

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΕΣ  
ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ  
ΡΑ-4, ΡΒ-18 ΚΑΙ ΡΒ-20 ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ ΠΡΙΝΟΣ**

**ΙΩΑΝΝΗΣ ΣΠΑΝΑΚΗΣ**

**ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:**

**Βαφείδης Αντώνιος, (Καθηγητής ΠΚ – Επιβλέπων)**

**Μανούτσογλου Εμμανουήλ, (Καθηγητής ΠΚ)**

**Δρ. Κρητικάκης Γεώργιος**

**Χανιά, Ιούνιος 2017**



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία με θέμα «Αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών με αργλικές προσμίξεις. Εφαρμογή σε διαγραφίες από τις γεωτρήσεις PA-4, PB-18 και PB-20 του κοιτάσματος Πρίνος πραγματοποιήθηκε με τη συναίνεση της εταιρίας εξόρυξης και εκμετάλλευσης υδρογονανθράκων Energean Oil & Gas A. E., την οποία ευχαριστώ θερμά για τη χορήγηση άδειας χρήσης στοιχείων.

Για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη και την υπομονή του, οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα στη παρούσα διπλωματική καθηγητή της Σχολής Μηχανικών Ορυκτών Πόρων κ. Βαφείδη Αντώνιο. Επιπλέον, για τη συμπαράσταση, τη κατανόηση, το ενδιαφέρον και τη καθοδήγηση κατά την επεξεργασία και την ερμηνεία των αποτελεσμάτων τον Δρ. Κρητικάκη Γεώργιο και τον καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης Μανούτσογλου Εμμανουήλ.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου που υπήρξε αρωγός στη πολυετή προσπάθεια, δίνοντας μου τη δυνατότητα να ανοίξω τους ορίζοντες μου με τη στήριξη, την αγάπη τους και την ηθική υποστήριξη τους στις δύσκολες στιγμές.

Επίσης οφείλω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους, Γλένη Επαμεινώνδα, Προεστάκη Ερμή και Καρδάμη Ιωάννη, για την ιδιαίτερη φιλοξενία και τη συμπαράστασή τους το τελευταίο διάστημα ολοκλήρωσης της διπλωματικής εργασίας.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην μελέτη της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της Γης. Σκοπός τους είναι ο εντοπισμός κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών που ευνοούν τον σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Στις μεθόδους αυτές συγκαταλέγονται και οι γεωφυσικές διαγραφίες. Στη παρούσα διπλωματική εργασία επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν δεδομένα γεωφυσικών διαγραφιών από την περιοχή του Πρίνου-Καβάλας και ειδικότερα από τις γεωτρήσεις PA-4 ,PB-18 και PB-20, που παραχωρήθηκαν από την εταιρεία Energean Oil&Gas.

Αναλυτικότερα, πραγματοποιήθηκε κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό αρχικά την εύρεση του βάθους των ταμιευτήρων σε κάθε μία από τις γεωτρήσεις σύμφωνα με το γεωλογικό μοντέλο. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του πορώδους ( $\phi$ ), της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ( $R_t$ ), του βαθμού κορεσμού σε νερό ( $S_w$ ) και του δείκτη παραγωγικότητας που υπολογίζεται από το λόγο  $S_w/S_{xo}$ . Κατασκευάστηκαν διαγράμματα πορώδους και βαθμού κορεσμού σε νερό συναρτήσει του βάθους. Παρατηρείται ότι το πορώδες είναι κατά κανόνα μεγαλύτερο στο ταμιευτήρα A1 και στις τρεις γεωτρήσεις σε σχέση με τους υπόλοιπους ταμιευτήρες.

Ο βαθμός κορεσμού σε νερό και ο βαθμός κορεσμού σε διήθημα της λάσπης, παρουσιάζουν τις μικρότερες τιμές στην PB-20. Ο λόγος  $S_w/S_{xo}$  ο οποίος αποτελεί δείκτη της παραγωγικότητας παρουσιάζει τιμές κάτω από τη μονάδα μόνο στη γεώτρηση PB-18 και κυμαίνεται μεταξύ 0,73-0,85.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	III
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	V
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	VII
1 Εισαγωγή .....	1
1.1 Περιγραφή των κεφαλαίων .....	2
2 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ .....	4
2.1 Εισαγωγή .....	4
2.1.1 Ιστορική αναδρομή .....	5
2.1.2 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις.....	6
2.1.3 Τύποι γεωφυσικών διαγραφιών και αρχή λειτουργίας .....	8
2.2 Διαγραφίες νετρονίου .....	8
2.3 Συσκευές για τις διαγραφίες νετρονίου .....	9
2.3.1 Διαγραφίες πυκνότητας .....	10
2.4 Διαγραφίες ακουστικές .....	11
2.4.1 Συσκευές για τις ακουστικές διαγραφίες.....	12
2.5 Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης .....	13
2.6 Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής.....	16
2.6.1 Εξοπλισμός διαγραφιών επαγωγής .....	16
2.7 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού .....	17
2.8 Διαγραφίες ακτινών γάμμα .....	18
2.9 Διαγραφίες φασματοκοπίας ακτινών γάμμα .....	19
3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ.....	21
3.1 Γεωλογική εξέλιξη του Αιγαίου .....	21
3.2 Η λεκάνη του Πρίνου και η δημιουργία της .....	24
3.3 Γεωλογικό περίγραμμα της λεκάνης .....	25
3.4 Στρωματογραφική αποτύπωση της λεκάνης του Πρίνου .....	27
4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	32
4.1 Εισαγωγή .....	32
4.2 Πρωτογενή δεδομένα .....	33
4.3 Αρχική αξιολόγηση σχηματισμών .....	38
4.4 Γεώτρηση ΡΑ-4 .....	43

4.4.1	Διαγραφίες πορώδους και πυκνότητας.....	43
4.4.2	Ηλεκτρικές διαγραφίες.....	47
4.4.3	Βαθμός κορεσμού σε νερού.....	47
4.5	Γεώτρηση PB-18.....	52
4.6	Γεώτρηση PB-20.....	57
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	64
	Βιβλιογραφία.....	66
	Διαδικτυακή Βιβλιογραφία.....	68
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	69





### 1 Εισαγωγή

Όταν αναφέρονται γεωφυσικές διασκοπήσεις στη βιομηχανία του πετρελαίου, εννοούνται καταγραφές συγκριτικά με το βάθος, σε οποιαδήποτε από τα χαρακτηριστικά του βραχώδους σχηματισμού, που διασχίζεται από βαθμονομημένο εξοπλισμό στη γεώτρηση.

Οι γεωφυσικές διαγραφίες ή αλλιώς well logging, εφαρμόζονται για τη διασκόπηση του εσωτερικού των γεωτρήσεων, με σκοπό τον καθορισμό των φυσικών ιδιοτήτων των εδαφών και των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί και τη συλλογή των πληροφοριών για τις πετροφυσικές ιδιότητες, τη στρωματογραφία και τη λιθολογία του σχηματισμού.

Ουσιαστικά, well logging ονομάζεται η διαδικασία της συνεχούς, κατά μήκος της γεώτρησης, ενδοσκοπικής καταγραφής μιας συγκεκριμένης φυσικής ιδιότητας που έχει διατρηθεί. Ο κύριος στόχος των γεωφυσικών διαγραφιών είναι να ληφθούν περισσότερες πληροφορίες για το υπέδαφος από ότι μπορούν να ληφθούν από τη διάτρηση, την πυρηνοληψία και την εξέταση των δειγμάτων. (Λεονταράκης, 2011)

Η χρήση των διαγραφιών είναι ευρεία στην έρευνα υδρογονανθράκων, ενώ παραμένει περιορισμένη στην έρευνα μεταλλευμάτων. Οι κυριότεροι λόγοι της περιορισμένης εφαρμογής των διαγραφιών στην έρευνα μεταλλευμάτων είναι:

- 1). Οι ερευνητικές γεωτρήσεις στην έρευνα μεταλλευμάτων είναι μικρότερης διαμέτρου με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η χρησιμοποίηση γεωφυσικών οργάνων τα οποία έχουν σχεδιασθεί για την έρευνα πετρελαίου.
- 2). Τα δείγματα των πυρήνων των ερευνητικών γεωτρήσεων στην έρευνα μεταλλευμάτων συνήθως δίνουν ολοκληρωμένες πληροφορίες, ικανές για την αξιολόγηση του κοιτάσματος.
- 3). Η ερμηνεία των διαγραφιών στην έρευνα μεταλλευμάτων είναι πάρα πολύ δύσκολη.

## **1.1 Περιγραφή των κεφαλαίων**

**Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>:** Στο δεύτερο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα εισαγωγικά θεωρητικά και ιστορικά στοιχεία για τις γεωφυσικές μεθόδους. Αναλύονται εκτενέστερα οι διαγραφίες του πορώδους, οι ηλεκτρικές διαγραφίες, λιθολογίας, φυσικής ραδιενέργειας, ο τρόπος πραγματοποίησης και ο κυριότερος εξοπλισμός που έχει χρησιμοποιηθεί για μερικές από αυτές.

**Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>:** Στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται η γεωλογία της περιοχής του Πρίνου. Συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στην γεωλογική εξέλιξη της λεκάνης του Πρίνου και αναφέρεται επίσης στην στρωματογραφική αποτύπωσή της.

**Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>:** Στο τέταρτο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά για τις διαγραφίες που έχουν πραγματοποιηθεί από την εταιρία της Energean Oil & Gas για κάθε γεώτρηση. Θα εξεταστούν τα στάδια της επεξεργασίας της κάθε γεώτρησης και η αξιολόγηση αυτών.

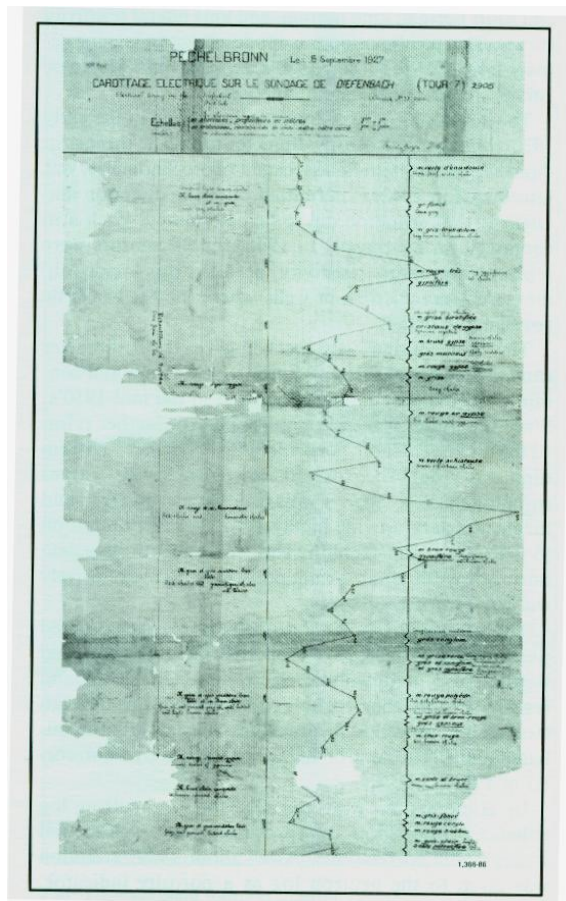
**Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>:** Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συμπεράσματα για τις τρεις γεωτρήσεις.



## 2 ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ

### 2.1 Εισαγωγή

Το κύριο αντικείμενο αξιολόγησης γεωλογικών σχηματισμών είναι να καθοριστεί το μέγεθος του ταμιευτήρα, η ποσότητα των υδρογονανθράκων και οι ιδιότητες του ταμιευτήρα. Η αξιολόγηση του σχηματισμού προϋποθέτει ότι ο ταμιευτήρας έχει εντοπιστεί και πρέπει να οριστεί κάνοντας γεωτρήσεις. Γεωφυσική διαγραφή είναι μια συνεχής καταγραφή μετρήσεων φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί μέσα στις γεωτρήσεις.



Οι μετρήσεις των γεωφυσικών διαγραφιών δίνουν την πλειονηφία των απαραίτητων πληροφοριών που απαιτούνται από τους γεωφυσικούς, γεωλόγους και μηχανικούς ταμιευτήρων και παραγωγής. Οι γεωφυσικές διαγραφίες δίνουν εκτιμήσεις των: i) πορώδους, ii) διαπερατότητας, iii) βαθμό κορεσμού σε ρευστά, iv) πάχος σχηματισμών, v) κλίση στρωμάτων, vi) θερμοκρασία και vii) εντοπισμό ρωγματώσεων

Σχήμα 2.1: Η πρώτη διαγραφή που εκτελέστηκε (1927)  
(Schlumberger Educational Services (1991))

### 2.1.1 Ιστορική αναδρομή

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα, συγκεκριμένα το 1912, ο Conrad Schlumberger έθεσε την ιδέα χρησιμοποίησης ηλεκτρικών μετρήσεων για τη χαρτογράφηση πετρωμάτων στο υπέδαφος. Το 1919 πήραν την απόφαση, μαζί με τον αδερφό του Marcel, να εφαρμόσουν το πλάνο τους σε διαγραφίες γεωτρήσεων. Στις 5 Σεπτεμβρίου του 1927 πραγματοποιήθηκε η πρώτη ηλεκτρική διαγραφή σε μικρό κοίτασμα πετρελαίου στη Βορειοανατολική Γαλλία (Σχήμα 2.1).

Το 1931 ανακαλύφθηκε το φυσικό δυναμικό το οποίο ήταν πολύ σημαντικό για τη μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης. Μετρώντας ταυτόχρονα το φυσικό δυναμικό και την αντίσταση, οι μηχανικοί μπορούν να διακρίνουν αν ο σχηματισμός πρόκειται για περατός ή μη περατός.

Τη δεκαετία του 50 άρχισε η ταυτόχρονη καταγραφή και μέτρηση του φυσικού δυναμικού και των ειδικών ηλεκτρικών αντιστάσεων, ενώ σήμερα είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή μέχρι δέκα διαφορετικών μετρήσεων των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών.

Οι δύο τύποι διαγραφιών του πορώδους (ακουστικές και νετρονίου) χρονολογούνται ότι ανακαλύφθηκαν τη δεκαετία του 1940. Οι ακουστικές διαγραφίες εξελίχθηκαν ιδιαίτερα τη περίοδο του 2<sup>ου</sup> παγκόσμιου πολέμου. Οι διαγραφίες νετρονίου εξελίχθηκαν για να υπολογίζουν τις ακτινοβολίες  $\gamma$  που βρίσκονται στους υπόγειους σχηματισμούς. Οι διαγραφίες ακτινών  $\gamma$ , μετρούν τη φυσική ραδιενέργεια των γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με το βάθος, ανακαλύφθηκαν από τον Well Surveys το 1939.

Η σύντομη αυτή ιστορική αναδρομή δεν είχε σαν στόχο να καλύψει όλα τα είδη των μετρήσεων τα οποία πραγματοποιούνται με γεωφυσικά όργανα μέσα στις γεωτρήσεις.

### 2.1.2 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις

Οι γεωφυσικές μετρήσεις απαιτούν ισχυρή τεχνολογία λόγω των δυσχερών συνθηκών που επικρατούν στη γεώτρηση και εξελιγμένη τεχνολογία λόγω των πολύπλοκων ιδιοτήτων του ταμιευτήρα. Οι επιστήμονες χρησιμοποιούν προχωρημένες μεθόδους για να σχεδιάσουν νέα εργαλεία και να αξιολογήσουν τα δεδομένα που συλλέγουν. Σήμερα, οι περισσότερες ανακαλύψεις υδρογονανθράκων βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές και είναι δύσκολο να παραχθούν.

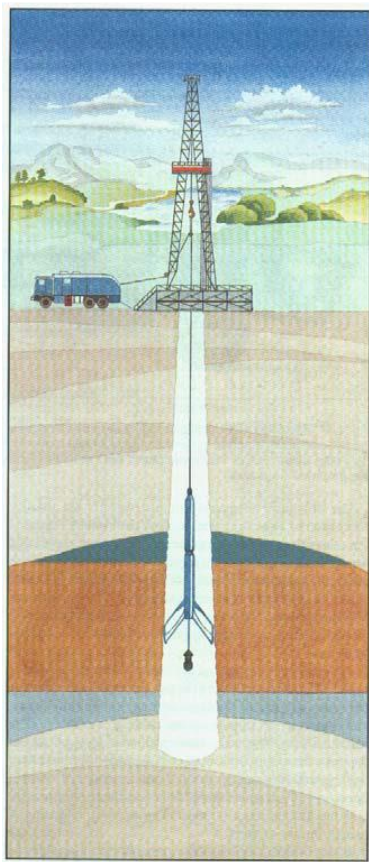
Οι διαγραφίες λαμβάνονται με άμεση επαφή των οργάνων στα τοιχώματα των φρεάτων (Σχήμα 2.2). Οι εταιρίες καταγραφής γεωφυσικών μετρήσεων χρησιμοποιούν πληθώρα εξοπλισμού ανάλογα με τη τοποθεσία και τις απαιτήσεις των γεωφυσικών μετρήσεων. Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των μετρήσεων είναι τα γεωφυσικά όργανα, το καλώδιο καταγραφής και το όχημα με τις συσκευές καταγραφής (Σχήμα 2.3).

Το καλώδιο είναι μεγάλης αντοχής, οπλισμένο με δύο στρώματα ατσάλινου σύρματος και με επτά μονωμένους χάλκινους πυρήνες εσωτερικά. Πρέπει να αντέχει σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 150°C, πρέπει να αντέχει σε περισσότερους από 12 τόνους βάρος και πρέπει να είναι εντελώς μονωμένο.

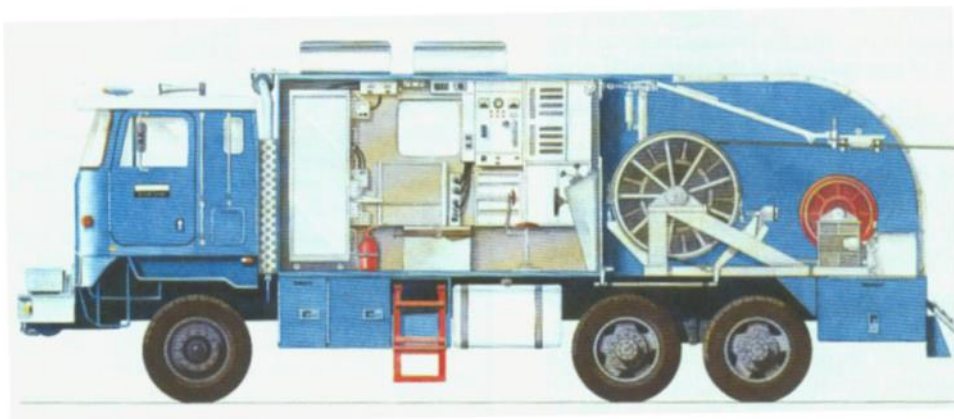
Τα γεωφυσικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωφυσικές διαγραφίες, περικλείονται σε μεταλλικό κυλινδρικό σωλήνα, γνωστό ως οβίδα. Οι οβίδες αναρτώνται στη γεώτρηση από οπλισμένο πολύκλωνο καλώδιο. Στη συνέχεια κατέρχονται μέχρι το βάθος της καταγραφής και αρχίζει η καταγραφή με τη μετακίνηση τους προς τα πάνω λόγω του ότι σε αυτή τη περίπτωση η εκτίμηση του βάθους είναι ακριβέστερη.

Μια τυπική ταχύτητα καταγραφής είναι περίπου δέκα μέτρα το λεπτό και επομένως το πρόγραμμα καταγραφής για μία βαθιά γεώτρηση θα κρατήσει μερικές ώρες. Τα όργανα εισάγονται μέσα στα φρεάτια όταν είναι πλήρη ρευστών.

Τα ψηφιοποιημένα σήματα (μετρήσεις) μεταφέρονται μέσω του καλωδίου στην επιφάνεια όπου γίνονται η επεξεργασία και η καταγραφή τους. Στην συνέχεια ακολουθεί ο έλεγχος των μετρήσεων και η προκαταρκτική αξιολόγηση. Η τελική αξιολόγηση και η ερμηνεία των διαγραφιών γίνεται στα γραφεία της εταιρίας.



Σχήμα 2.2: Τυπικό σκαρίφημα κατά την απόκτηση διαγραφιών (Schlumberger Educational Services (1991))



Σχήμα 2.3: Τυπικό σύστημα κινητής καταγραφής (Schlumberger Educational Services (1991))

### 2.1.3 Τύποι γεωφυσικών διαγραφιών και αρχή λειτουργίας

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι πιο συνηθισμένοι τύποι διαγραφιών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία και οι αντίστοιχες συσκευές, καθώς και οι αρχές λειτουργίας τους. Τα είδη των γεωφυσικών διαγραφιών παρουσιάζονται παρακάτω:

#### Πορώδους

- Νετρονίου
- Πυκνότητας
- Ακουστικές

#### Ηλεκτρικές

- Εστίασης
- Επαγωγής

#### Λιθολογίας

- Φυσικού Δυναμικού
- Φυσικής Ραδιενέργειας

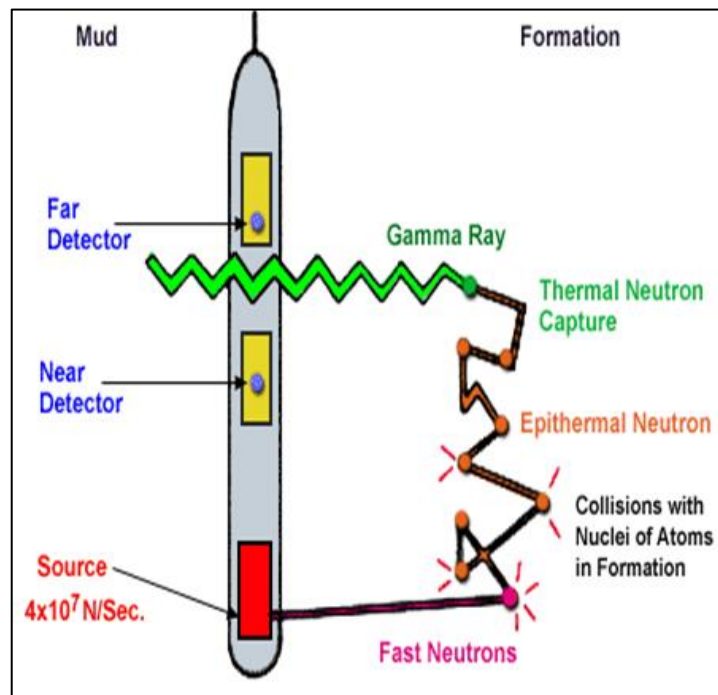
#### Άλλες

- Διαμετρήματος
- Θερμοκρασίας

## 2.2 Διαγραφίες νετρονίου

Στις διαγραφίες νετρονίου ο υπό μελέτη σχηματισμός βομβαρδίζεται με νετρόνια. Η καταγραφή νετρονίων χρησιμοποιείται κυρίως στον υπολογισμό του πορώδους των γεωλογικών σχηματισμών αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι βασικά είναι ανιχνευτής υδρογόνου.

Πρόκειται για συνεχή καταγραφή της επαγόμενης ακτινοβολίας που παράγεται από βομβαρδισμό ενός γεωλογικού σχηματισμού από πηγή νετρονίων που περιέχεται στην οβίδα. Εκτοξεύονται γρήγορα νετρόνια που η ταχύτητα τους μειώνεται από συγκρούσεις με άτομα υδρογόνου μέχρι να παγιδευτούν. Η σύλληψη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δευτερογενούς ακτινοβολίας γ (Σχήμα 2.4). Τα σύγχρονα μηχανήματα μετρούν τα θερμικά νετρόνια με ανιχνευτή τύπου He-3.



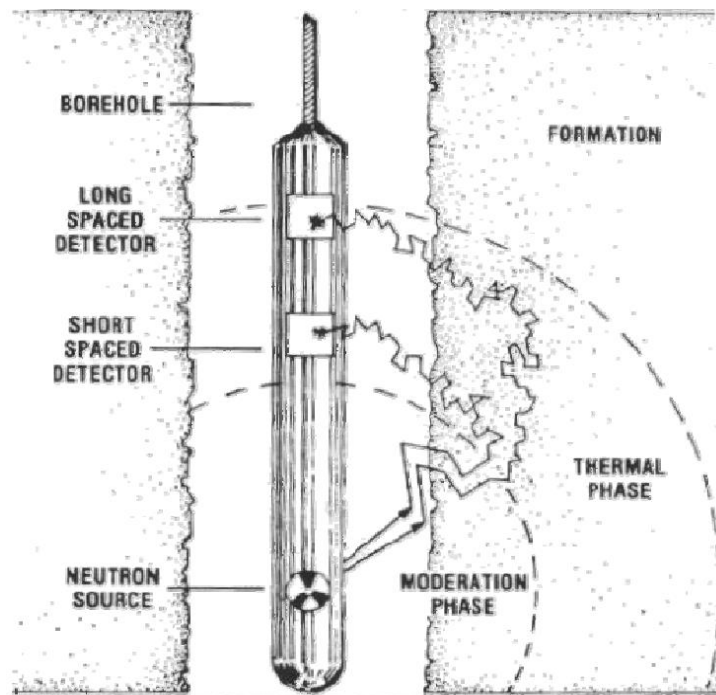
Σχήμα 2.4: Αναπαράσταση της διαγραφίας νετρονίου (<http://www.slideshare.net/>)

### 2.3 Συσκευές για τις διαγραφίες νετρονίου

Η συσκευή πραγματοποίησης διαγραφιών νετρονίου CNL (Compensated Neutron Log) αποτελείται από πηγή  $^{241}\text{Am-Be}$  (16 Curie) και δύο ανιχνευτές θερμικών νετρονίων (Σχήμα 2.5). Η συσκευή CNL χρησιμοποιείται σε σωληνωμένες ή μη γεωτρήσεις. Επίσης διαγραφίες νετρονίου πραγματοποιούνται με τη συσκευή Dual Porosity log, η οποία περιλαμβάνει ακόμη δύο ανιχνευτές επιθερμικών νετρονίων.

Οι συσκευές των νετρονίων δεν αποδίδουν απαραίτητα εστιασμένες μετρήσεις. Παρόλα αυτά βρίσκεται συνήθως σε έκκεντρη θέση και εφάπτεται επί του τοιχώματος της γεώτρησης. Ο όγκος του γεωτρητικού πολφού που βρίσκεται μεταξύ της συσκευής και του τοιχώματος της γεώτρησης λειτουργεί ως ασπίδα επιβραδύνοντας και απορροφώντας νετρόνια με αποτέλεσμα πολύ λίγα νετρόνια να διεισδύουν στον σχηματισμό και να φθάνουν κατόπιν στους ανιχνευτές της συσκευής.

Οι διαγραφίες νετρονίου είναι ευαίσθητες στο ρευστό τμήμα του σχηματισμού όπου εμφανίζεται μεγάλη συγκέντρωση ατόμων υδρογόνου. Οι συσκευές διαγραφιών νετρονίου σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρατηρούνται υψηλοί ρυθμοί παλμών, όταν το πορώδες είναι μικρό και χαμηλοί ρυθμοί παλμών, όταν το πορώδες είναι μεγάλο. Οι συσκευές αυτές ρυθμίζονται συνήθως με δείγμα ασβεστόλιθου πορώδους 11% ή 22% ο οποίος πληρούται με νερό



Σχήμα 2.5: Σκαρίφημα συσκευής δυο ανιχνευτών με πηγή νετρονίου για προσδιορισμό του πορώδους (Βαφείδης, 1994).

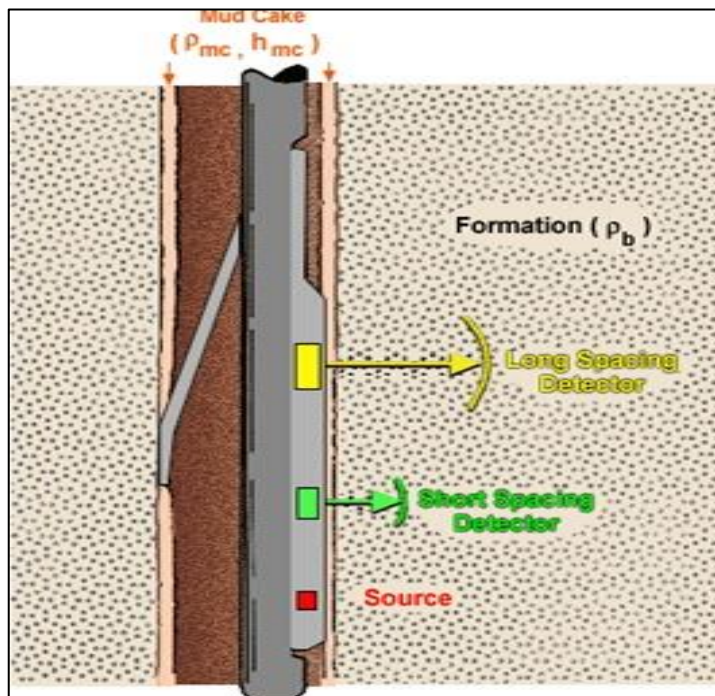
### 2.3.1 Διαγραφίες πυκνότητας

Οι διαγραφίες αυτές είναι γραφήματα της πυκνότητας συναρτήσει του βάθους από τις οποίες προσδιορίζεται το πορώδες. Οι διαγραφίες πυκνότητας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ερμηνεία των βαρυτικών και σεισμικών δεδομένων. Επιπλέον, οι διαγραφίες πυκνότητας σε συνδυασμό με τις ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών.

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας χρησιμοποιείται ραδιενεργός πηγή κοβαλτίου ( $^{60}\text{Co}$ ) και ανιχνευτής ακτινοβολίας γάμμα. Ο αριθμός των ακτινών γάμμα που επιστρέφουν στον ανιχνευτή είναι ανάλογος της πυκνότητας ηλεκτρονίων του περιβάλλοντος υλικού, άρα ανάλογος και της κανονικής πυκνότητας. Οι συμπαγείς σχηματισμοί απορροφούν μεγάλο

ποσοστό ακτινών  $\gamma$  ενώ σχηματισμοί χαμηλής πυκνότητας απορροφούν μικρότερο. Συνεπώς, υψηλοί ρυθμοί δείχνουν σχηματισμό χαμηλής πυκνότητας και αντίθετα.

Κατά τη διάδοση των ακτινών γάμμα, σε ένα υλικό και ανάλογα με την ενεργειακή κατάσταση των ακτινών γάμμα παρατηρείται το φαινόμενο Compton. Σε αυτό το φαινόμενο οι ενδιάμεσης ενέργειας ακτίνες γάμμα χάνουν μέρος της ενέργειας των λόγω διαδοχικών συγκρούσεων με ηλεκτρόνια. Στις διαγραφίες πυκνότητας, ο απαριθμητής Geiger-Muller ή απαριθμητής σπινθηρισμών, ανιχνεύει τις ακτίνες γάμμα, ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση περίπου 18'' από τη ραδιενεργό πηγή. (Σχήμα 2.6)



Σχήμα 2.6: Συσκευή διαγραφίων πυκνότητας FDC (<http://www.slideshare.net/>)

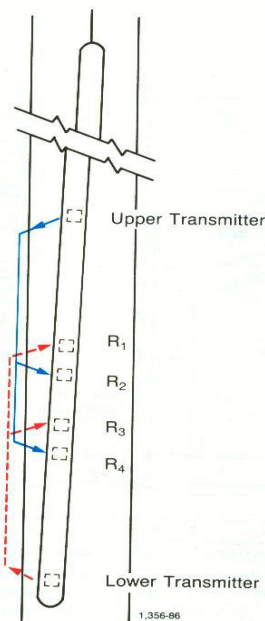
### 2.4 Διαγραφίες ακουστικές

Οι ακουστικές διαγραφίες είναι καταγραφές, συναρτήσεως του βάθους και του χρόνου  $t$  που απαιτείται για να διανύσει ο ηχητικός παλμός την απόσταση ενός ποδιού (1ft) μέσα στο σχηματισμό. Το χρονικό διάστημα αυτό καλείται χρόνος διαδρομής (transit time) ή βραδύτητα (slowness).

Ο χρόνος διαδρομής εξαρτάται από τη λιθολογία και το πορώδες του σχηματισμού μέσα στον οποίο μεταδίδεται ο ηχητικός παλμός. Αυτή η εξάρτηση καθιστά τις ακουστικές διαγραφίες ιδιαίτερα χρήσιμες στον προσδιορισμό του πορώδους όταν είναι γνωστή η λιθολογία. Σε αυτή τη μέθοδο καταγράφεται ο συνολικός χρόνος διαδρομής  $\Delta t$  που αναφέρονται στον ίδιο σχηματισμό. Ο συνολικός χρόνος διαδρομής χρησιμεύει στην ερμηνεία των σεισμικών καταγραφών ανάκλασης.

#### 2.4.1 Συσκευές για τις ακουστικές διαγραφίες

Οι κυριότερες συσκευές ακουστικών διαγραφιών είναι: BHC (Borehole Compensated Sonic Tool – Σχήμα 2.7), η LSS (Long Spaced Sonic Tool), και η Array-Sonic. Η BHC χρησιμοποιεί πομπό επάνω και κάτω από δύο ζεύγη γεωφώνων. Οι δύο πομποί εκπέμπουν εναλλάξ και οι χρόνοι διαδρομής καταγράφονται. Με τη διάταξη αυτή ελαττώνονται τα σφάλματα σημαντικά λόγω των μεταβολών στην διάμετρο της γεώτρησης αλλά και λόγω της απόκλισης της κλίσης της συσκευής από την κατακόρυφο.

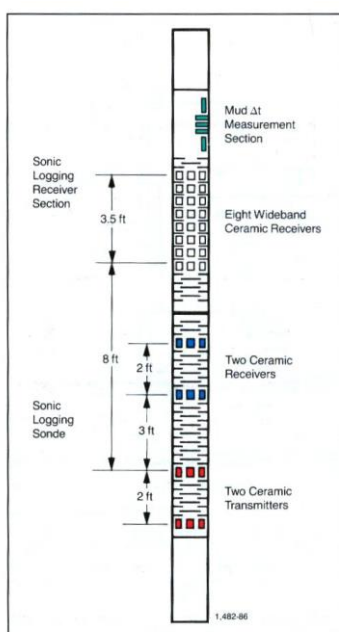


Σχήμα 2.7: Συσσκευή BHC, που δείχνει τις διαδρομές των ακτίνων για δυο ζεύγη πομπού – δέκτη. Ρυθμίζοντας τις δυο μετρήσεις του  $\Delta t$  μειώνονται τα λάθη από την κλίση της συσκευής και της αλλαγής του μεγέθους της οπής (Schlumberger Educational Services (1991) ).

Στη συσκευή LLS, οι αποστάσεις πηγής-γεωφώνων είναι 8ft και 10ft ή 10ft και 12ft. Οι μετρούμενοι χρόνοι διαδρομής,  $\Delta t$ , αναφέρονται σε επιμήκη μετωπικά κύματα μεγαλύτερου βάθους διεύθυνσης σε σχέση με τα αντίστοιχα της συσκευής BHC. Επιπλέον στη συσκευή

LLS, οι πηγές και τα γεώφωνα διατάσσονται με διαφορετικό τρόπο από ότι στη συσκευή BHC.

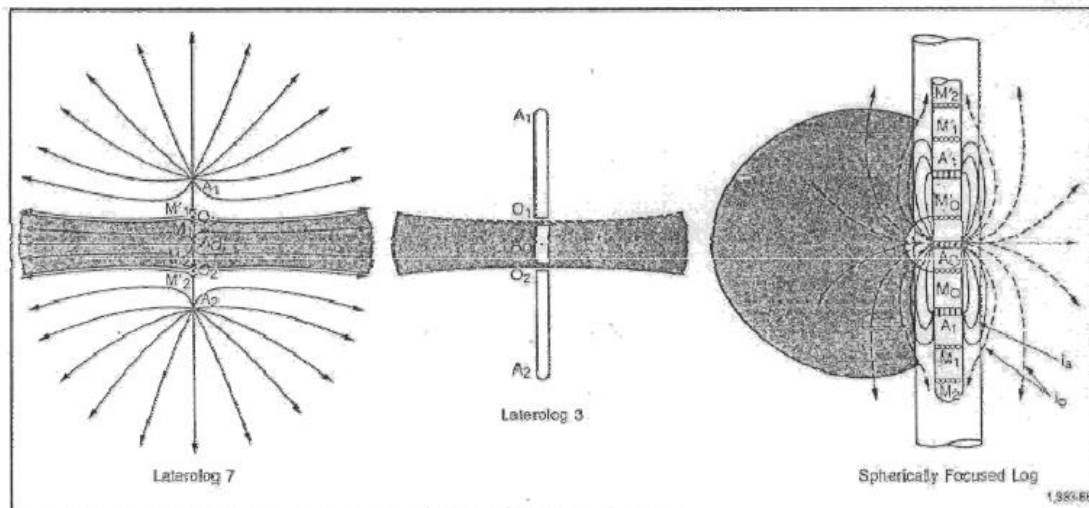
Με τη συσκευή Array-Sonic πραγματοποιούνται μετρήσεις του χρόνου διαδρομής  $\Delta t$  αλλά και μετρήσεις των σειсмоγραμμάτων. Η συσκευή περιλαμβάνει δύο πηγές πιεζοηλεκτρικού τύπου (5-18 KHz) και τρεις διατάξεις γεωφώνων. Μια τυπική ακουστική διαγραφή αποτελείται από καταγραφές των χρόνων διαδρομής  $\Delta t$  των επιμηκών μετωπικών κυμάτων, των εγκάρσιων μετωπικών κυμάτων και των κυμάτων Stoneley. Μία ακουστική συσκευή οκτώ δεικτών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Ακουστική συσκευή οκτώ δεικτών (Schlumberger Educational Services (1991) .

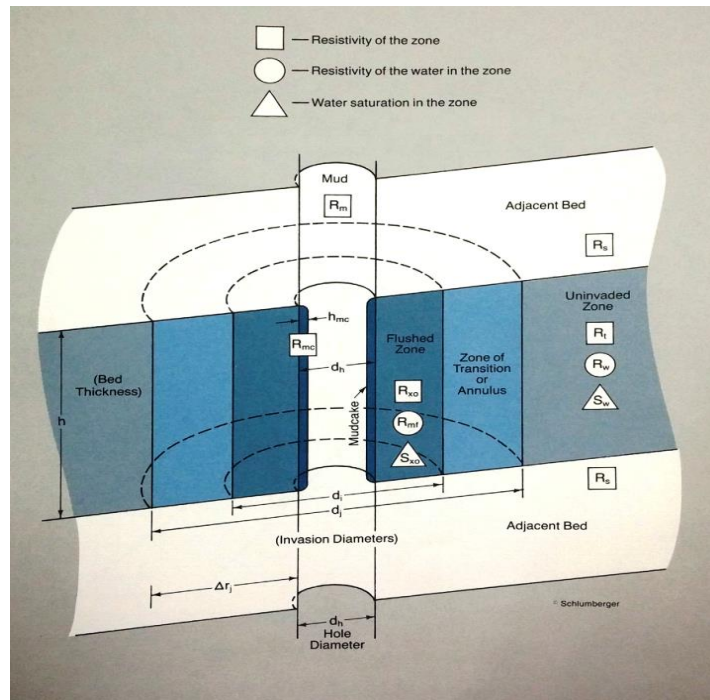
### 2.5 Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης

Οι ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης δίνουν καλύτερα αποτελέσματα σε αντίθεση με τις κλασικές ηλεκτρικές διαγραφίες διότι το ηλεκτρικό ρεύμα εστιάζεται σε λεπτό δίσκο και διεισδύει βαθύτερα μέσα στον υπό μελέτη σχηματισμό (Σχήμα 2.9). Στις κλασικές ηλεκτρικές διαγραφίες τα αποτελέσματα των συσκευών επηρεάζονται από την ειδική αντίσταση των γειτονικών σχηματισμών και από τη διάμετρο του φρεατίου.



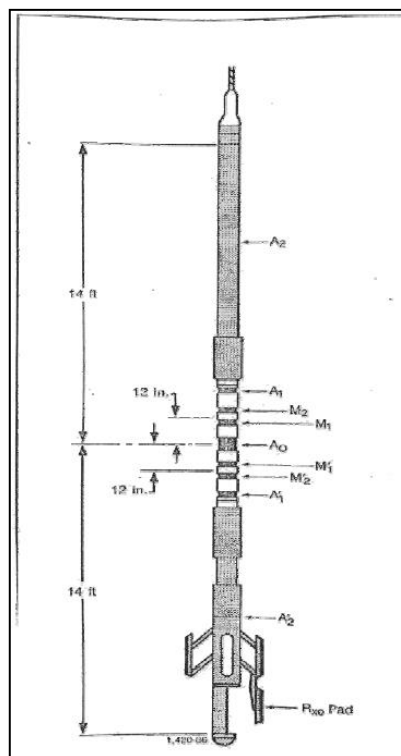
Σχήμα 2.9: Σχηματική παράσταση της εστίασης του ηλεκτρικού ρεύματος στις διαγραφίες εστίασης (Schlumberger Educational Services (1991) ).

Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης πραγματοποιούνται με συσκευές LATEROLOG και συσκευές σφαιρικής εστίασης (SFL). Τα συστήματα ηλεκτροδίων εστίασης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να παρουσιάζουν μικρή, ενδιάμεση ή μεγάλη διεισδυτική ικανότητα. Οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με συσκευές μικρής διεισδυτικής ικανότητας (π.χ SFL, LATEROLOG) χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού στην ζώνη διείσδυσης,  $R_{xo}$ . Από τις ενδιάμεσης και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας συσκευές (LATEROLOG 7, LATEROLOG 3) εκτιμάται η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού,  $R_t$ . (Σχήμα 2.10)



Σχήμα 2.10: Σχηματική παράσταση της ζώνης διείσδυσης και της μεταβατικής ζώνης σε περατό σχηματισμό. (Schlumberger Educational Services (1991))

Η πιο σύγχρονη συσκευή εστίασης είναι η DUAL LATEROLOG TOOL (DLL) (Σχήμα 2.11)



Σχήμα 2.11: Σχηματική παράσταση της συσκευής Dual Laterlog (Schlumberger Educational Services (1991)) .

Η συσκευή αυτή παρέχει δύο μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης με διαφορετικό βάθος διασκόπησης η κάθε μία. Η βαθιά μέτρηση (LLD) έχει μεγάλο βάθος διείσδυσης. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια (guard electrodes) πολύ μεγάλου μήκους. Το πάχος της δέσμης του ρεύματος που διοχετεύεται στον σχηματισμό έχει ονομαστική τιμή 2ft (περίπου 0,6m) και ίδια κατακόρυφη διακριτική ικανότητα. Η ρηχή μέτρηση (LLS) έχει την ίδια κατακόρυφη διακριτική ικανότητα (2ft) αλλά μικρότερο βάθος διασκόπησης.

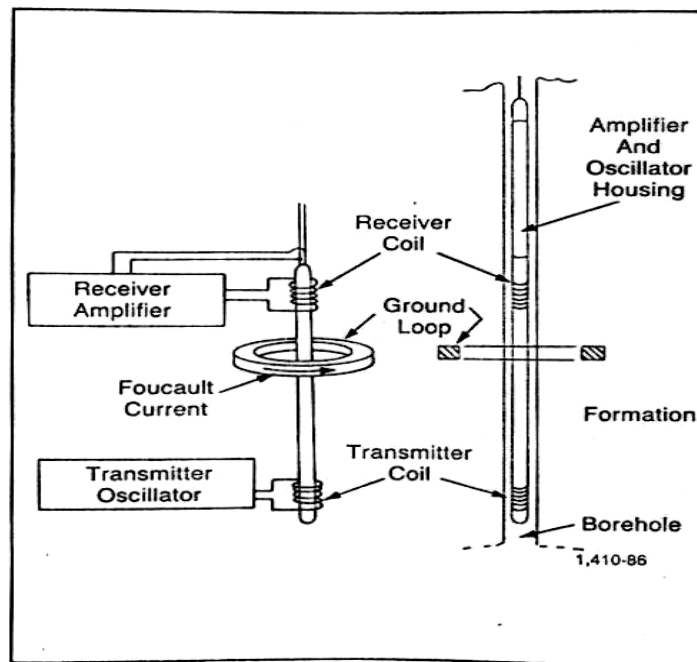
## **2.6 Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής**

Οι συσκευές διαγραφιών επαγωγής αναπτύχθηκαν αρχικά για τη μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πηγάδια στα οποία η γεωτρητική λάσπη έχει σαν βάση το πετρέλαιο. Οι συσκευές μέτρησης ηλεκτρικής αντίστασης επαγωγής, αποδίδει δύο μετρήσεις: τη “μέση” (ILm) και τη “βαθιά” (ILd) ανάλογα με το βάθος διασκόπησης της κάθε μίας. Το βάθος διασκόπησης εξαρτάται από την τιμή της ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού καθώς και την διαφορά της από αυτήν των περιβαλλόντων σχηματισμών.

Η συσκευή επαγωγής λόγω του ότι είναι ευαίσθητη στην ειδική αγωγιμότητα, είναι περισσότερο ακριβής απέναντι στους σχηματισμούς μικρής ή ενδιάμεσης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Αντιθέτως, η συσκευή εστίασης είναι πιο ακριβής σε σχηματισμούς ενδιάμεσης ή μεγάλης ηλεκτρικής αντίστασης

### **2.6.1 Εξοπλισμός διαγραφιών επαγωγής**

Οι συσκευές διαγραφιών επαγωγής αποτελούνται από πολλαπλά πηνία (δέκτες και πομπούς). Ωστόσο, η αρχή της μεθόδου γίνεται κατανοητή θεωρώντας ότι η συσκευή αποτελείται από πηνίο-πομπό και πηνίο-δέκτη (Σχήμα 2.12). Η συσκευή διαγραφιών επαγωγής δύναται να χρησιμοποιηθεί σε πηγάδια με ανθεκτική μικρής αγωγιμότητας λάσπη αλλά και σε πηγάδια με αγωγήμη λάσπη εκτός από τις περιπτώσεις όπου η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων, οι σχηματισμοί είναι πολύ ανθεκτικοί, ή η διάμετρος του φρέατος είναι πολύ μεγάλη.

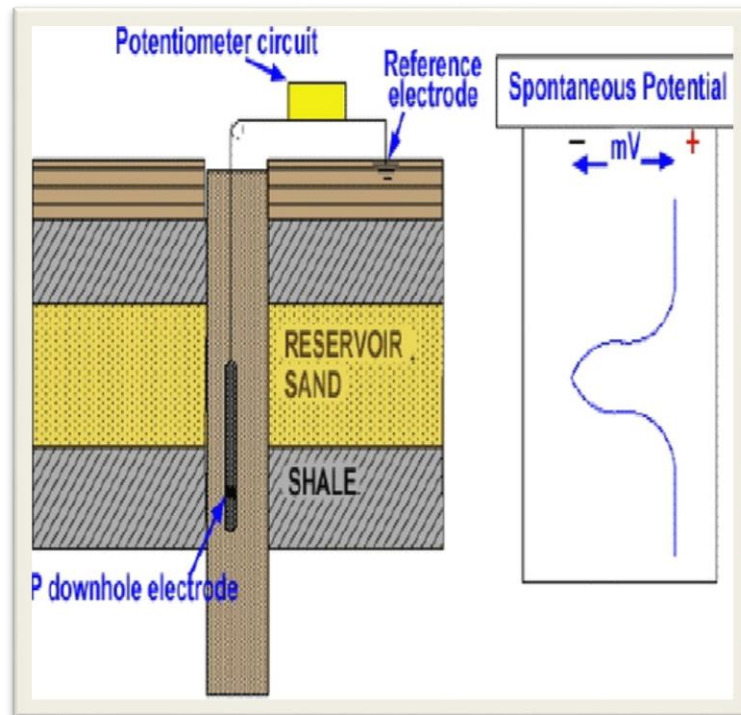


Σχήμα 2.12: Συσσκευή επαγωγής δυο πηνίων (Schlumberger Educational Services (1991) .

## 2.7 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού

Οι διαγραφίες φυσικού δυναμικού είναι η καταγραφή συναρτήσεων του βάθους, της διαφοράς ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ κινούμενου μέσα στη γεώτρηση και σταθερού στην επιφάνεια, ηλεκτροδίου. Οι διαγραφίες αυτές χρησιμοποιούνται για τους παρακάτω λόγους: i) ο διαχωρισμός μεταξύ περατών και αδιαπέρατων σχηματισμών, ii) ο ορισμός των ορίων των διάφορων στρωμάτων μεταξύ τους, iii) η ποσοτική εκτίμηση του αργλικού περιεχομένου των σχηματισμών, iv) η λιθολογική αναγνώριση των σχηματισμών και v) ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του νερού των σχηματισμών.

Η καμπύλη φυσικού δυναμικού απέναντι σε αργλικούς σχιστόλιθους, είναι σχεδόν ευθεία ενώ απέναντι σε περατούς σχηματισμούς αποκλίνει προς τα δεξιά (θετική απόκλιση) ή τα αριστερά (αρνητική απόκλιση). (Σχήμα 2.13). Η καταγραφή του φυσικού δυναμικού επιτυγχάνεται μόνο εάν ο γεωτρητικός πολφός που πληροί την γεώτρηση είναι αγωγίμος διότι αλλιώς δεν είναι δυνατή η ηλεκτρική επαφή των ηλεκτροδίων της συσκευής καταγραφής.



Σχήμα 2.13: Αναπαράσταση της διαγραφίας φυσικού δυναμικού (<http://www.slideshare.net/>)

## 2.8 Διαγραφίες ακτινών γάμμα

Οι διαγραφίες ακτινών γάμμα είναι μέτρηση της φυσικής ραδιενέργειας γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με το βάθος. Οι ακτίνες γάμμα είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής ενέργειας που διαδίδονται από ατομικούς πυρήνες με τη μορφή ακτινοβολίας. Η διαγραφή αυτή αντικατοπτρίζει το αργλικό περιεχόμενο των ιζηματογενών σχηματισμών. Καθαροί σχηματισμοί εκπέμπουν συνήθως ελάχιστη ραδιενέργεια εκτός αν περιέχουν κάποιο ραδιενεργό υλικό όπως η ηφαιστειακή στάχτη.

Η συσκευή διασκόπησης ακτινών γάμμα αποτελείται από ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα ο οποίος είναι πλέον ο απαριθμητής σπινθηρισμών οι οποίοι αντικατέστησαν τους απαριθμητές Geiger-Muller. Σε ιζηματογενείς σχηματισμούς το βάθος διασκόπησης της συσκευής είναι περίπου ένα πόδι (1ft).

### 2.9 Διαγραφίες φασματοκοπίας ακτινών γάμμα

Οι διαγραφίες φασματοσκοπίας ακτινών γάμμα καταγράφουν την φυσική ραδιενέργεια των σχηματισμών. Με τη διαγραφή φασματοκοπίας ακτινών γάμμα καθορίζεται το ενεργειακό φάσμα των ακτινών γάμμα ενώ αντιθέτως με τη διαγραφή ακτινών γάμμα υπολογίζεται η ολική φυσική ραδιενέργεια. Από τη φασματική κατανομή των ακτινών γάμμα προσδιορίζεται η περιεκτικότητα των ραδιενεργών στοιχείων. Η φυσική ραδιενέργεια των ιζηματογενών πετρωμάτων προέρχεται κυρίως από τη μεταστοιχείωση τριών ραδιενεργών στοιχείων:

- του  $K^{40}$  με χρόνο υποδιπλασιασμού  $1.3 \times 10^3$  χρόνια
- του  $Th^{232}$  με χρόνο υποδιπλασιασμού  $1.4 \times 10^{10}$  χρόνια και
- του  $U^{238}$  με χρόνο υποδιπλασιασμού  $4.4 \times 10^9$  χρόνια



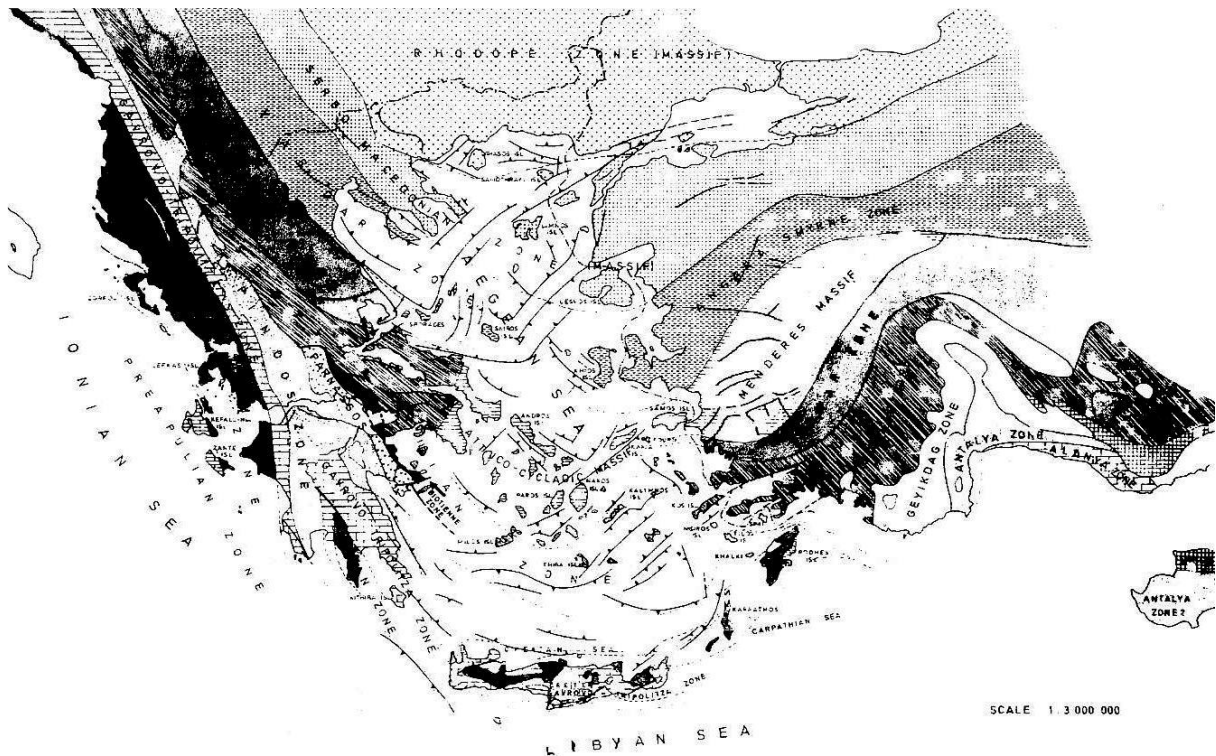
### 3 ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ

(Από Μιχαλάκη, 2010 , Κιομουρτζή, 2016)

#### 3.1 Γεωλογική εξέλιξη του Αιγαίου

Το αρχιπέλαγος του Αιγαίου είναι μια από τις λίγες περιοχές , όπου πολύπλοκες γεωλογικές διεργασίες είναι υπεύθυνες όχι μόνο για τη γένεση και την εξέλιξή του αλλά και τη διαμόρφωση του μοναδικού κάλλους περιβάλλοντος του καθώς και την κοινωνική, οικονομική και ιστορική εξέλιξη του από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Βασικές αλλαγές και σημαντικά γεωλογικά γεγονότα συνέβαλαν στη διαμόρφωση των λεκανών και της παλαιογεωγραφικής τους εξέλιξης, που άρχισαν πριν από 23 εκατομμύρια χρόνια περίπου, και συνεχίζονται μέχρι σήμερα, όπως τεκτονικές δράσεις, αποσύρσεις, επικλύσεις της θάλασσας κ.α..

Η παλαιογεωγραφική και τεκτονική εξέλιξη του Αιγαιακού χώρου κατά το Νεογενές-Τεταρτογενές και ειδικότερα η νεοτεκτονική εξέλιξη του ήταν πολύπλοκη και είχε σαν αποτέλεσμα την απόθεση αναλόγων ιζημάτων. Τεμάχη ανυψώθηκαν ενώ άλλα βυθίστηκαν, και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εισβολή της θάλασσας στις χαμηλές περιοχές.



Χάρτης 3.1 : Χάρτης των γεωτεκτονικών ζωνών που διασχίζουν την ηπειρωτική Ελλάδα, το Αιγαίο πέλαγος και την Τουρκία (Λαλέχος, 2000)

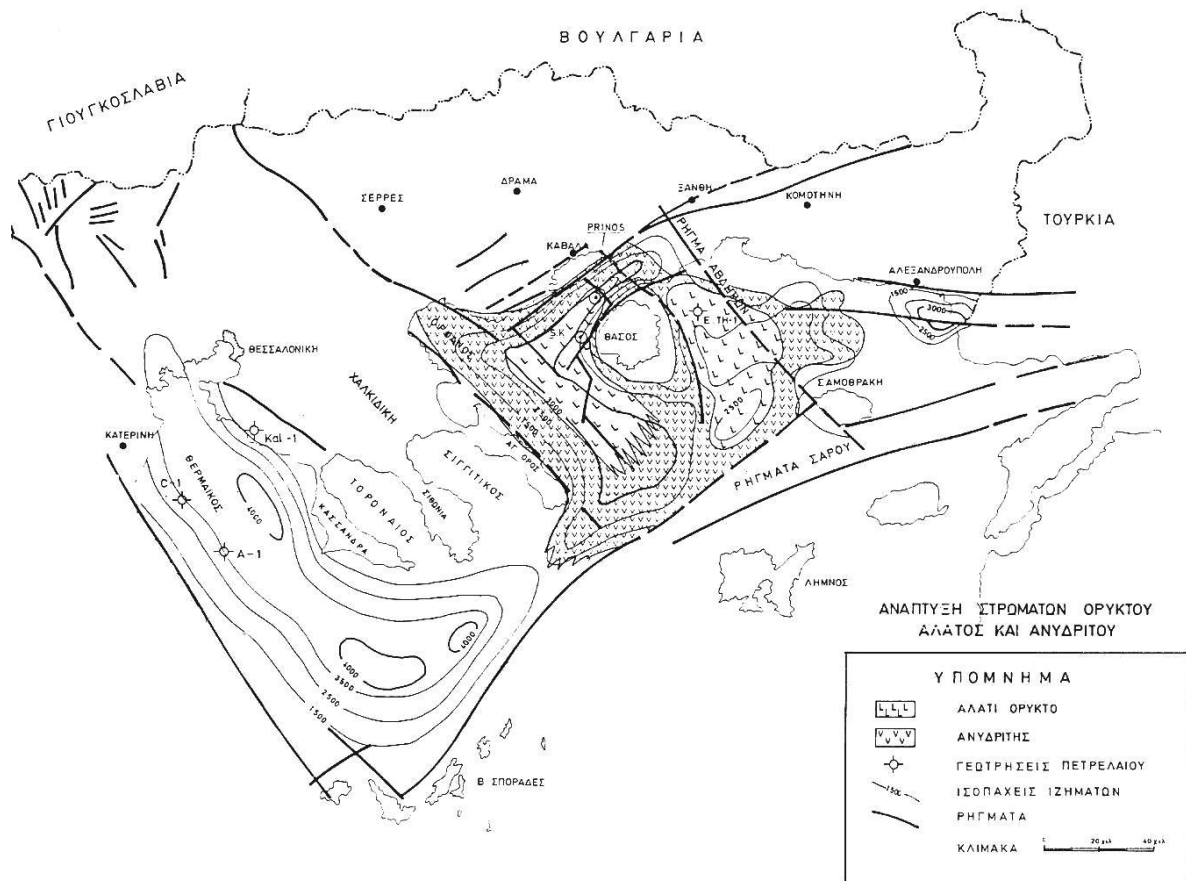
Η ανάπτυξη των Μειοκαινικών μολασσικών ιζημάτων σε αρκετό πάχος σε κλειστές τεκτονικές λεκάνες, έδωσε τελικά την γένεση των εβαπορίτων κάτω από τους οποίους εντοπίστηκαν οικονομικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων σε Μεσσήνιους ψαμμιτικούς σχηματισμούς. Τα στρώματα ορυκτού άλατος, ανυδριτών και γύψου αποτέθηκαν σε εναλλαγή με χερσαία ιζήματα των περιοχών Στρυμόνα-Σερρών και Δέλτα Νέστου, που προεκτάθηκαν στην θαλάσσια περιοχή του Θρακικού πελάγους κατά Μειόκαινο. (Πουλάκης, 2008)



Χάρτης 3.2 : Δημιουργία κλειστής θάλασσας κατά το Μειόκαινο, επικοινωνεί με ανατολή και δύση με παρεμβολές χέρσου και λιμνών (Λαλέχος, 2000)

Κατά το τέλος του Ολιγόκαινου και στις αρχές του Μειόκαινου επίδρασαν οι τελευταίες αλπικές κινήσεις, με αποτέλεσμα την πτύχωση των σχηματισμών του Ηώκαινου και του Ολιγόκαινου. Ακολούθησαν διαρρήξεις παλιών ρηγμάτων, άνοδος και κάθοδος τεμάχων,

δημιουργία χέρσων, θαλασσών και λιμνών, ενώ στο Θρακικό πέλαγος από το Άθως μέχρι το ρήγμα Αβδήρων, δημιουργήθηκε κλειστή θάλασσα. Η δημιουργία των κλειστών θαλασσών και η εξέλιξη αυτών σε λίμνες και αντιστρόφως, δημιούργησε όλες τις κατάλληλες συνθήκες ιζηματογένεσης των μητρικών πετρωμάτων των υδρογονανθράκων. (Λαλέχος, 2000).



Χάρτης 3.3 : Απεικόνιση θαλάσσιας περιοχής Θρακικού πελάγους (Λαλέχος, 2000)

### 3.2 Η λεκάνη του Πρίνου και η δημιουργία της

Η ιζηματογενής λεκάνη Πρίνου-Καβάλας είναι ταφρογενετικό βύθισμα, που εξελίχθηκε με ασυνήθη μεγάλη ταχύτητα κατά τη Μεταλπική περίοδο στην περιοχή του σημερινού Βορείου Αιγαίου. Παραμένει ο μοναδικός μορφοτεκτονικός σχηματισμός στον Ελληνικό χώρο, στις Νεογενούς ηλικίας κλαστικές αποθέσεις του οποίου έχουν σχηματισθεί εκμεταλλεύσιμοι ταμιευτήρες πετρελαίου. (Lalechos & Savoyat 1977, Proedrou 1979).

Τοποθετείται στο νότιο άκρο της Μάζας της Ροδόπης, μεταξύ τω νησιών της Θάσου και της Θασοπούλας και της ηπειρωτικής χώρας της ΒΑ Ελλάδας. Η περιοχή παρέμεινε πάνω από της στάθμη της θάλασσας κατά τη διάρκεια του κύκλου της Τηθύος και η ανάπτυξη της λεκάνης ξεκίνησε στο Μειόκαινο, με το σπάσιμο της πλάκας του Αιγαίου και την βύθιση της Μάζας της Ροδόπης (Proedrou, 1979). Η λεκάνη θεωρείται ότι σχηματίστηκε με την δράση κλιμακωτών «echelon» ρηγμάτων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης (Mavromatidis, 2004), και σχετίζεται με την ανάπτυξη των περιβαλλόντων μεταμορφικών και πυριγενών πετρωμάτων που έχουν κύρια διεύθυνση εμφάνισης ΒΒΑ. Η μετέπειτα τεκτονική που προέκυψε από την πλαγιολίσθηση του νότιου τμήματος του ρήγματος της Ανατολίας άφησε άθικτη τη λεκάνη του Πρίνου και τις παρακείμενες Μειοκαινικής ηλικίας λεκάνες

Οι σχέσεις έντονων και συνδυαστικών τεκτονικών κινήσεων, ταχύτητας κλαστικής ιζηματογένεσης και παλαιοκλιματικών συνθηκών, πριν και μετά το «Μεσσήνιο Συμβάν», οδήγησαν όχι μόνο στη δημιουργία, αλλά και στην ωρίμανση και παγίδευση υδρογονανθράκων σε εκμεταλλεύσιμες ποσότητες. Η ύπαρξη τουρβιδιτικών ακολουθιών στρωματογραφικά πάνω και κάτω από τη «Μεσσήνια» εβαποριτική ακολουθία, πιθανώς να συνδέεται με μια ουσιαστική αλλαγή στην τροφοδοσία της χερσοτρόφου συμπαρασυρόμενης μητρικής οργανικής ύλης. Το υλικό των τουρβιδιτικών ρευμάτων κάλυψε τις διάφορες υπολεκάνες κατά τη διάρκεια του Νεογενούς, μεταφέροντας πιθανώς κατ' επανάληψη παραπλήσιο «οργανικό σήμα» πάνω και κάτω από τις εβαποριτικές ακολουθίες. (Πασαδάκης, 2005)

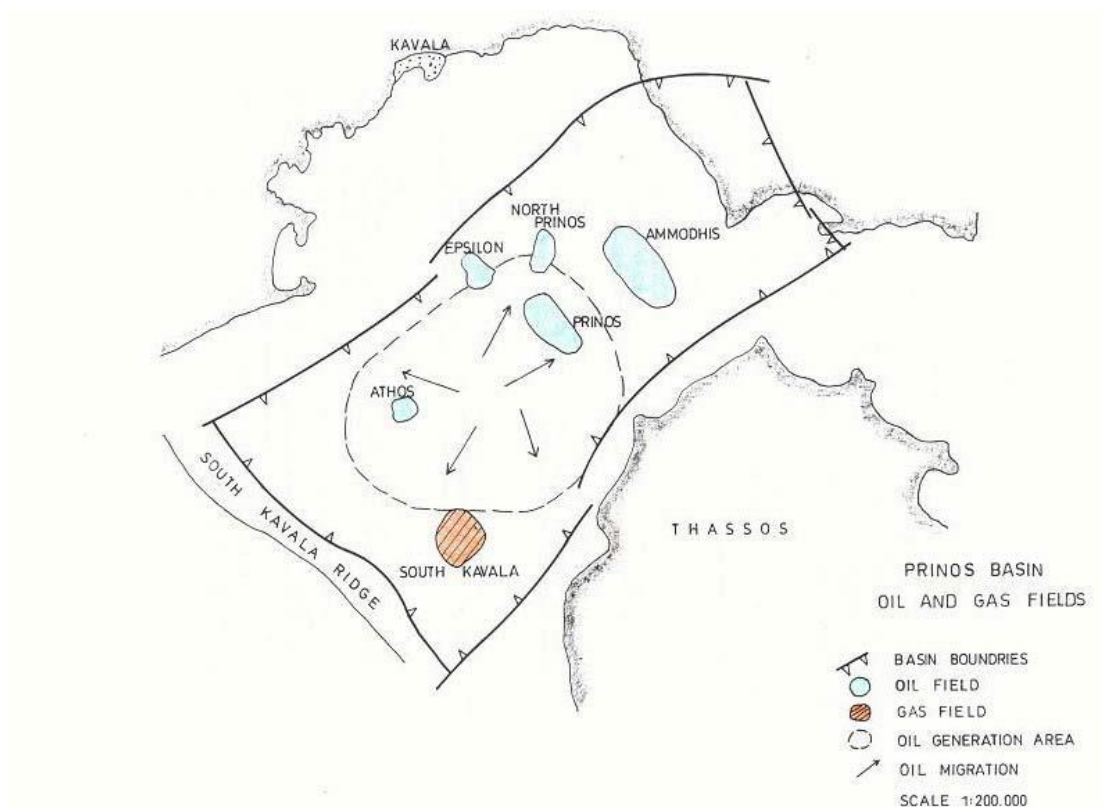
### **3.3 Γεωλογικό περίγραμμα της λεκάνης**

Η λεκάνη του Πρίνου – Καβάλας είναι μία μικρής κλίμακας λεκάνη με επιμηκυμένο σχήμα με κύριο άξονα ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης, με μήκος περίπου 30km και πλάτος 15km, και εμφανίζεται ασύμμετρη αναφορικά με την συσσώρευση των ιζημάτων που την γέμισαν. ΒΔ-ΝΑ διεύθυνσης, ιζηματογενή λιστρικά ρήγματα οδήγησαν στην προοδευτική συσσώρευση των ιζημάτων και την μεταφορά τους στα βαθύτερα και νοτιότερα τμήματα, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των αποθέσεων να φτάνει σε πάχος τα 5-5,5 km. Η λεκάνη διαιρείται σε δύο υπολεκάνες, την βόρεια και νότια, που διαχωρίζονται από ένα ενδολεκανικό ύβωμα (Proedrou, 1979). Η νότια υπολεκάνη, που ονομάστηκε υπολεκάνη του Πρίνου, είναι

μεγάλου βάθους αποθετική λεκάνη, η βόρεια υπολεκάνη του Πρίνου, είναι η μεγάλου βάθους αποθετική λεκάνη, ενώ η βόρεια υπολεκάνη του Νέστου, στο τελικό της εξελικτικό στάδιο εμφανίζει μικρότερα βάθη.

Ο γρήγορος ρυθμός ιζηματογένεσης και βύθισης της λεκάνης οδήγησε στην συγκέντρωση μεγάλου πάχους ιζημάτων τα οποία, στα βαθύτερα τμήματά της, έφτασαν στα απαραίτητα επίπεδα θερμικής ωρίμανσης για την παραγωγή υδρογονανθράκων. Με την διαδικασία αυτή δημιουργήθηκαν τα κοιτάσματα πετρελαίου και φυσικού αερίου της λεκάνης Πρίνου, τα οποία είναι μέχρι σήμερα τα μοναδικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα υδρογονανθράκων στην Ελλάδα. Οι δομές που αποτελούν τον μηχανισμό παγίδευσης και φιλοξενούν τα κοιτάσματα στη λεκάνη είναι αντίκλινα ολίσθησης λόγω βαρύτητας τύπου roll-over, και βρίσκονται στο βόρειο-κεντρικό και νότιο τμήμα της (Proedrou and Sidiropoulos, 1992).

Στα πρώτα στάδια της ιζηματογένεσης η λεκάνη Πρίνου-Καβάλας ήταν ανοικτή στο νότο προς τη θάλασσα. Βαθμιαία άρχισε να δημιουργείται μεταξύ της Θάσου και της ηπειρωτικής χώρας μια υποθαλάσσια ράχη, η ράχη της νότιας Καβάλας, δημιουργώντας περιορισμό στην ανοικτή θάλασσα και μετασχηματίζοντας τη λεκάνη σε λιμνοθάλασσα κατά το Μεσσήνιο. Η ράχη, στην βορειοανατολική πλευρά της οποίας βρίσκεται το μικρό νησί της Θασοπούλας, συμμετείχε περιοδικά στην πλήρη απομόνωση της λεκάνης από τη θάλασσα. Την ίδια χρονική περίοδο, σύστημα περιβαλλόμενων από ξηρά λεκανών αναπτύχθηκε στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου. Στην υπολεκάνη του Πρίνου κατά τη διάρκεια του Μεσσηνίου αποτέθηκαν μεταξύ των κλαστικών ακολουθιών έξι κύριοι εβαποριτικοί ορίζοντες, ενώ στην υπολεκάνη του Νέστου αποτέθηκαν ανυδρίτες και ασβεστόλιθοι. Η ιζηματογένεση συνεχίστηκε με θαλάσσια πλειοκαινικά ιζήματα.

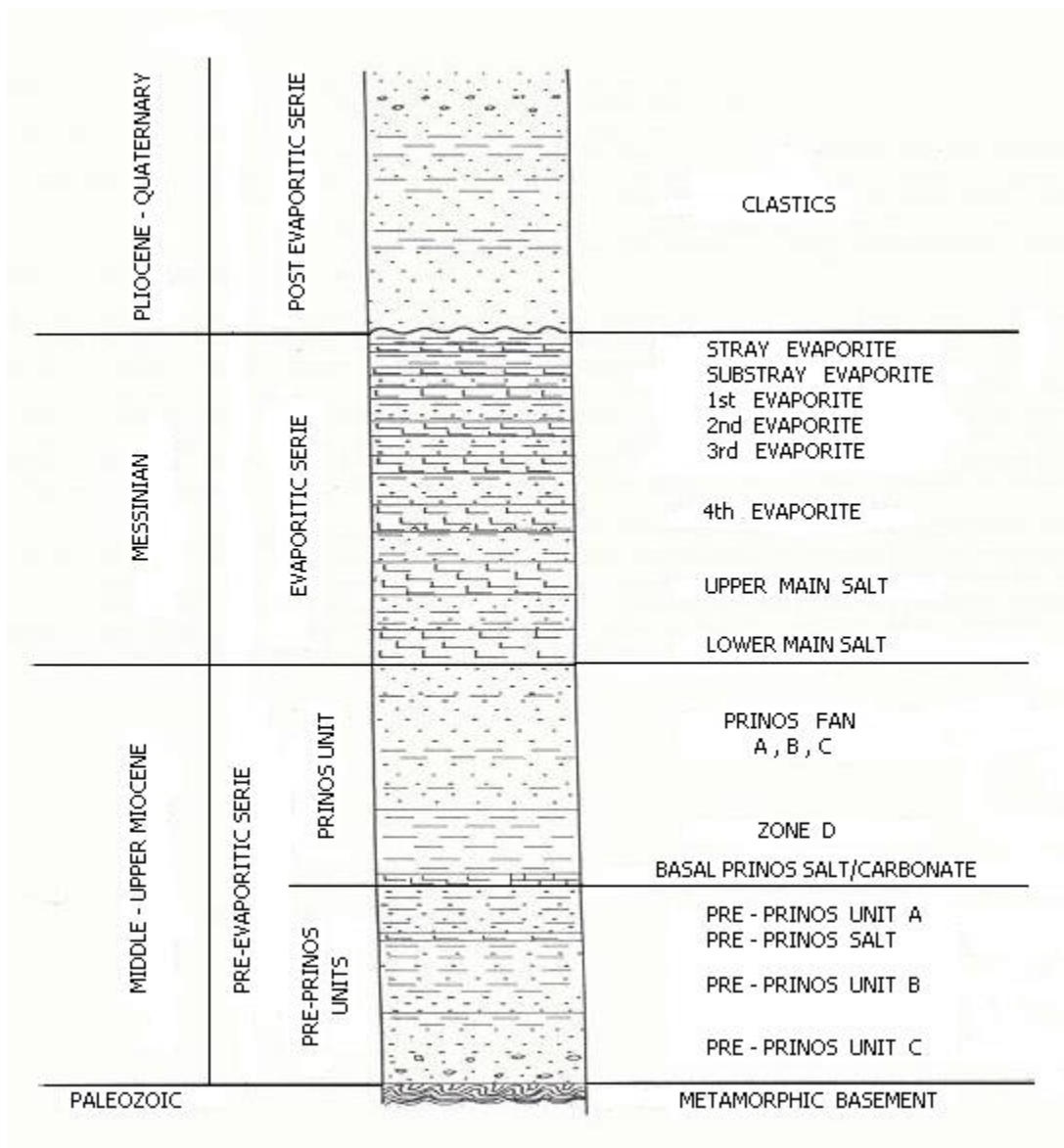


Χάρτης 3.4 : Τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου στην λεκάνη του Πρίνου (Proedrou & Papaconstantinou , 2004)

### 3.4 Στρωματογραφική αποτύπωση της λεκάνης του Πρίνου

Οι στρωματογραφικές ενότητες ήταν ήδη εγκατεστημένες μετά την ολοκλήρωση των πρώτων γεωτρήσεων. Οι τρεις κύριες ενότητες που επικρατούν με πολύ ξεκάθαρα όρια μεταξύ τους είναι η προ-εβαποριτική, η εβαποριτική και η μετα-εβαποριτική.

Η κάθε μία αντιπροσωπεύει διαφορετικό ιζηματολογικό περιβάλλον και συνήθως το πάχος αυξάνεται προς το κέντρο των υπολεκανών. Το υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα, γενέσιους και χαλαζία. Η προ-εβαποριτική σειρά ξεκινάει με διάσπαση της λεκάνης με τα βασικά ιζήματα και ολοκληρώνεται ακριβώς πριν την απόθεση των κύριων εβαπορίτων (Σχήμα 3.1). Οι πρώτες αποθέσεις είναι κλαστικού χαρακτήρα, συγχωνευμένες με ψαμμίτες, αργίλικα πετρώματα και λεπτές φλέβες άνθρακα. Σύμφωνα με τη σεισμική ερμηνεία αυτές οι κλαστικές αποθέσεις μεταφέρθηκαν από βορειοανατολικά και νοτιοδυτικά και μετακινήθηκαν με ελαττωμένο πάχος προς το κέντρο των υπολεκανών. Το συνολικό τμήμα των κλαστικών αποθέσεων των προ-εβαποριτικών σειρών γίνεται πιο παχύ προς το κέντρο της λεκάνης. Οι νεότερες αποθέσεις έχουν θαλάσσιο χαρακτήρα και επιστρώνουν τις παλαιότερες σχηματίζοντας ανομοιόμορφα στρώματα.



Σχήμα 3.1: Χρονοστρωματογραφική στήλη της λεκάνης του Πρίνου (Proedrou & Papaconstantinou, 2004)

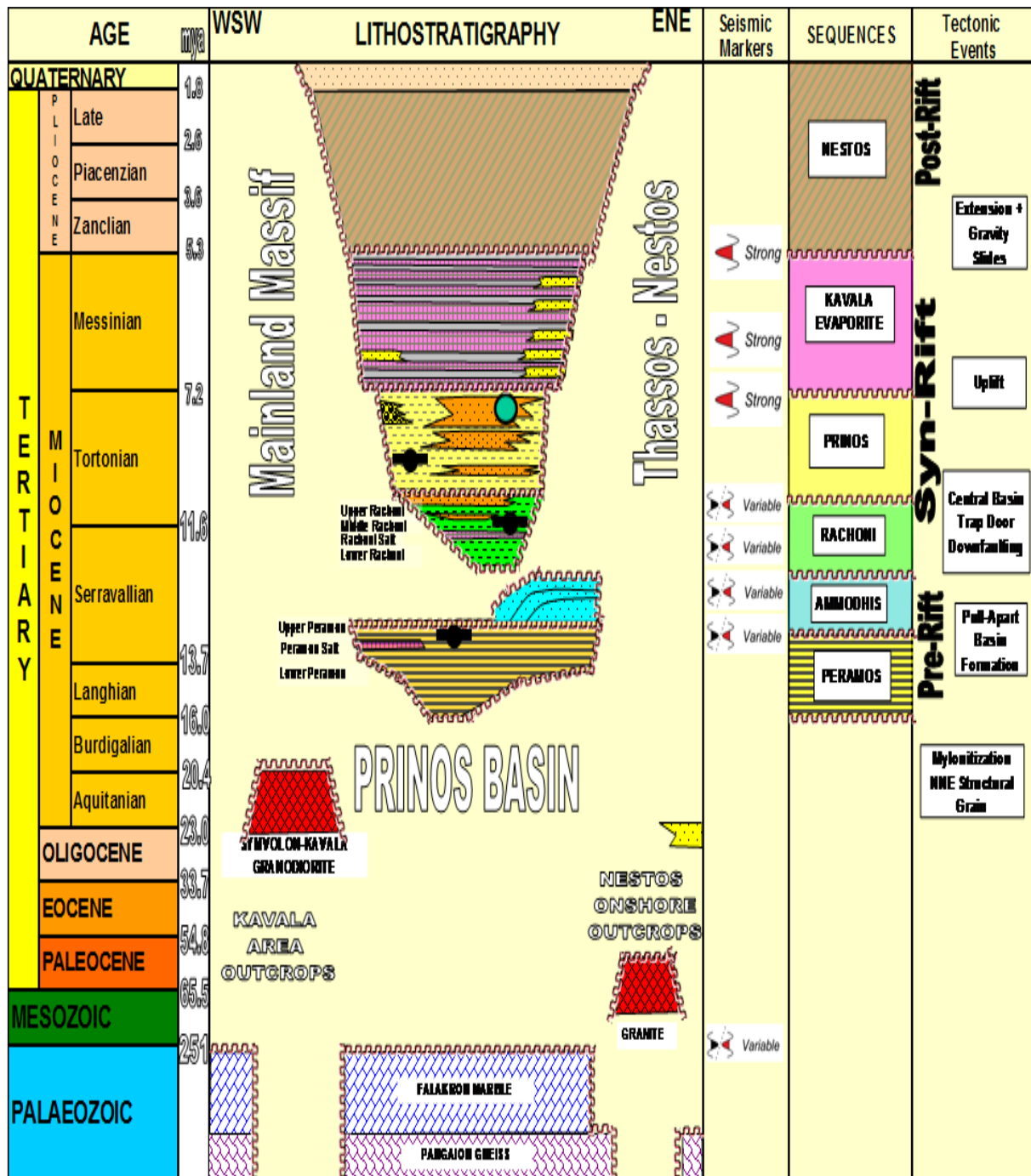
Μετέπειτα, ακολουθεί ζώνη ασβεστόλιθου, δολομίτη και ανυδρίτη με κλαστικά στρώματα που καλύπτουν το νότιο μέρος της υπολεκάνης του Πρίνου. Προς το κέντρο, στο πιο βαθύ μέρος της λεκάνης, ο ανυδρίτης αντικαθίσταται από στρώματα άλατος, συνήθως πάχους μερικών μέτρων.

Στη κορυφή της προ-εβαποριτικής σειράς συναντώνται παρεμβολές ψαμμίτη ενώ στη συνέχεια ακολουθούν τουρβιδιτικοί σχηματισμοί. Αυτοί έχουν πάχος 300m και δημιουργήθηκαν την ίδια χρονική περίοδο περιορίζοντας την απόθεση των αργιλικών στο ανώτερο μέρος της ζώνης.

Η εβαποριτική σειρά χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις. Στην βόρεια υπολεκάνη, στρώματα ανυδρίτη και ασβεστόλιθου πάχους 3 και 5 μέτρων εναλλάσσονται μεταξύ τους με ψαμμίτες, αργίλους και μάργες. Αντίθετα στο νότιο τμήμα το πάχος της ανέρχεται στα 800m. Αποτελείται από επτά με οκτώ στρώματα άλατος με αυξανόμενο πάχος προς τη βάση του τμήματος, τα οποία εναλλάσσονται με κλαστικά πετρώματα (Σχήμα 3.1).

Η κλαστική μετα-εβαποριτική σειρά χαρακτηρίζεται από τη πληθώρα νανοπλαγκτόν, τρηματοφόρων και υπολείμματα φυκιών που πιστοποιούν θαλάσσια προέλευση, η οποία ανήκει χρονικά στο Πλειόκαινο. Προς τη κορυφή, τα χονδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα εκδηλώνουν δελταϊκή προέλευση λόγω των υπολειμμάτων μαλακίων που έχουν βρεθεί σε αυτά (Προέδρου, 1979).

Στη λεκάνη Πρίνου – Καβάλας προσδιορίστηκαν αργότερα 6 μεγάλες ασυνέχειες που οριοθετούν αντίστοιχες λιθολογικές ενότητες από τους Harker και Burrows (2007) (Σχήμα 3.2). Οι ενότητες αυτές περιλαμβάνουν, την παλαιότερη ενότητα της Περάμου, την ενότητα του Αμμώδους με τρία δέλτα τύπου «Gilbert», τις ενότητες του Ραχώνιου και του Πρίνου με ιζήματα βαθιάς θάλασσας, την ενότητα της Καβάλας με τους εβαπορίτες και τέλος την ενότητα Νέστου με τα νεότερα ιζήματα που πλήρωσαν τη λεκάνη.



Σχήμα 3.2: Στρωματογραφική στήλη της λεκάνης Πρίνου - Καβάλας (Harker and Burrows, 2007).



## 4 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 4.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής αναπτύχθηκαν τόσο τα πρωτογενή, όσο και οι μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, επεξεργάστηκαν τα δεδομένα των γεωτρήσεων PA-4, PB-18 και PB-20 στη λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας που παραχωρήθηκαν από την εταιρία της Energean Oil & Gas S.A.

Τα δεδομένα από τις γεωτρήσεις δόθηκαν σε έντυπη μορφή και μετατράπηκαν για διευκόλυνση της επεξεργασίας σε μορφή .xls. Σε κάθε μία από τις παραπάνω γεωτρήσεις δόθηκαν διαφορετικές γεωφυσικές μετρήσεις.

Αρχικά, στις παραπάνω γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό την εύρεση του βάθους των ταμιευτήρων A1, A2, B και C σύμφωνα με το γεωλογικό μοντέλο. Μετέπειτα, αξιολογήθηκαν σύμφωνα με τις κατάλληλες γεωφυσικές μεθόδους.

Τα βήματα της επεξεργασίας από τις γεωτρήσεις είναι:

- 1) Υπολογισμός του πορώδους
- 2) Εκτίμηση του βαθμού κορεσμού σε νερό
- 3) Εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού
- 4) Εκτίμηση του δείκτη παραγωγικότητας

## 4.2 Πρωτογενή δεδομένα

Πίνακας 4.1: Κατηγορίες πρωτογενών δεδομένων

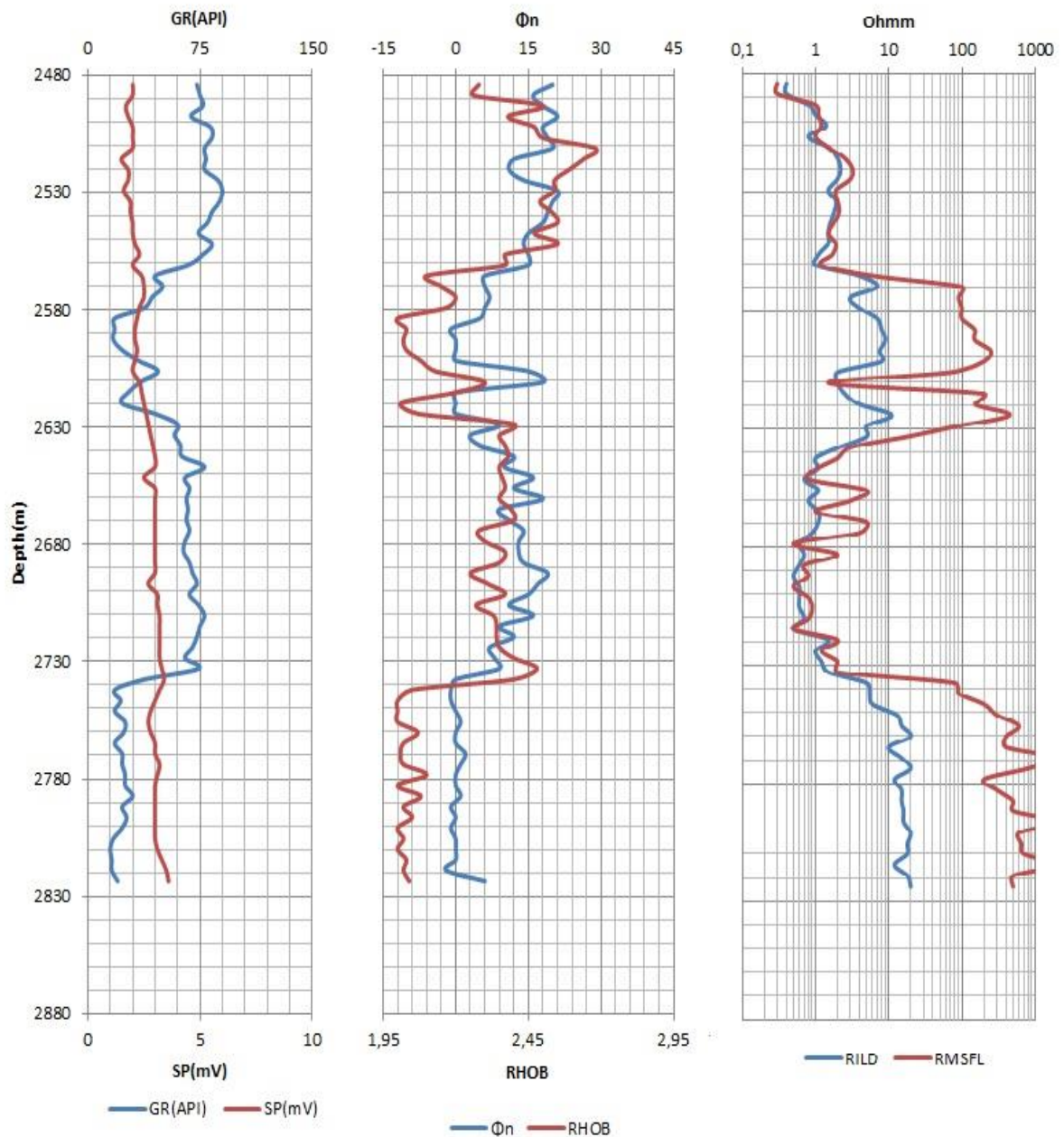
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ</b>	
<b>DEPTH .m</b>	Βάθος
<b>GR .gAPI</b>	Φυσικής Ραδιενέργειας
<b>NPHI .m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b>	Νετρονίου Πορώδους
<b>DPHI .m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup></b>	Πυκνότητα Πορώδους
<b>RHOB .g/cm<sup>3</sup></b>	Πυκνότητας
<b>RILD .ohm.m</b>	Ηλεκτρικές Διαγραφίες Επαγωγής
<b>RSFLU .ohm.m</b>	Ηλεκτρικές Διαγραφίες Εστίασης
<b>SP .mV</b>	Φυσικού Δυναμικού
<b>SW</b>	Βαθμός κορεσμού
<b>RWA .ohm.m</b>	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση νερού
<b>SXO</b>	Βαθμός κορεσμού (διήθημα της λάσπης)
<b>ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ</b>	
<b>DRHO .g/cm<sup>3</sup></b>	Διόρθωση πυκνότητας
<b>CALI .in</b>	Διαμέτρημα γεώτρησης
<b>DT .us/ft</b>	Ακουστικές διαγραφίες

Ο πίνακας 4.1 παραθέτει δεδομένα που είχαν αποσταλεί από την Energean Oil & Gas S.A. για επεξεργασία. Ο πίνακας περιέχει τόσο τα δεδομένα που επεξεργάστηκαν στη παρούσα διπλωματική αλλά τόσο αυτά που δεν συμπεριλήφθησαν.

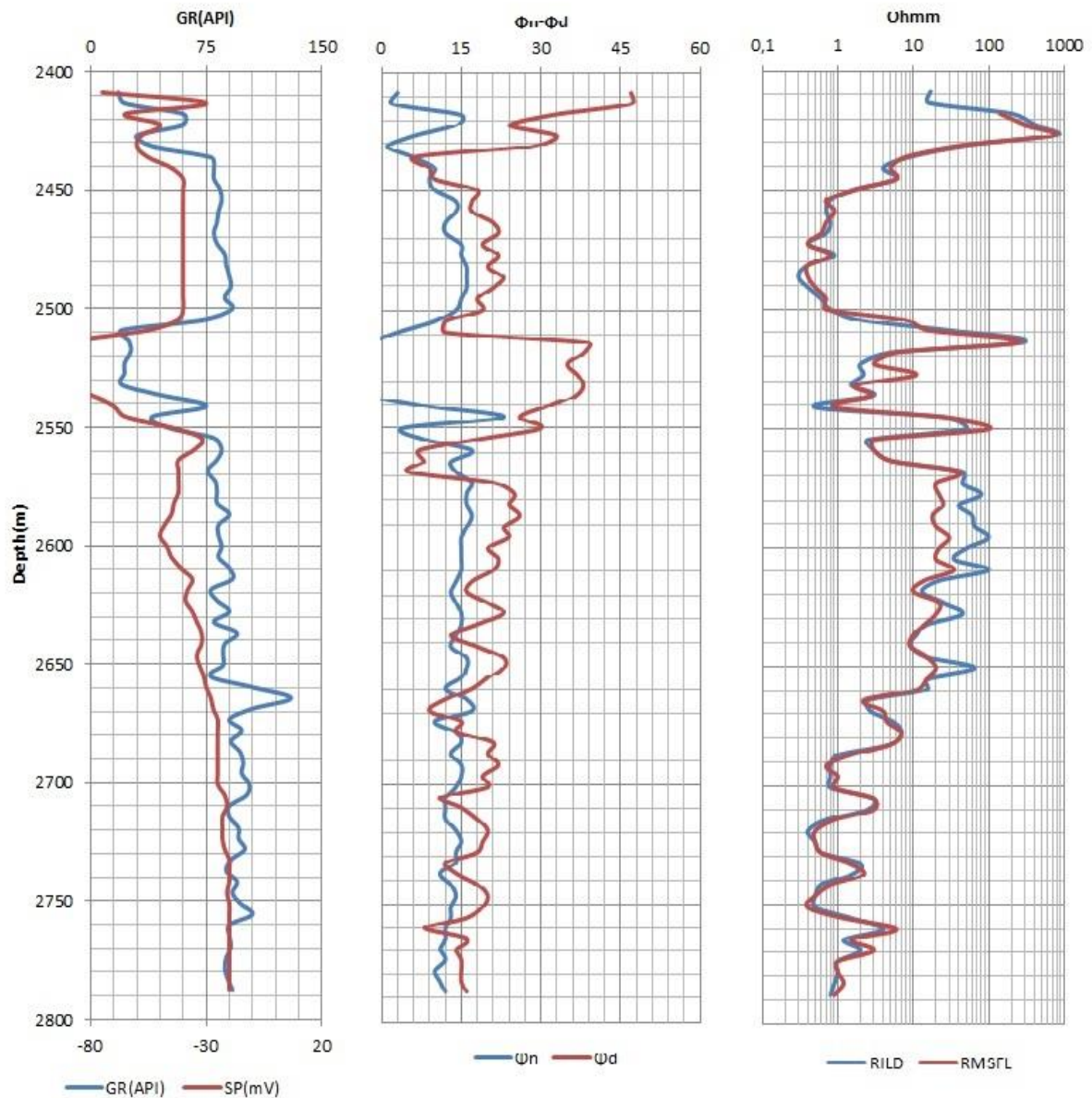
Στην αριστερή στήλη βρίσκονται οι παράμετροι για τις οποίες λήφθηκαν μετρήσεις ενώ στη δεξιά στήλη, γίνεται μία πολύ σύντομη περιγραφή της κάθε ιδιότητας, με σκοπό να κατανοηθούν καλύτερα οι όροι που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία της παρούσας εργασίας.

Κατά τη διαδικασία της επεξεργασίας των μετρήσεων, δε λήφθηκαν υπόψη όλα τα πρωτογενή δεδομένα, καθώς έγινε επιλογή σύμφωνα με τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη γεωφυσική ερμηνεία αυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε κάθε μία από τις γεωτρήσεις

παρατηρήθηκαν διαφορετικά δεδομένα. Παρακάτω απεικονίζονται οι γεωφυσικές διαγραφίες για τις γεωτρήσεις PA-4, PB-18 και PB-20. (Σχήματα 4.1-4.3)

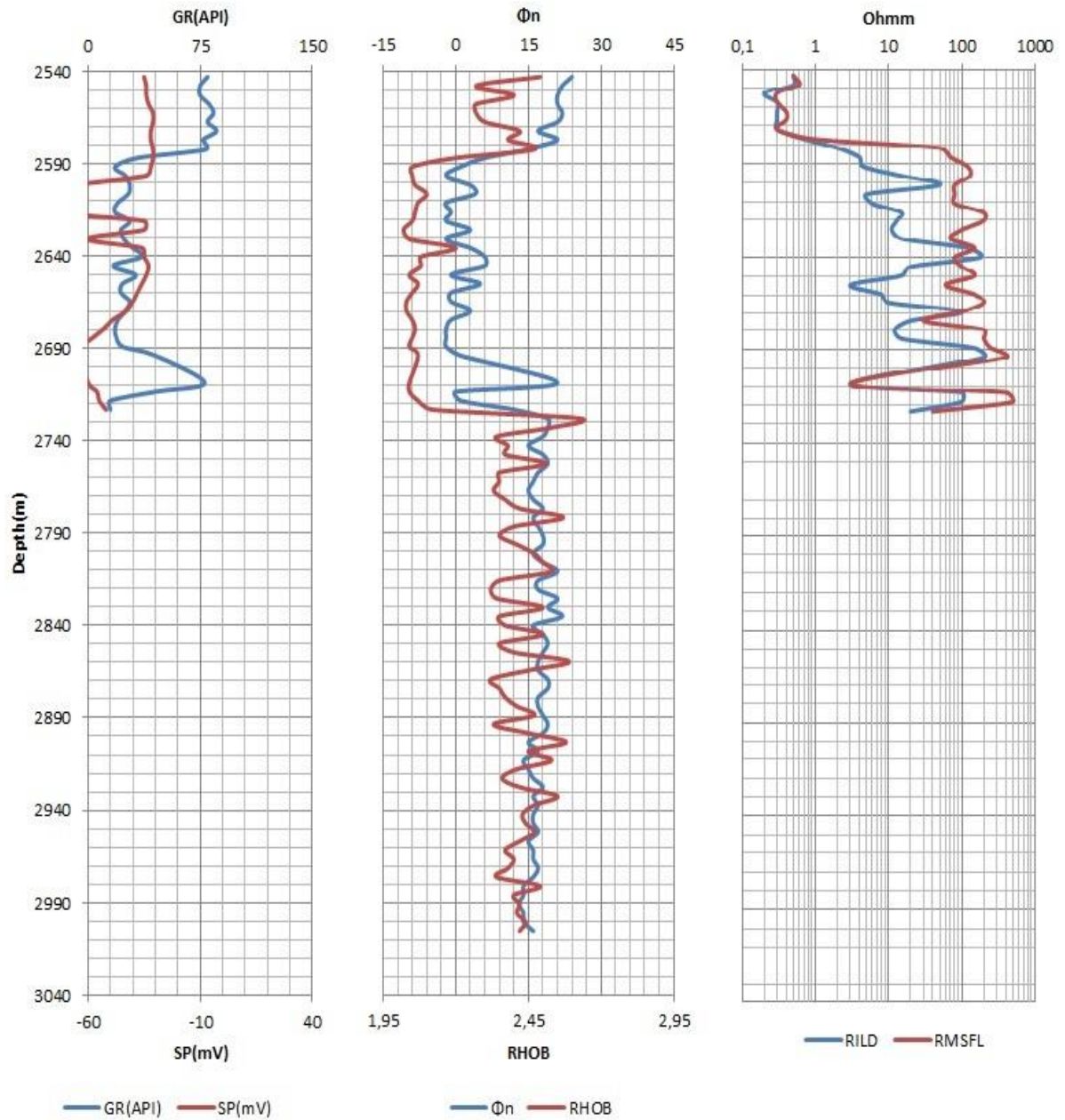


Σχήμα 4.1: Διαγραφίες της PA-4 γεώτρησης. Στα αριστερά το φυσικό δυναμικό (SP) με των ακτίνων γάμμα (GR), στο κέντρο νετρονίου ( $\Phi_n$ ) και πυκνότητας RHOB και δεξιά ηλεκτρική διαγραφή επαγωγής (ILD) και εστίασης (SFL)

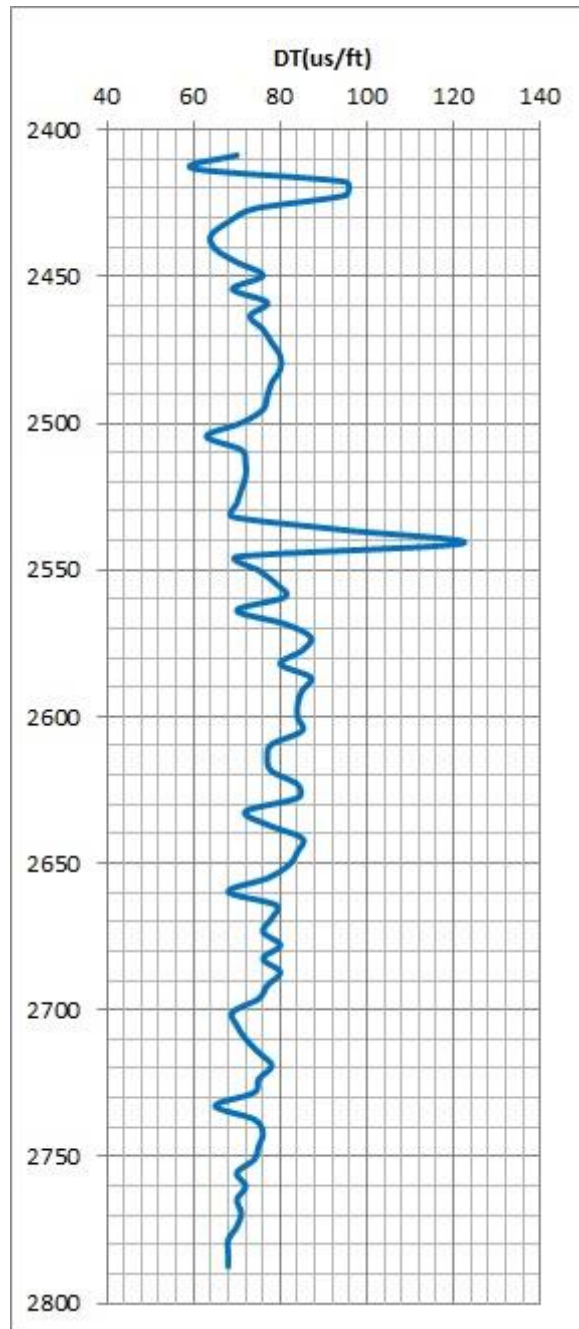


Σχήμα 4.2: Διαγραφίες της PB-18 γεώτρησης. Στα αριστερά το φυσικό δυναμικό (SP) με των ακτίνων γάμμα (GR), στο κέντρο νετρονίου (Φn) και πυκνότητας (Φd) και δεξιά ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής (ILD) και εστίασης (SFL).

Στη συγκεκριμένη γεώτρηση δε μπόρεσαν να ληφθούν ασφαλής μετρήσεις για τις ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής (ILD) και εστίασης (SFL), στα βάθη 2610-2635m και 2705-2775m λόγω κορεσμένης κλίμακας.



Σχήμα 4.3: Διαγραφίες της PB-20 γεώτρησης. Στα αριστερά το φυσικό δυναμικό (SP) με των ακτίνων γάμμα (GR), στο κέντρο νετρονίου (Φn) και πυκνότητας RHOB και δεξιά ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής (ILD) και εστίασης (SFL).

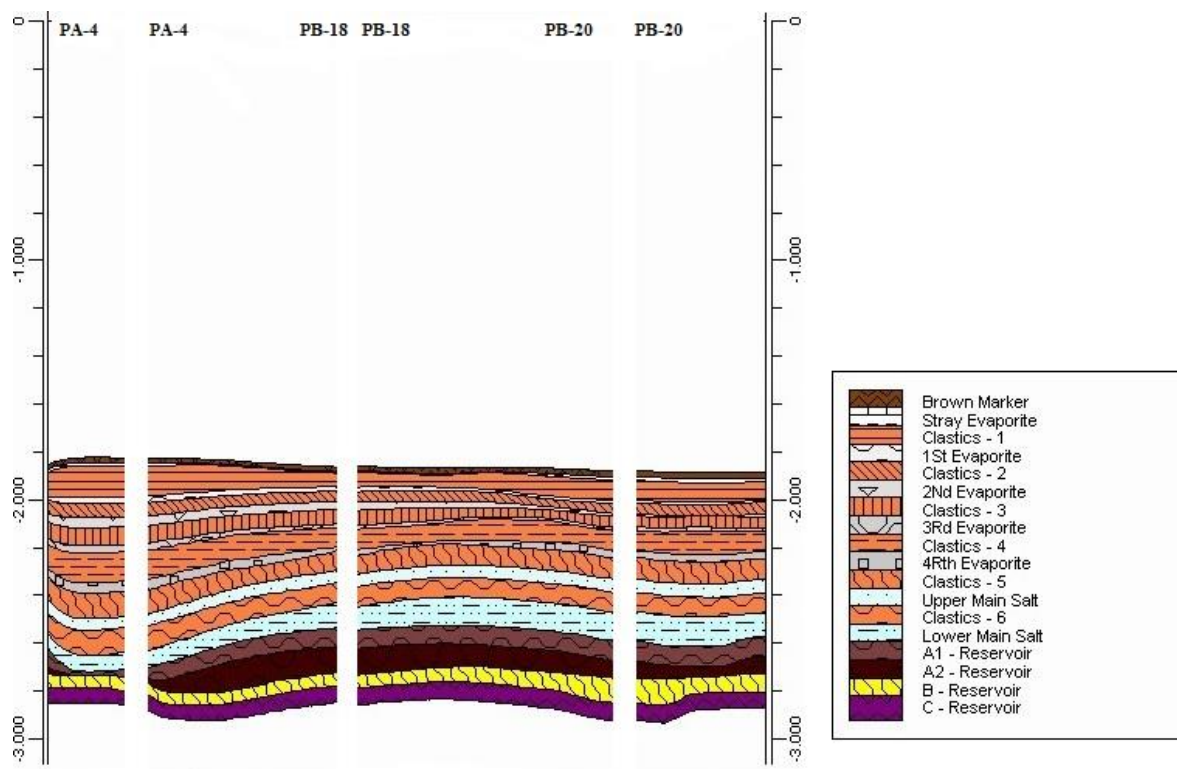


Σχήμα 4.4: Ακουστικές διαγραφίες συναρτήσει του βάθους για τη διαγραφή PB-18.

Η ακουστική γεωφυσική διαγραφή που παρατίθεται παραπάνω (Σχήμα 4.4) για τη γεώτρηση PB-18 δεν χρησιμοποιήθηκε κατά την επεξεργασία της διπλωματικής.

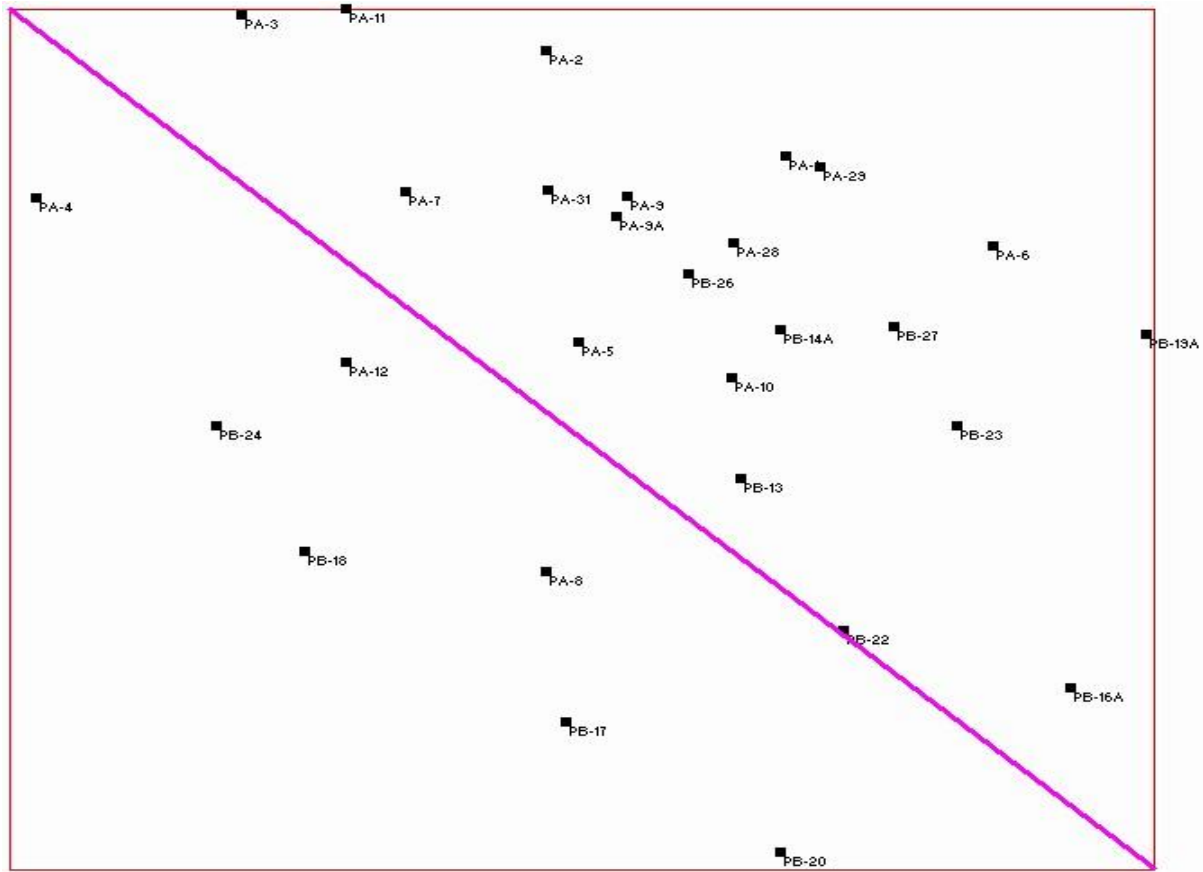
### 4.3 Αρχική αξιολόγηση σχηματισμών

Αρχικώς, το πρώτο βήμα για να αξιολογηθούν οι γεωτρήσεις ήταν να βρεθούν τα βάθη ενδιαφέροντος. Με τη βοήθεια του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου του κοιτάσματος του Πρίνου (Μιχελάκης, 2010) κατασκευάστηκε τομή μεταξύ των φρεατίων προκειμένου να εκτιμηθεί το βάθος των υπό μελέτη σχηματισμών.



Σχήμα 4.5: Τομή μεταξύ των γεωτρήσεων και τρισδιάστατη λιθοστρωματογραφική προσομοίωση του κοιτάσματος υδρογονανθράκων του Πρίνου. (Μιχελάκης, 2010)

Το σχήμα 4.5 περιγράφει τη γεωλογική τομή της λεκάνης του Πρίνου και υποδεικνύει τη θέση και τα βάθη των ταμιευτήρων που θα εξεταστούν.



Εικόνα 4.1: Διαγώνια γραμμή η οποία αντιστοιχεί στην τομή του σχήματος 4.5

Η σχέση που συνδέει το πορώδες,  $\Phi$ , με τη πυκνότητα του σχηματισμού  $\rho_b$ , είναι:

$$\Phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (4.1)$$

Όπου,  $\rho_f$  είναι η πυκνότητα του ρευστού το οποίο πληροί τους πόρους του σχηματισμού και  $\rho_{ma}$  είναι η πυκνότητα του στερεού τμήματος. Η παρουσία φυσικού αερίου ή αργιλικών προσμίξεων μέσα στο σχηματισμό επηρεάζουν τις μετρήσεις της συσκευής για τον υπολογισμό του πορώδους. Η  $\rho_f$  του ρευστού ισούται με  $1 \text{ g/cm}^3$  και το  $\rho_{ma}$  του ψαμμίτη είναι ίσο με  $2,65 \text{ g/cm}^3$ . Ακολούθως, για να υπολογισθεί το πορώδες χρησιμοποιήθηκε η σχέση:

$$\Phi = \frac{\Phi_d + \Phi_n}{2} \quad (4.2)$$

Ο βαθμός κορεσμού υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$S_w = \sqrt{\frac{R_{wa,min} \cdot 0,9}{\Phi^2 \cdot R_t}} \quad (4.3)$$

Όπου,  $R_{wa}$  υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$R_{wa} = \frac{1}{0,9} \Phi^2 \cdot R_t \quad (4.4)$$

Η τιμή που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του  $S_w$  σε όλες τις γεωτρήσεις είναι  **$R_{wa,min}=0.0072 \text{ Ohmm}$** . Για να εκτιμηθεί αυτή η τιμή, πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί του  $R_{wa}$  σε όλες τις γεωτρήσεις, για όλα τα διαθέσιμα βάθη (Dewan, 1983). Η ελάχιστη τιμή  $R_{wa,min}$  προήλθε από τη γεώτρηση PB-20 σε βάθος 2610m (Πίνακας 4.2).

Ο πίνακας 4.2 αποτελείται από τα εξής δεδομένα από τη γεώτρηση PB-20, για την εύρεση του  $R_{wa}$ : βάθος (DEPTH, m), ακτίνων γάμμα (GR), νετρονίου ( $\Phi_N$ ), πυκνότητας ( $\rho_b$ ), ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης ( $R_{ILD}$ ) και βαθμό κορεσμού σε νερό ( $S_w$ ), της γεώτρησης PB-20 και για βάθος από 2600-2635m.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι διαγραφιών στο αντίστοιχο βάθος στη γεώτρηση PB-20

Measured Depth (m)	GR (API)	$\Phi_N$	$P_b$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\Phi_D$	$\Phi$	$R_{ILD}$	$S_w$	$R_{wa}$
2600	80	24	2,49	9,69	16,84	0,50	0,67	0,0157
2605	75	22	2,27	23,03	22,51	0,50	0,50	0,0281
2610	75	21	2,40	15,15	18,07	0,20	0,99	0,0072
2615	81	21	2,27	23,03	22,01	0,30	0,66	0,0161
2620	84	22	2,27	23,03	22,51	0,30	0,65	0,0168
2625	80	21	2,30	21,21	21,10	0,30	0,69	0,0148
2630	86	17	2,42	13,93	15,46	0,30	0,95	0,0079
2635	77	21	2,38	16,36	18,68	0,70	0,51	0,0271

Για κάθε γεώτρηση ξεχωριστά, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα (Κιομουρτζή, 2016) υπολογίστηκε το πραγματικό βάθος  $z$ . Για την εκτίμηση του  $z$  χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω τύποι:

$$d = \sqrt{(X_{APXH} - X_{TEΛΟΣ})^2 + (Z_{APXH} - Z_{TEΛΟΣ})^2} \quad (4.5)$$

$$\tan\varphi = \frac{d}{Z_{APXH} - Z_{TEΛΟΣ}} \quad (4.6)$$

$$MD = z_1 + \frac{z - z_1}{\cos\varphi} \quad (4.7)$$

$$z = (MD - z_1) \cdot \cos\varphi + z_1 \quad (4.8)$$

Όπου,

$Z_{TEΛΟΣ}$ : Το συνολικό μετρούμενο βάθος κάθε γεώτρησης

$\tan\varphi$ : Η εφαπτομένη της γωνίας του άξονα του κοπτικού και της κατακόρυφου

$MD$ : Το μετρούμενο βάθος κάθε γεώτρησης

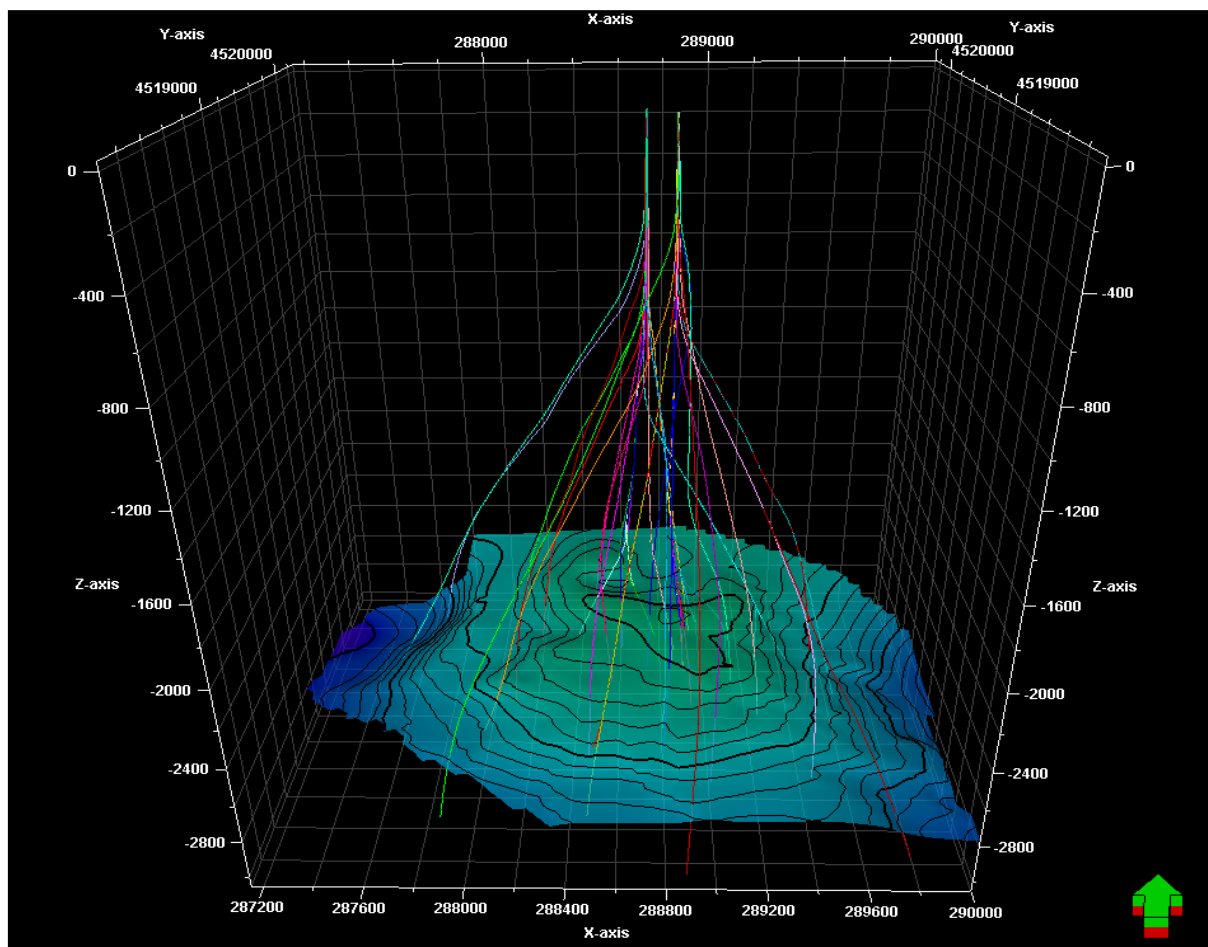
### ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ:

$X_{APXH} = 287800 \text{ m}$ ,  $X_{TEΛΟΣ} = 288850 \text{ m}$

$Z_{APXH} = 4519200 \text{ m}$ ,  $Z_{TEΛΟΣ} = 4519600 \text{ m}$

$Z_1 = 400 \text{ m}$

Οι παραπάνω παραδοχές προέκυψαν από την Εικόνα 4.2.



Εικόνα 4.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση των γεωτρήσεων του Πρίνου (Κιομουρτζή, 2016).

Στο πίνακα 4.3 παρουσιάζονται τα βάθη για κάθε ένα από τους ταμιευτήρες (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C) για τις τρεις γεωτρήσεις.

Πίνακας 4.3: Όρια κάθε ταμιευτήρα για τις γεωτρήσεις σε true depth (TD) και measured depth (MD)

Ταμιευτήρας	PA-4	PA-4	PB-18	PB-18	PB-20	PB-20
	m, TD	m, MD	m, TD	m, MD	m, TD	m, MD
A <sub>1</sub> RESERVOIR TOP	2732	2975	2595	2805	2581	2640
A <sub>2</sub> RESERVOIR TOP	-	-	2714	2935	2722	2785
B RESERVOIR TOP	-	-	-	-	2839	2905
C RESERVOIR TOP	-	-	-	-	2932	3000
RESERVOIR BOTTOM	2823	3075	2787	3015	3005	3075

### 4.4 Γεώτρηση PA-4

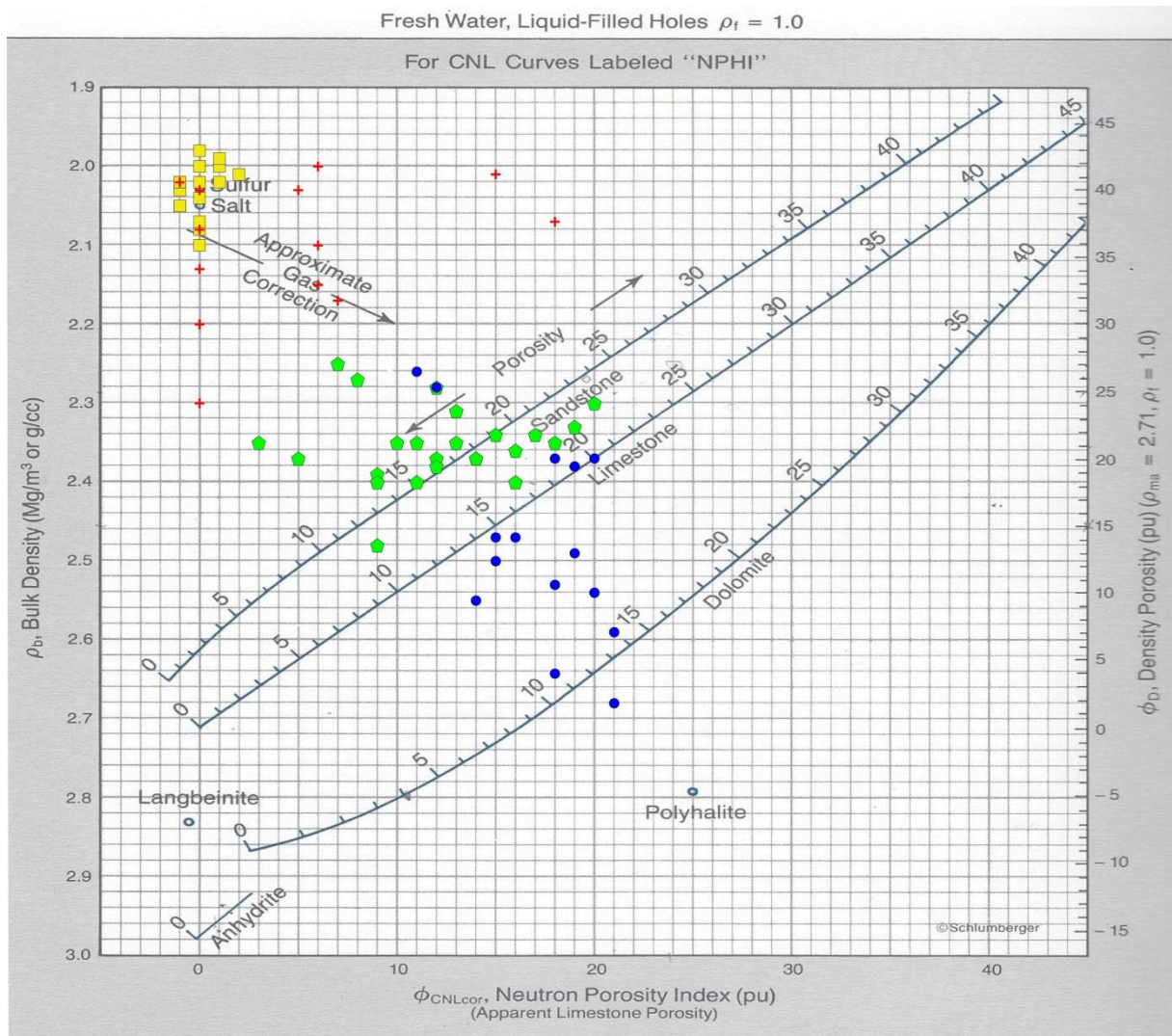
Για την αξιολόγηση των διαγραφιών υπολογίστηκαν τα τρία βασικά μεγέθη:

- Το πορώδες  $\phi$
- Ο βαθμός κορεσμού σε νερό  $S_w$
- Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του αδιατάρακτου σχηματισμού  $R_t$  (Ohmm)

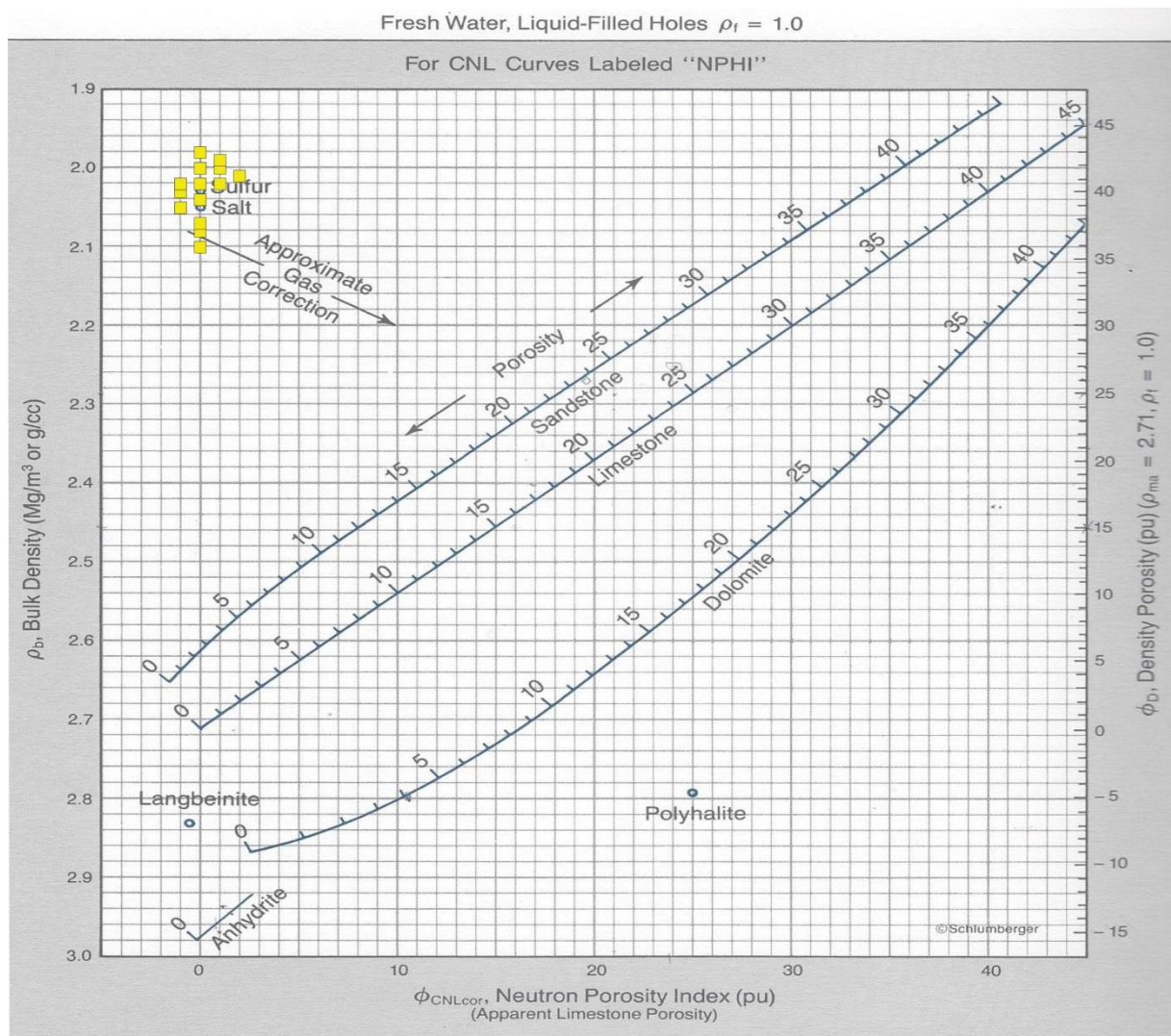
Για τον υπολογισμό των τριών παραπάνω παραμέτρων, καταμετρήθηκαν οι τιμές για όλο το βάθος της γεώτρησης που ήταν διαθέσιμο. Για να γίνει εκτίμηση του πορώδους, κατασκευάστηκε διάγραμμα τύπου cross-plot για όλο το βάθος της γεώτρησης όπου έγινε συνδυασμός των διαγραφιών πορώδους πυκνότητας.

#### 4.4.1 Διαγραφίες πορώδους και πυκνότητας

Για την εκτίμηση του πορώδους, συνδυάζονται οι διαγραφίες πυκνότητας (RHOB) και νετρονίου ( $\Phi_n$ ). Το πρότυπο διάγραμμα  $\phi_n$ - $\rho_b$  λαμβάνει τιμές στους άξονες για τη διαγραφή νετρονίου μεταξύ (-0,05-0,45) pu και οι τιμές της πυκνότητας από (1,9-3) g/cm<sup>3</sup>. Στο διάγραμμα cross-plot που ακολουθεί τοποθετήθηκαν οι τιμές από τις διαγραφίες πυκνότητας και πορώδους. Το Σχήμα 4.6 απεικονίζει το συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για όλο το βάθος της γεώτρησης. Το Σχήμα 4.7 απεικονίζει τις τιμές του ταμιευτήρα A1.



Σχήμα 4.6: Τιμές της γεώτρησης PA-4 από τις διαγραφίες νετρονίου ( $\Phi_n$ ) και πυκνότητας ( $RHOB$ ). Με πράσινο, κόκκινο και μπλε χρώμα απεικονίζονται οι τιμές που βρίσκονται εκτός του ταμιευτήρα A1. Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές του ταμιευτήρα A1.



Σχήμα 4.7: Διάγραμμα πυκνότητας πορώδους  $\phi_N$  της γεώτρησης PA-4 για βάθος 2732m-2832m

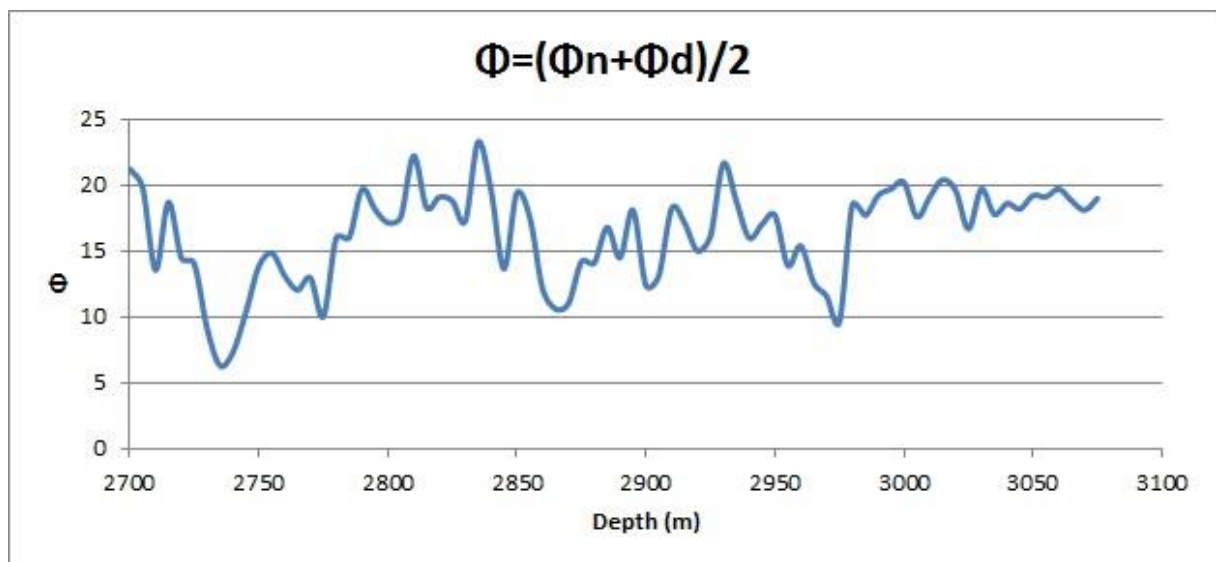
Τα αντίστοιχα όρια παρουσιάζονται στο πίνακα 4.3 και για τις τρεις γεωτρήσεις. (PA-4, PB-18 και PB-20).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επιλογή του τμήματος κάθε ταμιευτήρα, όπου οι αντίστοιχες τιμές βρίσκονται εντός ορίων, που δίνονται στο πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Εύρος τιμών πορώδους ( $\Phi_n$ ) και πυκνότητας ( $P_b$ ) για κάθε γεώτρηση (PA-4, PB-18 και PB-20)

PA-4			
Ταμιευτήρας	m, TD	$\Phi_n$	$P_b(g/cm^3)$
A1 Reservoir	2732-2823	-0,02-0,09	2-2,4
PB-18			
A1 Reservoir	2595-2709	0,10-0,17	-
A2 Reservoir	2709-2787	0,10-0,15	-
PB-20			
A1 Reservoir	2581-2718	-0,02-0,21	2-2,4
A2 Reservoir	2718-2835	0,12-0,22	2,1-2,6
B Reservoir	2835-2927	0,15-0,19	2,3-2,5
C Reservoir	2927-3005	0,13-0,17	2,3-2,5

Παρατηρείται ότι σε όλες τις γεωτρήσεις και σε όλους τους ταμιευτήρες το εύρος των τιμών είναι διαφορετικό στις διαγραφίες νετρονίων. Επίσης, στη PB-20 εντοπίζεται αλλαγή των ορίων της διαγραφίας της πυκνότητας σε κάθε ταμιευτήρα. Στο σχήμα 4.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα του πορώδους συναρτήσει του βάθους.



Σχήμα 4.8: Πορώδες συναρτήσει του βάθους για την γεώτρηση PA-4.

### 4.4.2 Ηλεκτρικές διαγραφίες

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι η μόνη παράμετρος για την οποία έχουν δημιουργηθεί όργανα μέτρησης με μεγάλο βάθος διείσδυσης, το οποίο μπορεί να φτάσει μέχρι μερικά πόδια από το φρεάτιο. Η εκτίμησή της, είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό του βαθμού κορεσμού σε νερό ειδικότερα στο τμήμα του ταμιευτήρα το οποίο δεν έχει επηρεασθεί από την διείσδυση του διηθήματος της λάσπης.

Στη παρούσα διπλωματική οι ηλεκτρικές διαγραφίες δε βοήθησαν με το συνδυασμό τους για τη δημιουργία διαγραμμάτων ώστε να εκτιμήσουμε την ειδική ηλεκτρική αντίσταση, παρόλα αυτά για την αξιολόγηση των σχηματισμών ως  $R_t$  θεωρήθηκε η καταγραφή  $R_{ILD}$ .

### 4.4.3 Βαθμός κορεσμού σε νερού

Για τον υπολογισμό του βαθμού κορεσμού σε νερό  $S_w$ , απαιτούνται οι τιμές του πορώδους  $\Phi$  και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης  $R_t$ . Ο υπολογισμός έγινε με βάση τη σχέση του Archie:

$$S_w = \sqrt{\frac{R_{wa,min} \cdot 0,9}{\Phi^2 \cdot R_t}} \quad (4.9)$$

όπου,

$S_w$ : Ο βαθμός κορεσμού σε νερό στο σχηματισμό

$R_{wa}$ : Η ηλεκτρική αντίσταση του νερού στο σχηματισμό

$R_t$ : Η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση στο σχηματισμό και

$\Phi$ : Το πορώδες του σχηματισμού

Όπου  $R_{wa,min} = 0.0072 \text{ Ohmm}$

Πίνακας 4.5: Επιλεγμένες τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό, συναρτήσει του βάθους (Γεώτρηση PA-4)

Depth (m)	Sw (Rw)	Sw (Rwa,min)
2750	0,18	0,11
2755	0,17	0,10
2760	0,17	0,10
2765	0,22	0,13
2770	0,17	0,10

Στο πίνακα 4.5 έχει προστεθεί η αρχική εκτίμηση του βαθμού κορεσμού (Sw με Rw=0.02 Ohmm) προκειμένου να συγκριθεί με τη νέα τιμή που προέκυψε (Sw με Rwa,min=0.0072 Ohmm).

Για τον υπολογισμό του βαθμού κορεσμού σε διήθημα λάσπης του γεωτρητικού πολφού στη ζώνη διείσδυσης, η σχέση του Archie παίρνει τη μορφή:

$$S_{xo} = \sqrt{F \frac{R_{mf}}{R_{xo}}} \quad (4.10)$$

όπου,

$S_{xo}$ : Ο βαθμός κορεσμού σε διήθημα του γεωτρητικού πολφού στην ζώνη διείσδυσης

$R_{mf}$ : Η ηλεκτρική αντίσταση του διηθήματος του γεωτρητικού πολφού

$R_{xo}$ : Η ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού στη ζώνη διείσδυσης (η οποία είναι ίση με τη  $R_{MSFL}$ ) και

F: ο συντελεστής του σχηματισμού που υπολογίζεται από τη σχέση

$$F = \frac{0.9}{\phi^2} \quad (4.11)$$

Όπου  $\phi$ , το πορώδες του σχηματισμού

Για την εκτίμηση της μέσης τιμής της παραγωγικότητας για κάθε ταμειυτήρα, η οποία προέκυψε από τον λόγο  $S_w/S_{xo}$ , λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω κριτήρια για τη διαβάθμισή της:

<0.6-παραγωγή υδρογονανθράκων

>0.8-παραγωγή νερού

>0.6 και <0.8 - απαιτείται τεστ παραγωγής

### ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

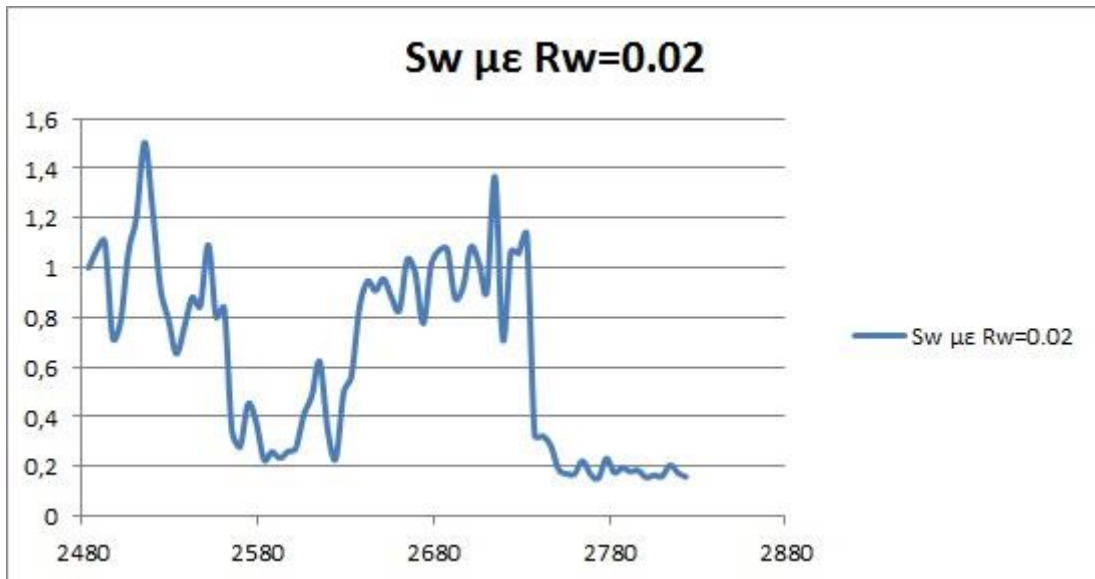
Όπου  $R_{mf}=0.018$  Ohmm από την επικεφαλίδα των διαγραφιών και  $R_w=0.02$  Ohmm (Φρόνιμος, 1998). Σε όλους τους περατούς σχηματισμούς το  $R_w$  είναι ίδιο.

Στο πίνακα 4.6 παρέχονται οι μέσες τιμές για τις πετροφυσικές παραμέτρους στο ταμειυτήρα Α για τη γεώτρηση PA-4.

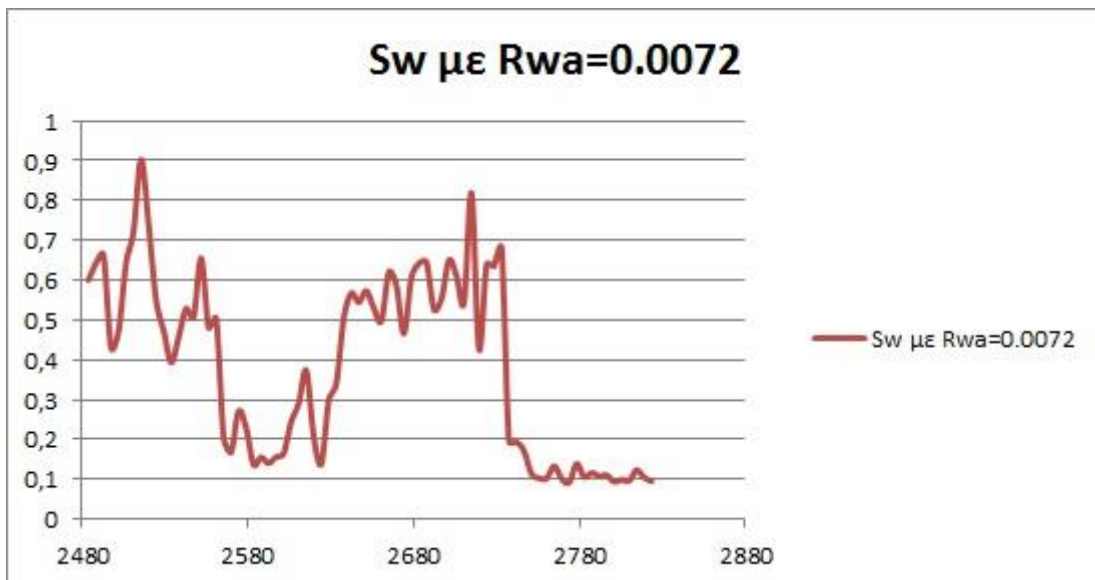
Πίνακας 4.6: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για τη γεώτρηση PA-4

TAMIEYTHPAS	True Depth (m)	$\Phi$ %	$S_w$ %	$S_{xo}$ %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2732-2823	17,9	15	8	3,81

Οι ηλεκτρικές διαγραφίες βοήθησαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών και ως  $R_t$  θεωρήθηκε η καταγραφή  $R_{ILD}$ . Έτσι κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα. (Σχήμα 4.9-4.10)

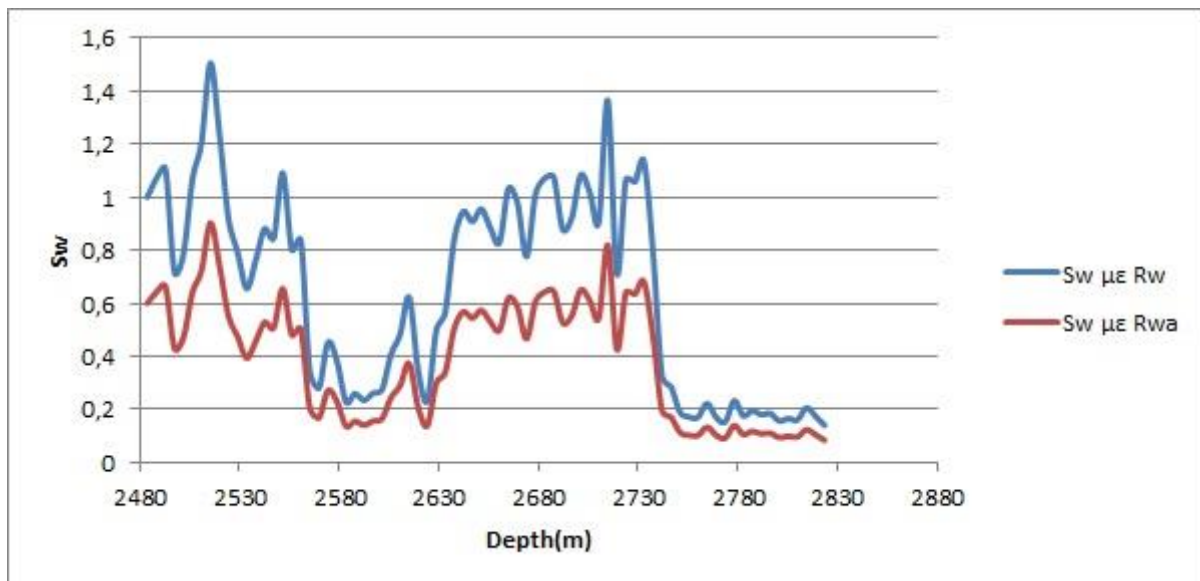


Σχήμα 4.9: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  σε νερό με  $R_w$  συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-4



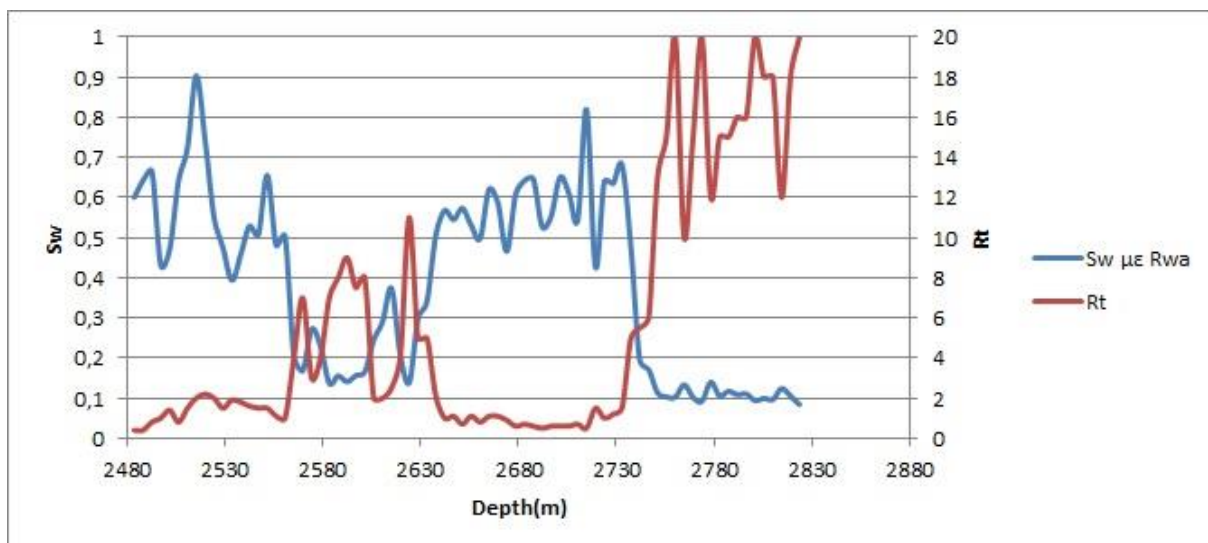
Σχήμα 4.10: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  σε νερό με  $R_{wa,min}$  συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-4

Στο σχήμα 4.11 παρουσιάζονται και οι δύο τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό. Η τιμή του  $S_w$  με  $R_w$  φαίνεται κάπως πιο υπερεκτιμημένη σε αντίθεση με τη χρήση του  $R_{wa,min}$  όπου όπως παρουσιάζεται δεν ξεπερνάει τη μονάδα.



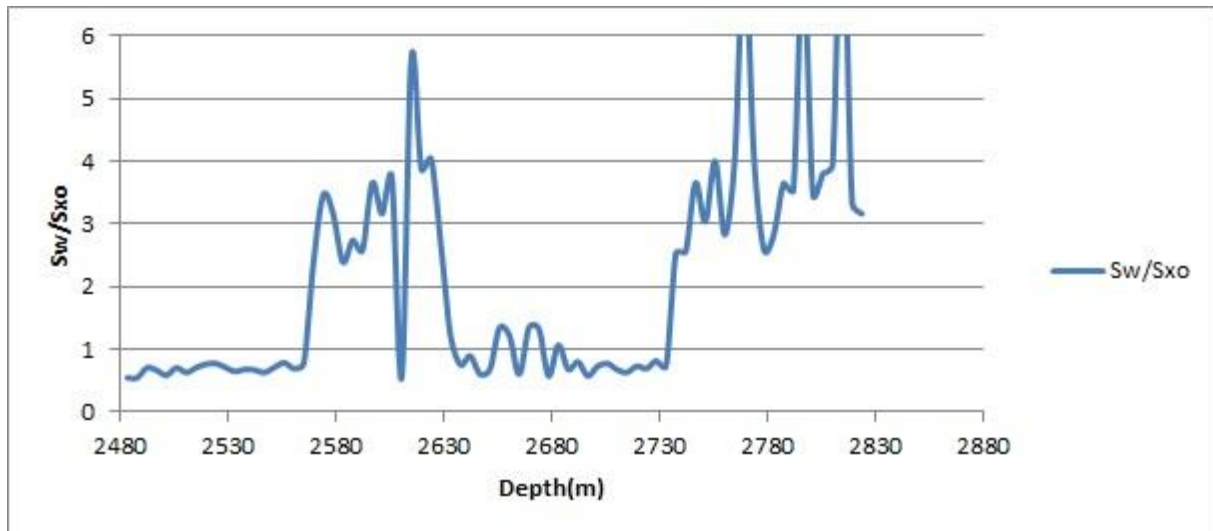
Σχήμα 4.11: Διαφορετικές τιμές βαθμού κορεσμού  $S_w$  σε νερό, συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-4

Στο διάγραμμα βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήμα 4.12) οι πολύ χαμηλές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και το αντίστροφο.



Σχήμα 4.12: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-4

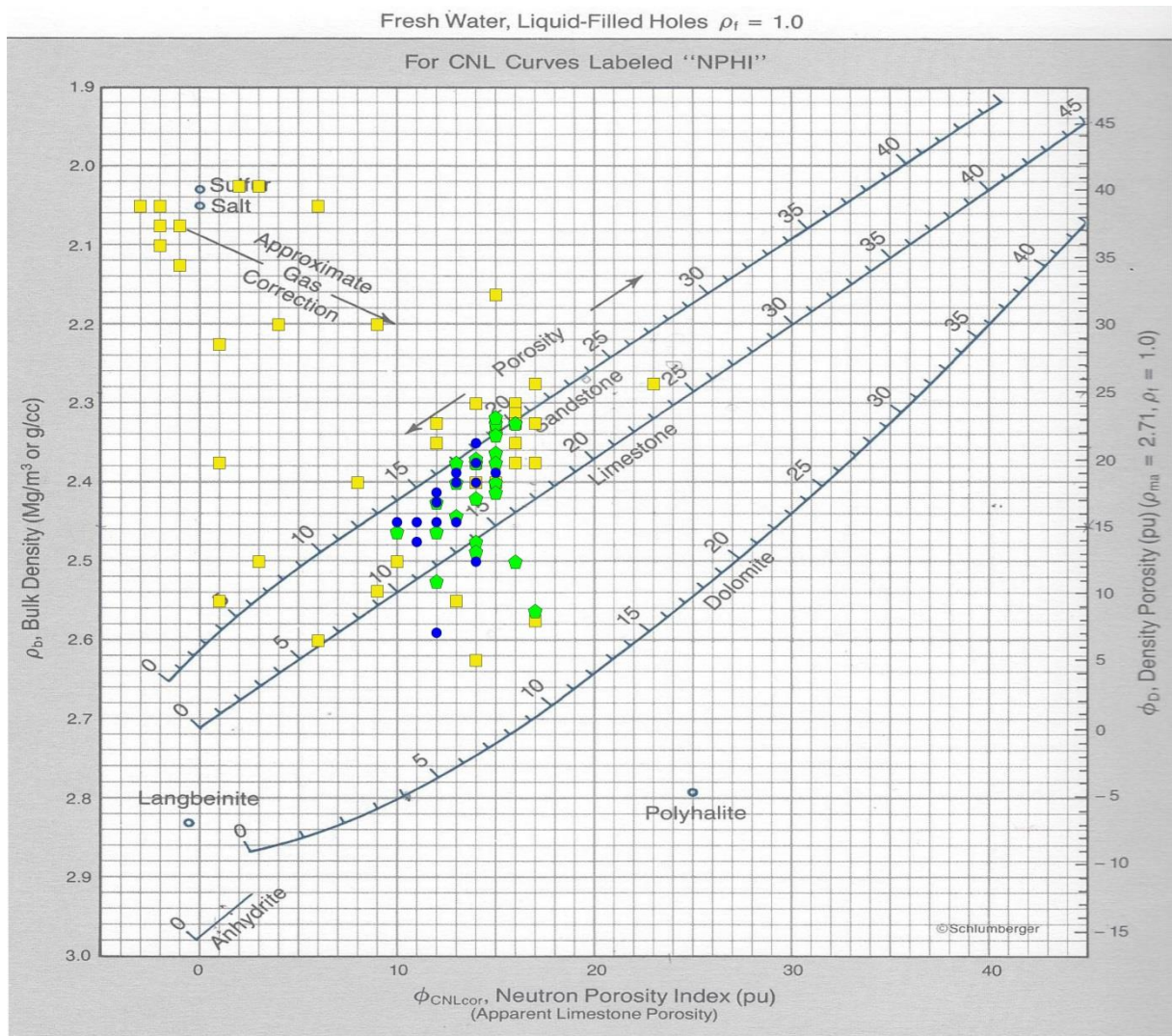
Στο διάγραμμα δείκτη παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.13) παρατηρούνται υψηλές τιμές του  $S_w/S_{xo}$  στον ταμιευτήρα A1 (2732m-2823m).



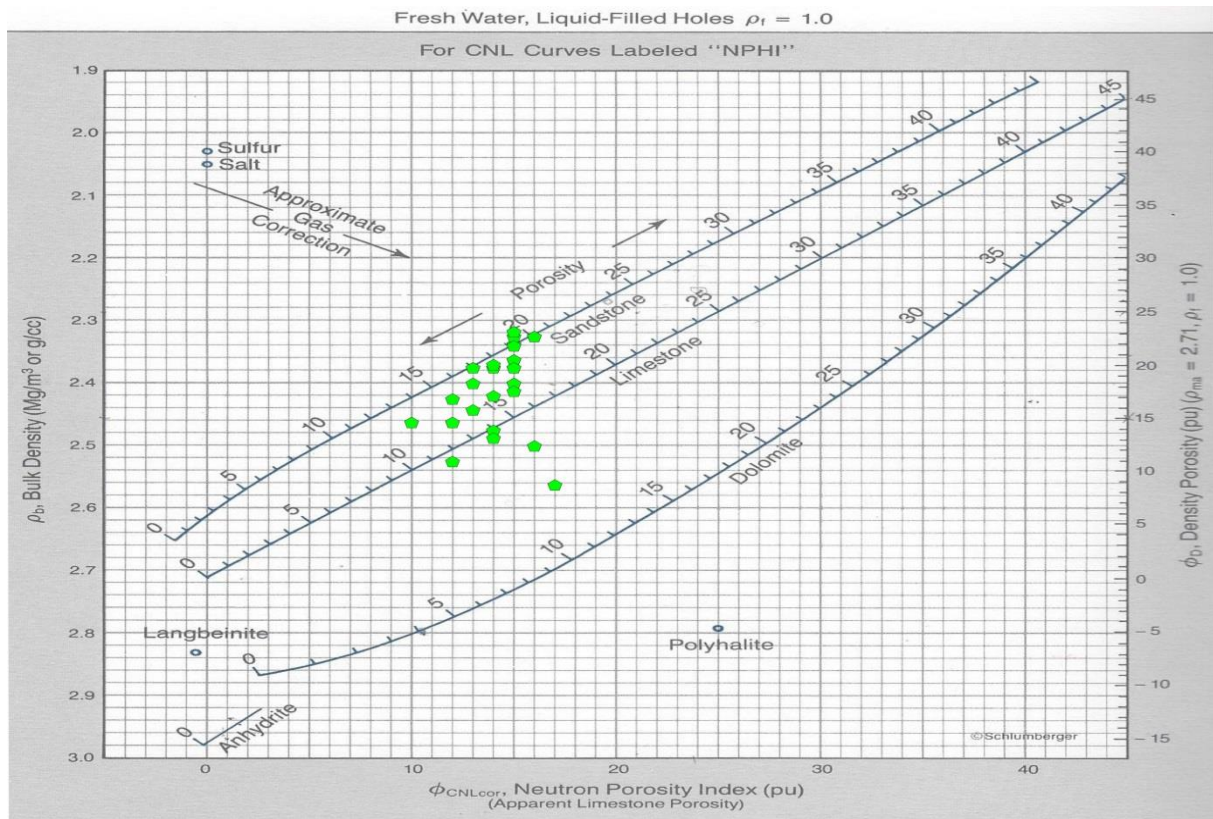
Σχήμα 4.13: Δείκτης παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-4

#### 4.5 Γεώτρηση PB-18

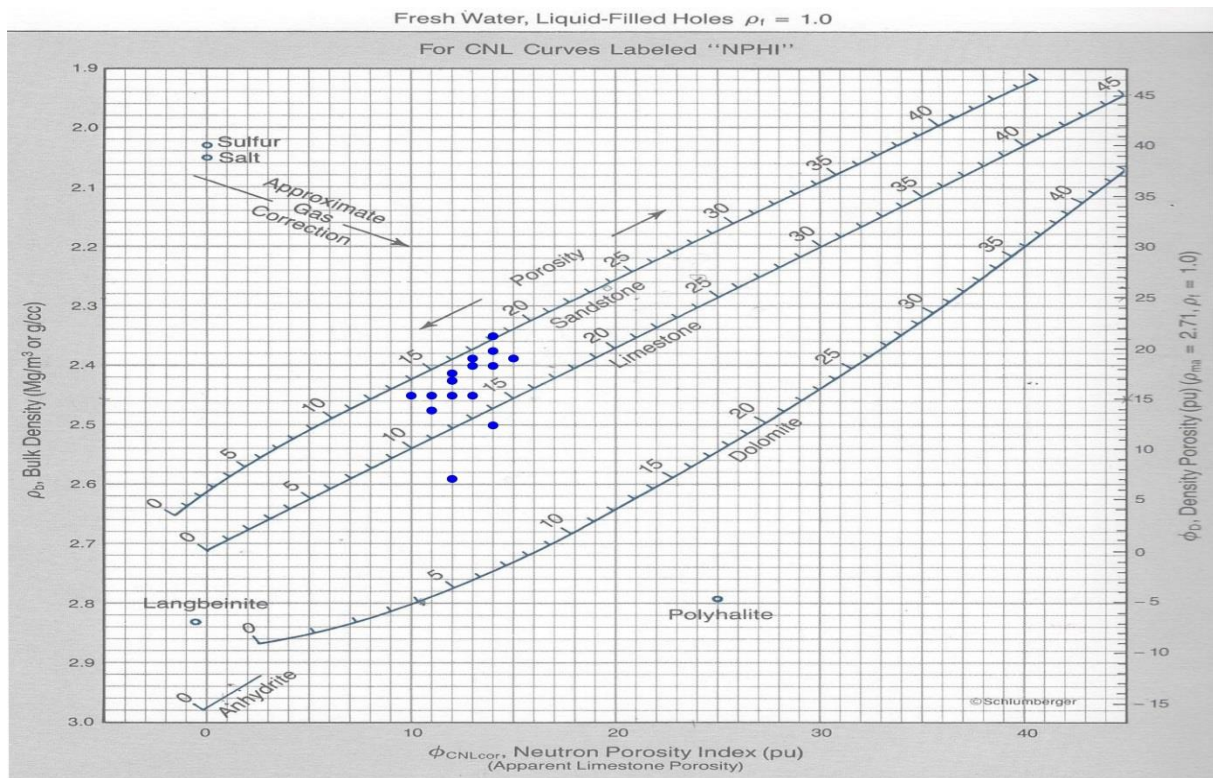
Ο τρόπος διαδικασίας αξιολόγησης αυτής της γεώτρησης ήταν λίγο διαφορετικός σε σχέση με εκείνο της γεώτρησης PA-4 λόγω των διαθέσιμων δεδομένων. Η διαφορά είναι ότι σε αυτή τη γεώτρηση δεν υπάρχει η μέτρηση της πυκνότητας  $\rho_b$ , αλλά υπάρχει η μέτρηση του πορώδους  $\phi_d$ . Κατά τον ίδιο τρόπο έγινε εκτίμηση του πορώδους και ο βαθμός κορεσμού σε νερό. Στο διάγραμμα cross-plot που ακολουθεί τοποθετήθηκαν από τις διαγραφίες οι τιμές πορώδους  $\phi_N$  και  $\phi_D$ . Το ενδιαφέρον εστιάζεται εκεί όπου το πορώδες λαμβάνει τιμές 10-25% για το σχηματισμό του ψαμμίτη (sandstone). (Σχήμα 4.14). Τα σχήματα 4.15-4.16 απεικονίζουν τον συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για κάθε έναν απ' τους δύο ταμιευτήρες.



Σχήμα 4.14: Τιμές της γεώτρησης PB-18 από τις διαγραφίες νετρονίου ( $\Phi_n$ ) και πυκνότητας ( $\Phi_d$ ). Με κίτρινο χρώμα απεικονίζονται οι τιμές εκτός των δύο ταμιευτήρων. Με πράσινο και μπλε χρώμα απεικονίζονται οι ταμιευτήρες A1 και A2 αντίστοιχα.

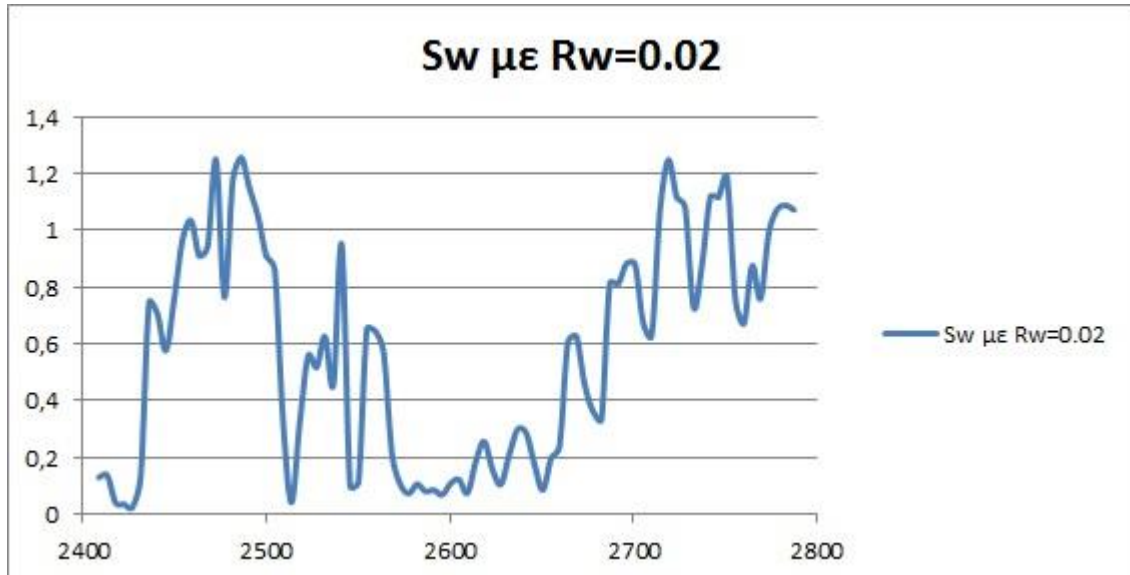


Σχήμα 4.15: Ταμιευτήρας A1 της γεώτρησης PB-18

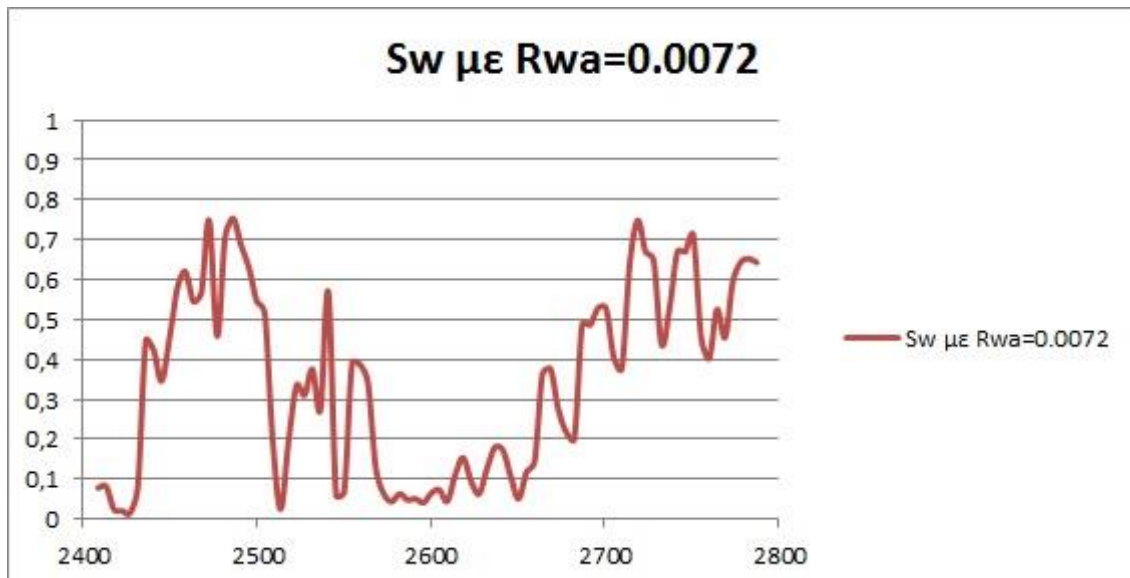


Σχήμα 4.16: Ταμιευτήρας A2 της γεώτρησης PB-18

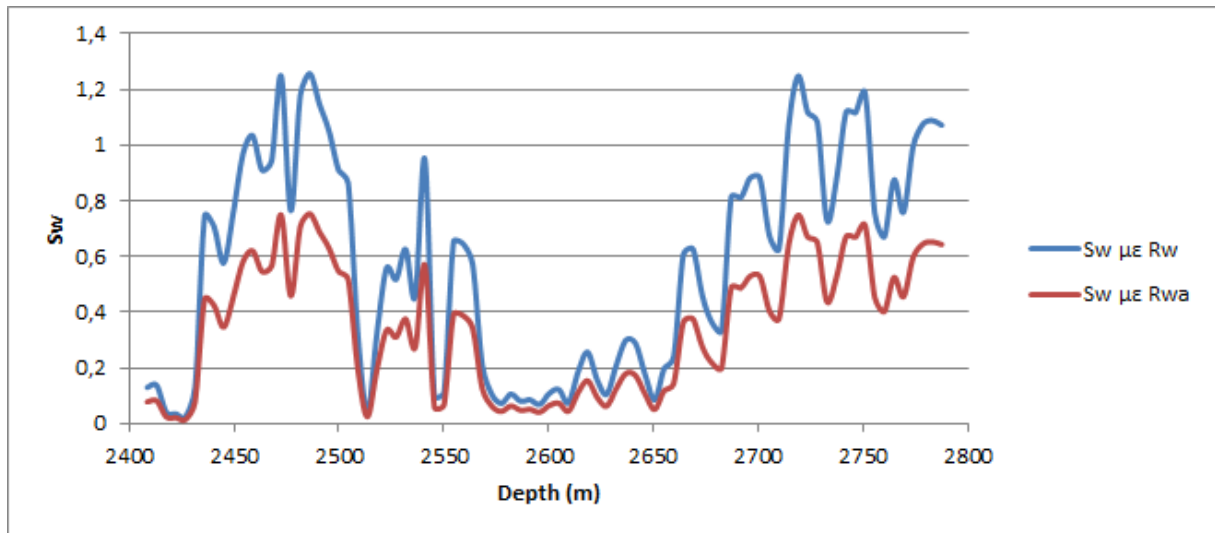
Οι ηλεκτρικές διαγραφίες βοήθησαν για την αξιολόγηση των σχηματισμών και ως  $R_t$  θεωρήθηκε η καταγραφή  $R_{ILD}$ . Έτσι κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα. (Σχήμα 4.17-4.18)



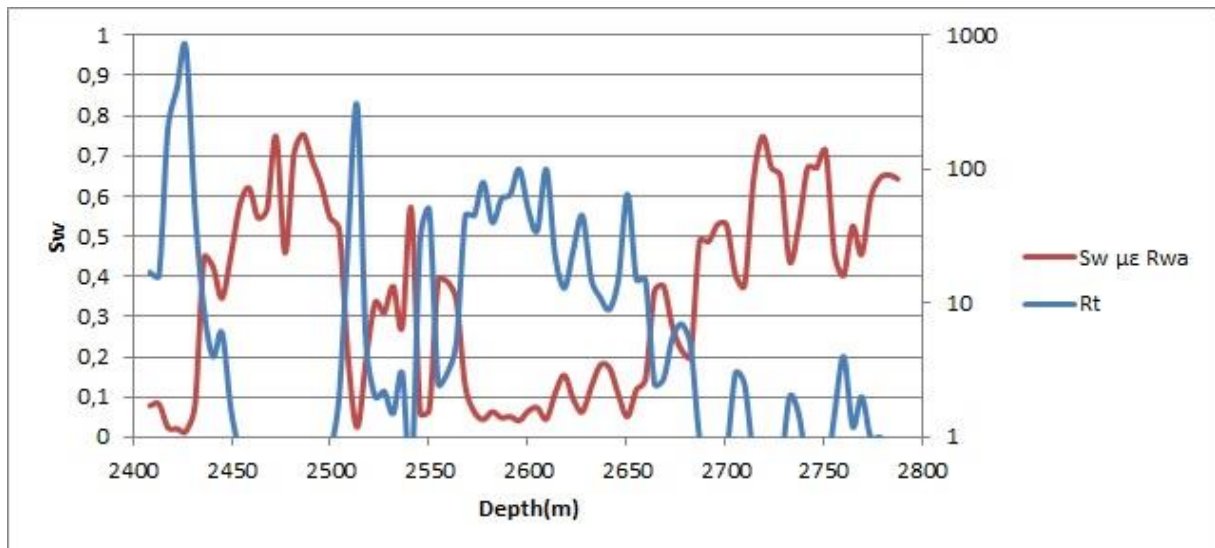
Σχήμα 4.17: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  με  $R_w$  σε νερό συναρτήσει του βάθους της γεώτρησης PB-18



Σχήμα 4.18: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  με  $R_{wa}$  σε νερό συναρτήσει του βάθους της γεώτρησης PB-18

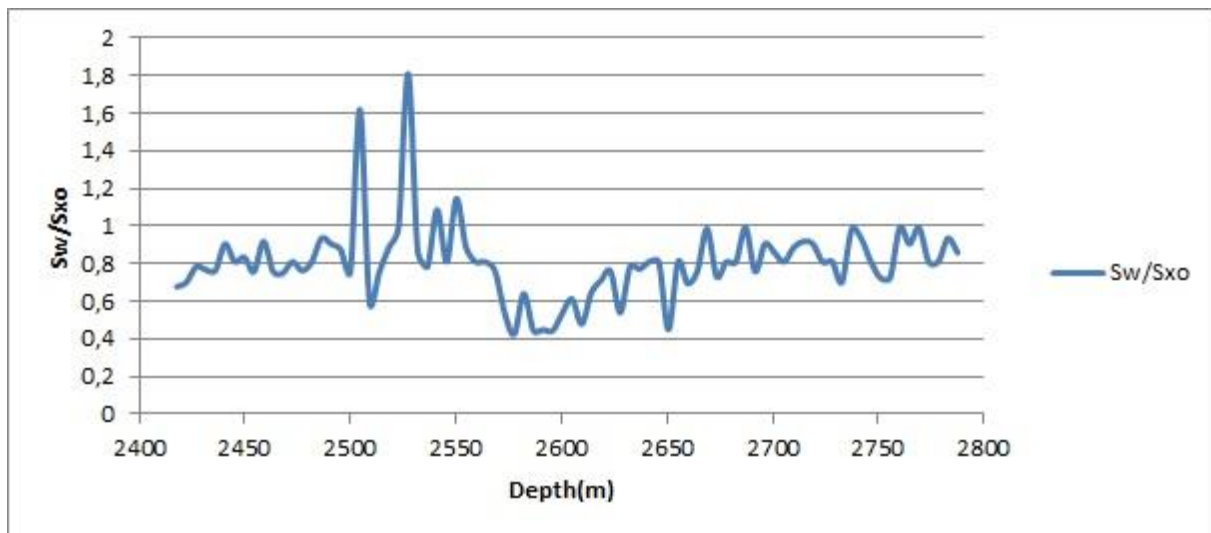


Σχήμα 4.19: Βαθμοί κορεσμού  $S_w$  με  $R_w$  και  $R_{wa}$  σε νερό συναρτήσει του βάθους της γεώτρησης PB-18



Σχήμα 4.20: Βαθμός κορεσμού και ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $R_t$ , συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-18

Στο σχήμα 4.19 παρουσιάζονται και οι δύο τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό. Η τιμή του  $S_w$  με  $R_w$  φαίνεται κάπως πιο υπερεκτιμημένη σε αντίθεση με τη χρήση του  $R_{wa}$  όπου όπως παρουσιάζεται δεν ξεπερνάει τη μονάδα. Στο διάγραμμα βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήμα 4.20) οι υψηλές τιμές βαθμού κορεσμού σε νερό αντιστοιχούν σε χαμηλές τιμές ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Στο διάγραμμα δείκτη παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.21) ο  $S_w/S_{xo}$  παρουσιάζει τιμές κάτω από τη μονάδα στα βάθη των ταμιευτήρων A1 και A2.



Σχήμα 4.21: Δεικτής παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PB-18

Η αξιολόγηση των παραγωγικών σχηματισμών συνοψίζεται στο πίνακα 4.7 για τη γεώτρηση PB-18 και παρέχει τις μέσες τιμές για τις παραμέτρους σε κάθε ταμιευτήρα.

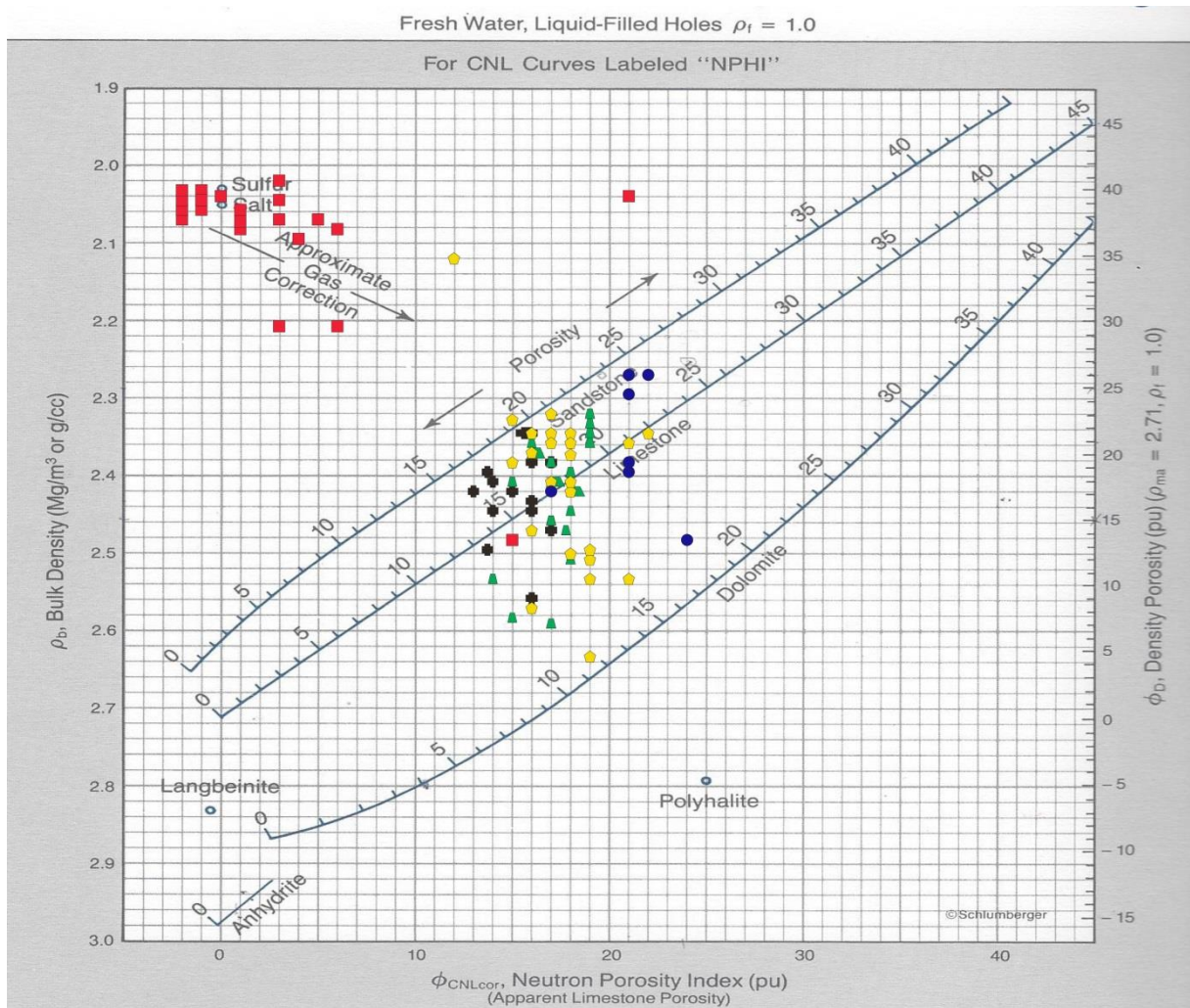
Πίνακας 4.7: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για τη γεώτρηση PB-18

TAMIEYTHPAS	True Depth (m)	$\Phi$ %	Sw %	Sxo %	$\frac{Sw}{Sxo}$
A1	2595-2709	16,2	22,2	28	0,73
A2	2709-2787	14,3	59,3	70	0,85

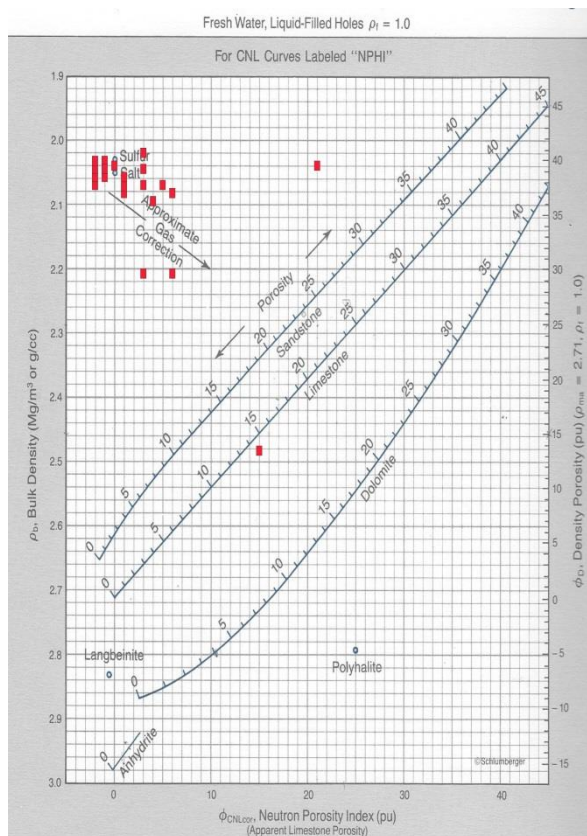
Η αξιολόγηση των γεωφυσικών διαγραφιών της γεώτρησης PB-18 πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το γεωλογικό μοντέλο (Μιχελάκης, 2010) και τη μετατροπή του measured depth (MD) σε true depth (TD).

#### 4.6 Γεώτρηση PB-20

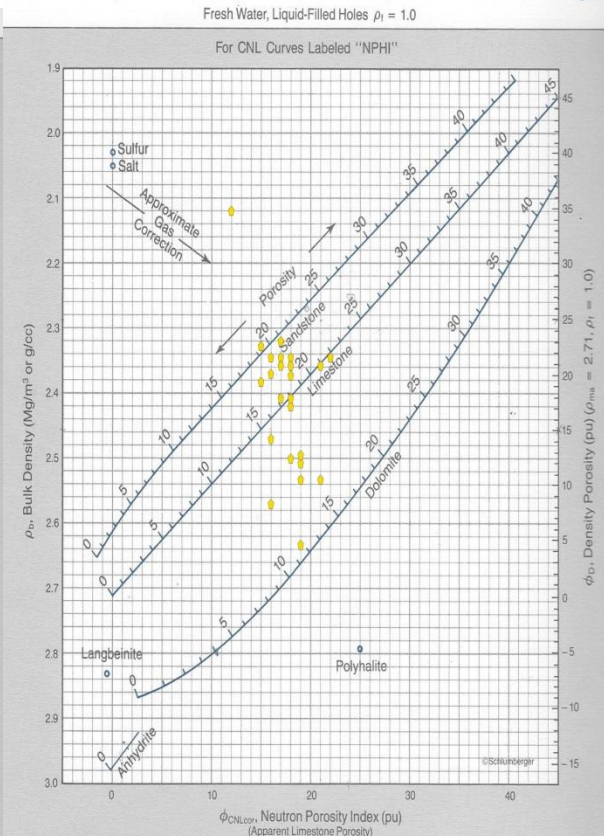
Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία αξιολόγησης με εκείνη των διαγραφιών στη γεώτρηση PA-4. Αφού έχει υπολογιστεί το πορώδες ( $\phi$ ) σε όλο το βάθος του ταμιευτήρα, δημιουργήθηκε το διάγραμμα cross-plot και παρατηρήθηκε η περιοχή που καταγράφεται το πλήθος των τιμών. Το σχήμα 4.21 απεικονίζει το συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για όλο το βάθος της γεώτρησης. Τα σχήματα 4.22-4.25 απεικονίζουν τον συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για κάθε έναν απ' τους τέσσερις ταμιευτήρες



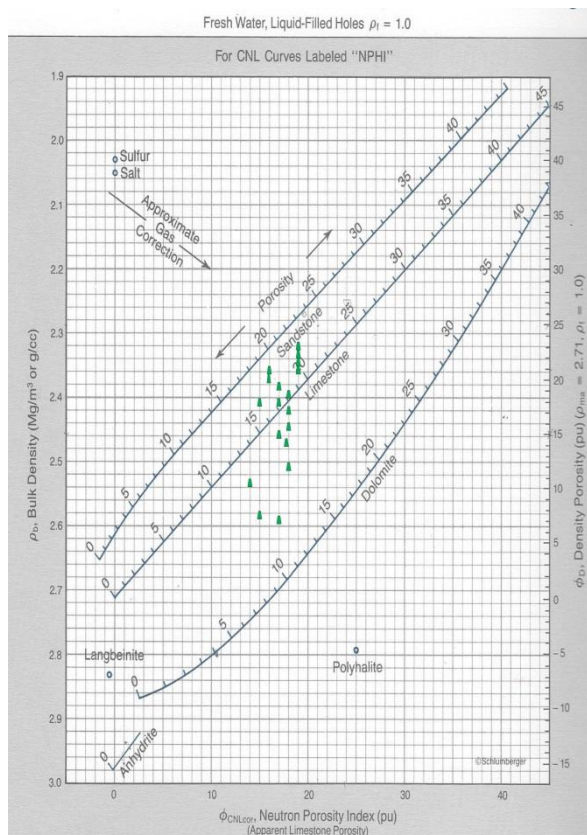
Σχήμα 4.21: Τιμές της γεώτρησης PB-18 από τις διαγραφίες νετρονίου ( $\Phi_n$ ) και πυκνότητας ( $\text{RHOB}$ ). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται ο ταμιευτήρας A1, με κίτρινο χρώμα ο ταμιευτήρας A2, με πράσινο χρώμα ο ταμιευτήρας B και με μαύρο χρώμα ο ταμιευτήρας C.



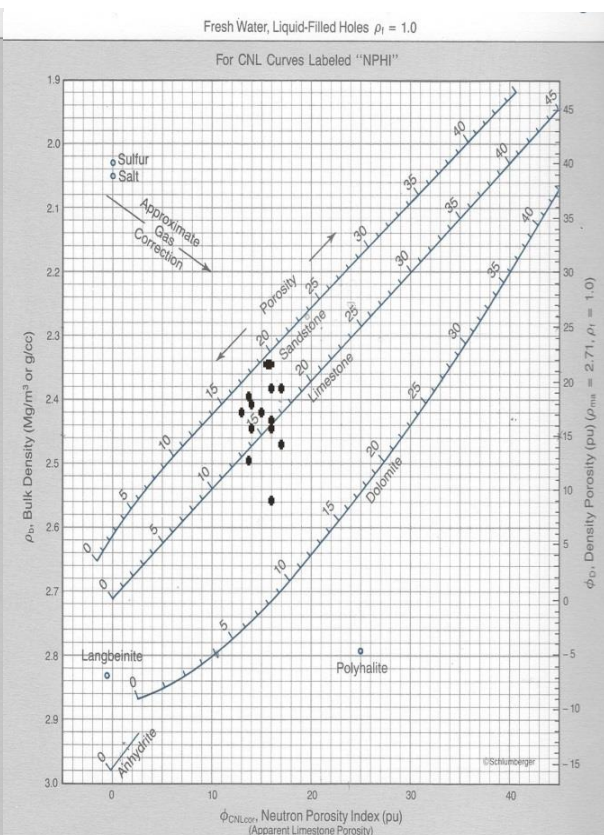
Σχήμα 4.22: Ταμιευτήρας A1 της γεώτρησης PB-20



Σχήμα 4.23: Ταμιευτήρας A2 της γεώτρησης PB-20



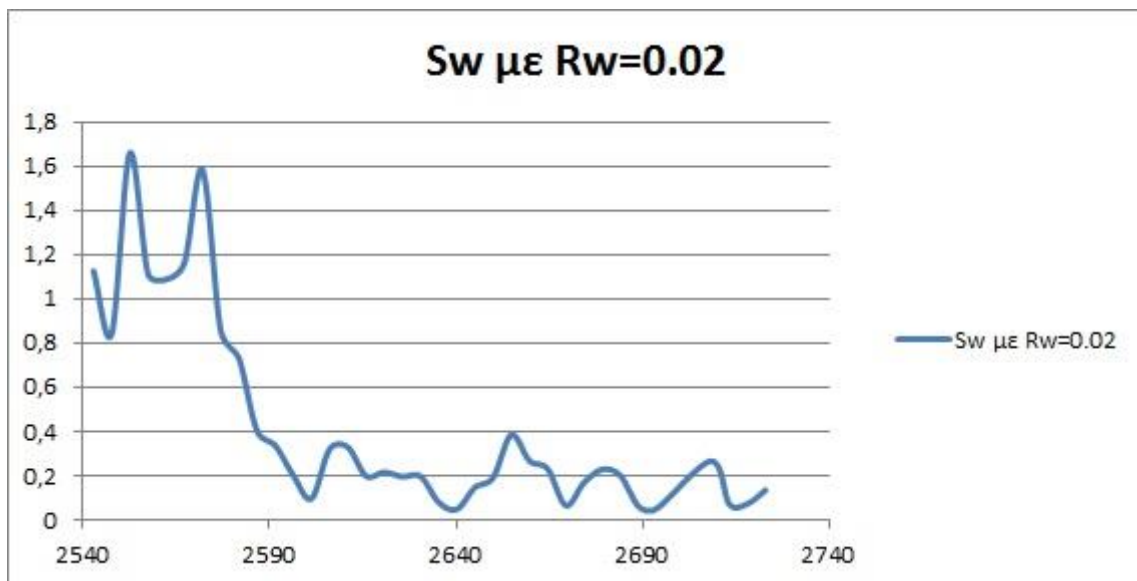
Σχήμα 4.24: Ταμιευτήρας B της γεώτρησης PB-20



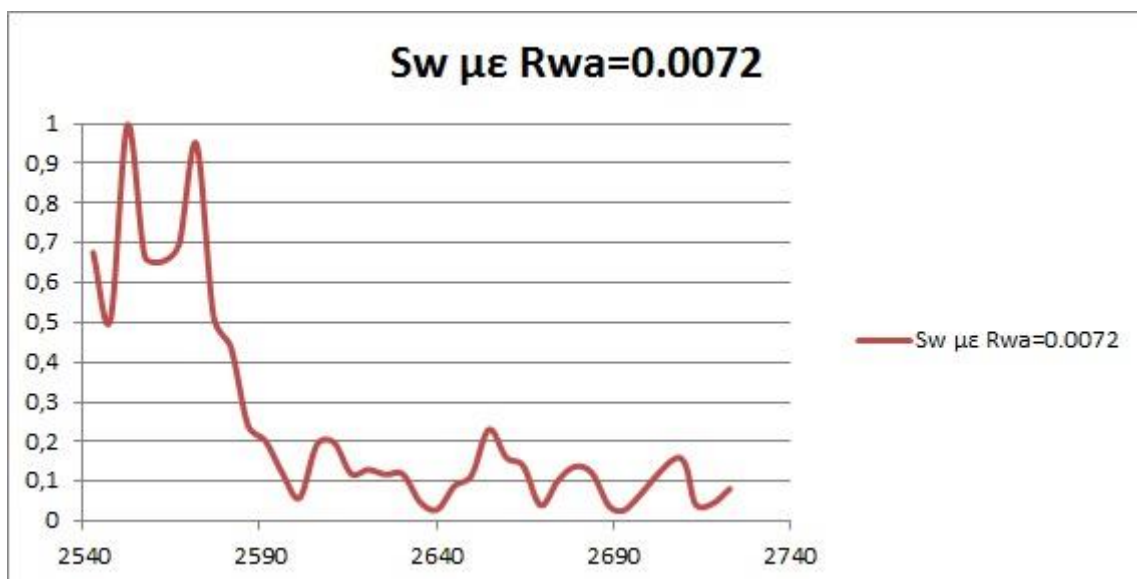
Σχήμα 4.25: Ταμιευτήρας C της γεώτρησης PB-20

Έπειτα, λόγω των ελλιπών δεδομένων στις ηλεκτρικές διαγραφίες δε μπόρεσαν να εκτιμηθούν όλοι οι παράμετροι για όλο το βάθος της γεώτρησης.

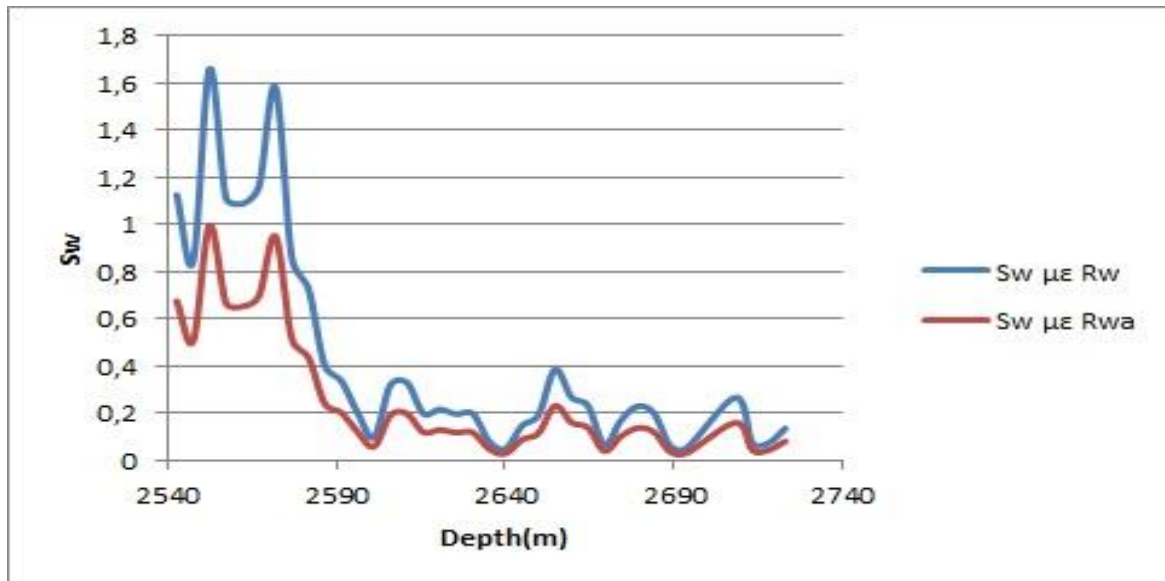
Στο σχήμα 4.28 παρουσιάζονται δύο διαφορετικές τιμές βαθμού κορεσμού σε νερό. Στο σχήμα 4.29 βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οι χαμηλές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης οδηγούν σε μεγάλες τιμές βαθμού κορεσμού σε νερό. Στο διάγραμμα δείκτη παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 4.30) ο  $S_w/S_{xo}$  παρουσιάζει τιμές μεγαλύτερες της μονάδας στο μεγαλύτερο μέρος του ταμιευτήρα A1.



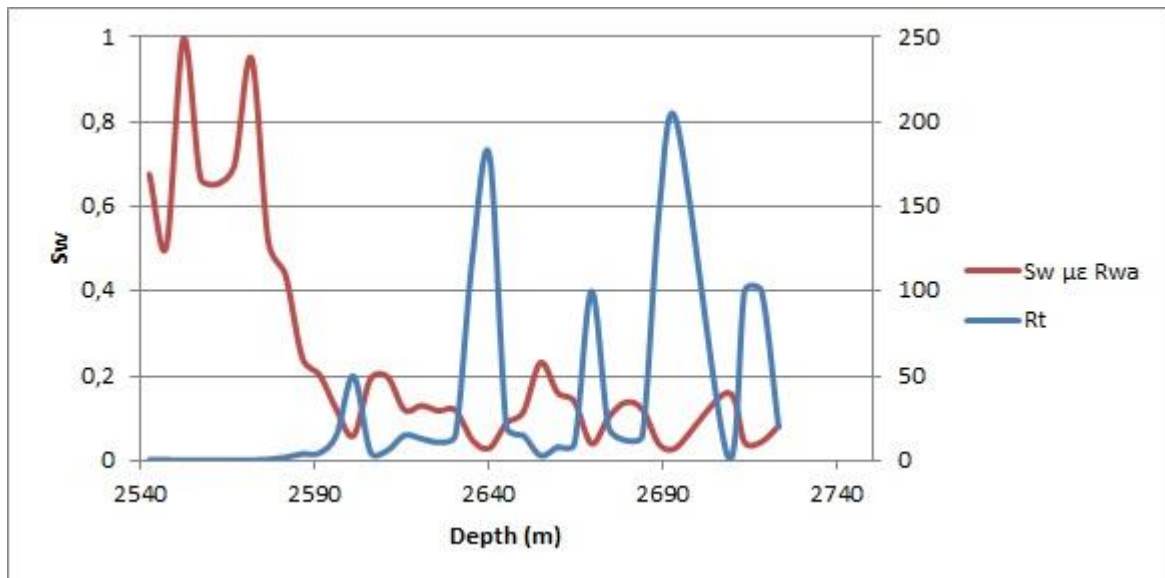
Σχήμα 4.26: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  με  $R_w$  σε νερό, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-20



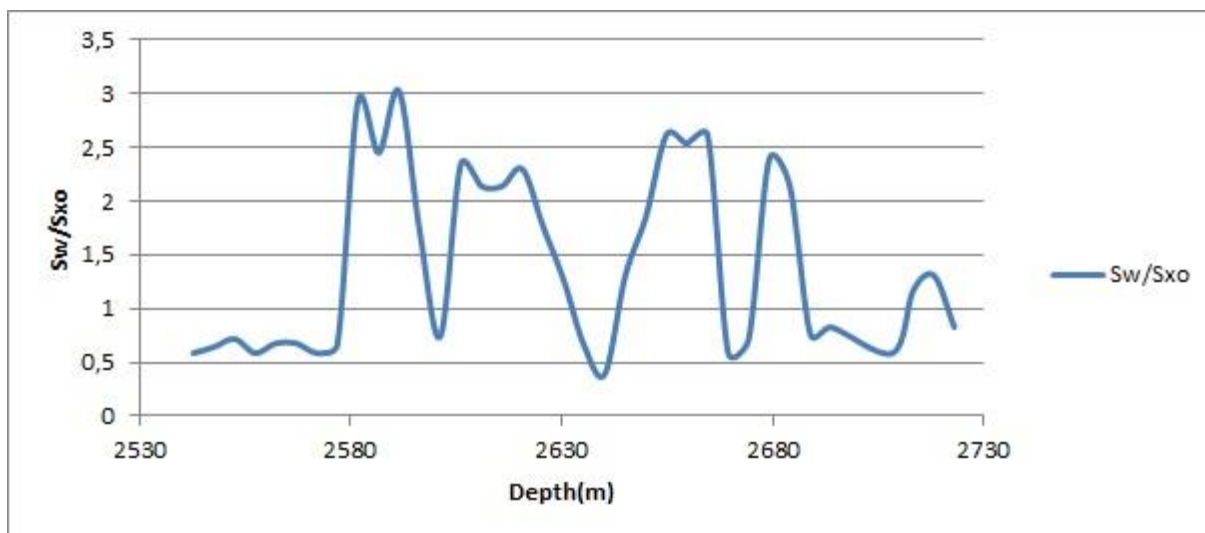
Σχήμα 4.27: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  με  $R_{wa,min}$  σε νερό, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-20



Σχήμα 4.28: Βαθμοί κορεσμού  $S_w$  με  $R_w$  και  $R_{wa}$  σε νερό συναρτήσει του βάθους της γεώτρησης PB-20



Σχήμα 4.29: Βαθμός κορεσμού  $S_w$  με  $R_{wa}$  σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση  $R_t=R_{ILD}$ , συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-20



Σχήμα 4.30: Δείκτης παραγωγικότητας συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PB-20

Η αξιολόγηση των παραγωγικών σχηματισμών συνοψίζεται στον Πίνακα 4.8 για τη γεώτρηση PB-20 και παρέχει τις μέσες τιμές των παραμέτρων για κάθε ταμιευτήρα.

Πίνακας 4.8: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για τη γεώτρηση PB-20

TAMIEYTHPAS	Depth (m)	Φ %	Sw %	Sxo %	$\frac{Sw}{Sxo}$
A1	2581-2718	18,3	12,8	7,9	1,6
A2	2718-2835	16,1	-	-	-
B	2835-2927	15,6	-	-	-
C	2927-3005	14,4	-	-	-



## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### *ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ*

**Reservoir A1:** Η μέση τιμή του πορώδους για τις τρεις γεωτρήσεις για τον A1 ταμιευτήρα είναι 17,5%. Η μέση τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης  $R_t$  κυμαίνεται στα 27 Ohmm. Ο μέσος όρος του βαθμού κορεσμού  $S_w$  σε νερό είναι 16,6%. Ο δείκτης παραγωγικότητας παρουσιάζει τη χαμηλότερη τιμή στη γεώτρηση PB-18 σε σχέση με τις υπόλοιπες γεωτρήσεις και προέκυψε από το λόγο  $S_w/S_{xo}=0,73$  και είναι  $<1$  που σημαίνει ότι απαιτείται τεστ παραγωγής.

**Reservoir A2:** Η μέση τιμή του πορώδους είναι μικρότερη από τον προηγούμενο ταμιευτήρα (15,2%) και η μέση τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (1,1 Ohmm). Η μέση τιμή του  $S_w$  είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τον ταμιευτήρα A1 (59,3%). Ο δείκτης παραγωγικότητας  $S_w/S_{xo}$  ισούται με 0,85 και έχουμε παραγωγή νερού

**Reservoir B:** Η μέση τιμή του πορώδους στον B ταμιευτήρα υπολογίστηκε 15,6%. Δεν μπόρεσαν να εκτιμηθούν οι υπόλοιπες παράμετροι λόγω μη διαθέσιμων δεδομένων στις ηλεκτρικές διαγραφίες.

**Reservoir C:** Στο τελευταίο ταμιευτήρα της γεώτρησης παρατηρείται και η χαμηλότερη ένδειξη του πορώδους (14,4%). Δεν μπόρεσαν να εκτιμηθούν οι υπόλοιπες παράμετροι λόγω μη διαθέσιμων δεδομένων στις ηλεκτρικές διαγραφίες.

Πίνακας 5.1: Συνολική εκτίμηση των γεωτρήσεων PA-4, PB-18 και PB-20

		<b>Φ</b> %	<b>Sw</b> %	<b>Sxo</b> %	<b>Sw/Sxo</b>
<b>A1</b>	<b>PA-4</b>	<b>17,9</b>	<b>15</b>	<b>8</b>	<b>3,81</b>
	<b>PB-18</b>	<b>16,2</b>	<b>22,2</b>	<b>28</b>	<b>0,73</b>
	<b>PB-20</b>	<b>18,3</b>	<b>12,8</b>	<b>7,9</b>	<b>1,6</b>
<b>A2</b>	<b>PB-18</b>	<b>14,3</b>	<b>59,3</b>	<b>70</b>	<b>0,85</b>
	<b>PB-20</b>	<b>16,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>B</b>	<b>PB-20</b>	<b>15,6</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>C</b>	<b>PB-20</b>	<b>14,4</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Επιπλέον, δεν κατέστη δυνατή η αξιολόγηση των σχηματισμών λαμβάνοντας υπόψη τις αργιλικές προσμίξεις που πιθανόν να εμφανίζονται στους υπό μελέτη σχηματισμούς, λόγω μη επαρκούς και αντιπροσωπευτικού συνόλου μετρήσεων από διαγραφίες φυσικού δυναμικού και φυσικής ραδιενέργειας οι οποίες είναι απαραίτητες για την εκτίμηση του όγκου των αργιλικών προσμίξεων.

**Βιβλιογραφία**

1. Dewan T. John, (1983). Essentials of Modern Open-Hole Log Interpretation
2. Harker S. and Burrows A. (2007). The Structural and Sedimentological Evolution of the Prinos Basin. AAPG, No 90072.
3. Lalechos N, and E. Savoyat, (1977). La sedimentation Neogene dans le Fosse Nord Eggen, in paper presented at 6<sup>th</sup> Colloquium on the Geology of the Aegean Region, Athens, Inst. Geol Miner. Explor
4. Mavromatidis, Kelessidis, V.C and Monopolis (2004) D.G A review of recent hydrocarbon exploration in Greece and its potential, AMIREG, 1<sup>st</sup> conference
5. Proedrou, P. (1979). The evaporate formation in the Nestos-Prinos graben in the northern Aegean sea. Ann Geol. Pavs. Hellen., Tome hors serie 1979, fasc. 2, 7<sup>th</sup> International Congress on Mediterranean Neogene, p. 1013-1020.
6. Proedrou, P. and Sidiropoulos, T. (1992). Prinos field-Greece, Aegean basin, structural traps. Treatise of petroleum Geology atlas of oil and gas fields, AAPG, p. 275-291
7. Proedrou P. and Papaconstantinou P., (2004): Prinos Basin – A model for exploration. Proc. of the XXXVI Geological society of Greece, Thessaloniki, April, 327-333
8. Schlumberger Educational Services (1991). Log Interpretation Principles/Applications
9. Schlumberger Educational Services (1991). Log Interpretation Charts
10. Βαφείδης Α. (1994) «Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους» Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής
11. Κιομουρτζή Π. (2016). Περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και πιθανά πεδία υδρογονανθράκων στο Βόρειο Αίγαιο. Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Γεωλογίας
12. Λαλέχος Ν. (2000), Αιγαίο Πέλαγος Πετρελαιοπιθανές Περιοχές Πετρέλαιο - Γεωλογική Σύνθεση, Διάλεξη στο ΤΕΕ στο πλαίσιο συμπλήρωσης 20 χρόνων από την ίδρυση της ΕΕΤΟΠ και την έκδοση του περιοδικού “Ορυκτός Πλούτος”
13. Λεονταράκης Κ. (2011). Γεωφυσικές διασκοπίσεις εντός γεωτρήσεων και σιηράγγων. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών
14. Μιχελάκης, Μ. (2010). Τρισδιάστατη λιθοστρωματογραφική προσομοίωση του κοιτάσματος υδρογονανθράκων του Πρίνου. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
15. Πασαδάκης Ν. , Κουτσοθεοδώρου Ε. , Μανούτσογλου Ε. , Παπακωνσταντίνου Κ. , Κιομουρτζή Π. και Ζεληλίδης Α. , (2005). Συγκριτική Αξιολόγηση Πετρελαίων της

---

Λεκάνης του Πρίνου – Καβάλας με χρήση Βιοδεικτών. 2<sup>ο</sup> Συνέδριο της Επιτροπής Οικονομικής Γεωλογίας, Ορυκτολογίας & Γεωχημείας, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2005, 309-317

16. Πουλάκης Π. (2008). Συγκριτική αξιολόγηση πετρελαίων από σχηματισμούς της λεκάνης του Πρίνου με μεθόδους οργανικής γεωχημείας. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
17. Φρόνιμος Π.Κ (1998). Έλεγχος Θέσης Οριζόντιας Γεώτρησης με χρήση Γεωφυσικών Διαγραφιών Logging While Drilling. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

*Διαδικτυακή Βιβλιογραφία*

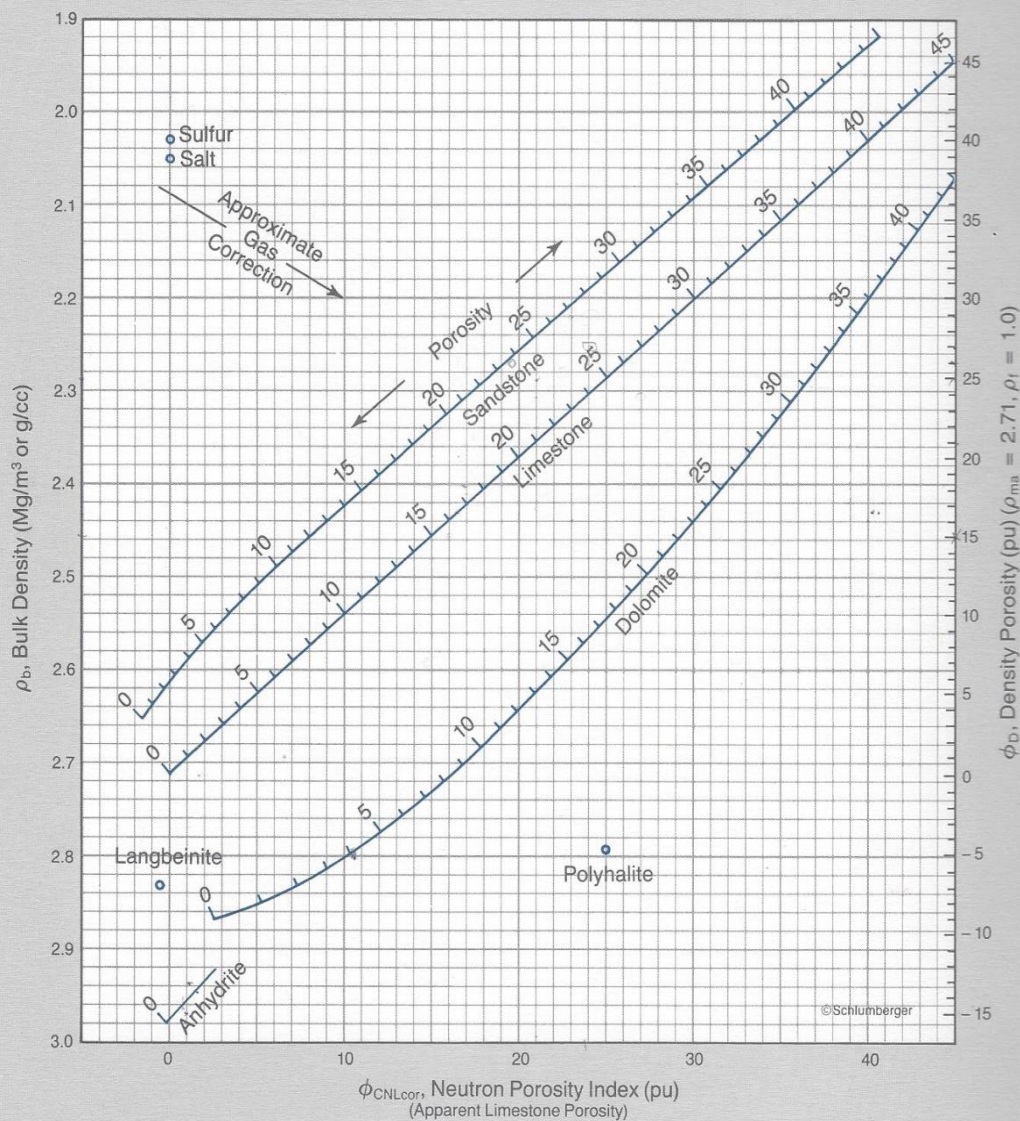
18. <http://www.energean.com/>
19. <http://www.georesources.gr/>
20. <http://www.petrowiki.org/PetroWiki>
21. <http://www.sciencedirect.com/>
22. <http://www.rigzone.com>
23. <http://www.slb.com/>
24. <http://www.slideshare.gr>
25. <http://www.wikipedia.org/>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### Porosity and Lithology Determination from Formation Density Log and CNL\* Compensated Neutron Log

Fresh Water, Liquid-Filled Holes  $\rho_f = 1.0$

For CNL Curves Labeled "NPHI"



EXAMPLE:  $\rho_b = 2.43 \text{ g/cc (or Mg/m}^3\text{)}$   
 $\phi_{\text{CNL}} = 23 \text{ pu (apparent limestone porosity)}$   
 $\rho_f = 1.0 \text{ g/cc (or Mg/m}^3\text{)}$

Plotting on Chart CP-1 indicates the rock to be a limestone-dolomite mixture (approximately 50% limestone, 50% dolomite) or a cherty dolomite (approximately 35% quartz, 65% dolomite). In either case, porosity is about 20 pu.

\*Mark of Schlumberger

CP-1c