότησε την καθίζηση της λεκάνης της Βόρειας Θάλασσας. Η δράση του Ηριδανού υπολογίζεται πως:

- απέθεσε ιζήματα $62 \cdot 10^3$ κβ.χλμ. στα νότια της Βόρειας Θάλασσας
- είχε έκταση (το δέλτα) $28 \cdot 10^3$ τ.χλμ.
- και αποξήρανε περιοχή έκτασης $1.1 \cdot 10^6$ τ.χλμ.



Εικόνα 23: Πηγές τροφοδοσίας σε υλικό της Βόρειας Θάλασσας

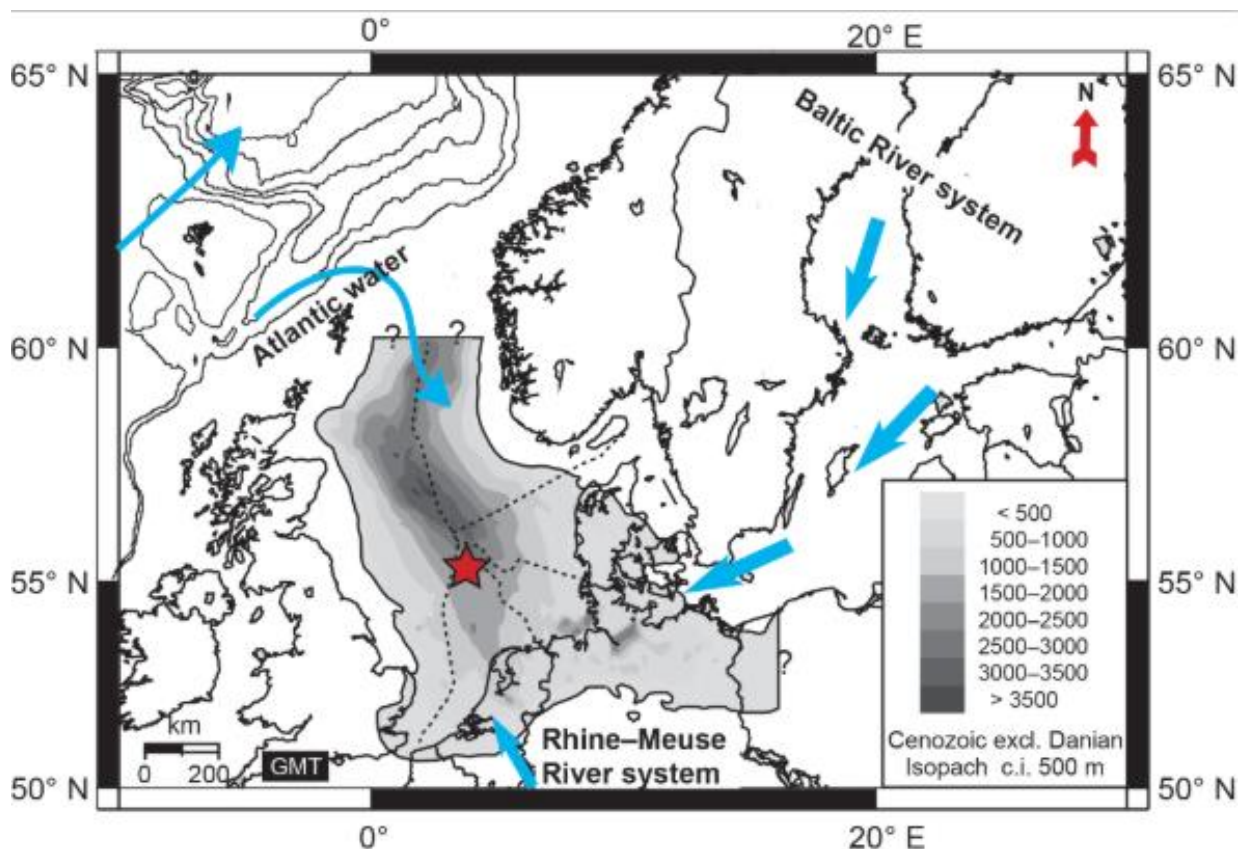
Λόγω της αποθετικής δράσης του Ηριδανού φαίνεται το βάθος της λεκάνης της Βόρειας Θάλασσας να μειώνεται, ωστόσο για το διάστημα μεταξύ 6.5 και 4.5 εκ. χρ. δείχνουν να βυθίζεται λόγω της συνεχούς ανύψωσης της Σκανδιναβικής ασπίδας η οποία προκαλεί ισοστατικές ανισορροπίες οι οποίες, εξομαλύνονται με τη σειρά τους υποχωρώντας το νότιο τμήμα της λεκάνης. Οι συνθήκες που επικρατούσαν την περίοδο ανάπτυξης του ποταμού ήταν σχετικά θερμές με αρκετή υγρασία δηλαδή, ήπιες κλιματικές συνθήκες. Η μεταφορική ικανότητα του Ηριδανού ποταμού όπως επίσης και η παροχή του σε υλικό δημιούργησαν στην εκβολή του ένα αλλουβιακό τοξοειδές δέλτα (lobate). Ωστόσο, κατά το Πλειόκαινο δύο κατακόρυφες πτώσεις της στάθμης της θάλασσας κατέστρεψαν την μορφή του δέλτα. Στη συνέχεια του Πλειοκαίνου αλλαγές στο ύψος της στάθμης της θάλασσας και του κλίματος έλαβαν χώρα καθώς μετέβαινε η παγετώδης – περιπαγετώδης περίοδος. Παράλληλα, σε παγετώδη συνθήκες παρατηρήθηκαν μέγιστος βαθμός ιζηματογένεσης και αύξηση των κλάδων του ποτάμιου συστήματος.

Κατά το τέλος του Καινοζωϊκού η λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας καλύφθηκε από αλλουβιακά ιζήματα. Εμφανίσεις βιογενούς αερίου σε υπολεκάνες με δελταϊκούς σχηματισμούς ηλικίας Μειοκαίνου, Πλειοκαίνου και Πλειστοκαίνου μαρτυρούν υψηλά ποσοστά πιθανότητας για ανεύρεση υδρογονανθράκων (Soresnen 1997). Η στρωματογραφική δομή της λεκάνης αποδείχθηκε ότι οφείλεται κυρίως στην παροχή ιζημάτων παρά στον χώρο απόθεσης (Jervøy 1988). Η διαφοροποίηση στην παροχή ιζημάτων φαίνεται να ελέγχεται από αλλαγές στο ρυθμό ανύψωσης της ασπίδας, το κλίμα και τον βαθμό εξομάλυνσης της γεωμορφολογίας της περιοχής. Απ' την άλλη πλευρά ο αποθετικός χώρος (accommodation) ρυθμίζεται από συνδυασμό

παραγόντων όπως, της τεκτονικής, της ισοστασίας και του ρυθμού της θερμικής καθίζησης της λεκάνης.

4.1 Τεκτονική

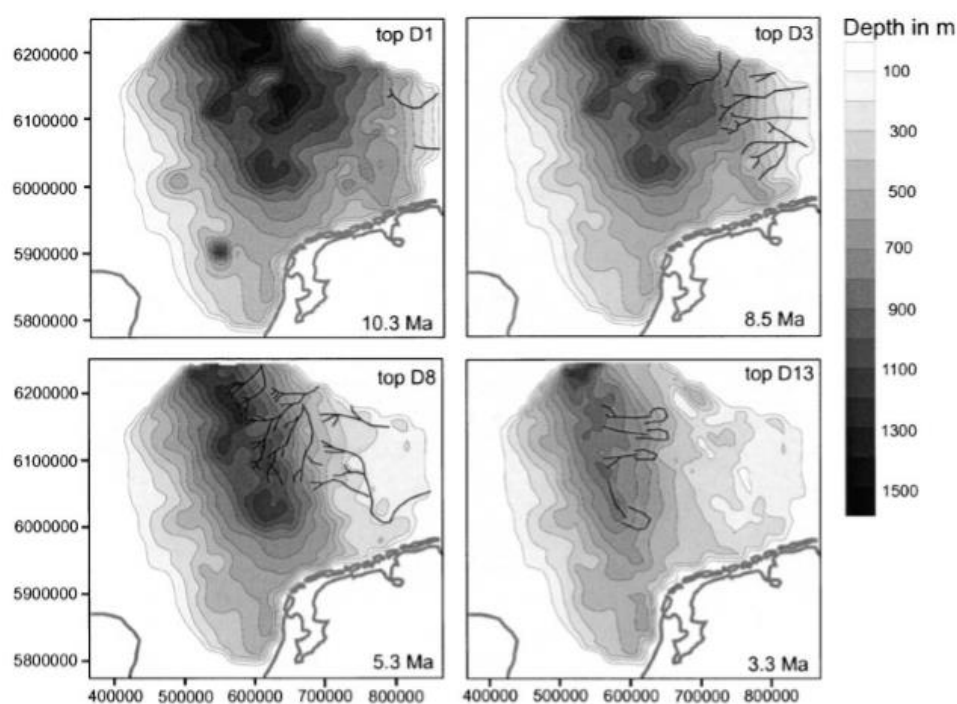
Η ανάπτυξη του Ηριδανού ποταμού αποδίδεται στην οριζόντια κίνηση της Σκανδιναβικής ασπίδας κατά το Νεογενές, η οποία ενεργοποίησε την καθίζηση της λεκάνης της Βόρειας Θάλασσας. Η ανοδική αυτή κίνηση ξεκίνησε στο Ολιγόκαινο (Rohrham 1995). Θεωρείται ότι ο ρυθμός της αυξήθηκε τόσο στο Μειόκαινο (Sales 1992) όσο και στο Κ. Πλειόκαινο (Ghazi 1992). Η μεταβολή στο ύψος λόγω της ηπειρογενετικής κίνησης υπολογίζεται στα 3.000 μ. στη Βόρεια Νορβηγία και στα 4.000 – 4.500 μ. στα νότια (Riis 1992). Ωστόσο, οι ισοστατικές κινήσεις λόγω παγετώνων πιθανολογείται πως συμβάλλουν από 12.6 εκ. χρ. πριν (Riis 1992). Στα τέλη του Τριτογενούς οι λεκάνες της Βόρειας Θάλασσας και της Ανατολικής Γερμανίας – Πολωνίας συνέθεταν την βορειοδυτική Ευρωπαϊκή λεκάνη (Bijlsma 1981). Η λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας εκτεινόταν τόσο στο θαλάσσιο όσο και στο ηπειρωτικό τμήμα της Ολλανδίας, της Γερμανίας και της Δανίας. Στα νότια της λεκάνης τοποθετείται το τεκτονικό κέρας London – Brabant το οποίο, απέκοπτε την λεκάνη της Βόρειας Θάλασσας από τον Ατλαντικό ωκεανό, αν και κατά περιόδους ενώνονταν μέσω αγγλικών καναλιών (Wood et al 1993). Παρόλο που αρχές Τριτογενούς η καθίζηση του νότιου τμήματος της λεκάνης ήταν σχετικά αργή εξελίχθηκε με αριθμητική πρόοδο στο Νεογενές (Kool et al 1989).



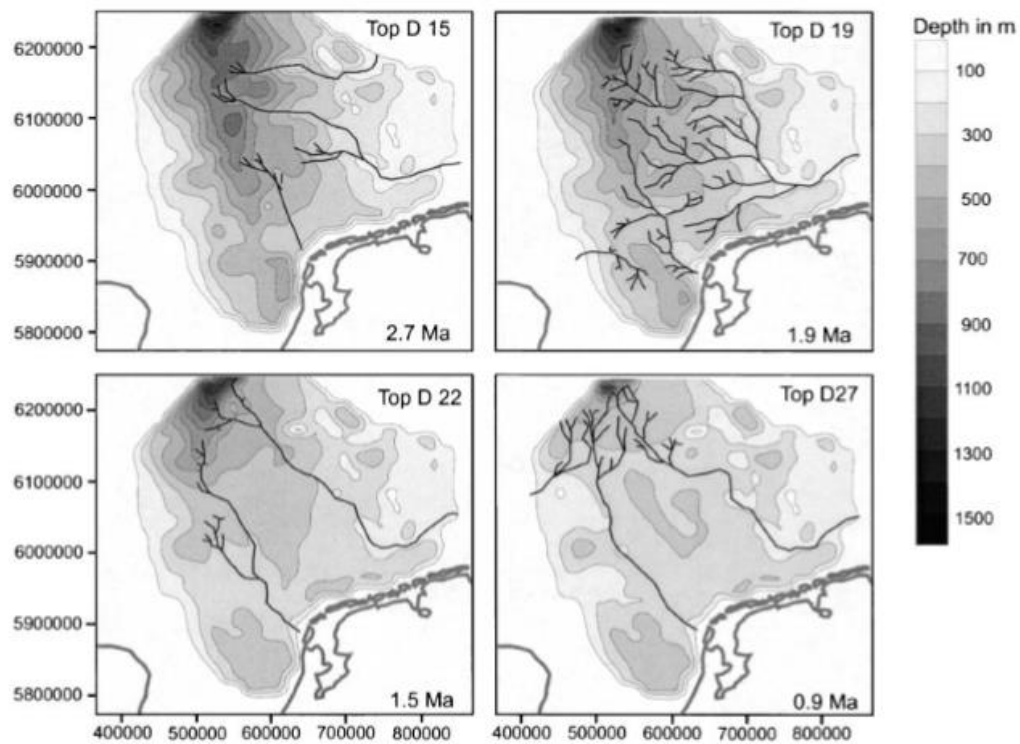
Εικόνα 24: Παροχή σε υλικό στη Βόρεια Θάλασσα σε σχέση με το οικόπεδο F3 (κόκκινο αστέρι)

4.2 Μορφολογική ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου του δέλτα

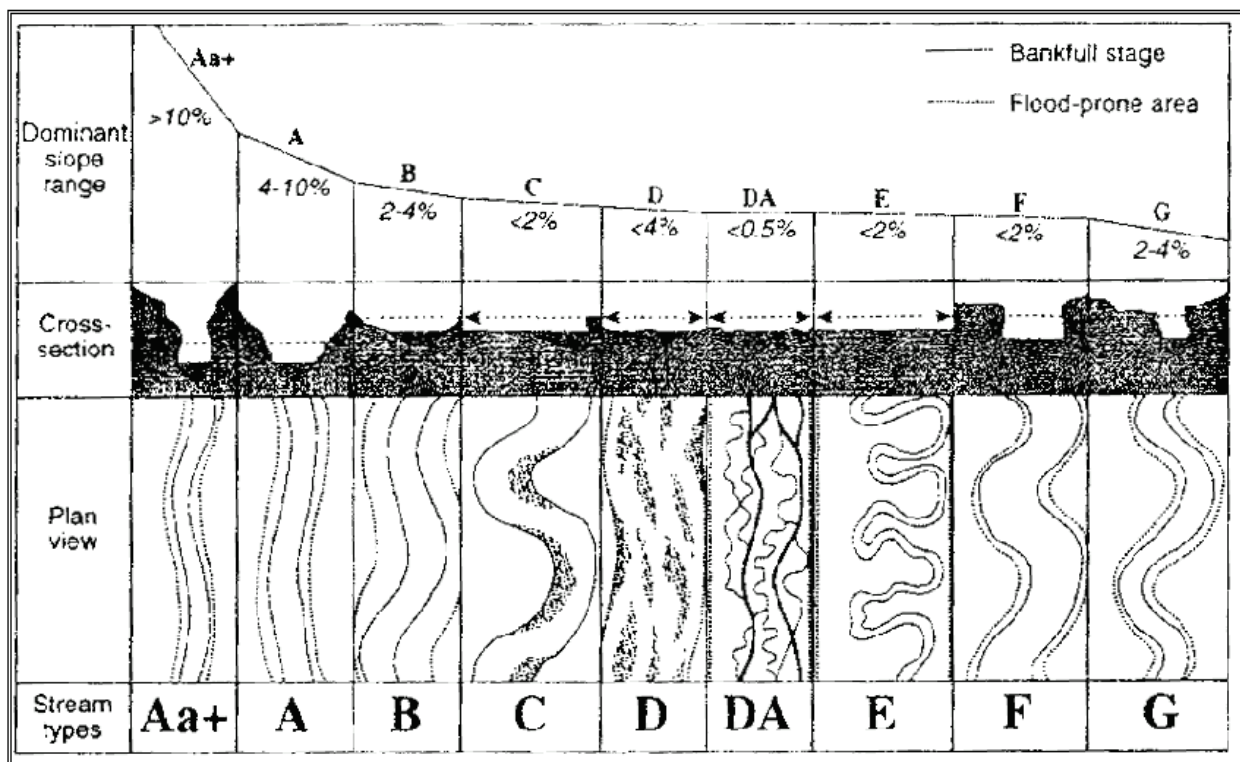
Παλαιογεωγραφικοί χάρτες μας δείχνουν την σταδιακή μετατόπιση των αποθετικών χώρων. Στις αρχές του Μειοκαίνου η πελματώδης μορφή του δέλτα τοποθετείται στη Γερμανία και τη Δανία με διεύθυνση Βορρά – Νότου. Πιθανότατα αποτελούταν από δυό κλάδους οι οποίοι δρούσαν ως μια πηγή. Παράλληλα, παρατηρούνται και κανάλια της Β. Γερμανίας που δεν είναι ξεκάθαρο εάν ήταν κλάδοι του Ηριδανού ή δρούσαν μεμονωμένα. Παρόλα ταύτα ο αποθετικός χώρος του ποταμού περιορίζεται μεταξύ μετώπου και του προ-δέλτα. Σε αυτή τη χρονική περίοδο οι κλάδοι είχαν ευθυτενή μορφή κι έφταναν έως τρίτης κλάσης από ταξινομικής άποψης σύμφωνα με Α. Horton. Αυτές οι μορφολογικές περιγραφές δηλώνουν απότομες κλίσεις του προδέλτα και υψηλή ενέργεια δράσης των κυμάτων της θάλασσας. Μέχρι το χρονικό όριο μεταξύ Μειοκαίνου – Πλειοκαίνου έχουμε δεξιόστροφη μετατόπιση του αποθετικού χώρου, δυτική ανάπτυξη λόγω απόθεσης ιζημάτων και μεταβολή στο ύψος της θάλασσας. Η προοδευτική ιζηματογένεση προς την Δύση σχημάτισε στις αρχές Πλειοκαίνου την πρώιμη τοξοειδή μορφή του δέλτα. Εξαγόμενα στοιχεία από αυτή τη μορφολογία του είναι αφενός ότι έχει περιοριστεί η κλίση του προ-δέλτα (slope) και αφετέρου πως η δράση των κυμάτων είναι μικρότερη. Το Α. Πλειόκαινο χαρακτηρίζεται από μεγάλη διαβρωτική δράση και αλλαγές στη γεωμετρία του δέλτα με ταυτόχρονη πτώση της στάθμης της θάλασσας που συνεπάγεται αναστροφή στην ιζηματογένεση. Η χρονική περίοδος μεταξύ Α. Πλειόκαινο – Κ. Πλειστοκαίνου σηματοδοτείται από την επαναφορά στην αρχική γεωμετρία Βορρά – Νότου του μετώπου του δέλτα και την αντίστοιχη εξάπλωση των ιζημάτων. Σε συνέχεια του Κ. Πλειστοκαίνου παρατηρούνται τόσο, έντονες αλλαγές στην μορφολογία όσο, και στο πάχος των ιζημάτων επειδή ανυψώθηκε η στάθμη της θάλασσας. Παράλληλα, η επιπρόσθετη παροχή σε υλικό από Βρετανικά κανάλια εξηγούν την προοδευτική χέρσευση προς Βόρεια και Δυτικά. Τα παραπάνω φαινόμενα συνετέλεσαν ώστε η δράση του Ηριδανού να περιορίζεται σε δύο κύρια κανάλια των οποίων οι κλάδοι έχουν μικρότερο μήκος απ' ότι στις προηγούμενες χρονικές περιόδους.



Εικόνα 25: Μορφολογική εξέλιξη του δέλτα του Ηριδανού κατά τα τέλη Μειοκαίνου έως τα μέσα Πλειοκαίνου



Εικόνα 26: Μορφολογική εξέλιξη του δέλτα του Ηριδανού κατά τα τέλη του Πλειοκαίνου έως τα τέλη του Πλειστοκαίνου



Εικόνα 27: Η μορφολογία του ποτάμιου συστήματος του Ηριδανού κατά την περίοδο δράσης του κυμαίνονταν από τον τύπο Aa+ έως D

5.0 Θαλάσσιο Ολλανδικό οικόπεδο F3

Η υπό ανάλυσης περιοχή τοποθετείται γεωγραφικά νοτίως της Βόρειας Θάλασσας με έκταση 386 τ. χλμ. και συντεταγμένες B: 54° 52' 0.86" A: 4° 48' 47.07" των οποίων δικαιώματα ερευνών και εκμετάλλευσης φέρει το Ολλανδικό κράτος και πιο συγκεκριμένα το υπουργείο οικονομικών και κλιματικών θεμάτων.

Το πεδίο σαρώθηκε από τριών διαστάσεων σεισμικά κύματα με στόχο τον εντοπισμό υδρογονανθράκων σε ιζηματογενείς σχηματισμούς του Α. Ιουρασικού – Κ. Κρητιδικού. Τα στρώματα αυτά τοποθετούνται κάτω από την απεικόνιση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία και τα οποία αποτελούν συνοδευτικά του ελεύθερου και ανοικτού κώδικα λογισμικού προγράμματος OpendTect by dGB Earth Sciences. Τα άνω 1200 ms παραπέμπουν σε χρόνους ανάκλασης των σεισμικών κυμάτων τα οποία, αντιστοιχούν σε Μειοκαινικά, Πλειοκαινικά και Πλειστοκαινικά στρώματα. Η αναπαράσταση των σεισμικών καταδεικνύουν ευδιάκριτα τη σιγμοειδή στρωμάτωση από την δράση του φλουβιοδελταϊκού συστήματος του Ηριδανού ποταμού ή αλλιώς της Βαλτικής. Το δελταϊκό σύμπλεγμα αποτελείται από άμμους υψηλού πορώδους (20-30%). Επίσης, σε αρκετά σημεία εμφανίζονται και ανθρακικοί νηριτικοί σχηματισμοί. Ωστόσο, κρίσιμης σημασίας στη διαδικασία ταυτοποίησης σχηματισμών αποτελεί η τεκτονική με μορφολογίες και σώματα onlap, toplap, downlap και δομές αποκόλλησης. Παράλληλα, φωτεινά λευκά σημεία στην απεικόνιση μαρτυρούν τοπικές εμφανίσεις βιογενούς αερίου, φαινόμενο σύνηθες στα νότια της Βόρειας Θάλασσας. Από την αναπαράσταση μπορούμε να διακρίνουμε τα εξής στοιχεία: διαφανή, γραμμικά και χαοτικά. Οι γεωτρήσεις που πραγματοποιήθηκαν αντιστοιχίζουν τα διαφανή στρώματα σε ομοιόμορφη λιθολογία άμμων ή σχιστολίθων. Τα χαοτικά πακέτα πιθανόν να αντιστοιχούν σε μαζώδεις ex situ αποθέσεις. Οι ζωνώσεις στην βάση των κεκλιμένων δομών δείχνουν ότι αποτελούνται από αμμώδεις τουρβιδίτες. Τέλος, επειδή τα δεδομένα του F3 τεμάχους ήταν αρκετά θορυβώδη για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν μαθηματικοί αλγόριθμοι για το καλιμπράρισμά τους. Στην αναπαράσταση απεικονίζονται τέσσερα "πηγάδια" κάθετες γεωτρήσεις στις οποίες εκτελέστηκαν οι μέθοδοι, ηχητικής ανάκλασης και ακτινών γ και μόνο στις γεωτρήσεις F 2-1 και F 3-2 εκτελέστηκαν μετρήσεις πυκνότητας. Σε όλες τις περιπτώσεις η πυκνότητα συνδέεται με το πορώδες που υπολογίζεται από τον τύπο $\text{πορώδες} = (2.65 - \text{πυκνότητα}) / (2.65 - 1.05)$

6.0 Διαδικασία ταυτοποίησης χαρακτηριστικών δομών

Αφού εφαρμοστούν οι μαθηματικοί κώδικες ή αλλιώς φίλτρα, η υπεδάφια εικόνα είναι αρκετά ξεκάθαρη κι ένας έμπειρος γεωεπιστήμονας μπορεί να αναγνωρίσει τις κρίσιμες δομές για περεταίρω ανάλυση. Ωστόσο, για την μείωση του ποσοστού διακινδύνευσης ακολουθείται πλέον μια νέα διαδικασία επιβεβαίωσης της ταυτοποίησης των δομών με την μεταξύ τους συγκριτική μέθοδο με την αξιοποίηση λογισμικών προγραμμάτων όπως το Smart Vision AI από Future Smart Solutions. Έτσι, εφόσον έχουν εντοπισθεί δομές οδηγοί, δηλώνονται παράμετροι και εύρη για σάρωση και διάκριση κι άλλων παρόμοιων μορφολογιών. Συγκεκριμένα, εντοπίζονται οι παρακάτω χαρακτηριστικές δομές οι οποίες θέτονται ως πρότυπα.

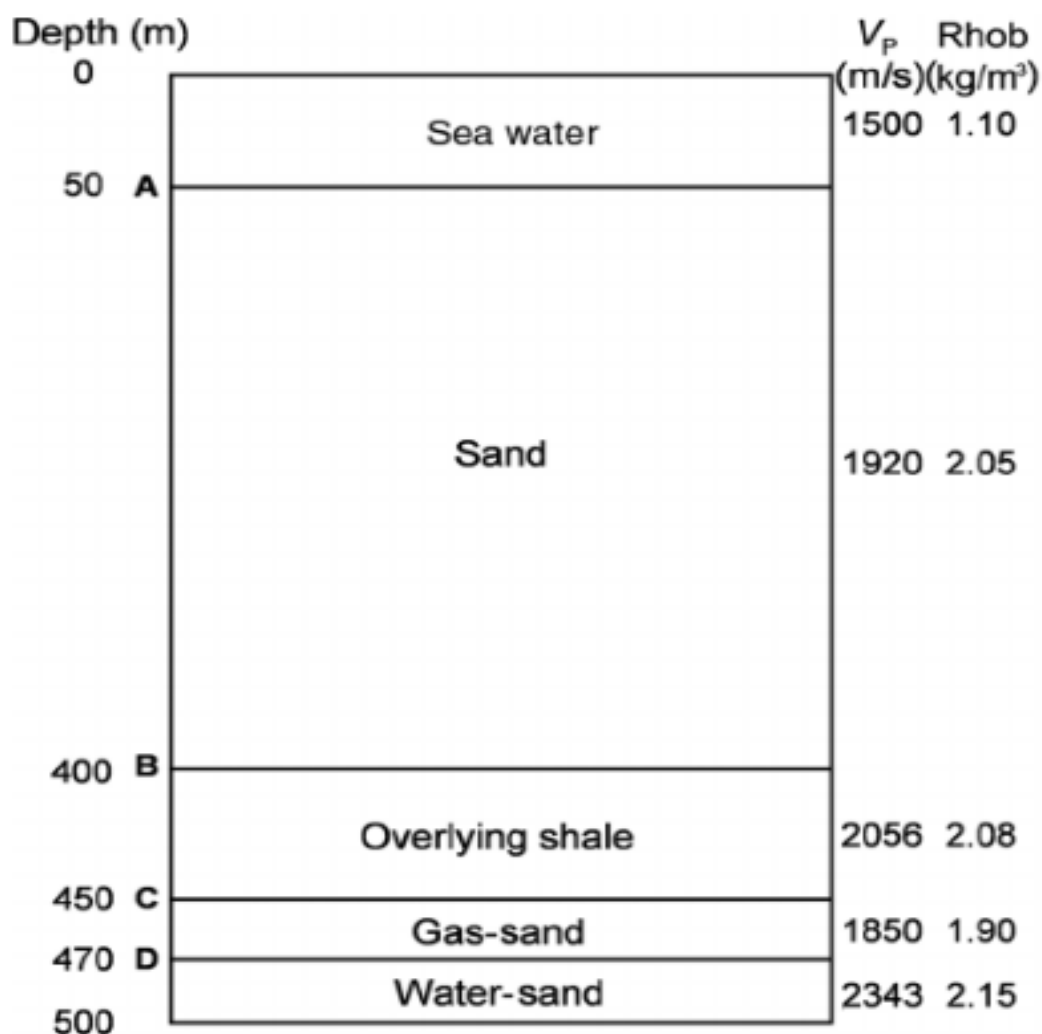
- Σιγμοειδείς αποθέσεις (onlap, toplap, downlap)
- Ρήγματα (κανονικά και ανάστροφα)
- Πτυχώσεις
- Δομοί άλατος / διάπυρα υλικά
- Χαοτικά πακέτα (ex situ αποθέσεις)
- Εμφανίσεις βιογενούς αερίου (Bright spot)

Στην έρευνα κι εκμετάλλευση υδρογονανθράκων γίνεται ευρεία χρήση των DHI (direct hydrocarbon indicators) δηλαδή των δεικτών υδρογονανθράκων. Πρόκειται για ένα είδος ανώμαλης διακύμανσης των πλατών των σεισμικών κυμάτων. Η αλλαγή στα πλάτη των κυμάτων οφείλεται κατά κύριο λόγο στην διαφοροποίηση των υλικών που πληρώνουν τους πόρους των πετρωμάτων. Έτσι, διακρίνονται τόσο τα ρευστά μεταξύ τους όσο και από τα αέρια.

Η ακουστική αντίσταση των σχηματισμών καθορίζεται από την πυκνότητά τους και κατ' επέκταση αναγνωρίζονται από την ταχύτητα των Ρ-κυμάτων. Δεδομένου ότι οι γεωλογικοί σχηματισμοί εμφανίζουν σχετικά σταθερές τιμές αντίστασης με μικρά εύρη αλλά κι αυτό κατά περίπτωση, έντονες διακυμάνσεις σε πορώδεις σχηματισμούς μαρτυρούν διαφορετικά υλικά που γεμίζουν αυτά τα κενά. Όταν αέριο καλύπτει τους πόρους παρατηρείται μείωση της ταχύτητας των Ρ-κυμάτων ενώ η αντίστοιχη των S-κυμάτων παραμένει ανεπηρέαστη με αποτέλεσμα να αλλάζει ο συντελεστής ανάκλασης στο πυθμαίο και ακρότατο σημείο του ρεζερβουάρ. Οι ψαμμίτες σε σύγκριση με τους σχιστολίθους εμφανίζουν μεγαλύτερη αντίσταση ωστόσο, οι ένυδροι ψαμμίτες μπορούν να συμπεριφέρονται σαν σχιστόλιθοι στην απεικόνιση των πλατών των σεισμικών κυμάτων καθώς εμφανίζουν παρόμοιες τιμές στην αντίσταση. Οι πετρελαιοφόρες άμμοι χαρακτηρίζονται από μειωμένη αντίσταση σε σύγκριση με τις αντίστοιχες ένυδρες και τους σχιστολίθους. Επίσης, οι άμμοι των οποίων οι πόροι καλύπτονται από αέρια παρουσιάζουν μικρότερη αντίσταση από τις πετρελαιοφόρες άμμους. Επιπροσθέτως, η παρουσία τόσο του νερού όσο και των αερίων μειώνουν την ταχύτητα των Ρ-κυμάτων. Τέλος, η διαφορά στην αντίσταση τείνει να μειώνεται με το βάθος καθώς τα πλάτη που αποτυπώνονται είναι λιγότερο διακριτά.

Formation properties (from well logs)		Fluid properties		Grain properties	
V_{P-sand} (m/s)	2343	K_{water} (GPa)	2.20	K_{grain} (GPa)	37.00
$V_{P-shale}$ (m/s)	2056	ρ_{water} (kg/m ³)	1.10	ρ_{grain} (kg/m ³)	2.65
ϕ_{sand} (%)	38	K_{gas} (GPa)	0.01	—	—
—	—	ρ_{gas} (kg/cm ³)	0.10	—	—

Formation	V_p (m/s) (from well logs or fluid substitution)	V_s (m/s)	ρ (kg/m ³) (Gardner et al.'s [1974] law)
Shale	2056	722 (Greenberg and Castagna, 1992)	2.08
Gas sand (Gas saturation = 80%; porosity = 38%)	1850 (Gassmann, 1951)	1230	1.90
Water sand	2343	1150 (Greenberg and Castagna, 1992)	2.15



Εικόνα 28:Ομογενοποιημένη διαστρωμάτωση σχηματισμών με τις πετροφυσικές τους ιδιότητες

Οι σημαντικότεροι ορισμοί που χρησιμοποιούνται για τους DHI, διαγνωστικούς παράγοντες υδρογονανθράκων είναι οι εξής:

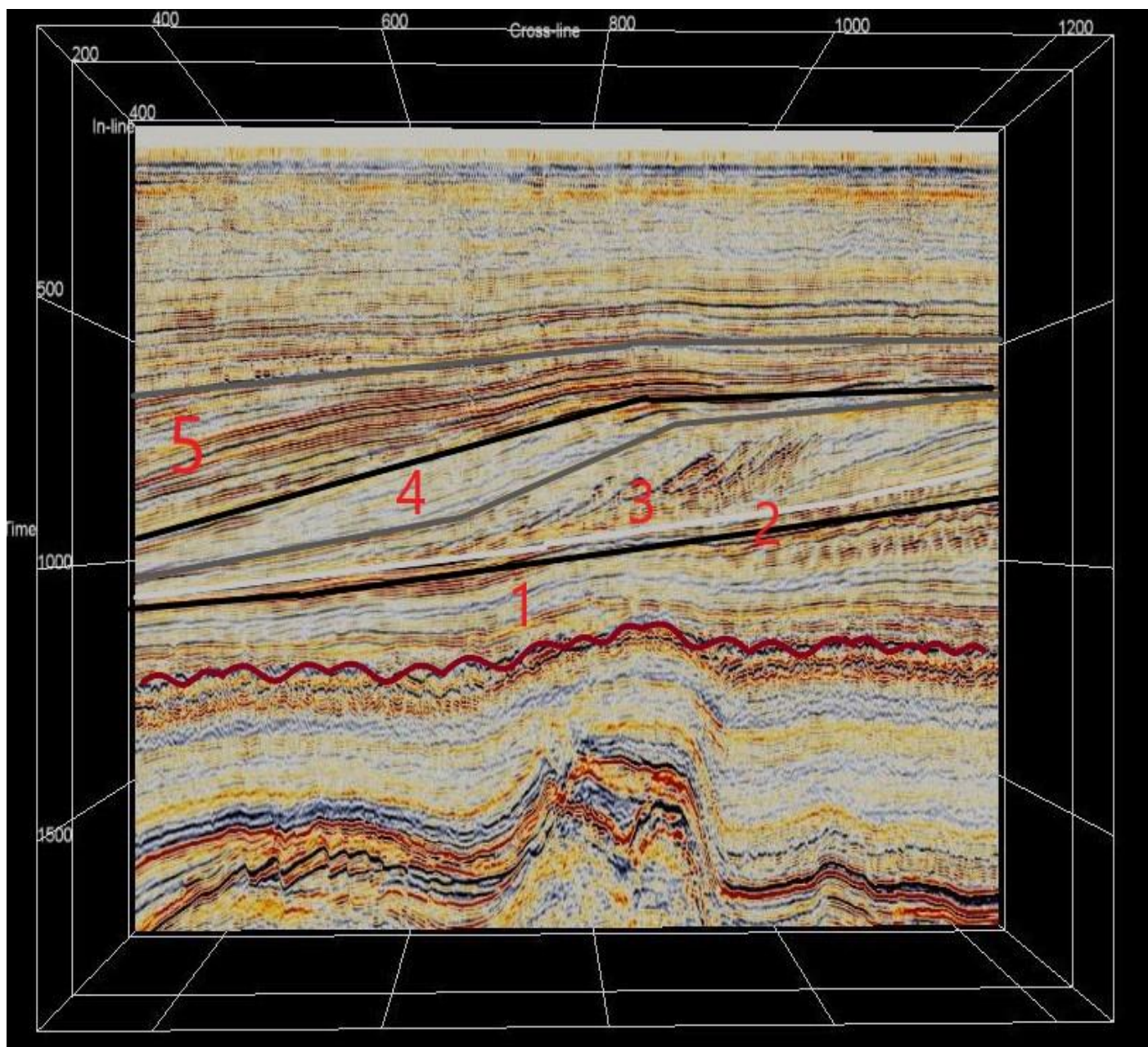
- Bright spot
- Dim spot
- Flat spot

Bright spots: Σε γεωφυσικούς όρους πρόκειται για ανωμαλία στα πλάτη των σεισμικών κυμάτων είτε στα αρκετά μεγάλα πλάτη τους. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να οφείλονται στο γεγονός ότι οι πόροι των σχηματισμών καλύπτονται από αέρια. Η διαδικασία ανάλυσης των πλατών είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς υποδεικνύει περιοχές ενδιαφέροντος παρά αυτή καθ' αυτή παρουσία υδρογονανθράκων. Αυτό επιβεβαιώνεται με τα αντίστοιχα μεγάλα πλάτη των μη συμπαγοποιημένων κλαστικών ιζημάτων. Σε περιπτώσεις πετρελαιοφόρων ψαμμιτών τόσο η πυκνότητα όσο και η ταχύτητα των Ρ-κυμάτων μειώνεται σε σύγκριση με τους αντίστοιχους ένυδρους. Συνεπώς, στο ανώτερο σημείο των άμμων η αντίσταση είναι πολύ διαφορετική με αποτέλεσμα η ανάκλαση να δυναμώνει αρνητικά υποδεικνύοντας στην απεικόνιση φωτεινά σημεία (λευκά στα παλαιότερα αμερικανικά γραφήματα και μπλέ-λευκά στα σύγχρονα ευρωπαϊκά).

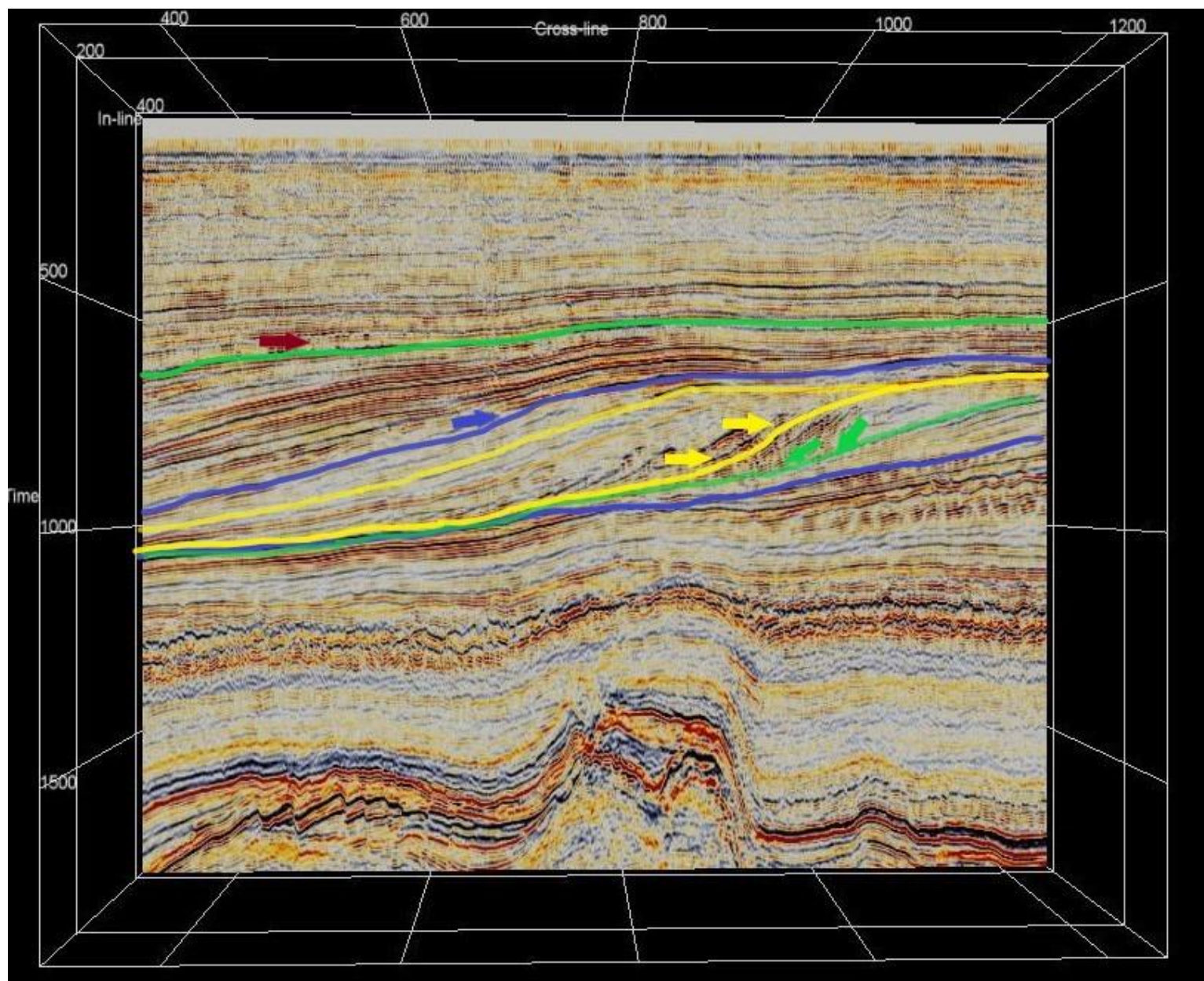
Dim spots: Σε αντίθεση με τα bright spots πρόκειται για σεισμικά κύματα πολύ μικρού πλάτους. Τα χαμηλά πλάτη πολλές φορές σχετίζονται είτε με εμφανίσεις υδρογονανθράκων οι οποίοι, μειώνουν την αντίθεση στην ακουστική αντίσταση μεταξύ ρεζερβουάρ και υπερκείμενου καλύμματος είτε, με στρωματογραφικές αλλαγές που επίσης μειώνουν την αντίσταση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι οι έντονα συμπαγοποιημένες άμμοι οι οποίες υπόκειντο σχιστολίθων και εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη αντίσταση από τους τελευταίους.

Flat spots: Πρόκειται για επίπεδες επαφές των διαφορετικών φάσεων των υδρογονανθράκων μεταξύ τους αλλά και με το νερό (αέρια/πετρέλαιο, πετρέλαιο/νερό, αέρια/νερό). Ωστόσο, τα επίπεδα αυτά σημεία μπορεί να υποδηλώνουν πυθμένα ή κορυφή καναλιών, μεγάλης γωνίας ρήγματα ή ακόμα και τοπικές εμφανίσεις αερίων.

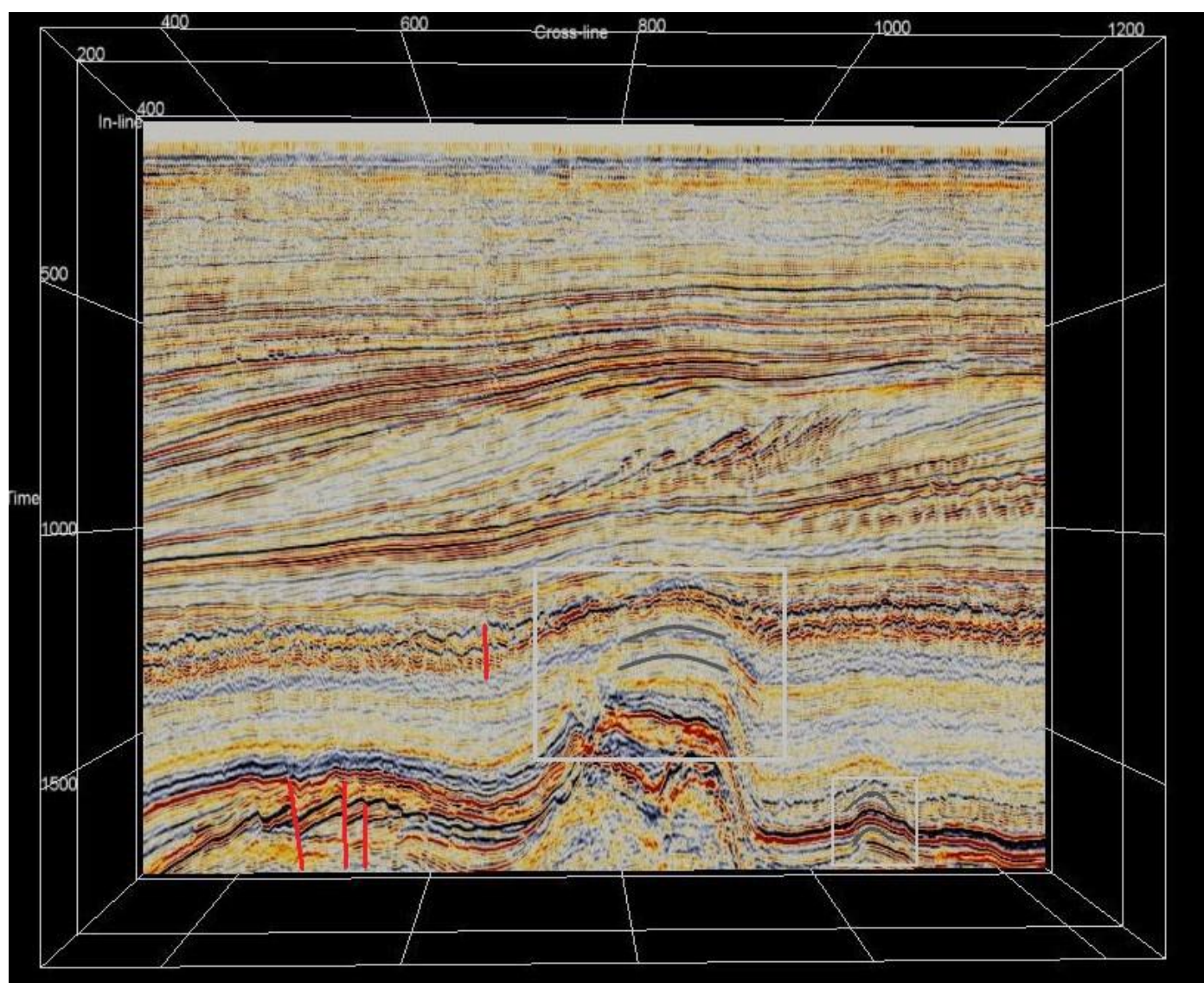
Συμπερασματικά, λόγω της δράσης του Ηριδανού φλουβιοδελταϊκού συστήματος η οποία, αποτυπώνεται στου ανοικτού κώδικα λογισμικού προγράμματος OpendTect by dGB χάριν των συνοδευτικών δεδομένων του Ολλανδικού θαλάσσιου οικοπέδου F3 της Βόρειας Θάλασσας σε συνδυασμό, με την έως τώρα γεωλογική γνώση που αποκομίζω από το τμήμα της Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου μπορώ, να εντοπίσω και να διακρίνω τους στόχους ενδιαφέροντος, σημαντικούς για την έρευνα και εκμετάλλευση υδρογονανθράκων όπου, διαφαίνονται στις παρακάτω φωτογραφίες.



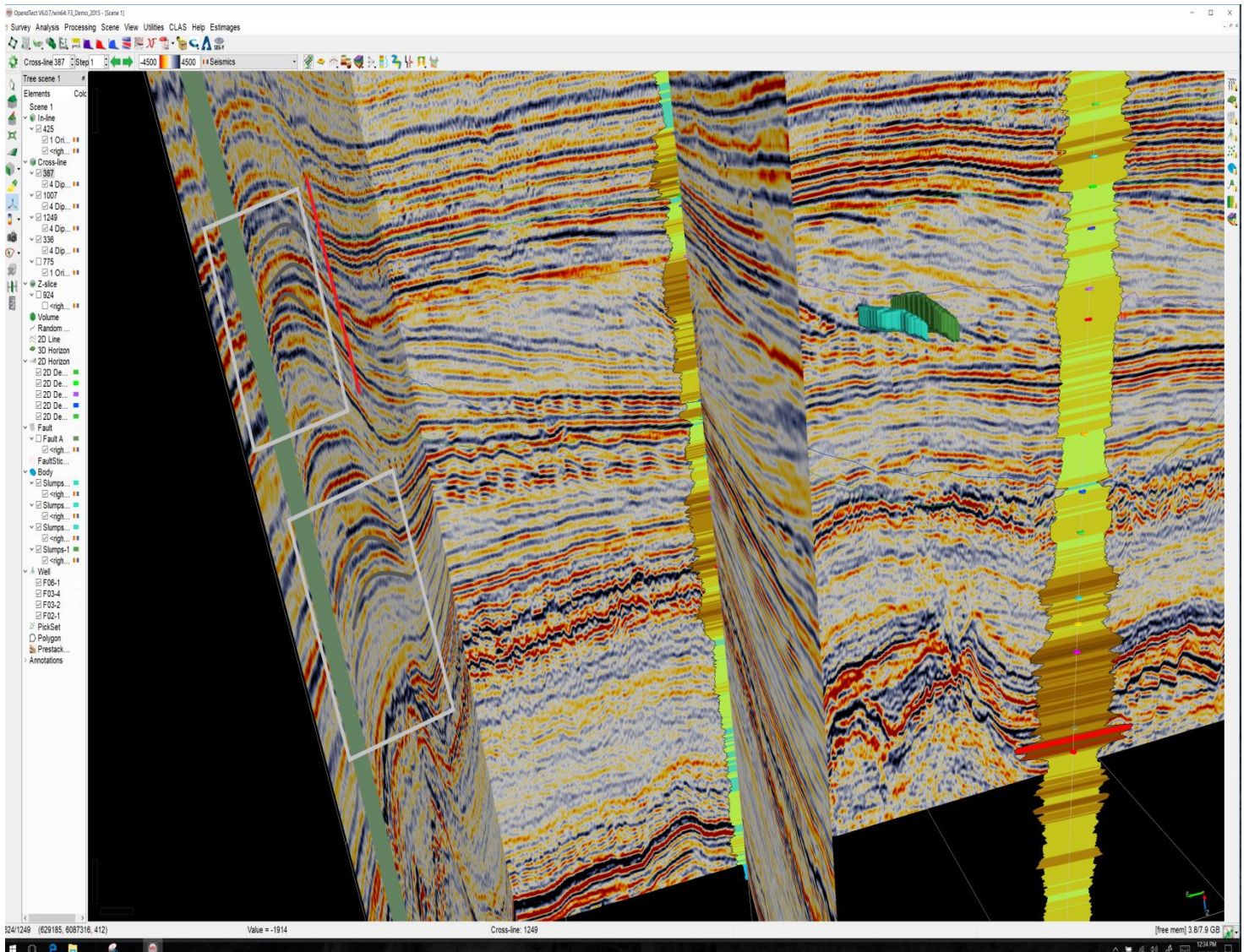
Εικόνα 29: Η σκούρη κόκκινη κυματοειδής γραμμή αντιπροσωπεύει την μέσομειοκαινική ασυμφωνία. Αυτήν καλύπτουν οι σχηματισμοί που δηλώνουν τις διαφορετικές φάσεις της δράσης του Ηριδανού ποταμού



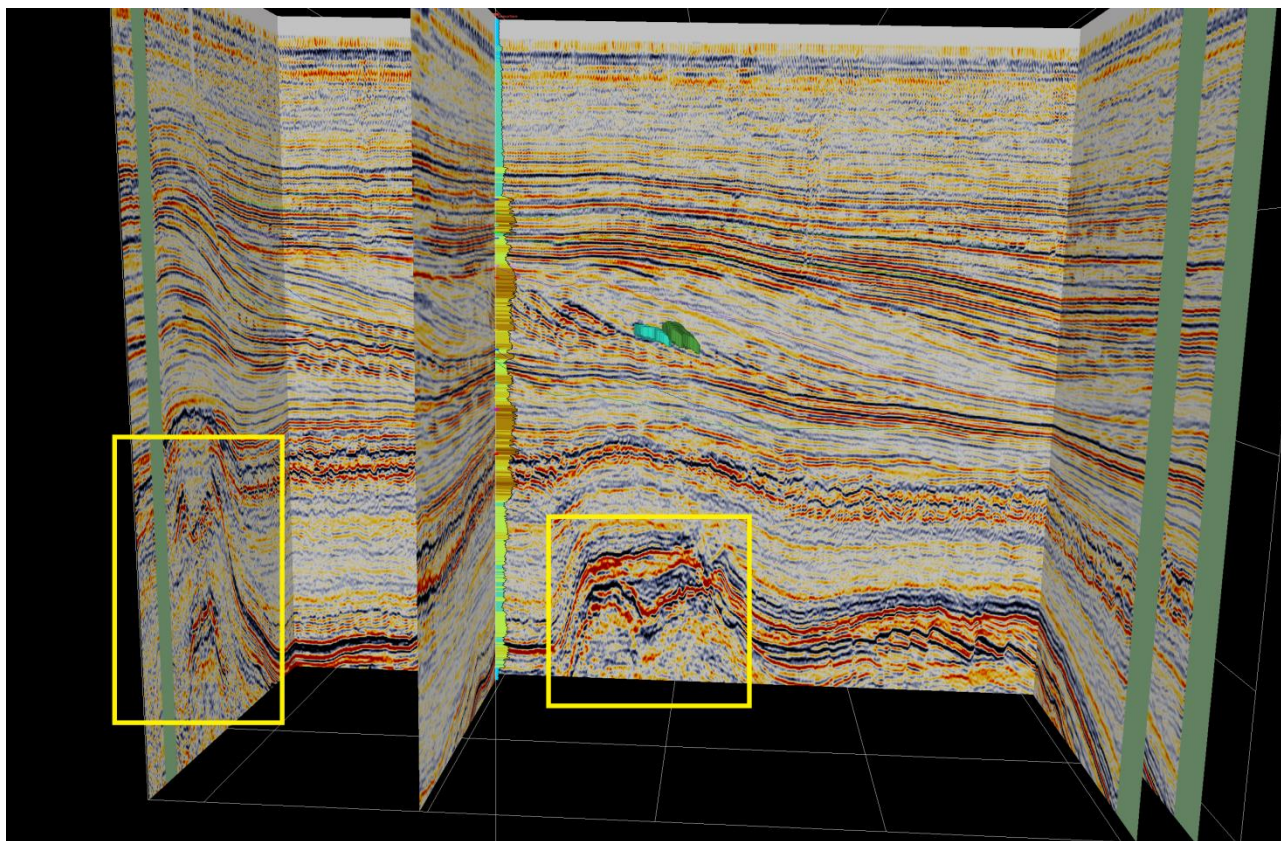
Εικόνα 30: Μπλέ γραμμή/βέλος - επιφάνεια μέγιστης υποχώρησης της θάλασσας/onlap, πράσινη γραμμή/βέλος - μέγιστη πλυμμηρική επιφάνεια/downlap, κίτρινη γραμμή/βέλος - επιφάνεια μέγιστης επιβεβλημένης υποχώρησης της θάλασσας/offlap, κόκκινο βέλος - toplap



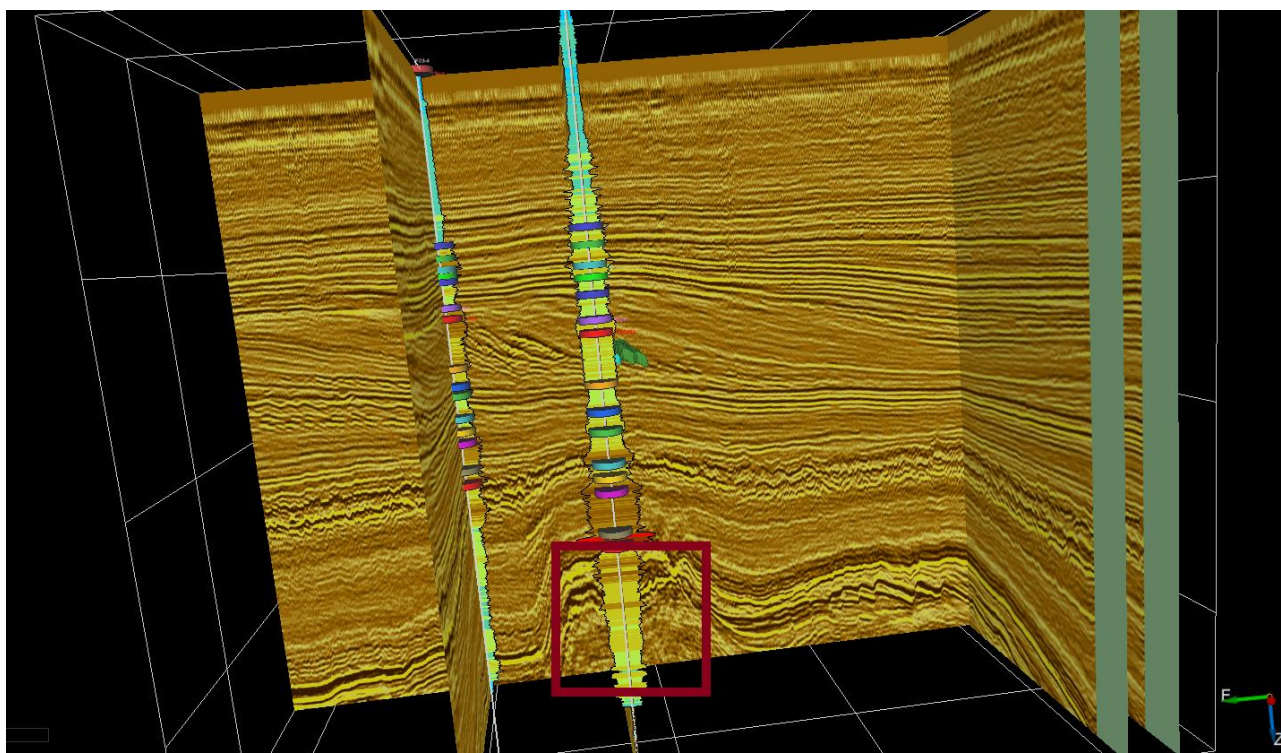
Εικόνα 31: Στο ανοικτό γκρί πλαίσιο εμφανίζεται ένα αντίκλινο του οποίου η γωνία ανοίγματος αναπαρίσταται με σκούρο γκρί χρώμα. Τα κόκκινα ευθύγραμμα τμήματα καταδεικνύουν κανονικά ρήγματα μικρής γωνίας κλίσης



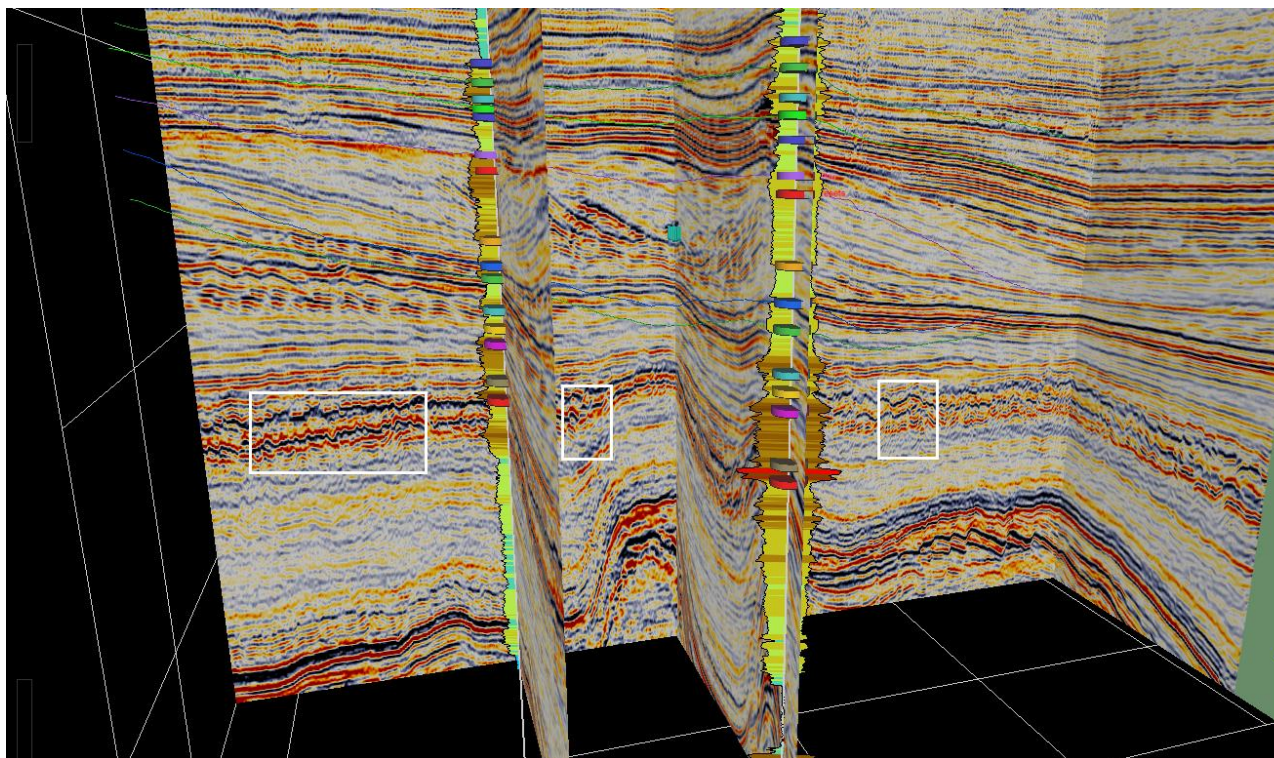
Εικόνα 32: Στο ανοικτό γκρί πλαίσιο εμφανίζεται ένα αντίκλινο του οποίου η γωνία ανοίγματος αναπαρίσταται με σκούρο γκρί χρώμα. Τα κόκκινα ευθύγραμμα τμήματα καταδεικνύει κανονικό ρήγμα μικρής γωνίας κλίσης



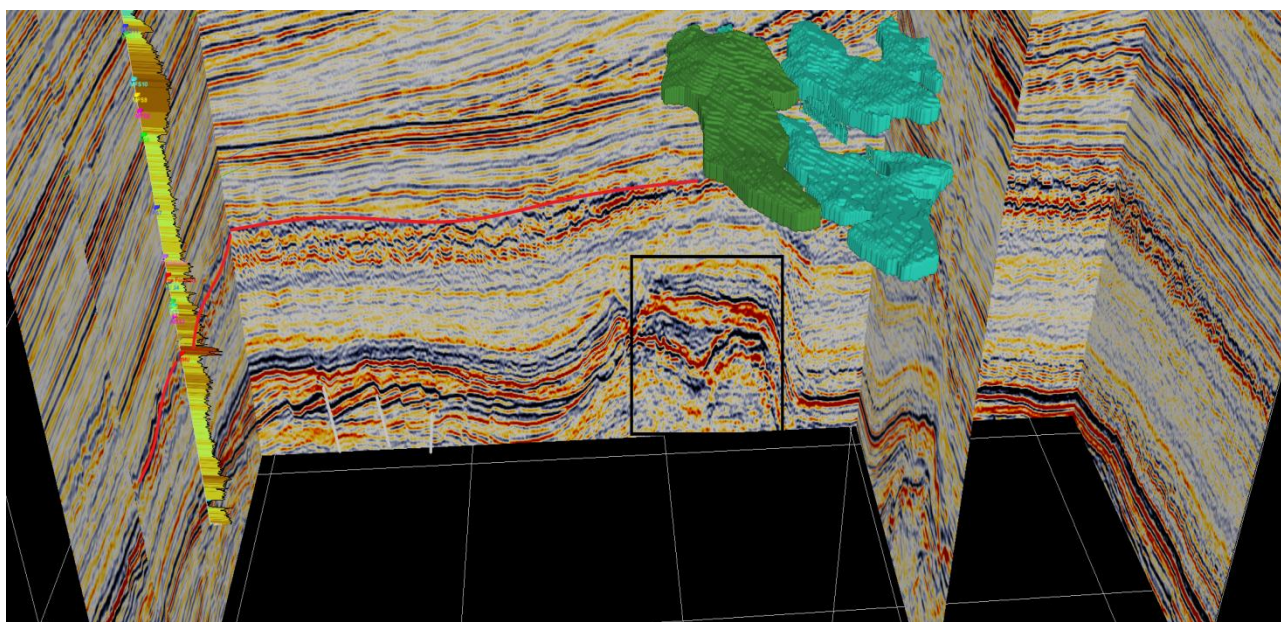
Εικόνα 33: Το κίτρινο πλαίσιο περιβάλλει τα διάπυρα υλικά ή δομούς άλατος



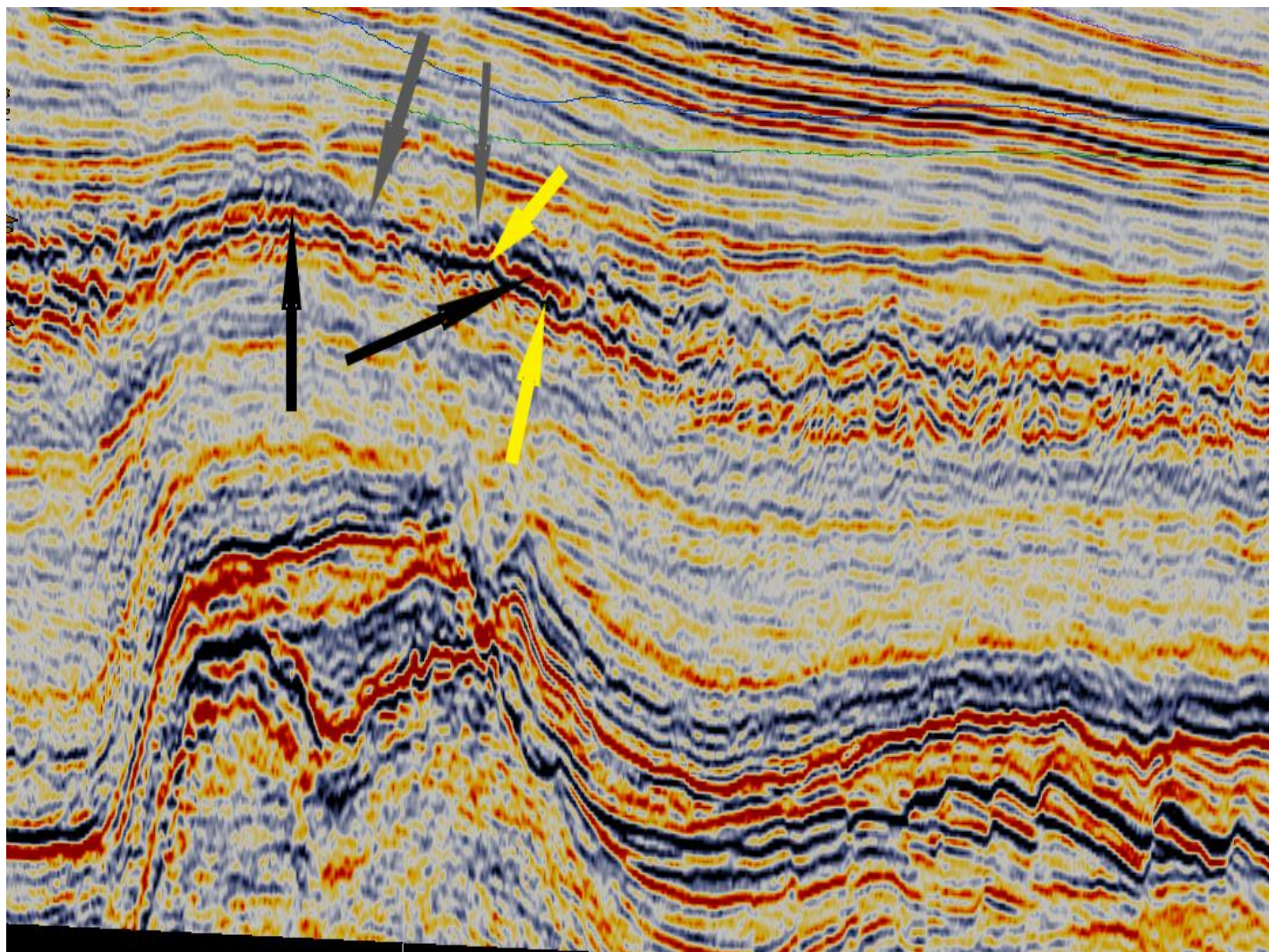
Εικόνα 34: Το σκούρο κόκκινο πλαίσιο περιβάλλει τα διάπυρα υλικά ή δομό άλατος



Εικόνα 35: Στα όρια της μέσομειοκαινικής ασυμφωνίας εμφανίζονται τα χαοτικά πακέτα (λευκά πλαίσια) που υποδηλώνουν ex situ αποθέσεις



Εικόνα 36: Διάπυρα υλικά, κανονικά ρήγματα και μεσομειοκαινική ασυμφωνία αντιστοιχούν στο μαύρο πλαίσιο, τα λευκά ευθύγραμμα τμήματα και την κόκκινη κυματοειδή γραμμή



Εικόνα 37: Μαύρα βέλη - Flat spots, Γκρι βέλη - Dim spots, Κίτρινα βέλη - Bright spots

7.0 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας τη διαδικασία επεξεργασίας και μετάφρασης του συνόλου των ψηφιακών δεδομένων και κατ' επέκταση της γεωλογικής πληροφορίας που παραχωρήθηκαν από την dGB Earth Sciences για το τεμάχιο F3, γίνεται κατανοητό το γεωτεκτονικό δυναμικό προσομοίωμα της περιοχής μελέτης, με ευδιάκριτους σχηματισμούς, οι οποίοι καλύπτουν τις προϋποθέσεις για να φιλοξενήσουν υδρογονάνθρακες.

Βιβλιογραφία

Sheriff, R.E., and Geldart, L.P., 1995, Exploration Seismology v. New York, Cambridge University Press.

Sheriff, R.E., 1981, Encyclopedia Dictionary of Exploration Geophysics v. Tulsa, OK, Society of Exploration Geophysics.

Saeed Mojeddifar, Gholamreza Kamali, Hojjatolah Ranjbar, Porosity prediction from seismic inversion of a similarity attribute based on a pseudo-forward equation (PFE): a case study from the North Sea Basin, Netherlands

Reynolds, John M., 1997, An Introduction to Applied and Environmental Geophysics v. England, John Wiley & Sons.

Qiang Guo, Nayyer Islam, Wayne D Pennington, Tuning of flat spots with overlying bright spots, dim spots and polarity reversals.

British Geological Survey, Technical report produced for Strategic Environmental Assessment – SEA2 & SEA3

K.F. Rijdsdijk, S. Passchier, H.J.T. Weerts, C. Laban, R.J.W. van Leeuwen & J.H.J. Ebbing, Geological Survey of Netherlands, THE SUPERFICIAL GEOLOGY OF THE DUTCH SECTOR OF THE NORTH SEA

Revised Upper Cenozoic stratigraphy of the Dutch sector of the North Sea Basin: towards an integrated lithostratigraphic, seismostratigraphic and allostratigraphic approach

T. MCKIE, P. T. S. ROSE, A. J. HARTLEY, D. W. JONES & T. L. ARMSTRONG, Tertiary deep-marine reservoirs of the North Sea region: an introduction

J. ten Veen, H. Verweij, T. Donders, K. Geel, G.de Bruin, D. Munsterman, R. Verreussel, V. Daza Cajigal, R. Harding, H. Cremer, Anatomy of the Cenozoic Eridanos Delta Hydrocarbon System

Rachel M. Lamb, Rachel Harding, Mads Huuse, Margaret Stewart & Simon H. Brocklehurst, The early Quaternary North Sea Basin

Geology of Gas and Oil under the Netherlands Selection of papers presented at the 1993 International Conference of the American Association of Petroleum Geologists, held in The Hague

Stefano Patruno, Vittorio Scisciani, William Helland-Hansen, Nico D’Intino, William Reid, Claudio Pellegrini, Upslope-climbing shelf-edge clinoforms and the stepwise evolution of the northern European glaciation (lower Pleistocene Eridanos Delta system, U.K. North Sea): When sediment supply overwhelms accommodation

P. A. ZIEGLER, The Geological Evolution of the North Sea Area in the Tectonic Framework of North Western Europe

K. W. GLENNIE, Permian and Triassic rifting in northwest Europe

I. Overeem, G. J. Weltje, C. Bishop-Kay and S. B. Kroonenberg, The Late Cenozoic Eridanos delta system in the Southern North Sea Basin: a climate signal in sediment supply?

Ιστότοποι

<http://www.geol.lsu.edu/jlorenzo/ReflectSeismol97/rcbradley/WWW/rcbradley1.html>

<https://www.software.slb.com>

<http://wiki.aapg.org>

<https://wiki.seg.org>