

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΤΗ
ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΡΑ-10, ΡΒ-13
ΚΑΙ ΡΒ-14

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΠΟΛΙΤΗΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής (Επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής

Κιομουρτζή Πασχαλιά, (Energean Oil & Gas)

Νοέμβριος 2015, Χανιά

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι το επισφράγισμα μίας πολυετούς εκπαιδευτικής πορείας του συγγραφέα στο Πολυτεχνείο Κρήτης, στα πλαίσια Προγράμματος Σπουδών στο τμήμα <<Μηχανικών Ορυκτών Πόρων>>.

Η πορεία αυτή ήταν γεμάτη από έντονες στιγμές και πληθώρα συναισθήματα, είτε χαράς, είτε αγωνίας, είτε λύπης. Παρόλα ταύτα ήταν συνάμα και μία περίοδος συναναστροφής με ανθρώπους από διάφορα μήκη και πλάτη, με διαφορετική κουλτούρα αλλά και με διαφορετικό τρόπο σκέψης που παράλληλα με τις σπουδές καλλιέργησαν τον σεβασμό, την κοινωνικότητα και εμφύσησαν επιπλέον αξίες, όπου αποτελούν εφόδιο για τη μετέπειτα ζωή. Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους όσους με βοήθησαν και συνέβαλλαν στην ολοκλήρωση της εργασίας αυτής.

Συγκεκριμένα, τον καθηγητή μου, κ. Βαφειδή Αντώνιο, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την άψογη συνεργασία, την καθοδήγηση και την υποστήριξη όλο τον καιρό για να πραγματοποιηθεί η εργασία αυτή. Την εξεταστική επιτροπή την κυρία Κιομουρτζή Πασχαλιά και τον κύριο Μανούτσογλου Εμμανουήλ αλλά και την εταιρεία ENERGEAN OIL & GAS για την παραχώρηση των δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ οφείλω στην οικογένεια μου που υπήρξε αρωγός στην πολυετή αυτή προσπάθεια, δίνοντάς μου τη δυνατότητα να ανοίξω τους ορίζοντές μου, την στήριξή τους και την αγάπη τους.

Τον Κίτσο Χριστόφορο και τον Σύρμο Δημήτριο, για την ιδιαίτερη φιλοξενία το τελευταίο διάστημα ολοκλήρωσης της διπλωματικής, την κ. Κωνσταντίνα για τις ιδιαίτερες συμβουλές της και την στήριξή της στο τελευταίο μονοπάτι της φοίτησης μου και τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους τους φίλους μου, που με υποστήριξαν καθ' όλη την διάρκεια της φοίτησής μου, αλλά και στον άνθρωπο που με στηρίζει σιωπηλά χρόνια, την κ.Γιάννα Λαδά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης λαμβάνουν εξέχοντα ρόλο για την μελέτη της δομής των 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-10 ,PB-13 και PB-14, που παραχωρήθηκαν από την εταιρεία Energean Oil&gas.

Σε κάθε μία από τις παραπάνω πραγματοποιήθηκε κατάλληλη επεξεργασία με σκοπό αρχικά την εύρεση του βάθους των ταμιευτήρων A1, A2, B και C σύμφωνα με το γεωλογικό μοντέλο. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε εκτίμηση του πορώδους (ϕ), της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (R_t) και τέλος του βαθμού κορεσμού σε νερό (S_w). Κατασκευάστηκαν διαγράμματα πορώδους, ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης και βαθμού κορεσμού σε νερό συναρτήσει του βάθους. Παρατηρείται ότι το πορώδες είναι κατά κανόνα μεγαλύτερο στον ταμιευτήρα A1 (18-21%) 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-13. Ο λόγος S_w/S_{xo} ο οποίος αποτελεί δείκτη της παραγωγικότητας κυμαίνεται από 0,28-0,42 στον ταμιευτήρα A1, από 0,34-0,36, στον A2, από 0,35-0,42 στον B και από 0,3-0,34 στον C.

Περιεχόμενα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	ii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iii
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Περιγραφή των κεφαλαίων.....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	3
ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ.....	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.1.1 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις.....	4
2.1.2 Βασικοί τύποι διαγραφιών και αρχή λειτουργίας.....	6
2.2 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού	7
2.3 Διαγραφίες ακτίνων γάμμα.....	8
2.3.1 Διαγραφίες φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα	8
2.4 Διαγραφίες νετρονίων	8
2.4.1 Συσκευές για τις διαγραφίες νετρονίου.....	9
2.5 Διαγραφίες πυκνότητας	10
2.6 Διαγραφίες ακουστικές.....	12
2.6.1 Συσκευές ακουστικών διαγραφιών	12
2.7 Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης	14
2.8 Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής	16
2.8.1 Εξοπλισμός διαγραφιών επαγωγής.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	18
ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ	18
3.1 Γεωλογική εξέλιξη του Αιγαίου	18
3.2 Η λεκάνη του Πρίνου και η δημιουργία της	20
3.3 Γεωλογική περιγραφή της λεκάνης.....	21
3.4 Στρωματογραφική αποτύπωση της λεκάνης του Πρίνου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	26
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ	26
4.1 Εισαγωγή.....	26
4.2 Πρωτογενή δεδομένα.....	27
4.2 Αρχική αξιολόγηση σχηματισμών	33

4.3 Διαγραφίες στην γεώτρηση PA-10	36
4.3.1 Διαγραφίες πορώδους και πυκνότητας.....	36
4.3.2. Ηλεκτρικές Διαγραφίες.....	40
4.3.3 Βαθμός κορεσμού σε νερό	43
4.4 Γεώτρηση PB-13	48
4.5 Γεώτρηση PB-14	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	58
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
Βιβλιογραφία	65
Διαδικτυακή βιβλιογραφία.....	66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 Εισαγωγή

Οι μέθοδοι Γεωφυσικής διασκόπησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην μελέτη της δομής των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού της γης. Σκοπός της γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών που ευνοούν το σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου, φυσικού αερίου, μεταλλευμάτων, ορυκτών ανθράκων.

Σημαντικός είναι επίσης ο ρόλος τους στην αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών. Στο γενικό όρο αξιολόγηση σχηματισμών περιλαμβάνονται ο καθορισμός της σύστασης και των φυσικών ιδιοτήτων των σχηματισμών από μετρήσεις σε γεωτρήσεις, καθώς επίσης η εύρεση της φύσης και της ποσότητας των ρευστών που περιέχουν.

Για την αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών με γεωφυσικές μεθόδους τοποθετούνται κατάλληλα όργανα μέσα στη γεώτρηση και απέναντι από τον υπό μελέτη σχηματισμό. Οι μέσα σε γεωτρήσεις μετρούμενες φυσικές ποσότητες συνήθως παρίστανται σε διαγράμματα συναρτήσεως του βάθους, τα οποία ονομάζονται διαγραφίες. 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.

1.2 Περιγραφή των κεφαλαίων

Η παρούσα διπλωματική έχει σκοπό την αξιολόγηση με γεωφυσικές μεθόδους τριών γεωτρήσεων από την λεκάνη του Πρίνου.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζονται εισαγωγικά και θεωρητικά στοιχεία για τις γεωφυσικές μεθόδους. Αναλύονται εκτενέστερα οι διαγραφίες του πορώδους και οι ηλεκτρικές διαγραφίες και ο κυριότερος εξοπλισμός που έχει χρησιμοποιηθεί για μερικές απ' αυτές.

Εν συνεχεία στο επόμενο και τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά της γεωλογίας της περιοχής. Συγκεκριμένα, γίνεται αναφορά στην γεωλογική εξέλιξη της λεκάνης του Πρίνου και αναφέρεται επίσης στην στρωματογραφική αποτύπωση της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται οι διαγραφίες που έχουν πραγματοποιηθεί από την εταιρεία της Energean Oil & Gas S.A. για κάθε μία γεώτρηση. Τα στάδια της επεξεργασίας για κάθε μία από τις γεωτρήσεις και η αξιολόγηση αυτών.

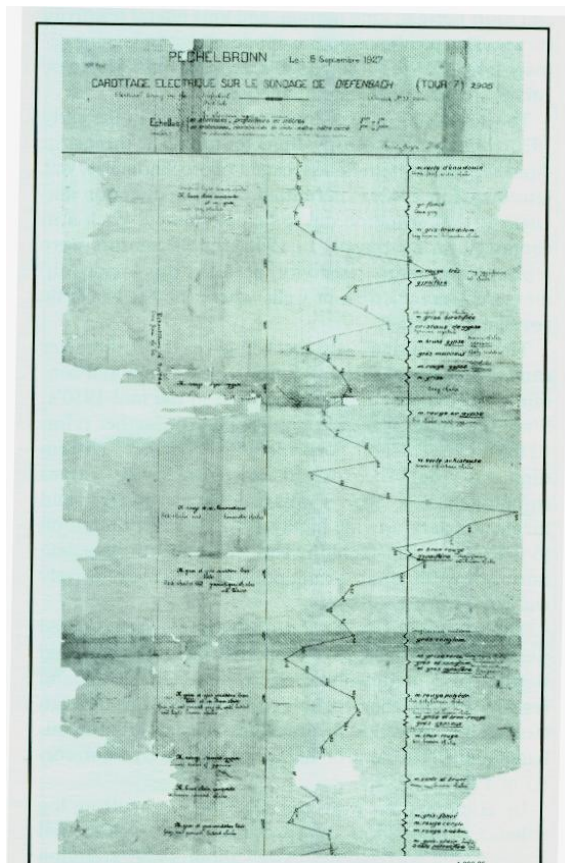
Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα για κάθε μία από τις γεωτρήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΙ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

2.1 Εισαγωγή

Σκοπός μιας γεωφυσικής διασκόπησης είναι ο εντοπισμός γεωλογικών συνθηκών που ευνοούν το σχηματισμό κοιτασμάτων πετρελαίου και φυσικού αερίου. Βασικός είναι ο ρόλος των γεωφυσικών μεθόδων στην αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών. Ο όρος της αξιολόγησης περιλαμβάνει τον καθορισμό της σύστασης και των φυσικών ιδιοτήτων των σχηματισμών, καθώς και της ποσότητας και φύσης των ρευστών που εμπεριέχονται στο σχηματισμό. Γεωφυσική διαγραφή είναι μια καταγραφή μετρήσεων φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί μέσα στις γεωτρήσεις. Στην πρώτη διαγραφή μετρήθηκε η ειδική ηλεκτρική αντίσταση και πραγματοποιήθηκε το 1927 στην Βορειοανατολική Γαλλία.



Η λεπτομερής ανάλυση μιας σειράς προσεκτικά επιλεγμένων διαγραφιών, παρέχει τη δυνατότητα εκτίμησης των πετροφυσικών παραμέτρων του ταμιευτήρα, όπως είναι: ο βαθμός κορεσμού σε ρευστά (υδρογονάνθρακες και νερό), το πορώδες, η διαπερατότητα και η λιθολογία. Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται οι κυριότερες γεωφυσικές γεωφυσικές διαγραφές η αρχή λειτουργίας τους και οι αντίστοιχες συσκευές.

Σχήμα 2.1: Η πρώτη διαγραφή που εκτελέστηκε (1927) (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

2.1.1 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις

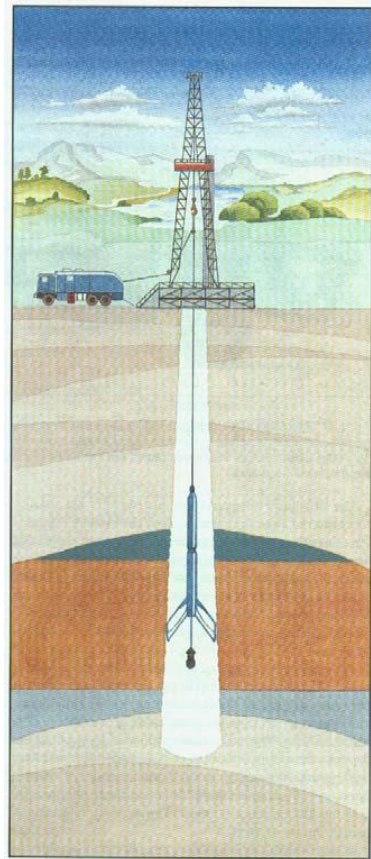
Οι διαγραφίες λαμβάνονται με άμεση επαφή των οργάνων στα τοιχώματα των φρεάτων. Απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των μετρήσεων των διαγραφιών είναι τα γεωφυσικά όργανα, το καλώδιο, και το όχημα με τις συσκευές καταγραφής. Το όχημα καταγραφής για χερσαίες διασκοπήσεις συνήθως φορητό μεταφέρει το καλώδιο, το τύμπανο περιέλιξης του καλωδίου, τον κύλινδρο με τα γεωφυσικά όργανα και το καταγραφικό όργανο.

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. Οι απολήξεις του ενός άκρου των καλωδιακών πυρήνων βρίσκονται στο εξωτερικό του τύμπανου περιέλιξης του καλωδίου και συνδέονται με το καταγραφικό το οποίο είναι μόνιμα εγκατεστημένο επάνω στο όχημα. Το άλλο άκρο προσαρμόζεται στον κύλινδρο με τα γεωφυσικά όργανα. Το καταγραφικό όργανο είναι κατάλληλο για την ταυτόχρονη καταγραφή των μετρήσεων σε μαγνητικό μέσο (π.χ. μαγνητική ταινία, σκληρός δίσκος) ή στο χαρτί.

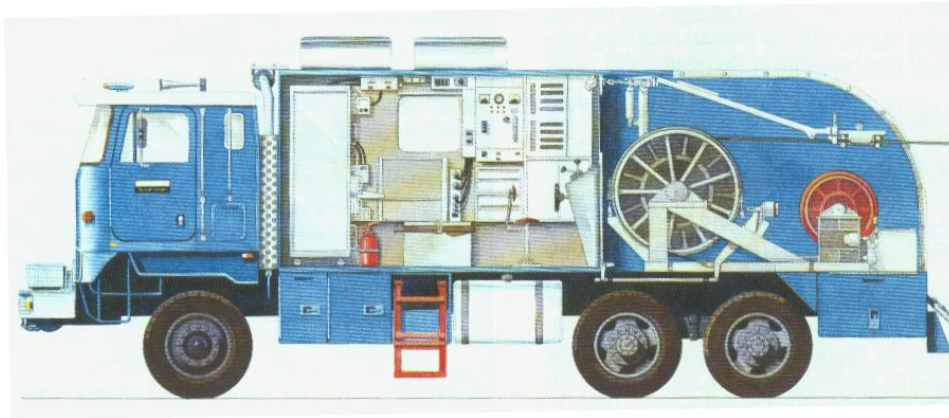
Τα γεωφυσικά όργανα βρίσκονται μέσα σε ατσάλινο ή πλαστικό σωλήνα ο οποίος είναι εξοπλισμένος με ατσάλινα ελατήρια (βραχίονες). Μέσα στο σωλήνα εκτός από τα γεώφωνα, τους ανιχνευτές ακτινών γάμμα υπάρχουν και ειδικά εξαρτήματα όπως πηγές εκπομπής ακτινών γάμμα ή νετρονίων. Για τις ηλεκτρικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται δακτυλοειδή ηλεκτρόδια από μόλυβδο.

Τέλος, μέσα στο σωλήνα είναι εγκατεστημένος ηλεκτρονικός εξοπλισμός κατάλληλος για την ρύθμιση των γεωφυσικών οργάνων, για την προκαταρκτική επεξεργασία των μετρήσεων (π.χ. ενισχυτές, σύστημα ψηφιοποίησης) και για την μεταφορά των ψηφιοποιημένων σημάτων δια μέσου του καλωδίου στην επιφάνεια. Συνήθως οι μετρήσεις πραγματοποιούνται κατά την άνοδο του κυλίνδρου προς την επιφάνεια λόγω του ότι σ' αυτή τη περίπτωση η εκτίμηση του βάθους είναι ακριβέστερη.

Μια τυπική ταχύτητα καταγραφής είναι περίπου δέκα μέτρα το λεπτό. 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 διαγραφών γίνεται στα γραφεία της εταιρείας.



Σχήμα 2.2: Τυπικό σκαρίφημα κατά την απόκτηση διαγραφών (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)



Σχήμα 2.3: Τυπικό σύστημα κινητής καταγραφής (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

2.1.2 Βασικοί τύποι διαγραφιών και αρχή λειτουργίας

Τα είδη των γεωφυσικών διαγραφιών παρουσιάζονται παρακάτω:

Λιθολογίας

- Φυσικού δυναμικού
- Φυσικής ραδιενέργειας

Πορώδους

- Νετρονίου
- Πυκνότητας
- Ακουστικές

Ηλεκτρικές

- Εστίασης
- Επαγωγής

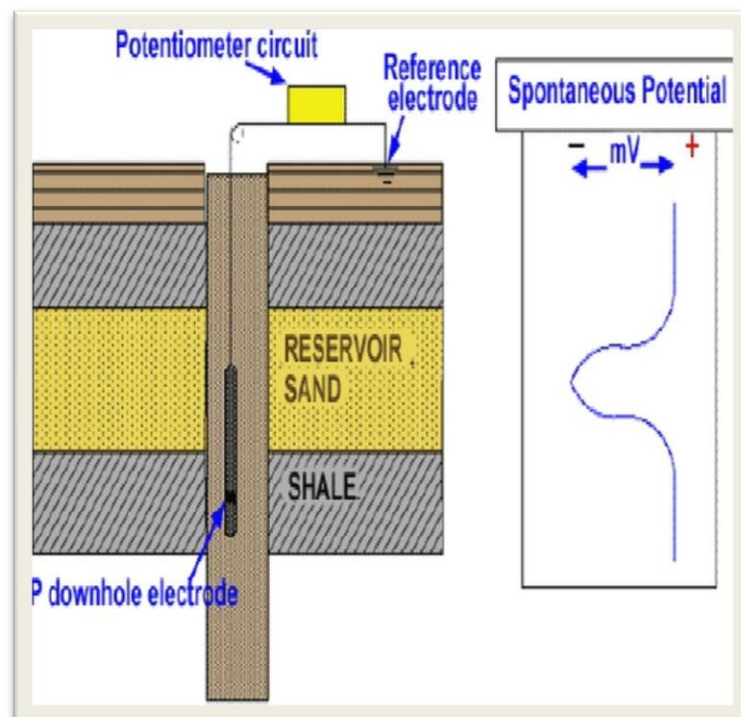
Άλλες

- Διαμετρήματος
- Θερμοκρασίας

2.2 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού

Η καμπύλη φυσικού δυναμικού είναι η καταγραφή συναρτήσεως του βάθους της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων δυναμικού εκ των οποίων το ένα είναι κινητό (μέσα στο φρεάτιο) και το άλλο είναι μόνιμα τοποθετημένο στην επιφάνεια.

Στις καμπύλες φυσικού δυναμικού (SP) καταγράφεται το δυναμικό το οποίο παράγεται απ' την επίδραση μεταξύ του νερού των σχηματισμών, της αγωγίμης γεωτρητικής λάσπης και κάποιων πετρωμάτων που έχουν την ικανότητα να συλλέγουν ιόντα όπως οι αργιλοί σχιστόλιθοι. Η καταγραφή του φυσικού δυναμικού, είναι δυνατή μόνον εάν ο γεωτρητικός πολφός που πληροί την γεώτρηση, είναι αγωγίμος διότι στην αντίθετη περίπτωση, δεν είναι δυνατή η ηλεκτρική επαφή των ηλεκτροδίων της συσκευής καταγραφής και του σχηματισμού.



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

2.3 Διαγραφίες ακτίνων γάμμα

Η διαγραφή αυτή είναι μέτρηση συναρτήσει του βάθους, της φυσικής ραδιενέργειας των σχηματισμών. Δίνει στοιχεία σχετικά με την ύπαρξη αργιλικών προσμίξεων σε ιζηματογενείς σχηματισμούς. Ιζηματογενείς σχηματισμοί χωρίς αργιλικές προσμίξεις εμφανίζουν χαμηλές τιμές φυσικής ραδιενέργειας εκτός αν το νερό του σχηματισμού περιέχει ραδιενεργά άλατα. Έχει τη δυνατότητα να καταγράφει και σε σωληνωμένες γεωτρήσεις, γεγονός που τη καθιστά χρήσιμη για το συσχετισμό διαγραφιών. Σε πολλές περιπτώσεις αντικαθιστά τη διαγραφή φυσικού δυναμικού όταν η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων.

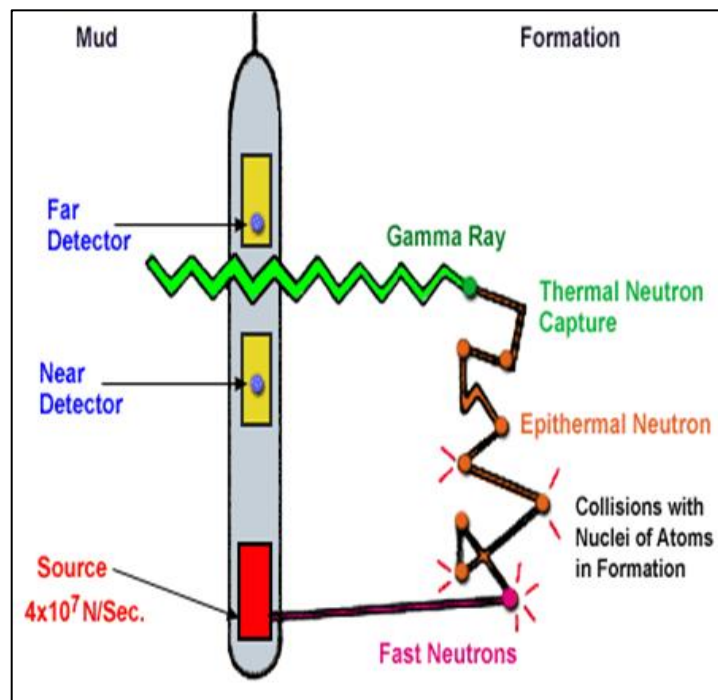
2.3.1 Διαγραφίες φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα

Η διαγραφή φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα (NGS) καταγράφει όπως και η διαγραφή ακτίνων γάμμα την φυσική ραδιενέργεια των σχηματισμών. Ενώ με την διαγραφή ακτίνων γάμμα μετράται η ολική φυσική ραδιενέργεια, με τη διαγραφή NGS καθορίζεται το ενεργειακό φάσμα των ακτίνων γάμμα. Από τη φασματική κατανομή των ακτίνων γάμμα προσδιορίζεται η περιεκτικότητα των ραδιενεργών στοιχείων. Η φυσική ραδιενέργεια των ιζηματογενών πετρωμάτων κυρίως προέρχεται από τη μεταστοιχείωση τριών ραδιενεργών στοιχείων:

- του K40 με χρόνο υποδιπλασιασμού 1.3×10^9 χρόνια,
- του U238 με χρόνο υποδιπλασιασμού 2.14×10^9 χρόνια και
- του Th232 με χρόνο υποδιπλασιασμού 1.4×10^{10} χρόνια

2.4 Διαγραφίες νετρονίων

Οι διαγραφίες νετρονίων, χρησιμοποιούνται κυρίως για προσδιορισμό του πορώδους των γεωλογικών σχηματισμών. Αποκρίνονται κυρίως στη ποσότητα υδρογόνου η οποία υπάρχει στον υπό μελέτη σχηματισμό για τον ακριβή προσδιορισμό του πορώδους και της λιθολογίας χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλες διαγραφίες πορώδους (π.χ διαγραφίες πυκνότητας).



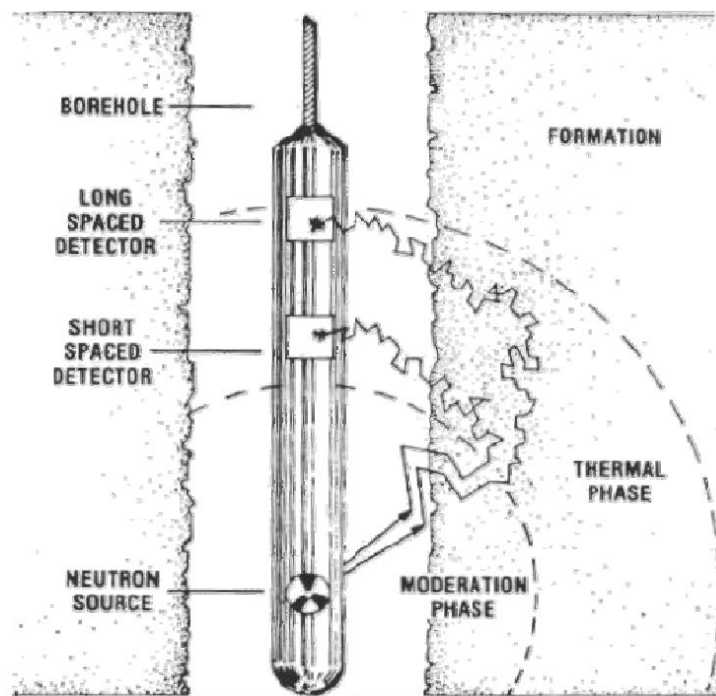
Σχήμα 2.5: Αναπαράσταση της διαγραφίας νετρονίου (<http://www.slideshare.net/>)

2.4.1 Συσκευές για τις διαγραφίες νετρονίου

Η συσκευή πραγματοποίησης διαγραφιών νετρονίων CNL (Compensated Neutron Log) αποτελείται από πηγή $^{241}\text{Am-Be}$ (16 Curie) και δύο ανιχνευτές θερμικών νετρονίων (σχ. 2.6). Η συσκευή CNL χρησιμοποιείται σε σωληνωμένες ή μη γεωτρήσεις. Επίσης διαγραφίες νετρονίων πραγματοποιούνται με τη συσκευή Dual porosity log η οποία περιλαμβάνει ακόμη δύο ανιχνευτές επιθερμικών νετρονίων.

Σε ζώνες όπου οι πόροι πληρούνται από ρευστά, ο κύριος μηχανισμός μετατροπής, των ταχέων νετρονίων σε θερμικά είναι οι ελαστικές συγκρούσεις με πυρήνες υδρογόνου. Τα νετρόνια χάνουν περισσότερη από την ενέργεια τους κατά τη σύγκρουση τους με πυρήνες υδρογόνου οι οποίοι έχουν μάζα συγκρίσιμη με τη μάζα του νετρονίου. Άρα, ο ρυθμός μείωσης της ενέργειας των ταχέων νετρονίων είναι ανάλογος της συγκέντρωσης των πυρήνων υδρογόνου. Ο αριθμός των θερμικών νετρονίων (και των φωτονίων που προέρχονται από το φαινόμενο ακτινοβολούσας αρπαγής) εξαρτάται από τη συγκέντρωση των πυρήνων υδρογόνου και αντίστοιχα από το πορώδες του πετρώματος.

Οι διαγραφίες νετρονίου είναι ευαίσθητες στο ρευστό τμήμα του σχηματισμού όπου εμφανίζεται μεγάλη συγκέντρωση ατόμων υδρογόνου

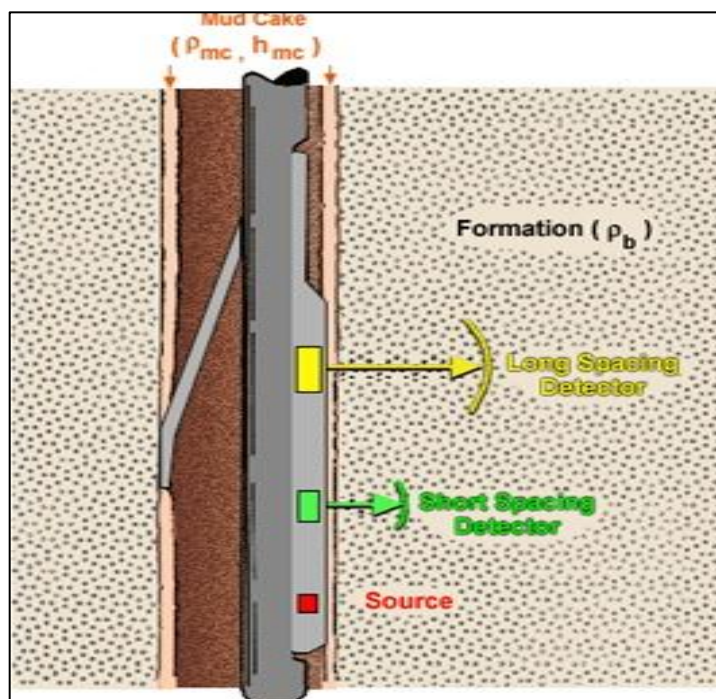


Σχήμα 2.6: Σκαρίφημα συσκευής δυο ανιχνευτών με πηγή νετρονίου για προσδιορισμό του πορώδους (Arnold και Smith) (Βαφείδης Α. 1994 Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους)

Οι συσκευές διαγραφιών νετρονίου σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρατηρούνται υψηλοί ρυθμοί παλμών (μεγάλος αριθμός θερμικών νετρονίων), 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.

2.5 Διαγραφίες πυκνότητας

Οι διαγραφίες αυτές είναι γραφήματα πυκνότητας συναρτήσει του βάθους από τις οποίες προσδιορίζεται το πορώδες, όταν είναι γνωστή λιθολογία (η πυκνότητα στο στερεό τμήμα του σχηματισμού ρ_{ma}). Οι διαγραφίες αυτές δίνουν σημαντικά στοιχεία για να ερμηνευθούν τα βαρυτικά και σεισμικά δεδομένα. Σε συνδυασμό με τις ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών



Σχήμα 2.7: Συσκευή διαγραφιών πυκνότητας FDC (<http://www.slideshare.net/>)

Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής. Μια ραδιενεργή πηγή εφάπτεται στο τοίχωμα της γεώτρησης προς την κατεύθυνση του οποίου εκπέμπει μέσης ενέργειας ακτίνες γάμμα. Αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως σωματίδια υψηλής ταχύτητας, τα οποία συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια του σχηματισμού. Σε κάθε σύγκρουση η ακτίνες γάμμα χάνουν ένα ποσοστό της ενέργειάς τους και σκεδάζονται (φαινόμενο Compton).

Οι ακτίνες αυτές ανιχνεύονται κατόπιν από τον ανιχνευτή, ο οποίος βρίσκεται σε σταθερή απόσταση από την πηγή, ως ένδειξη της πυκνότητας του σχηματισμού. Ο αριθμός των συγκρούσεων και επομένως ο αριθμός των ακτίνων γάμμα που καταγράφονται στον ανιχνευτή, είναι ευθέως ανάλογος της πυκνότητας των ηλεκτρονίων στον σχηματισμό (αριθμός ηλεκτρονίων ανά κυβικό εκατοστό). Η τελευταία, εξαρτάται από την μαζική πυκνότητα, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από την πυκνότητα του ιστού (matrix) και το πορώδες του σχηματισμού καθώς και από την πυκνότητα των ρευστών που γεμίζουν τους πόρους.

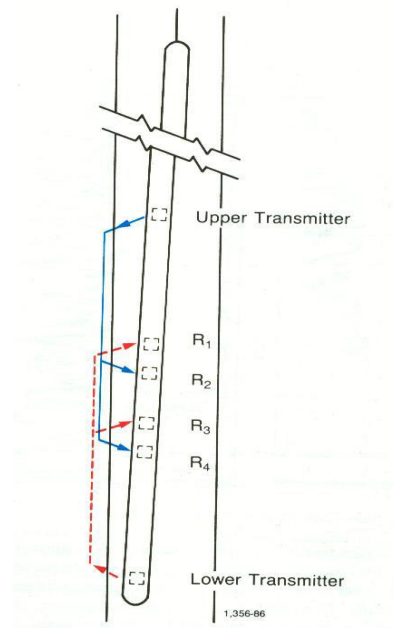
2.6 Διαγραφίες ακουστικές

Στην πιο απλή μορφή της η συσκευή ακουστικών διαγραφιών αποτελείται από πηγή ακουστικών κυμάτων συχνότητας (20 KHz) και πιεζοηλεκτρικού τύπου γεώφωνο. Η ακουστική διαγραφή είναι καταγραφή του χρόνου διαδρομής Δt τον οποίο χρειάζεται το ακουστικό κύμα για να διανύσει απόσταση ίση με 1ft (ή 1m) του σχηματισμού συναρτήσει του βάθους.

Ο χρόνος διαδρομής, εξαρτάται από την 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. Στη μέθοδο αυτή καταγράφεται και ο συνολικός χρόνος διαδρομής του ακουστικού κύματος, που ισούται με το άθροισμα των χρόνων διαδρομής Δt . Ο συνολικός χρόνος διαδρομής είναι χρήσιμος για την ερμηνεία σεισμικών καταγραφών ανάκλασης.

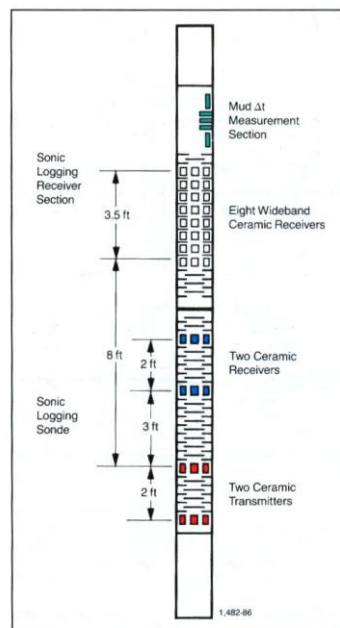
2.6.1 Συσκευές ακουστικών διαγραφιών

Οι κυριότερες συσκευές ακουστικών διαγραφών είναι: η BHC (Borehole Compensated Sonic Tool), η LSS (Long Spaced Sonic Tool) και η συσκευή Array-Sonic. Η συσκευή ηχητικών διαγραφιών BHC, (σχ. 2.8) χρησιμοποιεί έναν πομπό επάνω και έναν κάτω από δύο ζεύγη γεωφώνων. Οι δύο πομποί εκπέμπουν εναλλάξ και οι χρόνοι διαδρομής καταγράφονται στα γεώφωνα. Η διάταξη αυτή ελαττώνει σημαντικά τα σφάλματα που προκύπτουν από τις μεταβολές στην διάμετρο της γεώτρησης, αλλά και τα σφάλματα λόγω της απόκλισης της κλίσης της συσκευής από την κατακόρυφο.



Σχήμα 2.8: Συσκευή BHC, που δείχνει τις διαδρομές των ακτίνων για δυο ζεύγη πομπού – δέκτη. Ρυθμίζοντας τις δυο μετρήσεις του Δt μειώνονται τα λάθη από την κλίση της συσκευής και της αλλαγής του μεγέθους της οπής (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

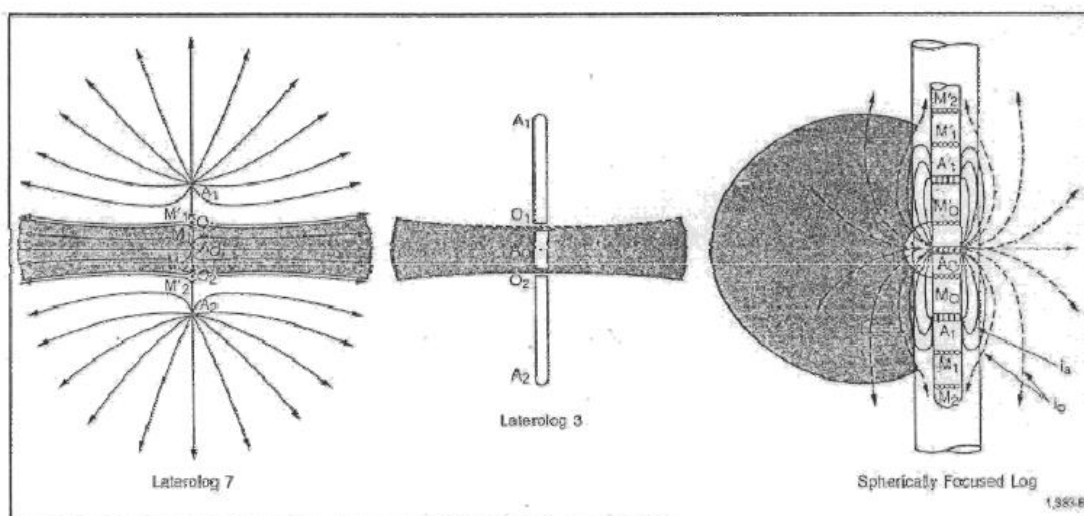
Με τη συσκευή Array-Sonic πραγματοποιούνται μετρήσεις του χρόνου διαδρομής Δt αλλά και καταγραφές των σειсмоγραμμάτων. Η συσκευή περιλαμβάνει δύο πηγές πιεζοηλεκτρικού τύπου (5-18KHz) και τρεις διατάξεις γεωφώνων (σχ. 2.9)



Σχήμα 2.9: Ακουστική συσκευή οκτώ δεκτών (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

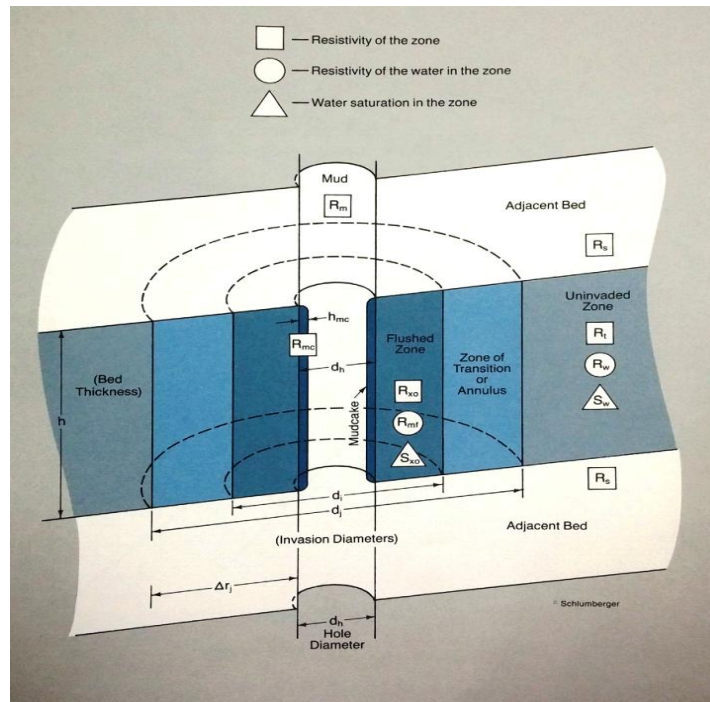
2.7 Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης

Στις κλασσικές ηλεκτρικές διαγραφίες, η απόκριση, των συσκευών επηρεάζεται από την ειδική αντίσταση των γειτονικών σχηματισμών και από τη διάμετρο του φρεατίου. Καλύτερα αποτελέσματα δίνουν οι ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης όπου το ηλεκτρικό ρεύμα εστιάζεται σε λεπτό δίσκο και διεισδύει βαθύτερα μέσα στον υπό μελέτη σχηματισμό (σχ. 2.10).



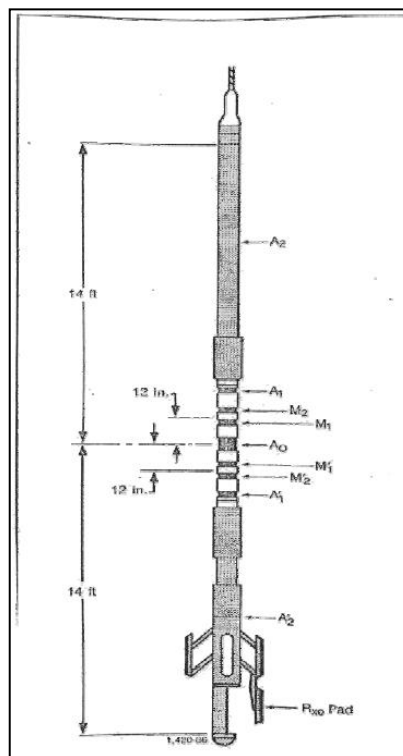
Σχήμα 2.10: Σχηματική παράσταση της εστίασης του ηλεκτρικού (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης πραγματοποιούνται με συσκευές LATEROLOG και συσκευές σφαιρικής εστίασης (SFL). Τα συστήματα ηλεκτροδίων εστίασης σχεδιάστηκαν 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 8) χρησιμοποιούνται, για την εκτίμηση της R_{xo} . Από τις ενδιάμεσες και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας συσκευές (LATEROLOG 7, LATEROLOG 3) εκτιμάται η R_t . (σχ 2.11)



Σχήμα 2.11: Σχηματική παράσταση της ζώνης διείσδυσης και της μεταβατικής ζώνης σε περατό σχηματισμό. (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Charts)

Η πιο σύγχρονη συσκευή εστίασης είναι η DUAL LATEROLOG TOOL (DLL) (σχ. 2.12).



Σχήμα 2.12: Σχηματική παράσταση της συσκευής Dual Laterlog (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

2.8 Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής

Οι συσκευές διαγραφιών επαγωγής αναπτύχθηκαν αρχικά για την μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε πηγάδια στα οποία η γεωτρητική λάσπη έχει σαν βάση το πετρέλαιο. Οι ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες ηλεκτρικές διαγραφίες ακόμη και στην περίπτωση που η γεωτρητική λάσπη έχει σαν βάση το νερό. Συνήθως σχεδιάζονται έτσι, ώστε να εμφανίζουν μεγάλη διεισδυτική ικανότητα.

Για την μείωση των επιδράσεων που προέρχονται από το φρεάτιο, τους γειτονικούς σχηματισμούς και την ζώνη διείσδυσης, οι συσκευές διαγραφιών επαγωγής χρησιμοποιούν κατάλληλο σύστημα εστίασης.

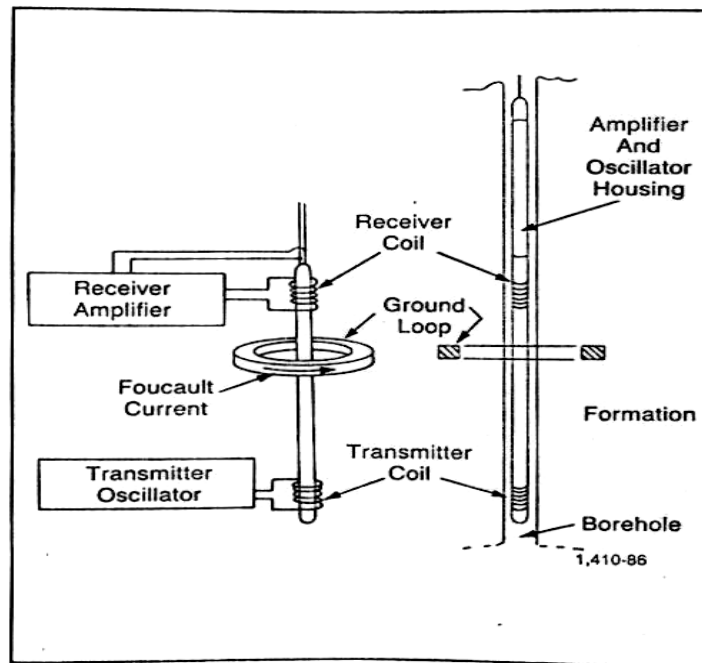
Για τον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του υπό μελέτη σχηματισμού, R_t , πραγματοποιούνται περισσότερες της μιας μετρήσεις της R . Για μη αγωγίμη λάσπη χρησιμοποιείται η συσκευή επαγωγής Dual Induction Log με την οποία πραγματοποιούνται δύο μετρήσεις R_{ILD} , R_{ILM} σε συνδυασμό με την συσκευή σφαιρικής εστίασης. Για αγωγίμη λάσπη χρησιμοποιούνται συσκευές εστίασης.

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

2.8.1 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 ένα πηνίο-πομπό και ένα πηνίο-δέκτη (σχ. 2.13). Η συσκευή διαγραφιών επαγωγής είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε πηγάδια με ανθεκτική λάσπη (όπου δίνει τα καλύτερα αποτελέσματα) αλλά και σε πηγάδια με αγωγίμη 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 2.13: Συσκευή επαγωγής δυο πηνίων (Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ

(Από Μιχελάκη Μ, 2010)

3.1 Γεωλογική εξέλιξη του Αιγαίου

Η μορφολογία του Αιγαίου χαρακτηρίζεται από πληθώρα μικρών ιζηματογενών λεκανών του Τριτογενούς. Κατά το τέλος του κατώτερου και στις αρχές του μέσου Ηωκαίνου δημιουργήθηκαν ρήγματα με αποτέλεσμα τον κατακερματισμό της περιοχής. Τεμάχια ανυψώθηκαν ενώ άλλα βυθίστηκαν, και αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εισβολή της θάλασσας στις χαμηλές περιοχές.

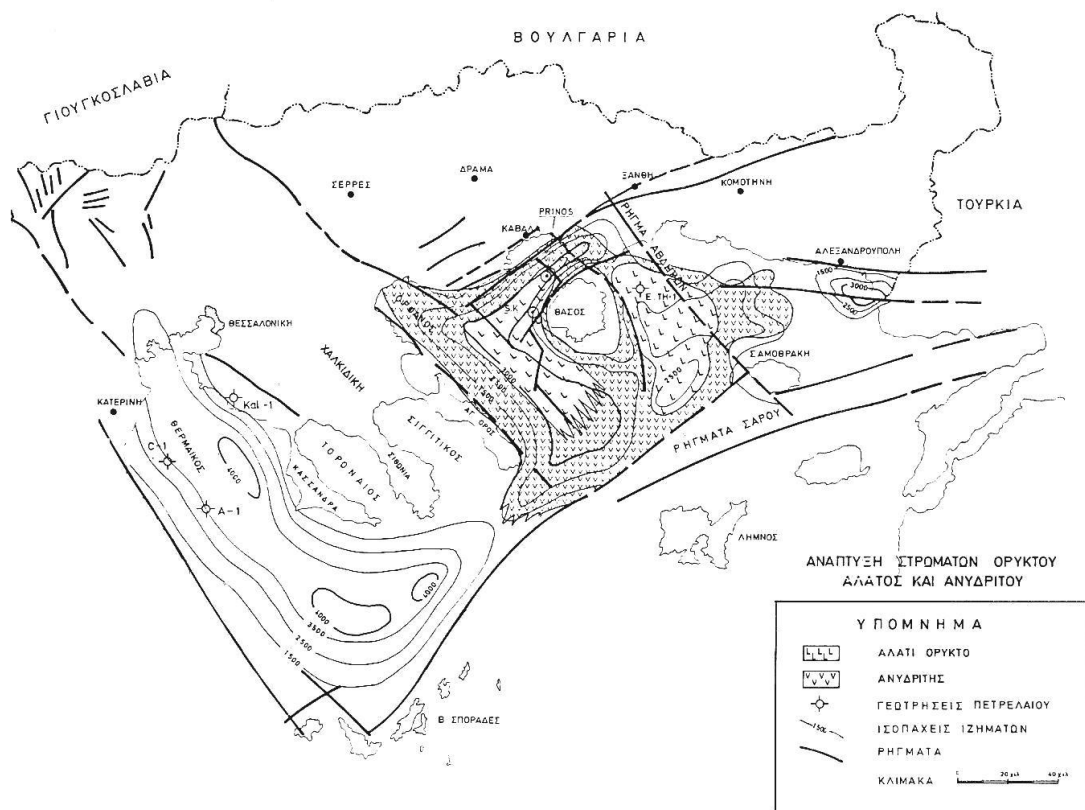
Η ανάπτυξη των Μειοκαινικών μολασσικών ιζημάτων σε αρκετό πάχος σε κλειστές τεκτονικές λεκάνες, έδωσε τελικά την γένεση των εβαποριτών (ορυκτό αλάτι, ανυδρίτες, γύψοι) κάτω από τους οποίους εντοπίστηκαν οικονομικά κοιτάσματα υδρογονανθράκων σε ψαμμιτικούς σχηματισμούς. Τα στρώματα ορυκτού άλατος, ανυδριτών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



Σχήμα 3.1: Δημιουργία κλειστής θάλασσας κατά το Μειόκαινο, η οποία επικοινωνεί από 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 πύκνωση των σχηματισμών του Ηώκαινου-Ολιγόκαινου. Επακολούθησαν διαρρήξεις παλαιών ρηγμάτων, άνοδος και κάθοδος τεμάχων, δημιουργία χέρσων, θαλασσών και λιμνών, ενώ στο Θρακικό πέλαγος από το Άθω 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).



Σχήμα 3.2: Απεικόνιση θαλάσσιας περιοχής Θρακικού πελάγους (Λαλέχος, 2000)

3.2 Η λεκάνη του Πρίνου και η δημιουργία της

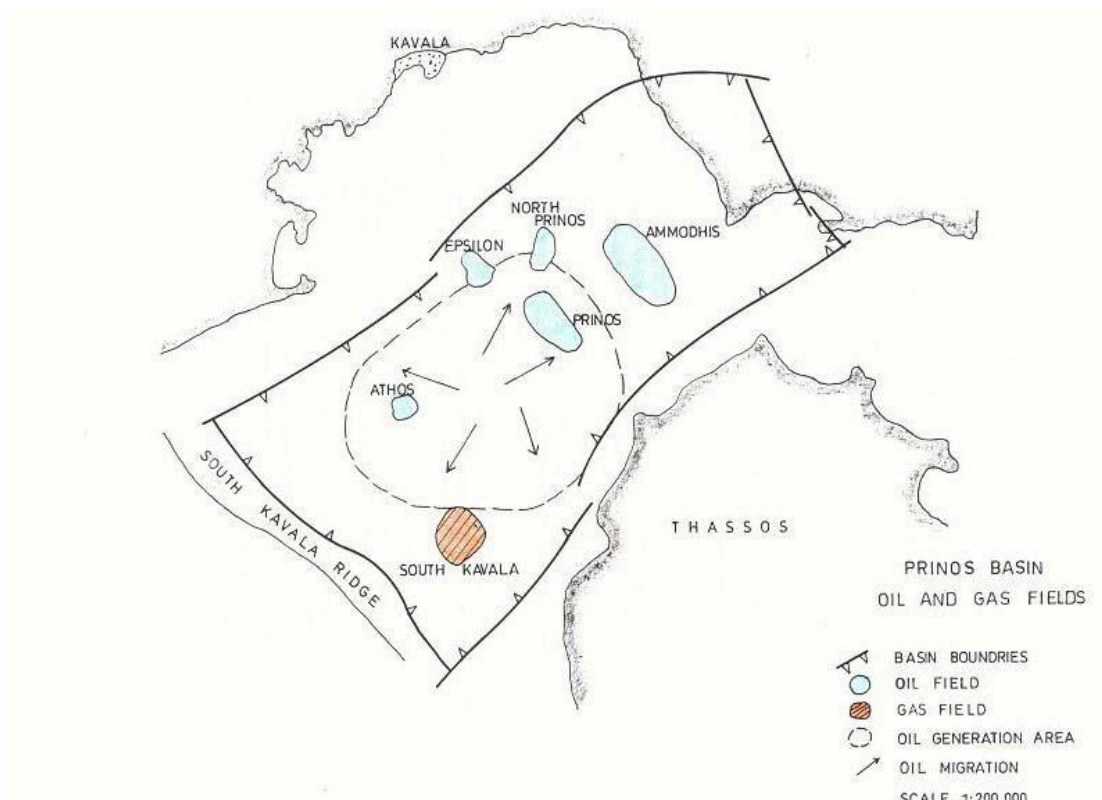
Παρέμεινε ολόκληρη η λεκάνη, επάνω από τη στάθμη της θάλασσας κατά τη διάρκεια του κύκλου της Τηθύος και μόνο κατά τη διάρκεια του μέσου Μειόκαινου άρχισε να αυτοβυθίζεται, ως αποτέλεσμα της μετά-αλπιδικής τεκτονικής που οδήγησε στη διάρρηξη της πλάκας του Αιγαίου. Το ρήγμα ολίσθησης του Βόρειου Αιγαίου, προέκταση του ρήγματος της Ανατολίας στη Βόρειο Τουρκία, άφησε άθικτη τη λεκάνη του Πρίνου και τις παρακείμενες λεκάνες του Μειόκαινου.

Η ταχύτατη ιζηματογένεση που έλαβε χώρα πριν και μετά το «Μεσσήνιο συμβάν», δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη συσσώρευση μεγάλου πάχους ιζημάτων ηλικίας Μειόκαινου, Πλειόκαινου και Τεταρτογενούς, το οποίο ανήλθε στα 5000 μέτρα. Αυτό είχε ως συνέπεια την καλή συντήρηση της οργανικής ουσίας, η οποία αποτέλεσε την πηγή για την δημιουργία πετρελαίου. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την συσσώρευση των υδρογονανθράκων στην περιοχή είναι η ύπαρξη των αντικλίνων και άλλων τύπων παγίδων.

Αυτά βρίσκονται γύρω από το βαθύτερο μέρος της λεκάνης και είναι τύπου roll-over. Στην περιοχή απαντώνται και στρωματογραφικές παγίδες πετρελαίου. Τα στρώματα αυτά αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του ανώτερου Μειόκαινου, μετά την απομόνωση της λεκάνης από την ανοικτή θάλασσα. Το ισχυρό ανάγλυφο της λεκάνης, λόγω της ταχύτατης ιζηματογένεσης οδήγησε στη μετακίνηση ιζημάτων από τις παρυφές στο κέντρο των λεκανών, από τις τοπογραφικά υψηλότερες περιοχές στις χαμηλότερες. Δημιουργήθηκαν έτσι οι αποθέσεις των τουρβιδιτικών ιζημάτων που κάλυψαν μια μεγάλη έκταση της περιοχής, οι οποίες και διαμόρφωσαν τελικά τους ταμιευτήρες..

3.3 Γεωλογική περιγραφή της λεκάνης

Η λεκάνη περιβάλλεται από μεγάλου μήκους, μεγάλης γωνίας κλίσης ρήγματα κατευθύνσεων ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ, από το δέλτα του Νέστου στο βορρά προς την κορυφογραμμή της νότιας Καβάλας στο νότο (Σχήμα 3.3). Διαιρείται σε δύο υπολεκάνες, το βόρειο τμήμα που αποτελεί την υπολεκάνη του Νέστου και το νότιο που αποτελεί την υπολεκάνη του Πρίνου, και είναι το βαθύτερο τμήμα.



Σχήμα 3.2: Τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου στην λεκάνη του Πρίνου (Πηγή Prinos Basin – A model for oil exploration, Proedrou P. & Papakonstantinou C.M., 2004)

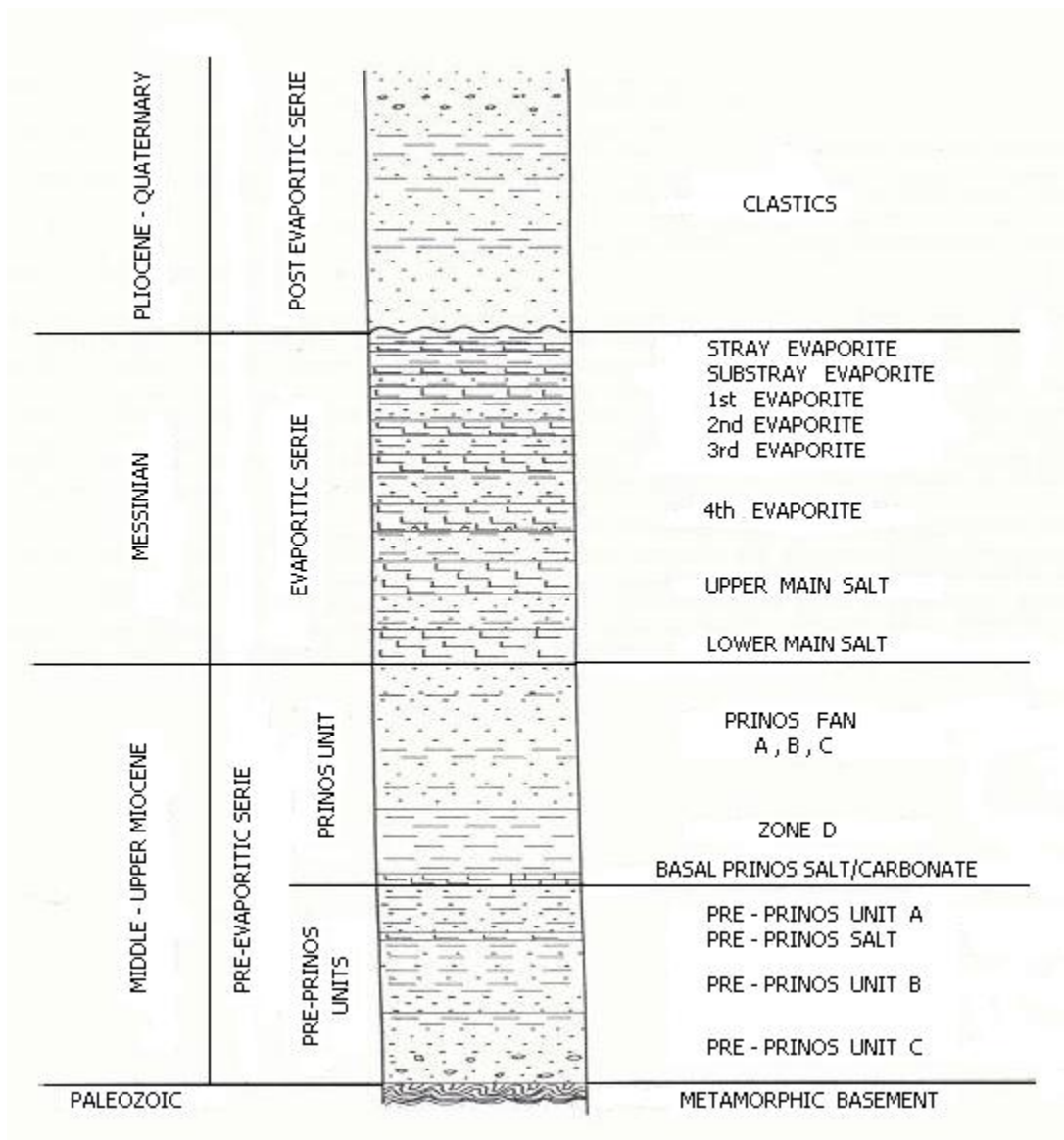
Η ιζηματογένεση της λεκάνης του Πρίνου ξεκίνησε με χερσαίες αποθέσεις του μέσου Μειόκαινου και συνεχίστηκε με θαλάσσια και λιμνοθαλάσσια ιζήματα. Η γειτονική υπολεκάνη του Νέστου καλύφθηκε με θαλάσσια ιζήματα έτσι ώστε δημιουργήθηκε ηπειρωτικού χαρακτήρα πυθμένας, ο οποίος καταλάμβανε μια μεγάλη έκταση μικρής κλίσης προς το κέντρο της λεκάνης. Η διαδικασία της ιζηματογένεσης στην υπολεκάνη του Πρίνου ακολούθησε το ενεργό τοπογραφικό ανάγλυφο του πυθμένα της λεκάνης, το οποίο διαμορφωνόταν από ένα σύστημα ενεργών παράλληλων ρηγμάτων διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ με φορά κίνησης νοτιοδυτικά προς το κέντρο της λεκάνης. Η ύπαρξη ενεργών πρικών μεγάλης γωνίας κλίσης είχε ως αποτέλεσμα την εμφάνιση φαινομένων ροής λόγω βαρύτητας οπότε και αναπτύχθηκαν οι τουρβιδιτικές ακολουθίες. Στην συνέχεια έλαβε χώρα περαιτέρω μετακίνηση ιζημάτων με κατεύθυνση το νοτιότερο και βαθύτερο τμήμα της λεκάνης λόγω έντονης δράσης ρηγμάτων ολίσθησης σε συνδυασμό με την ύπαρξη εβαποριτικών ακολουθιών.

Λόγω της πυκνής εμφάνισης ρηγμάτων στην περιοχή, οι περισσότερες παγίδες του Πρίνου συνδέονται με τον σχηματισμό αντίκλινων τύπου rollover. Ρήγματα με κατεύθυνση ΒΔ-ΝΑ διασχίζουν την λεκάνη δημιουργώντας παγίδες στα μέτωπα αυτών. Ωστόσο, πρόσθετες μετακινήσεις ρηγμάτων ολίσθησης που υποβοηθήθηκαν από τις αποθέσεις αλάτων περιέπλεξαν περαιτέρω το ανάγλυφο της περιοχής. Ένα τέτοιο ρήγμα ολίσθησης βρίσκεται κάτω από τον τομέα του Πρίνου και θεωρείται υπεύθυνο για την μετακίνηση του υπερκείμενου σχηματισμού, όπου οδήγησε τελικά στην δημιουργία του αντίκλινου του Βόρειου Πρίνου.

Η λεκάνη του Πρίνου ήταν ανοικτή από το νότο στην ανοικτή θάλασσα κατά το πρώτο στάδιο της ιζηματογένεσης. Βαθμιαία δημιουργήθηκε μια υποθαλάσσια ράχη μεταξύ της Θάσου και της ηπειρωτικής χώρας, η κορυφογραμμή νότια της Καβάλας. Κατά το Μεσσήνιο, η ράχη άρχισε να ανέρχεται και οδήγησε στην απομόνωση της λεκάνης από τη θάλασσα και στον μετασχηματισμό της λεκάνης σε μια μικρή λιμνοθάλασσα. Επίσης στη βορειοανατολική πλευρά, η κορυφογραμμή όπου βρίσκεται το νησί Θασσοπούλα συμμετείχε περιοδικά στην πλήρη απομόνωση της λεκάνης από την θάλασσα (Προέδρου, 1979).

3.4 Στρωματογραφική αποτύπωση της λεκάνης του Πρίνου

Οι στρωματογραφικές ενότητες που επικρατούν σε όλη τη λεκάνη συνολικά είναι η προ-εβαποριτική, η εβαποριτική και η μετα-εβαποριτική (Pollack & Προέδρου 1979). Η καθεμία από αυτές αντιπροσωπεύει διαφορετικό ιζηματολογικό περιβάλλον ενώ το πάχος τους αυξάνει προς το κέντρο των υπολεκανών. Το υπόβαθρο αποτελείται κυρίως από μεταμορφωμένα πετρώματα, γνεύσιους, χαλαζία και δολομιτικό μάρμαρο. Η προ-εβαποριτική σειρά ξεκινά με βασικά ιζήματα και ολοκληρώνεται αμέσως πριν από την απόθεση των κύριων εβαποριτών (Σχήμα 3.4). Οι πρώτες αποθέσεις είναι κλαστικού χαρακτήρα, ψαμμίτες και αργίλικα πετρώματα, των οποίων το πάχος αυξάνει προς το κέντρο των λεκανών. Οι νεότερες αποθέσεις έχουν θαλάσσιο χαρακτήρα και επιστρώνουν τις παλαιότερες σχηματίζοντας ανομοιόμορφα στρώματα.



Σχήμα 3.3: Χρονοστρωματογραφική στήλη της λεκάνης του Πρίνου (Πηγή Prinos Basin – A model for oil exploration, Proedrou P. & Papakonstantinou C.M., 2004)

Στην συνέχεια ακολουθεί μια ζώνη ασβεστόλιθου και διαδοχικά στρώματα δολομίτη και ανυδρίτη με κλαστικά πετρώματα που καλύπτουν το νότιο μέρος της υπολεκάνης του Πρίνου. Προς το κέντρο, όπου είναι και το βαθύτερο μέρος της λεκάνης, ο ανυδρίτης αντικαθίσταται από στρώματα άλατος, πάχους μερικών μέτρων.

Στην κορυφή της προ-εβαποριτικής σειράς συναντώνται παρεμβολές ψαμμίτη, ενώ στην 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 υπερκείμενη εβαποριτική σειρά στην βόρεια υπολεκάνη αποτελείται από στρώματα ανυδρίτη και ασβεστολίθων πάχους 3 έως 5m, που εναλλάσσονται με ψαμμίτες και αργιλικά πετρώματα. 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 3.4).

Η κλαστική μετα-εβαποριτική σειρά χαρακτηρίζεται από την αφθονία τρηματοφόρων, νανοπλαγκτόν και υπολείμματα φυκιών που πιστοποιούν μια θαλάσσια προέλευση, η οποία ανήκει χρονικά στο Πλειόκαινο. Προς την κορυφή, τα χονδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα εκδηλώνουν μια δελταϊκή προέλευση λόγω των υπολειμμάτων μαλακίων που έχουν βρεθεί σε αυτά (Προέδρου, 1979). Η ιζηματογένεση συνεχίστηκε κατά το Τεταρτογενές και εξελίσσεται ως σήμερα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

4.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται, τόσο τα πρωτογενή δεδομένα, όσο και οι μέθοδοι επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν καθ' όλη τη διάρκεια της παρούσας διπλωματικής. Τα δεδομένα των γεωτρήσεων PA-10, PB-13, PB-14 στην λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας παραχωρήθηκαν από την εταιρία Energean Oil & Gas S.A.

Τα δεδομένα δόθηκαν σε τρία αρχεία .txt και μετατράπηκαν για την διευκόλυνση της επεξεργασίας σε μορφή .xls. Σε κάθε μια απ' τις παραπάνω γεωτρήσεις δόθηκαν διαφορετικές γεωφυσικές μετρήσεις.

Σε πρώτο βήμα πραγματοποιήθηκε ανάγνωση των μετρήσεων και ύστερα η διαλογή εκείνων των δεδομένων ανάμεσα στα πολλά, που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διάρκεια μελέτης και επεξεργασίας στην παρούσα διπλωματική.

Κάθε μια απ' τις γεωτρήσεις υποβλήθηκαν σε αξιολόγηση σύμφωνα με τις κατάλληλες γεωφυσικές μεθόδους με σκοπό και στόχο την εύρεση των ζωνών ενδιαφέροντος, και σύμφωνα με τις ανάλογες γεωφυσικές διαγραφίες να αξιολογήθηκαν ξεχωριστά σε κάθε ταμιευτήρα.

Τα βήματα της επεξεργασίας των δεδομένων είναι:

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

4.2 Πρωτογενή δεδομένα

Πίνακας 4.1 Κατηγορίες πρωτογενών δεδομένων

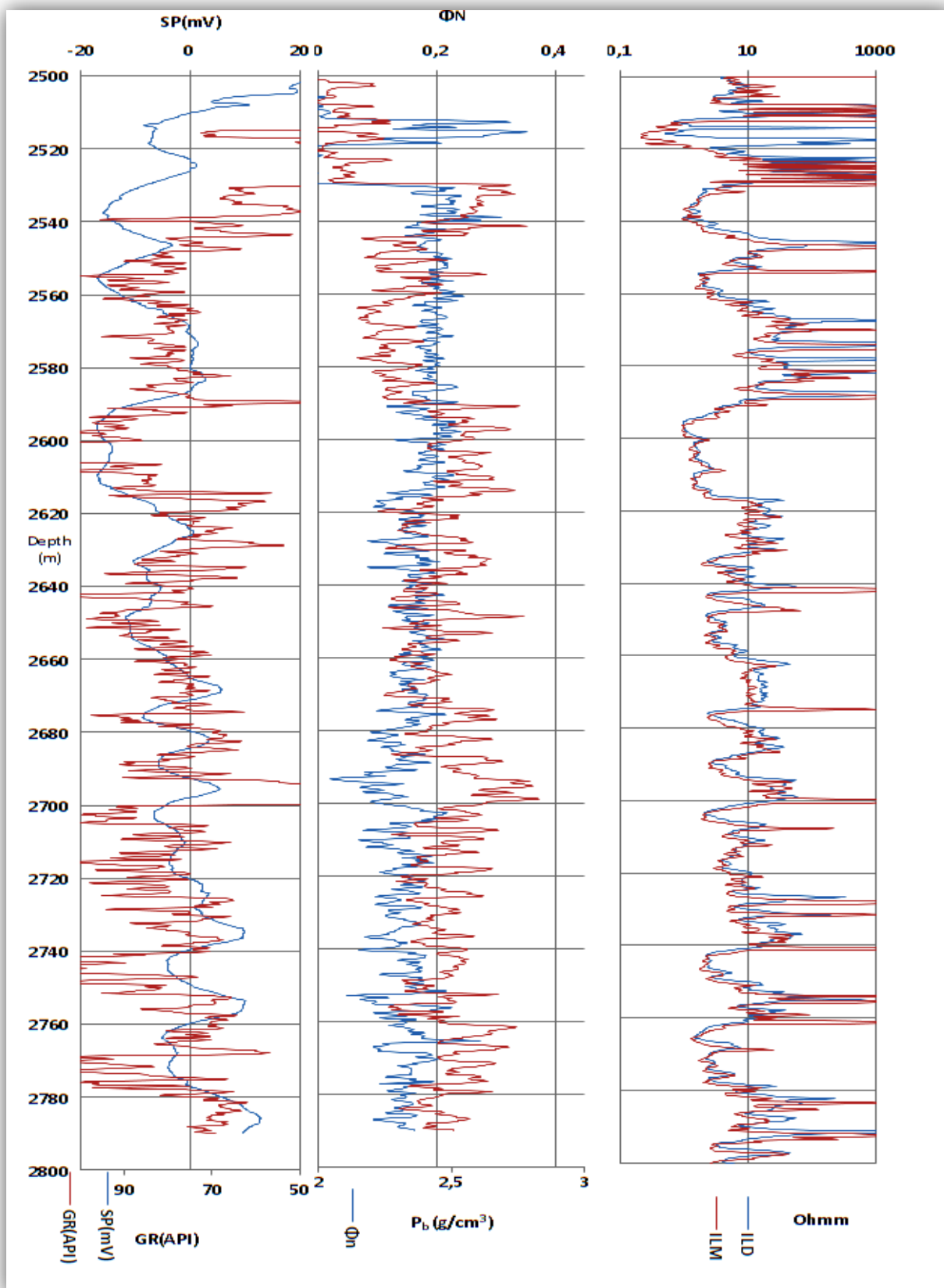
ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΑΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ	
DEPTH .m	Βάθος
GR .gAPI	Φυσικής ραδιενέργειας
GR-SONIC .gAPI	Φυσικής ραδιενέργειας -ηχητικές
NPHI .m3/m3	Νετρονίου πορώδους
RHOB .g/cm3	Πυκνότητας
DT .us/ft	Ακουστικές
RILD, ILM .ohm.m	Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής
RLLD, SFLU, LLS, RSFL, RMSFL, SFLU .ohm.m	Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης
SP	Φυσικού δυναμικού
RT .ohm.m	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού
SW	Βαθμός κορεσμού
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΔΕΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	
PEF_Run2	Δείκτης φωτοηλεκτρικής απορρόφησης
DRHO .g/cm3	Διόρθωση πυκνότητας
NRAT	Αναλογία νετρονίων /ρυθμός καταμέτρησης
RCAL	
TRUESTRATIGRAPHICTHICKNESS	Αληθινή στρωματογραφία / Αληθές κάθετο πάχος
RWA .ohm.m	Ειδική ηλεκτρική αντίσταση νερού
PHIE .m3/m3	Κλασματικό πορώδες
SXO .	Βαθμού κορεσμού (διήθημα της λάσπης)
VR .	Κάθετη ανάλυση
WH .	Βατώρες
CALI .in	Διαμέτρημα γεώτρησης

Ο παραπάνω πίνακας παραθέτει δεδομένα που είχαν αποσταλεί από την εταιρεία της Ενεργειακής Αιγαίου, για να τα επεξεργαστούμε. Παρουσιάζονται τόσο εκείνα που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία της παρούσας εργασίας, όσο και μερικά τα οποία δεν συμπεριλήφθησαν.

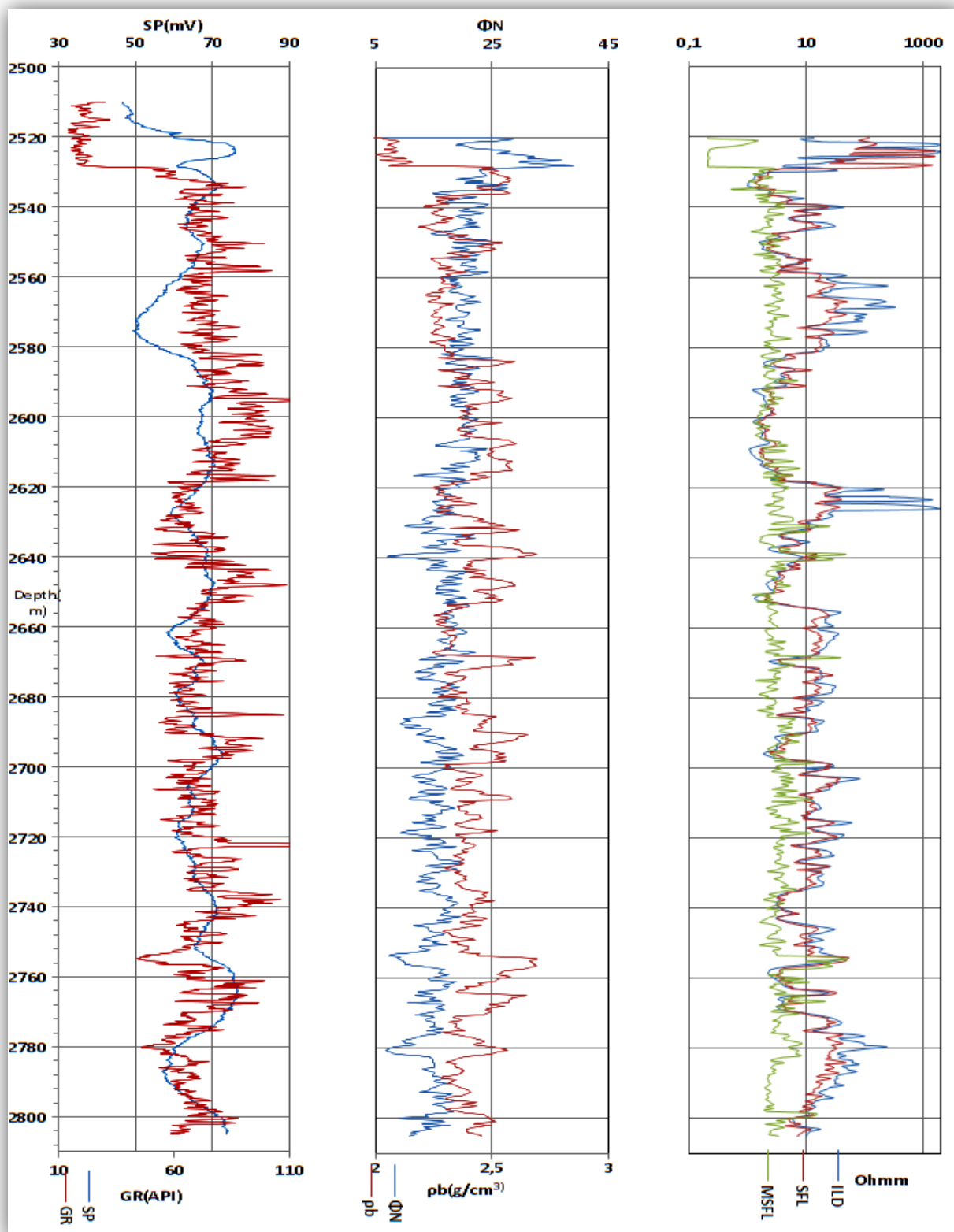
Στην πρώτη στήλη από αριστερά παρατηρούνται εκείνες οι παράμετροι για τις οποίες λήφθηκαν μετρήσεις ενώ στη διπλανή στήλη, γίνεται μια πολύ σύντομη περιγραφή της κάθε μια ιδιότητας, με σκοπό να κατανοηθούν καλύτερα οι όροι που χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία της διπλωματικής.

Κατά την διαδικασία της επεξεργασίας δεν χρησιμοποιήθηκαν όλα τα πρωτογενή δεδομένα, καθώς έγινε επιλογή σύμφωνα με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την γεωφυσική ερμηνεία αυτών.

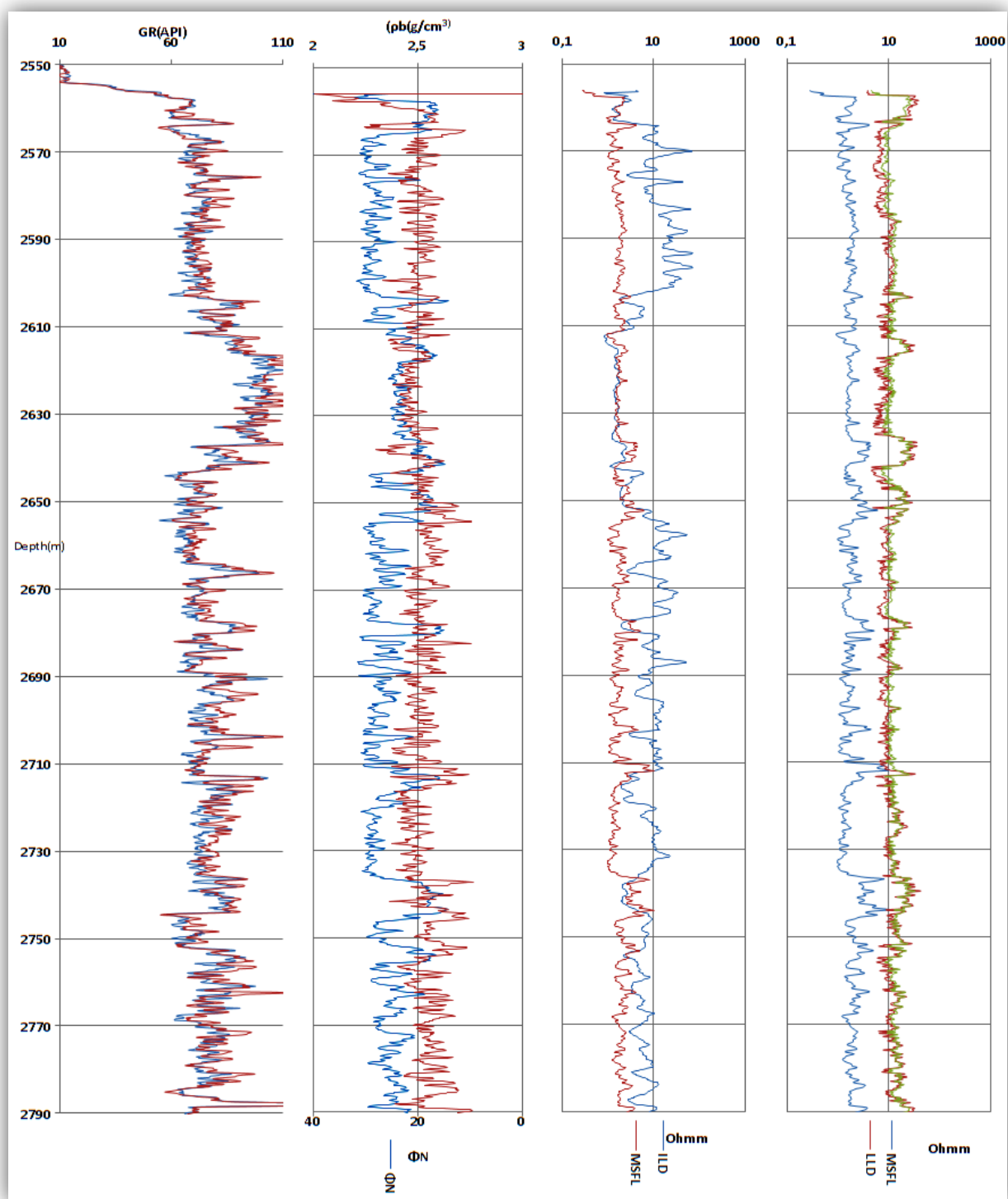
Αξίζει να σημειωθεί ότι, σε κάθε μια από τις γεωτρήσεις, υπήρξαν και παραπάνω από μία φορές καταγραφές. Όπως για παράδειγμα, συνέβη στην γεώτρηση PB-14, όπου παρατηρήθηκε ότι η καταγραφή μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας (GR .gAPI) είχε επαναληπτικό ρυθμό. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε η μέτρηση αυτή 10 φορές. Επιπλέον σημαντικό στοιχείο που παρατηρήθηκε πως σε κάθε μία από τις γεωτρήσεις είχαμε διαφορετικά δεδομένα.



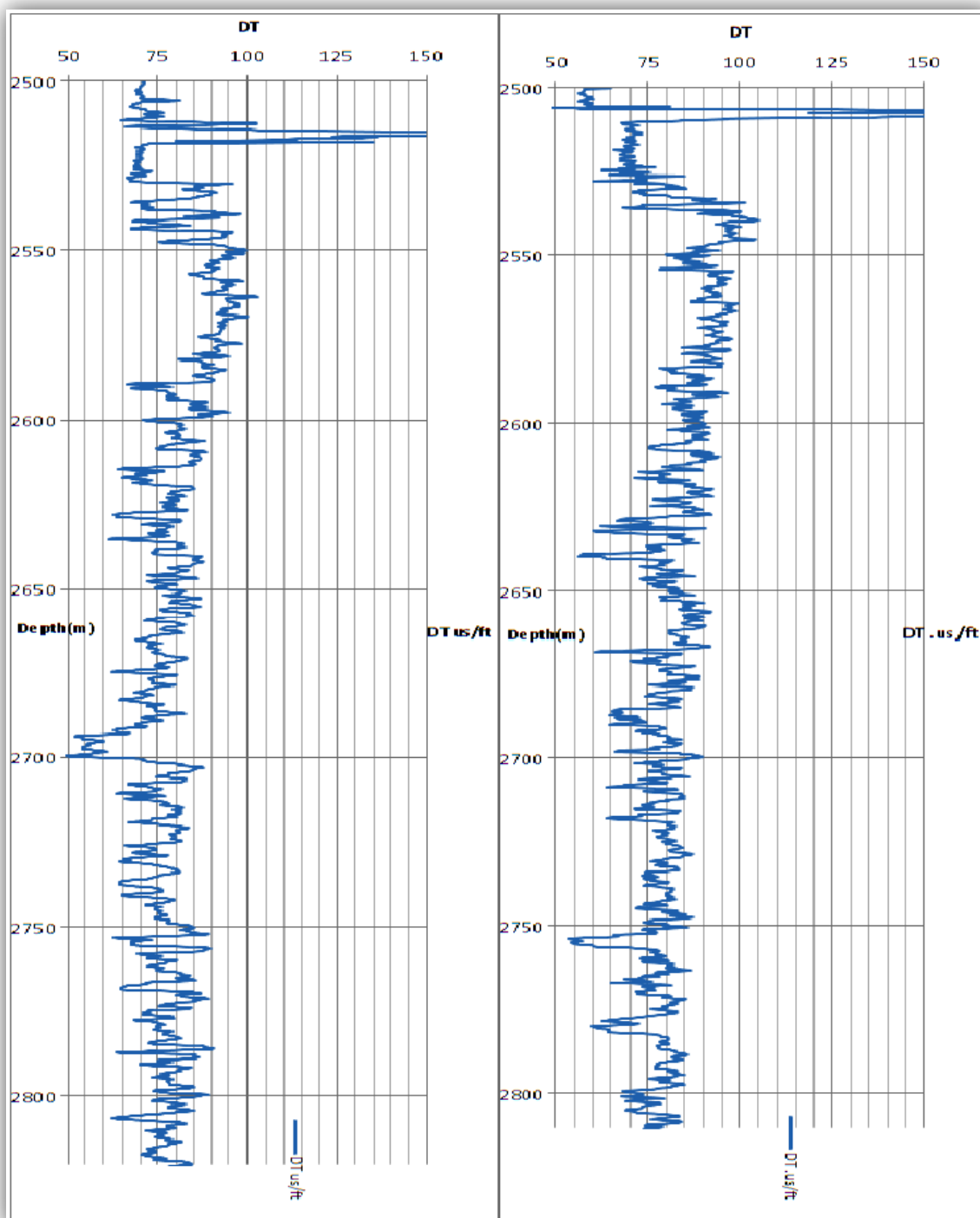
Σχήμα 4.1: Διαγραφίες της PA-10 γεώτρησης. Στα αριστερά το φυσικό δυναμικό (SP) με των ακτίνων γάμμα (GR), στο κέντρο νετρονίου (Φ_N) και πυκνότητας ρ_b και δεξιά ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής (ILD, ILM).



Σχήμα 4.2: Διαγραφίες της PB-13 γεώτρησης. Στα αριστερά το φυσικό δυναμικό (SP) με των ακτίνων γάμμα (GR), στο κέντρο νετρονίου (Φ_N) και πυκνότητας ρ_b και δεξιά ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής (ILD) και εστίασης (SFL, MSFL).



Σχήμα 4.3: Διαγραφίες της PB-14 γεώτρησης. Στα δεξιά είναι η διαγραφή ακτίνων γάμμα (GR), δίπλα είναι νετρονίου (Φ_N) και πυκνότητας (ρ_b) και ακολουθούν οι ηλεκτρικές.

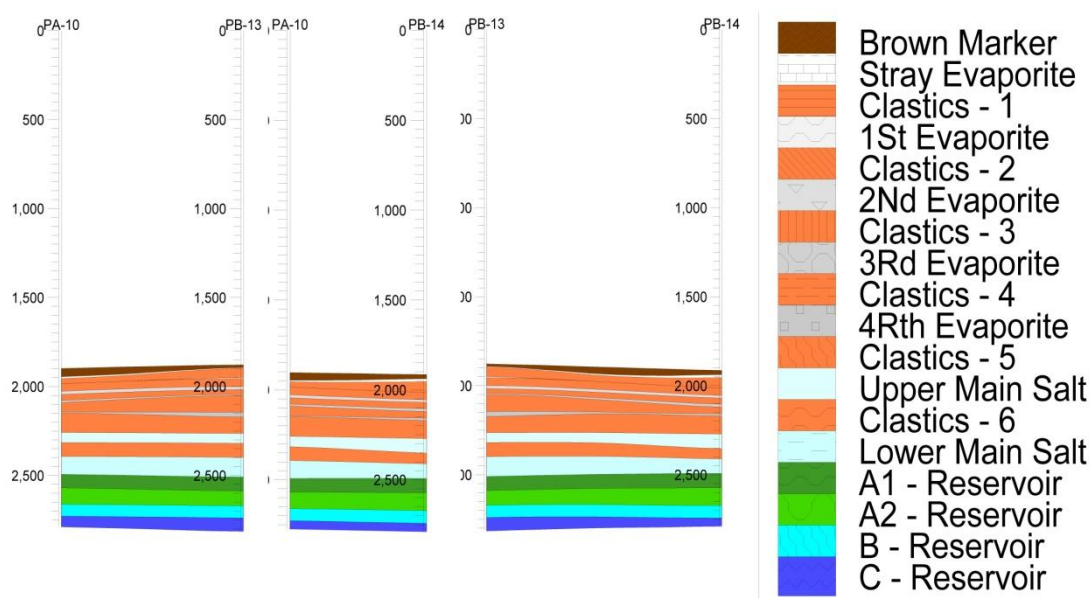


Σχήμα 4.4: Ακουστικές διαγραφίες συναρτήσει του βάθους, αριστερά για την γεώτρηση PA-10 και δεξιά για την γεώτρηση PB-13.

Οι ακουστικές γεωφυσικές διαγραφίες που παρατίθενται παραπάνω για τις γεωτρήσεις PA-10 και PB-13 δεν χρησιμοποιήθηκαν κατά την επεξεργασία της διπλωματικής.

4.2 Αρχική αξιολόγηση σχηματισμών

Το πρώτο βήμα, ήταν να βρεθούν τα βάθη ενδιαφέροντος για την κάθε μια απ' τις τρεις γεωτρήσεις. Με την βοήθεια του προγράμματος Rockworks και του τρισδιάστατου γεωλογικού μοντέλου του κοιτάσματος του Πρίνου (Μιχελάκης, 2010) κατασκευάστηκαν τρεις τομές μεταξύ των τριών φρεατίων για να προσδιοριστεί το βάθος των υπό μελέτη ταμιευτήρων.



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

Το (σχήμα 4.5) περιγράφει τρεις γεωλογικές τομές της λεκάνης του Πρίνου και υποδεικνύει την θέση και τα βάθος των ζωνών (ταμιευτήρων) που θα εξεταστούν. Υποδεικνύει τους τέσσερις ταμιευτήρες (Ταμιευτήρας A1, A2, B, C) πετρελαίου.

Η σχέση που συνδέει το πορώδες, ϕ , με τη πυκνότητα του σχηματισμού, ρ_b , είναι:

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

Όπου, ρ_{ma} είναι η πυκνότητα του στερεού τμήματος του σχηματισμού και ρ_f είναι η πυκνότητα του ρευστού (ή των ρευστών) το οποίο πληροί τους πόρους του σχηματισμού. Το ρ_{ma} του ψαμμίτη ισούται με $2,65 \text{ g/cm}^3$ και ρ_f του ρευστού είναι ίση με 1 g/cm^3 . Στη συνέχεια για να εκτιμηθεί το πορώδες χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\Phi = \frac{\Phi d + \Phi N}{2}$$

Ο βαθμός κορεσμού υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$Sw = \sqrt{\frac{Rw}{\Phi^2 \cdot RILD}}$$

Όπου, $R_w=0.02 \text{ Ohmm}$

Παράλληλα όμως, για την εκτίμηση αυτή, πραγματοποιήθηκε ένας πρόχειρος έλεγχος του πορώδους και του βαθμού κορεσμού. Ο (πίνακας 4.2) αποτελείται απ' τα δεδομένα: βάθος (DEPTH m), διαγραφία φυσικού δυναμικού (SP), ακτινών γάμμα (GR), νετρονίου (Φ_N), πυκνότητας (ρ_b) και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (R_{ILD}) σε μια από τις γεωτρήσεις, την PA-10 και για βάθος από 2680-2689m.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι διαγραφιών στο αντίστοιχο βάθος στην γεώτρηση PA-10

DEPTH (m)	SP (mV)	GR (API)	Φ_N	P_b (g/cm ³)	Φ_d	Φ	R_{ILD} (Ohmm)	S_w
2680	0,80	69,80	0,111	2,407	0,147	0,129	16,177	0,272
2681	2,79	67,30	0,125	2,327	0,196	0,160	14,981	0,228
2682	3,49	70,77	0,115	2,579	0,043	0,079	17,034	0,435
2683	2,70	70,37	0,105	2,536	0,069	0,087	23,565	0,334
2684	1,18	75,15	0,146	2,513	0,083	0,114	12,576	0,348
2685	-1,99	66,04	0,124	2,389	0,158	0,141	31,227	0,180
2686	-4,54	81,90	0,138	2,373	0,168	0,153	17,467	0,221
2687	-5,28	75,80	0,147	2,436	0,129	0,138	9,128	0,339
2688	-5,89	85,95	0,133	2,629	0,013	0,073	5,235	0,849
2689	-5,77	89,05	0,183	2,628	0,014	0,098	2,821	0,859

Στον (πίνακα 4.3) παρουσιάζονται τα βάθη για κάθε ένα από τους ταμιευτήρες(A₁, A₂, B, C) για τα τρία φρεάτια. (Μιχελάκης, 2010).

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

Ταμιευτήρας	PA-10		PB-13		PB-14	
	m, TD	m, MD	m, TD	m, MD	m, TD	m, MD
A ₁ RESERVOIR TOP	2500	2540	2510	2537	2500	2566
A ₂ RESERVOIR TOP	2570	2616	2590	2618	2575	2643
B RESERVOIR TOP	2660	2706	2665	2697	2675	2756
C RESERVOIR TOP	2725	2776	2730	2769	2745	2834
C RESERVOIR BOTTOM	2790	2835	2805	2841	2780	2863

4.3 Διαγραφίες στην γεώτρηση PA-10

Τα τρία βασικά μεγέθη κατά την αξιολόγηση των διαγραφιών είναι:

- ✓ Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση R_t (Ohmm.)
- ✓ Ο βαθμός κορεσμού σε νερό S_w
- ✓ Το πορώδες ϕ

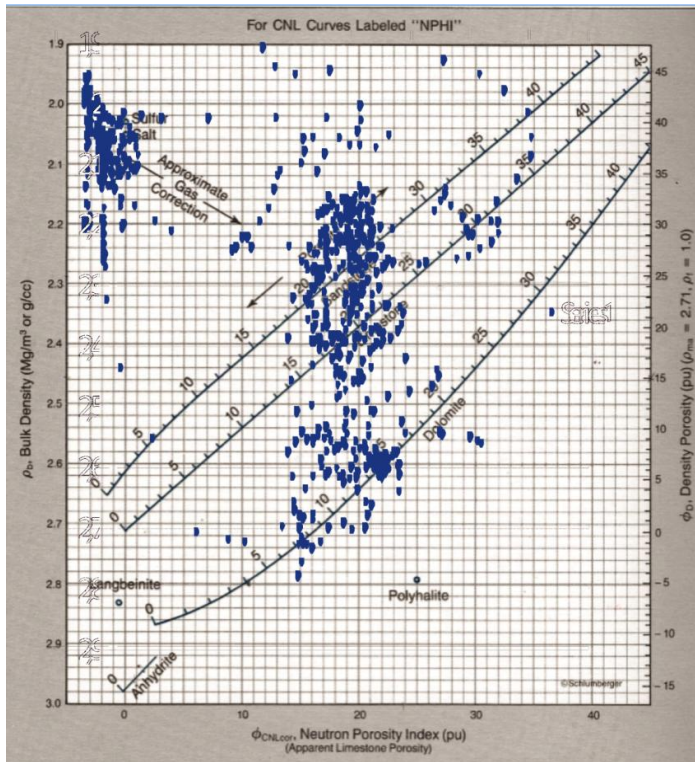
Για να γίνει η εκτίμηση των παραπάνω τριών παραμέτρων, αρχικά κατασκευάστηκαν διαγράμματα τύπου cross-plots για όλο το βάθος των γεωτρήσεων όπου γίνεται συνδυασμός διαγραφιών:

- 1) πορώδους-πυκνότητας
- 2) ηλεκτρικών διαγραφιών εστίασης

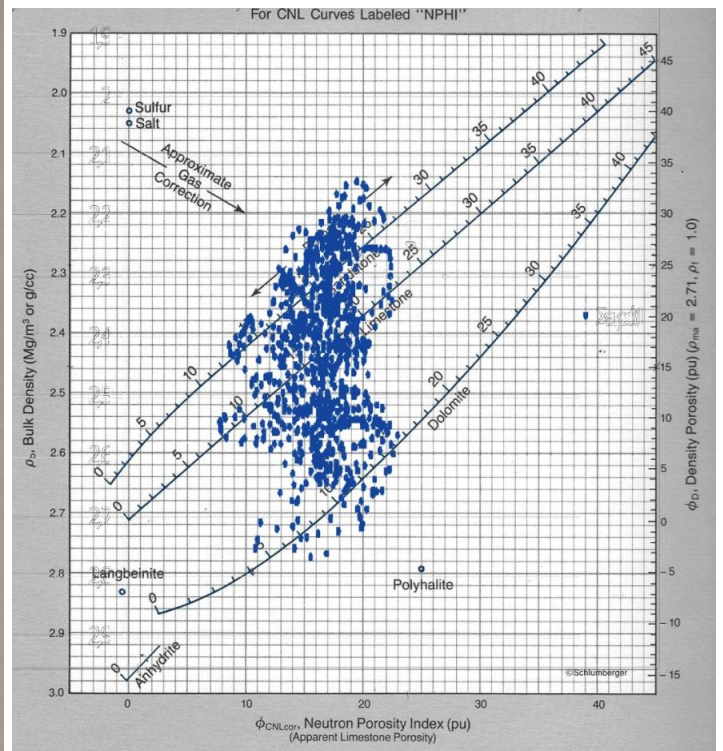
4.3.1 Διαγραφίες πορώδους και πυκνότητας

Για την εκτίμηση πορώδους, συνδυάζονται οι διαγραφίες νετρονίου (ϕ_N) και πυκνότητας (ρ_b). Το πρότυπο διάγραμμα ϕ_N - ρ_b λαμβάνει τιμές στους άξονες για την διαγραφή νετρονίου (ϕ_N) μεταξύ (-0,05-0,4) pu και οι τιμές της πυκνότητας (ρ_b) από (1,9-3) g/cm³. Σε αυτό το διάγραμμα τοποθετήθηκαν οι τιμές από τις διαγραφίες νετρονίου και πυκνότητας.

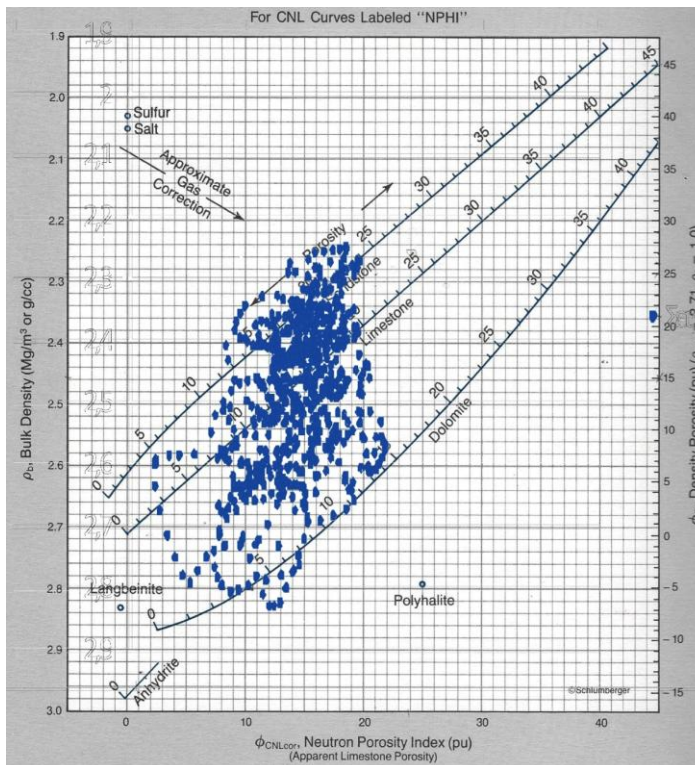
Διαγράμματα cross-plots στην γεώτρηση ΡΑ-10 πορώδους-πυκνότητας (ϕ_N - ρ_b).



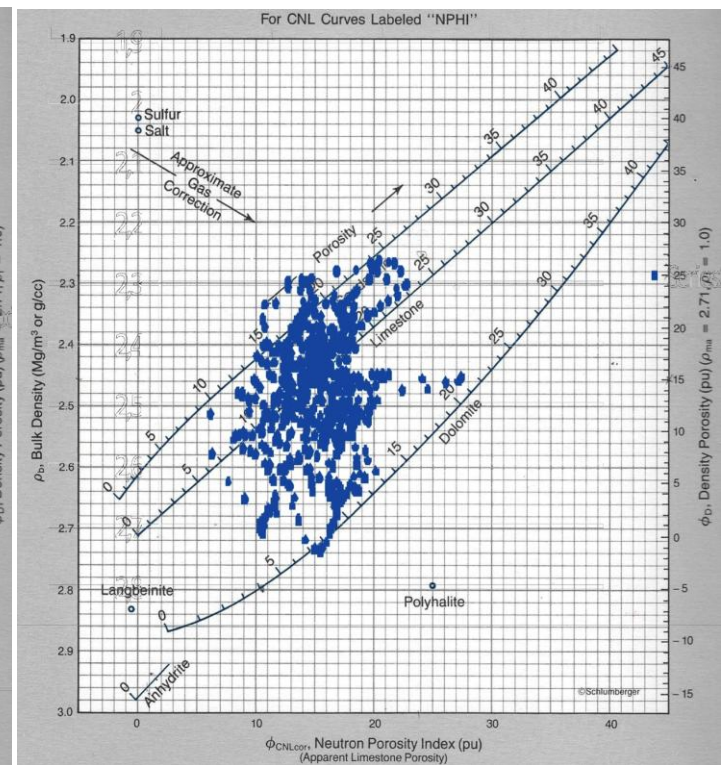
Σχήμα 4.6: Ταμιεντήρας Α₁



Σχήμα 4.7: Ταμιεντήρας Α₂



Σχήμα 4.8: Ταμιεντήρας Β



Σχήμα 4.9: Ταμιεντήρας C

Τα (σχήματα 4.6-4.9) απεικονίζουν τον συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για κάθε έναν απ' τους τέσσερις ταμιευτήρες (Ταμιευτήρας) της γεώτρησης. Το ενδιαφέρον εστιάζεται εκεί που το πορώδες λαμβάνει τιμές 10-25% για τον σχηματισμό του ψαμμίτη (*sandstone*). Τα αντίστοιχα όρια παρουσιάζονται στον (πίνακα 4.4) και για τις τρεις γεωτρήσεις. (PA-10, PB-13, PB-14).

Πίνακας 4.4: Όρια διαγραφίας νετρονίου (Φ_N) και πυκνότητας (ρ_b) των γεωτρήσεων (PA-10, PB-13, PB-14).

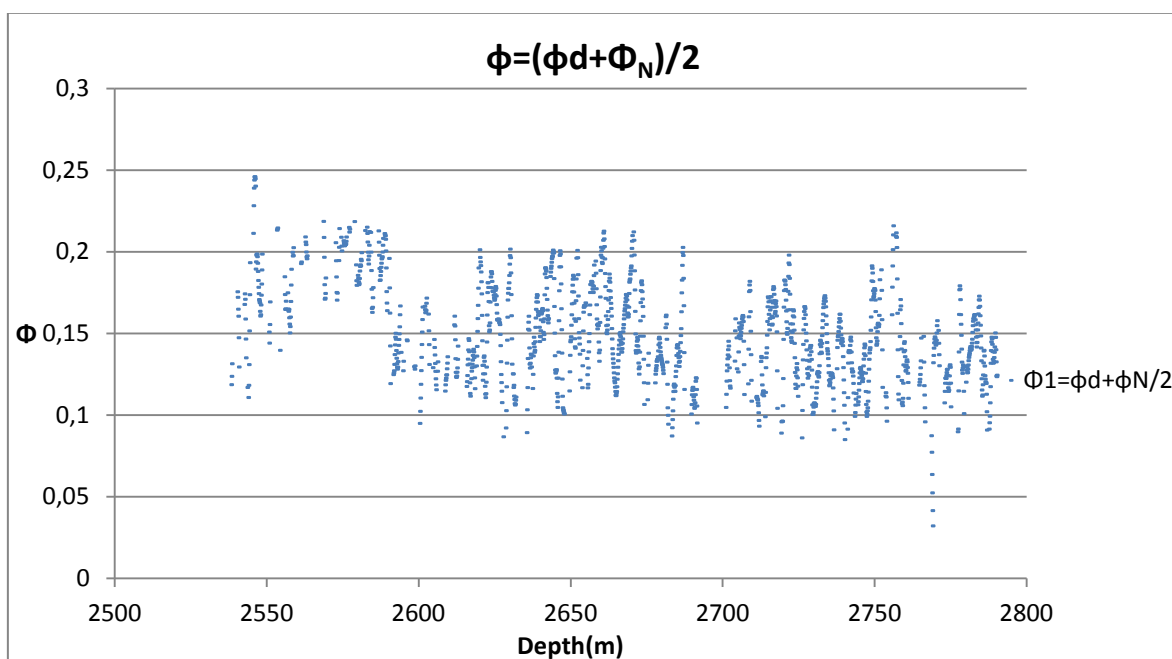
PA-10		
	Φ_N	ρ_b
	0,1-0,2	2,25-2,55
PB-13		
Ταμιευτήρας A₁	0,15-0,25	2,2-2,5
Ταμιευτήρας A₂	0,15-0,25	2,2-2,5
Ταμιευτήρας B	0,1-0,2	2,2-2,5
Ταμιευτήρας C	0,05-0,15	2,3-2,5
PB-14		
	0,1-0,25	2,2-2,5

Παρατηρείται ότι στις PA-10 και PB-14 τα όρια δεν διαφοροποιούνται σε κανέναν από τους ταμιευτήρες. Στην PB-13 όμως, η πυκνότητα κατά την κατακόρυφη έκταση του βάθους των ταμιευτήρων βρίσκεται σχεδόν στο ίδια όρια και αλλάζει στον ταμιευτήρα C, παράλληλα για τη διαγραφία νετρονίου εντοπίζεται αλλαγή στα όρια, σε κάθε ταμιευτήρα.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε, επιλογή του τμήματος κάθε ταμιευτήρα, όπου οι αντίστοιχες τιμές βρίσκονται εντός των ορίων, που δίνονται στον (πίνακα 4.4). Ο (πίνακας 4.5) παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές των μετρήσεων Φ_N , ρ_b και της εκτίμησης του πορώδους φ του σχηματισμού. Στο (σχήμα 4.10) παρουσιάζεται το διάγραμμα του πορώδους συναρτήσει του βάθους.

Πίνακας 4.5: Επιλεγμένες τιμές ϕ_N , ρ_b και εκτίμηση πορώδους ϕ στην γεώτρηση PA-10

Depth (m)	ϕ_N	ρ_b (g/cm ³)	$\phi=(\phi_d+\phi_N)/2$
2538,1	0,17	2,54	0,118
2538,2	0,18	2,54	0,123
2538,3	0,19	2,54	0,131
2540,1	0,20	2,39	0,175
2540,2	0,19	2,39	0,172



Σχήμα 4.10: Πορώδες, συναρτήσει του βάθους για την γεώτρηση PA-10.

4.3.2. Ηλεκτρικές Διαγραφίες

Απ' όλες τις φυσικές ιδιότητες των πετρωμάτων, η ειδική ηλεκτρική αντίσταση είναι η πιο σημαντική. Είναι η μόνη παράμετρος για την οποία έχουν αναπτυχθεί όργανα μέτρησης με μεγάλο βάθος διείσδυσης (μέχρι μερικά πόδια από το φρεάτιο). Η εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης 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.

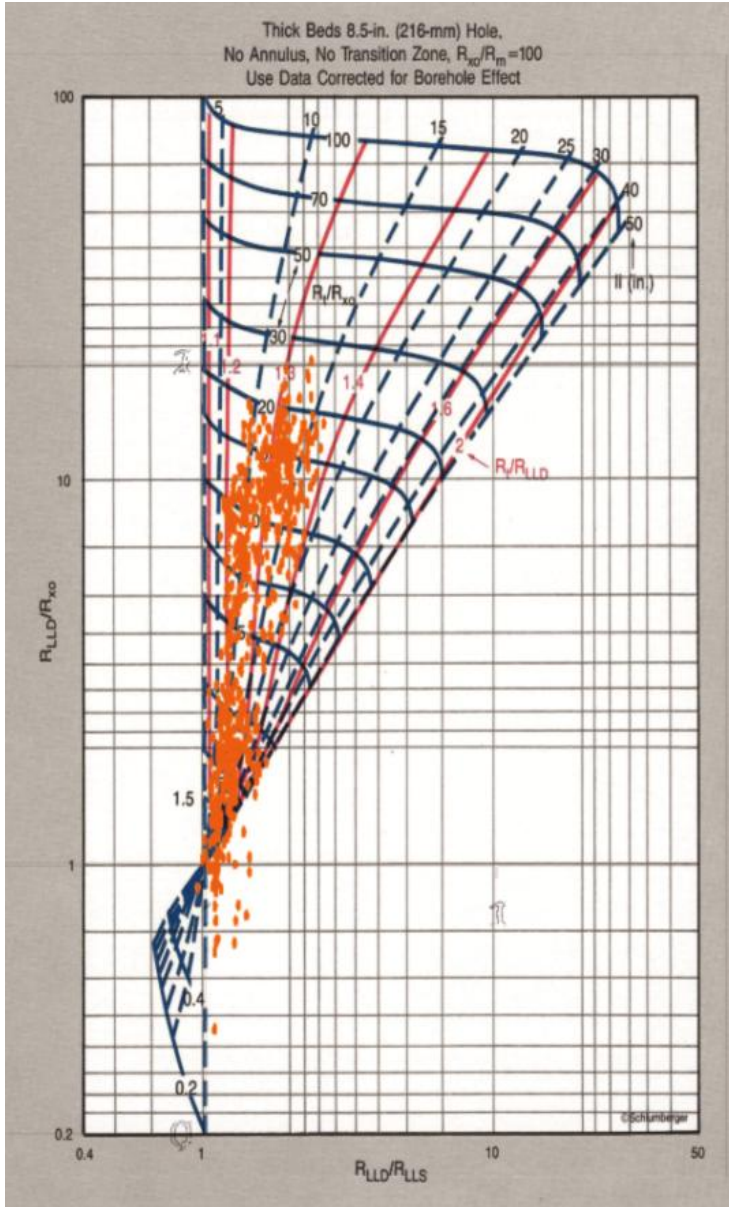
Έτσι δημιουργούνται οι λόγοι από τον συνδυασμό ηλεκτρικών διαγραφιών, R_{LLD}/R_{MSFL} και R_{LLD}/R_{LLS} από τις ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης και R_{ILM}/R_{ILD} - R_{SFLU}/R_{ILD} από τις διαγραφίες επαγωγής.

Ο (πίνακας 4.6) παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές των R_{LLD}/R_{MSFL} R_{LLD}/R_{LLS} R_{ILM}/R_{ILD} και R_{SFLU}/R_{ILD} της γεώτρησης PA-10. Στα (σχήματα 4.10-4.13) παρουσιάζονται τα διαγράμματα από τον συνδυασμό ηλεκτρικών διαγραφιών εστίασης, για τα επιλεγμένα τμήματα κάθε ταμιευτήρα.

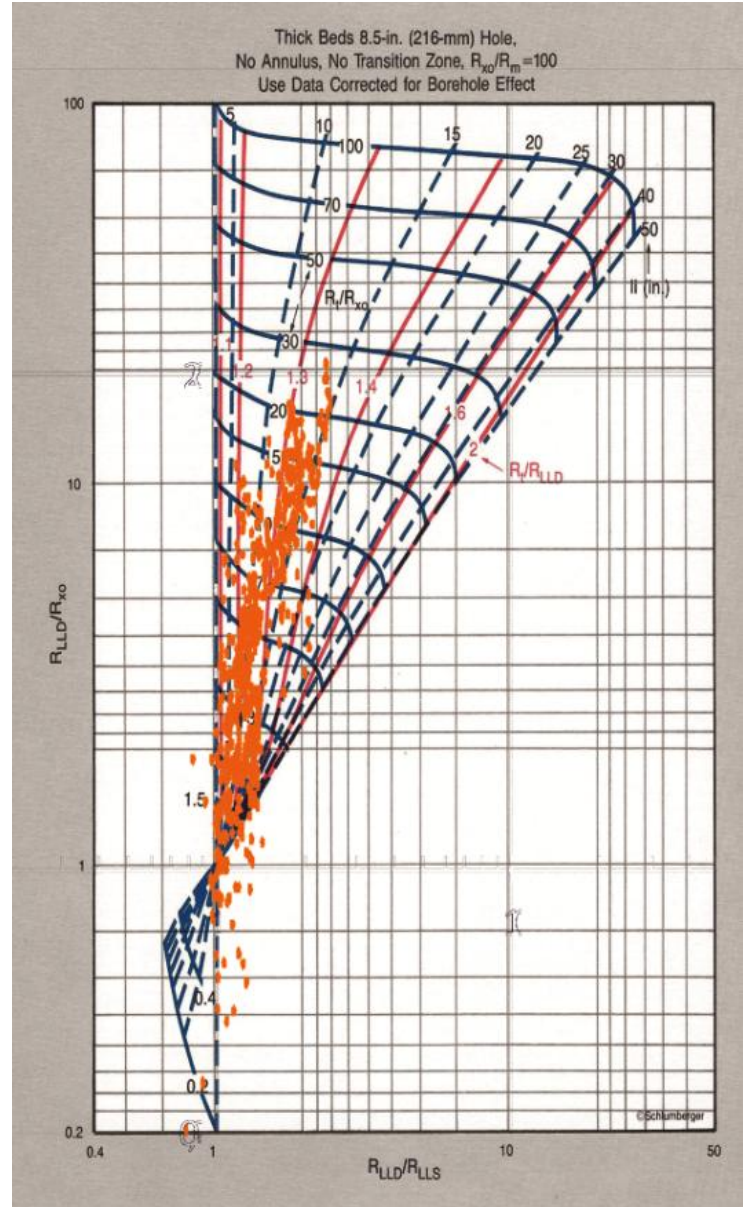
Πίνακας 4.6: Λόγοι από τον συνδυασμό ηλεκτρικών διαγραφιών, για την γεώτρηση PA-10

Depth (m)	R_{LLD}/R_{LLS} (Ohmm)	R_{LLD}/R_{MSFL} (Ohmm)	R_{ILM}/R_{ILD} (Ohmm)	R_{SFLU}/R_{ILD} (Ohmm)
2538,1	1,434	1,073	1,003	1,048
2538,2	1,445	0,932	1,046	0,987
2538,3	1,422	0,70	0,972	0,929
2540,1	1,329	1,170	0,538	0,691
2540,2	1,305	0,953	0,533	0,662

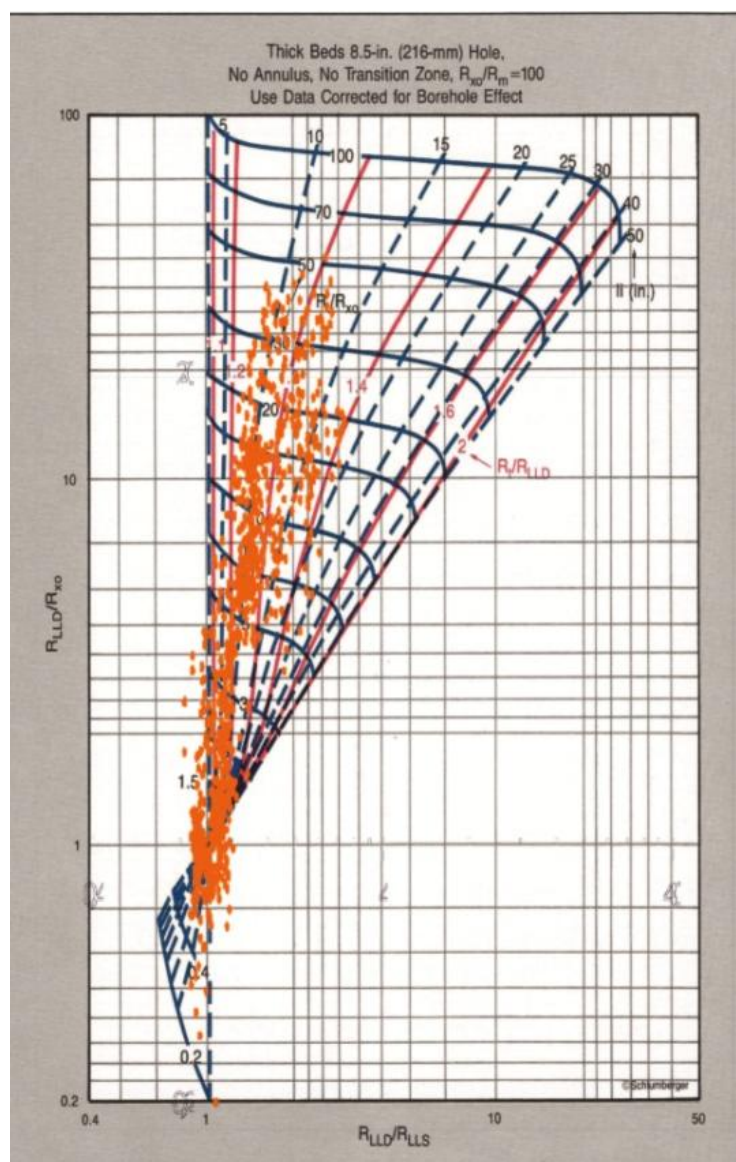
Διαγράμματα cross-plots στην γεώτρηση PA-10 ηλεκτρικών διαγραφιών εστίασης
($R_{LLD}/R_{MSFL}-R_{LLD}/R_{LLS}$).



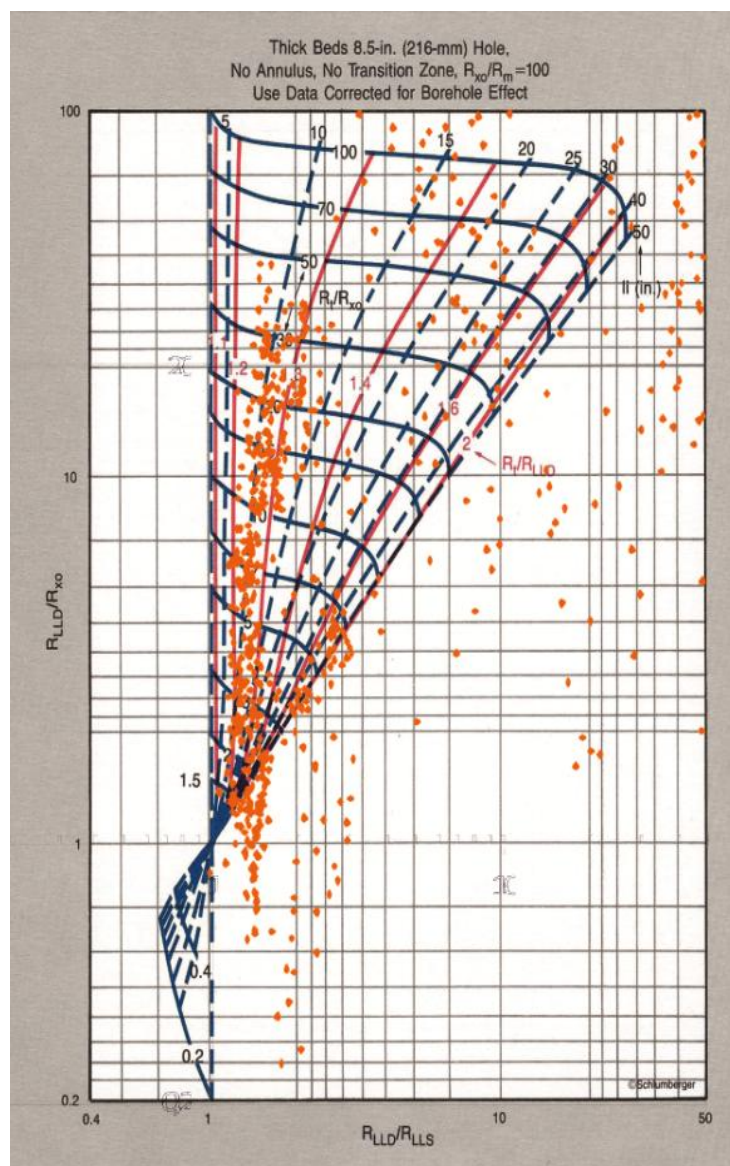
Σχήμα 4.11: Ταμιευτήρας Α₁



Σχήμα 4.12: Ταμιευτήρας Α₂



Σχήμα 4.13: Ταμειντήρας Β



Σχήμα 4.14: Ταμειντήρας C

Στα σχήματα (4.11-4.14) Παρατηρείται ότι τα περισσότερα δεδομένα περικλείονται μεταξύ γραμμών $R_t=1,2 R_{LLD}$ και $R_t=1,3 R_{LLD}$.

Ο (πίνακας 4.7) παρουσιάζει ενδεικτικές τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του σχηματισμού για την γεώτρηση 10 και $R_t=1,2 \cdot R_{LLD}$ και $R_t=1,3 \cdot R_{LLD}$.

4.3.3 Βαθμός κορεσμού σε νερό

Για να υπολογιστεί ο βαθμός κορεσμού, σε νερό S_w απαιτούνται οι τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης R_t και του πορώδους ϕ . Ο υπολογισμός έγινε με βάση την σχέση του Archie:

$$S_w = \sqrt{F \cdot \frac{R_w}{R_t}}$$

όπου,

S_w ο βαθμός κορεσμού σε νερό στο σχηματισμό

R_w η ηλεκτρική αντίσταση του νερού του σχηματισμού

R_t η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού και

F ο συντελεστής του σχηματισμού που υπολογίζεται από την σχέση:

$$F = \frac{0.9}{\phi^2}$$

όπου ϕ , το πορώδες του σχηματισμού.

Πίνακας 4.7: Βαθμός κορεσμού σε νερό, συναρτήσει του βάθους (Γεώτρηση ΡΑ-10)

DEPTH (m)	$R_t=1,2 \cdot R_{LLD}$ (Ohmm)	$R_t=1,3 \cdot R_{LLD}$ (Ohmm)	S_w (υπολ)	$S_{w1,2}$	$S_{w1,3}$
2538,1	2,797	3,030	1,048	0,676	0,650
2538,2	2,940	3,186	1,028	0,632	0,607
2538,3	3,091	3,349	0,990	0,580	0,558
2540,1	2,169	2,349	0,527	0,519	0,498
2540,2	2,309	2,501	0,520	0,513	0,493

Στον (πίνακα 4.7) έχει προστεθεί η αρχική εκτίμηση του βαθμού κορεσμού S_w (υπολ) προκειμένου να συγκριθεί με τις νέες τιμές $S_{w1,2}$ $S_{w1,3}$. (Σχήματα 4.15- 4.17)

Για τον υπολογισμό του βαθμού κορεσμού σε διήθημα του γεωτρητικού πολφού στην ζώνη διείσδυσης, η σχέση του Archie παίρνει την μορφή:

$$S_{xo} = \sqrt{F \cdot \frac{R_{mf}}{R_{xo}}}$$

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 στην ζώνη διείσδυσης (η οποία είναι ίση με τη R_{MSFL})

Από τους παραπάνω βαθμούς κορεσμού για το νερό υπολογίζονται και οι αντίστοιχοι για τους υδρογονάνθρακες, ως η διαφορά τους από το εκατό (100%).

Στη τελευταία στήλη των (πινάκων 4.8 και 4.9), πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της μέσης τιμής της παραγωγικότητας για κάθε ταμιευτήρα, η οποία προέκυψε από τον λόγο S_w/S_{xo} . Λήφθηκαν υπόψη τα παρακάτω κριτήρια για την διαβάθμιση της:

< 0.6- παραγωγή υδρογονανθράκων

>0.8 – παραγωγή νερού

>0.6 και <0.8 – απαιτείται τεστ παραγωγής

ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Όπου $R_{mf}=0.022$ Ohmm και $R_w=0.02$ Ohmm 85,0 °F (Φρόνιμος 1998)

Σε όλους του περατούς σχηματισμούς το R_w είναι ίδιο.

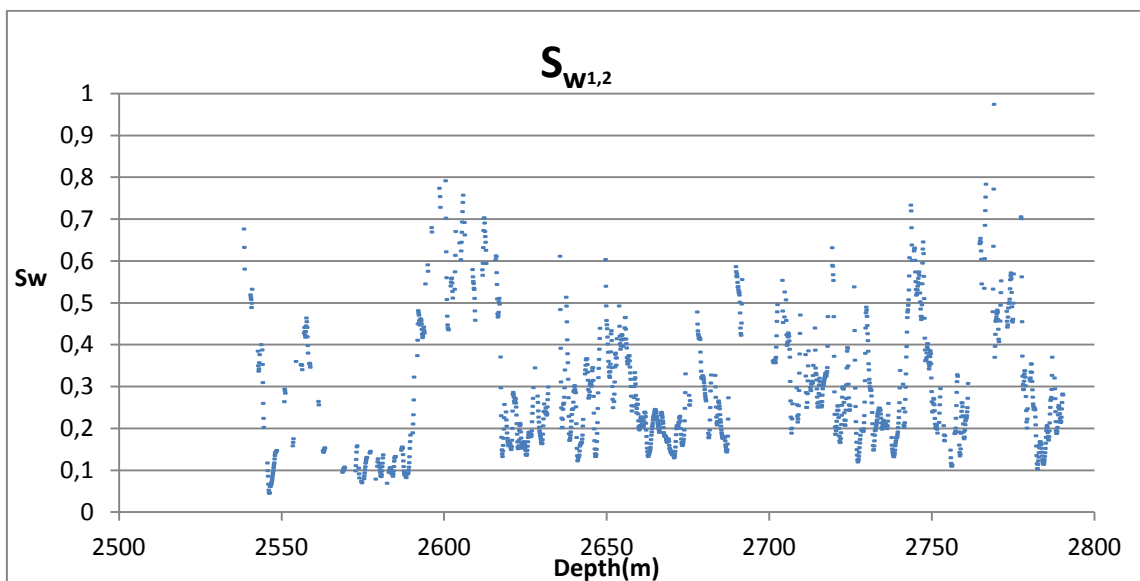
Στους πίνακες 4.8 και 4.9 παρέχονται οι μέσες τιμές για τις πετροφυσικές παραμέτρους σε κάθε ταμιευτήρα για την γεώτρηση PA-10.

Πίνακας 4.8: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για $R_f=1.2 \cdot R_{LLD}$ (Γεώτρηση PA-10)

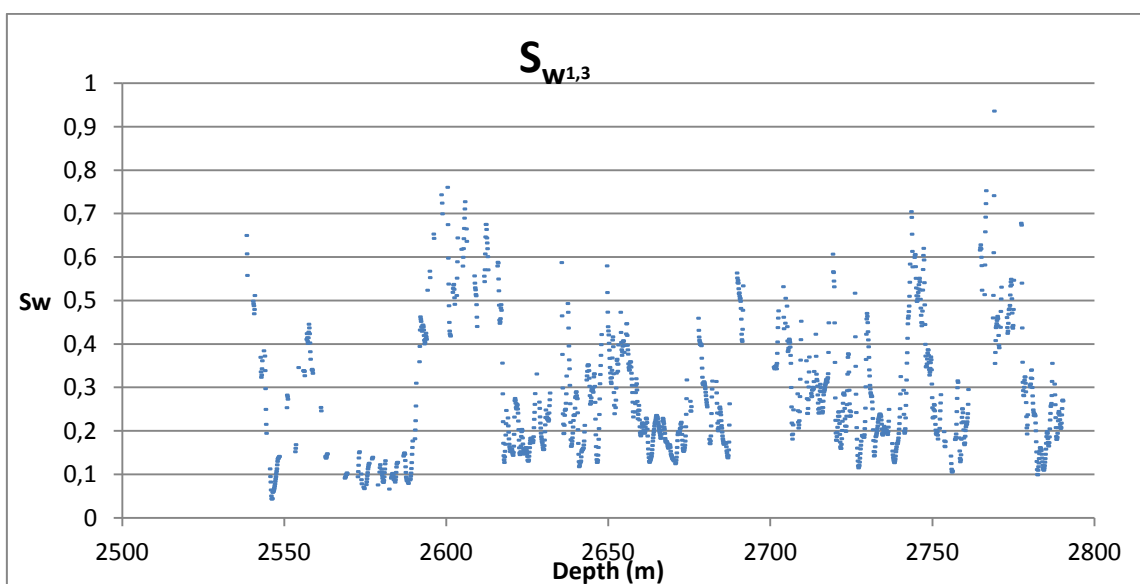
TAMIEYTHPAS	DEPTH (m)	ϕ %	$S_{w1,2}$ %	S_o %	F	S_{xo} %	S_{or} %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2540-2616	18,7%	17,1%	82,9%	27,2	57,3%	42,7%	0,28
A2	2616-2706	15,2%	23,8%	76,2%	43,1	69,3%	30,7%	0,35
B	2706-2776	14,1%	27,5%	72,5%	50,4	72,7%	27,3%	0,38
C	2776-2790	13,7%	22,3%	77,7%	50,6	73,8%	26,2%	0,30

Πίνακας 4.9: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για $R_f=1.3 \cdot R_{LLD}$ (Γεώτρηση PA-10)

TAMIEYTHPAS	DEPTH (m)	ϕ %	$S_{w1,3}$ %	S_o %	F	S_{xo} %	S_{or} %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2540-2616	18,6%	17,0%	83,0%	27,6	57,6%	42,4%	0,28
A2	2616-2706	15,2%	23,2%	76,8%	43,1	69,1%	30,9%	0,34
B	2706-2776	14,2%	26,4%	73,6%	49,8	72,2%	27,8%	0,37
C	2776-2790	13,6%	25,1%	74,9%	54,1	75,7%	24,3%	0,33

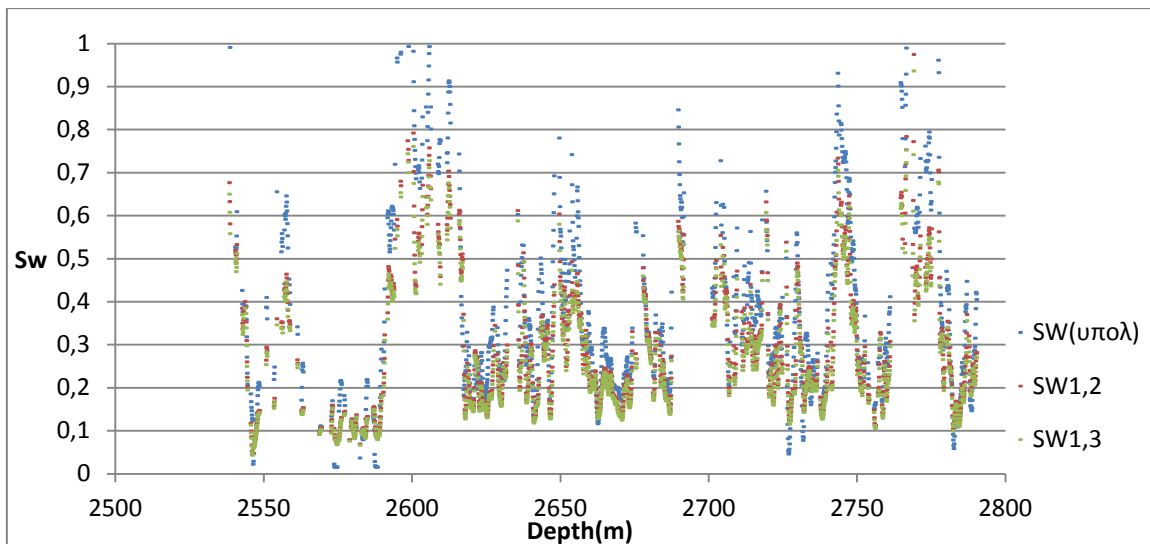


Σχήμα 4.15: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό 1,2 συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-10



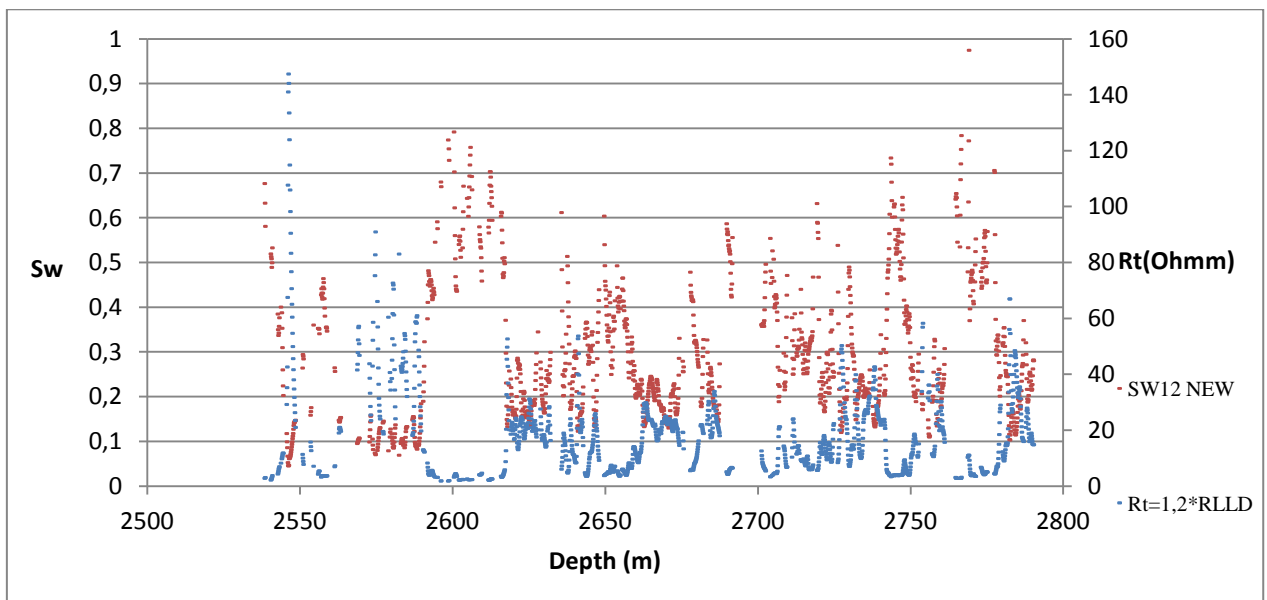
Σχήμα 4.16: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό 1,3 συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-10

Στο (σχήμα 4.17) παρουσιάζονται οι τρεις διαφορετικές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό. Οι τιμές $S_{w1,2}$ $S_{w1,3}$ είναι αρκετά συγκρίσιμες, σε αντίθεση με το αρχικό S_w το οποίο είναι υπερεκτιμημένο.

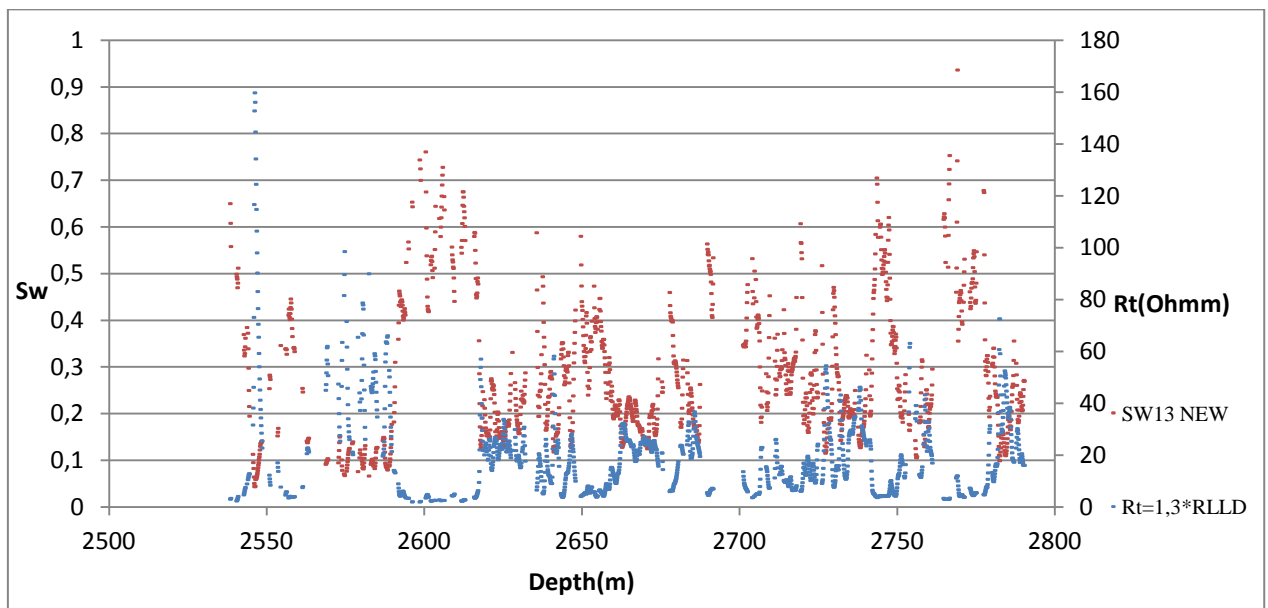


Σχήμα 4.17: Διαφορετικές τιμές βαθμού κορεσμού S_w σε νερό, συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-10

Στα διαγράμματα βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήματα 4.18 και 4.19) οι πολύ χαμηλές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.



Σχήμα 4.18: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 1,2 συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-10



Σχήμα 4.19: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση 1,3 συναρτήσει του βάθους, στην γεώτρηση PA-10

4.4 Γεώτρηση PB-13

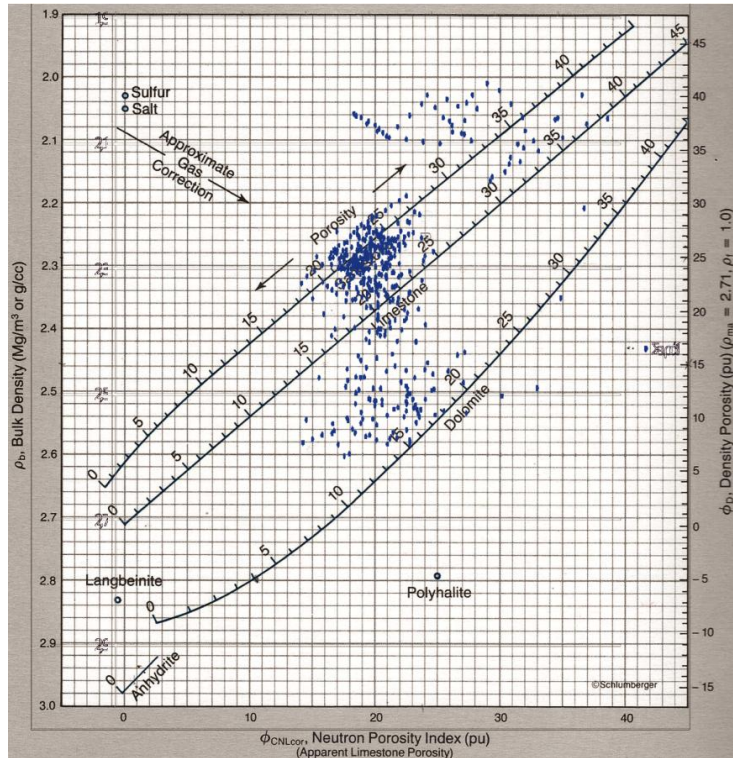
Ο τρόπος επεξεργασίας των διαγραφιών αυτής της γεώτρησης ήταν λίγο διαφορετικός σε σχέση με εκείνο της PA-10 λόγω των διαθέσιμων δεδομένων. Κατά τον ίδιο τρόπο αρχικά έγινε εκτίμηση του πορώδους όμως ο βαθμός κορεσμού σε νερό υπολογίστηκε:

$$S_w = \sqrt{\frac{R_w \cdot 0,9}{\Phi^2 \cdot R_{ILD}}}$$

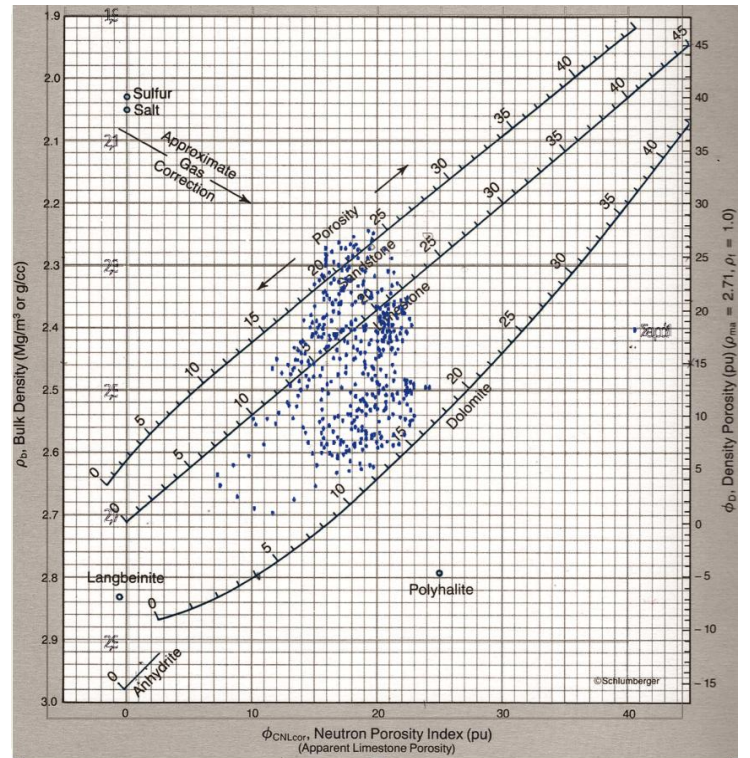
Τα (σχήματα 4.20-4.23) απεικονίζουν τον συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για κάθε έναν απ' τους τέσσερις ταμιευτήρες όπου οι αντίστοιχες τιμές βρίσκονται εντός των ορίων, που δίνονται στον (πίνακα 4.4).

Οι ηλεκτρικές διαγραφίες δεν βοήθησαν με τον συνδυασμό τους για την δημιουργία διαγραμμάτων ώστε να εκτιμήσουμε την ειδική ηλεκτρική αντίσταση, παρόλα αυτά από τα δεδομένα είχε δοθεί η R_t αλλά και το S_w . Όμως για την αξιολόγηση των σχηματισμών ως R_t θεωρήθηκε η καταγραφή R_{ILD} (πίνακας 4.10)

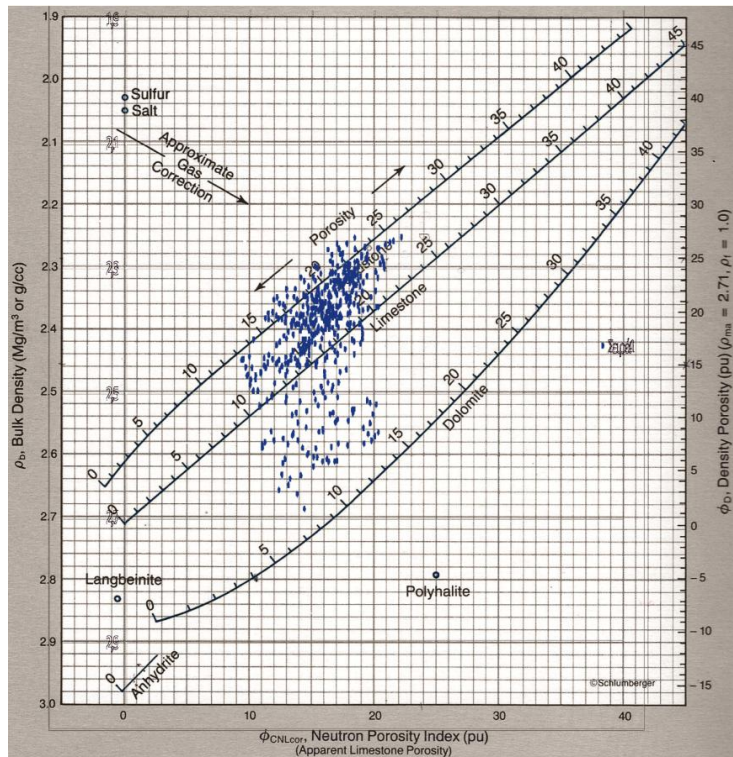
Διαγράμματα cross-plots στην γεώτρηση PB-13 πορώδους-πυκνότητας (ϕ_N - ρ_b).



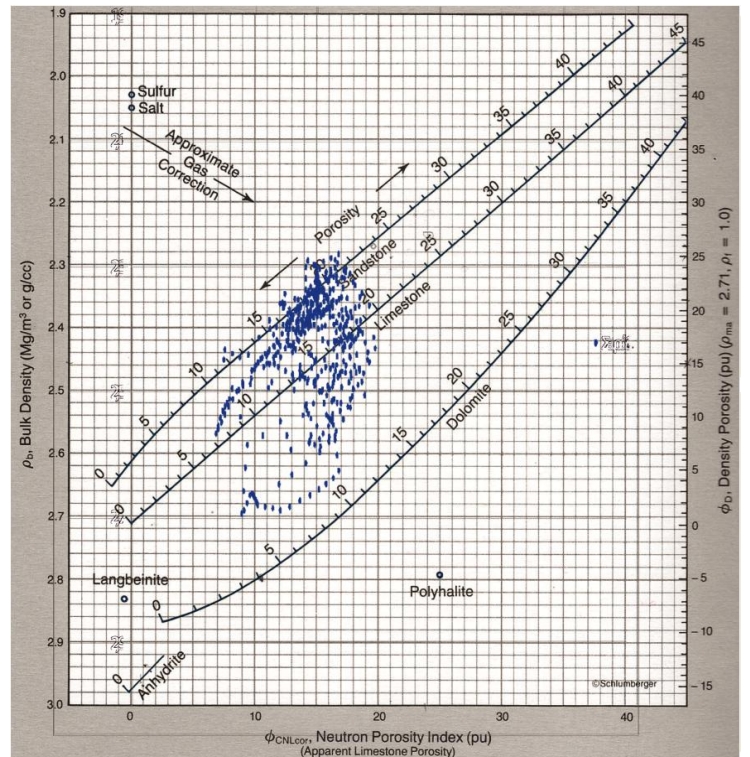
Σχήμα 4.20: Ταμιευτήρας A_1



Σχήμα 4.21: Ταμιευτήρας A_2

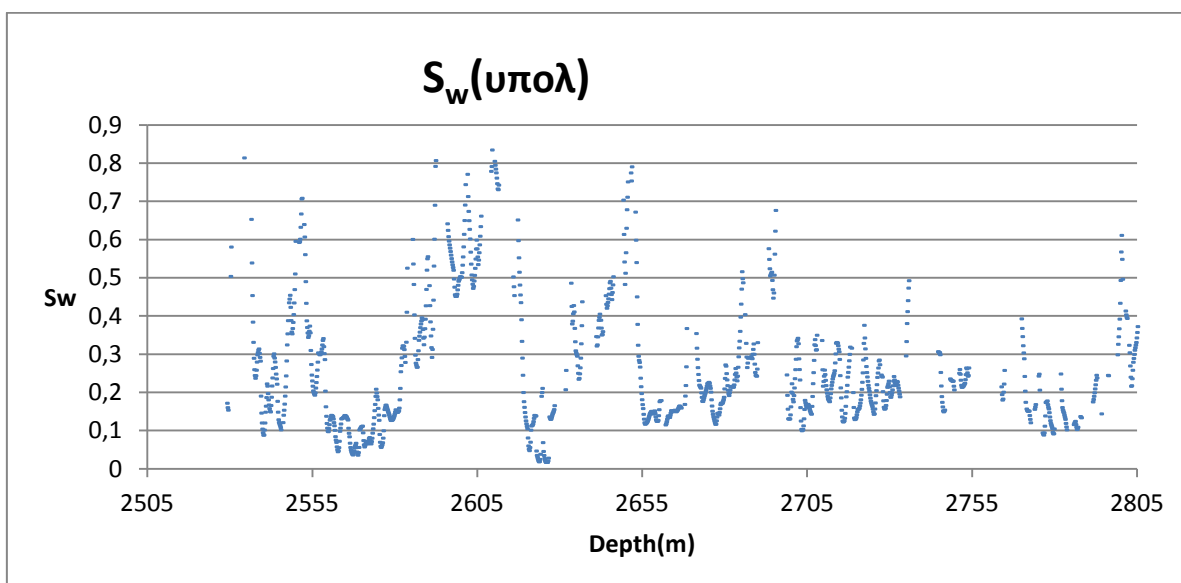


Σχήμα 4.22: Ταμιευτήρας B

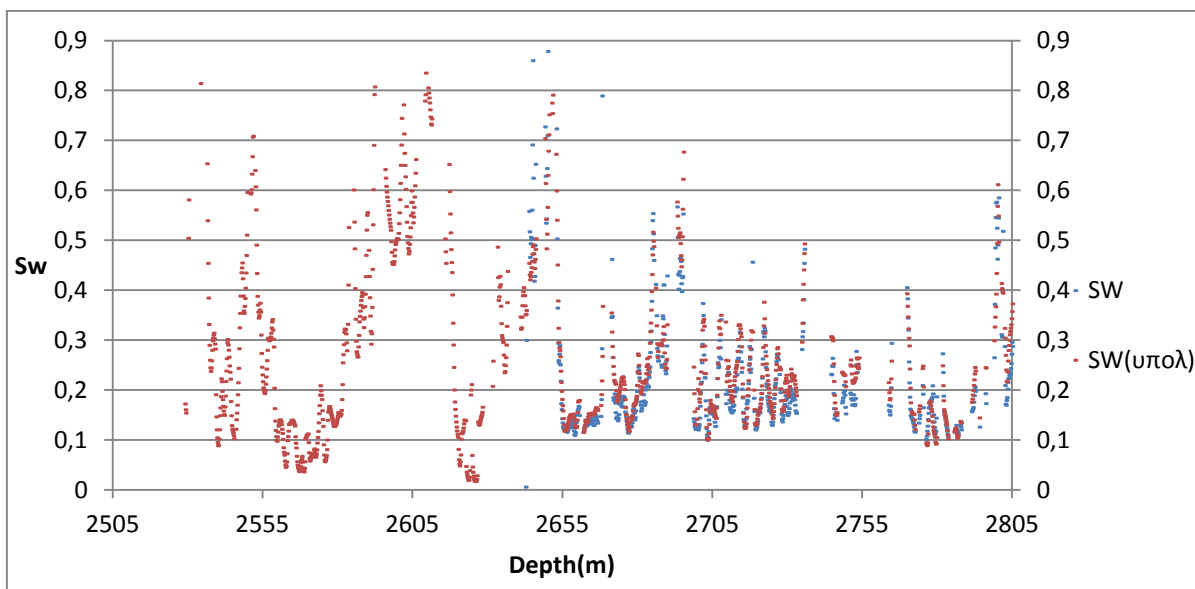


Σχήμα 4.23: Ταμιευτήρας C

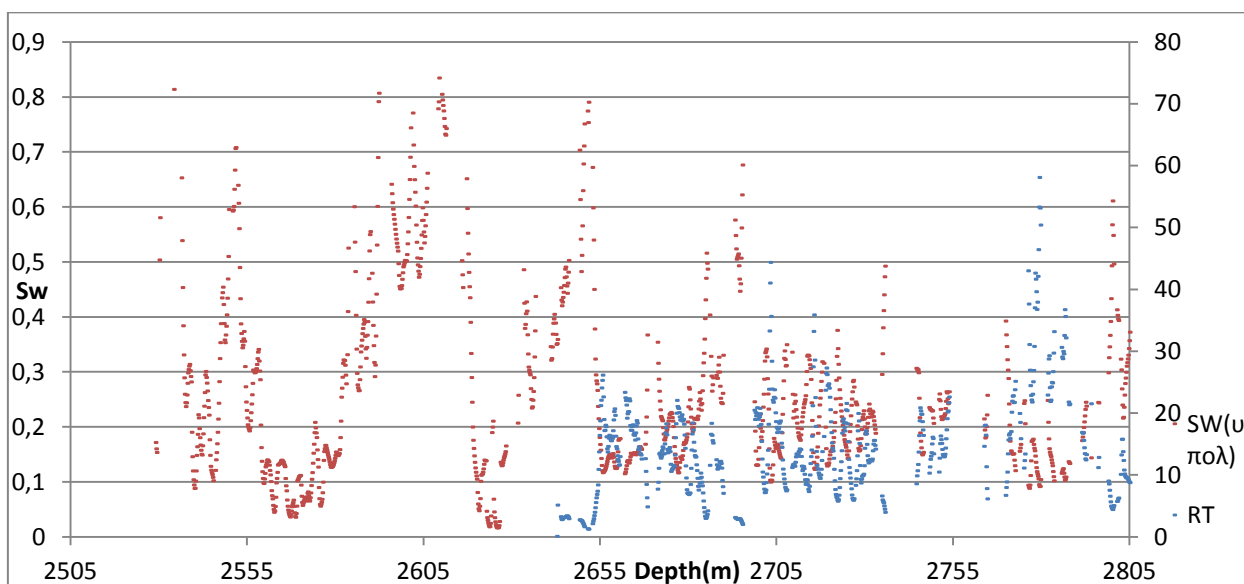
Έτσι κατασκευάστηκαν τα παρακάτω διαγράμματα:



Σχήμα 4.24: Βαθμός κορεσμού S_w (υπολογισμένος) σε νερό, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-13



Σχήμα 4.25: Βαθμοί κορεσμού S_w σε νερό (υπολογισμένος και ο δεδομένος), συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-13



Σχήμα 4.26: Βαθμοί κορεσμού και ειδική ηλεκτρική αντίσταση, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-13

Στο (σχήμα 4.25) παρουσιάζονται δύο διαφορετικές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό οι οποίες είναι συγκρίσιμες. Η τιμή του βαθμού κορεσμού από τα πρωτογενή δεδομένα και η τιμή που υπολογίσθηκε εμπειρικά κατά την επεξεργασία. Στο διάγραμμα βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήμα 4.26) οι πολύ χαμηλές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης.

Η αξιολόγηση των παραγωγικών σχηματισμών συνοψίζεται στο (πίνακα 4.10) για τη γεώτρηση PB-13 και ειδικότερα παρέχει τις μέσες τιμές για τις πετροφυσικές παραμέτρους σε κάθε ταμιευτήρα.

Πίνακας 4.10 Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για $R_t=R_{ILD}$ (Γεώτρηση PB-13)

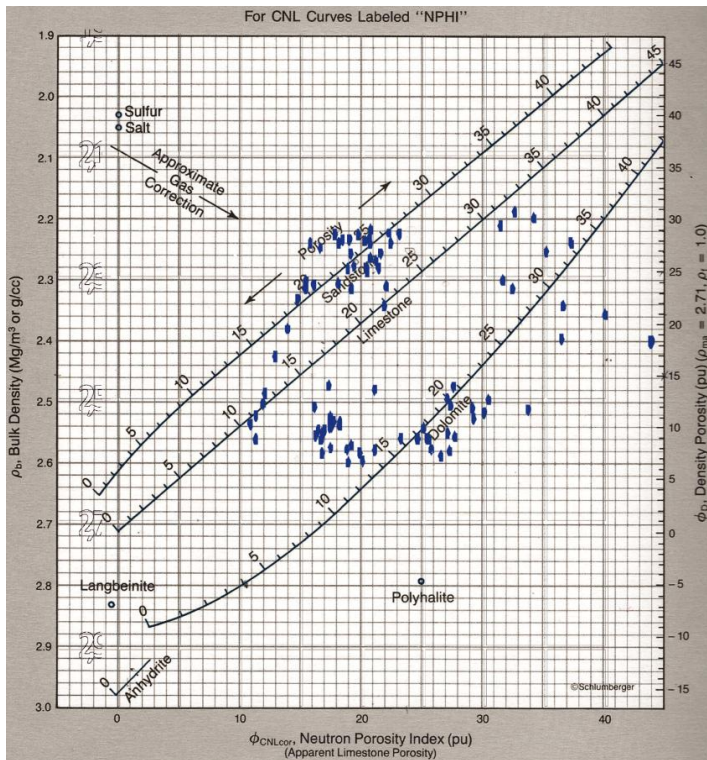
TAMIEYTHPAS	DEPTH (m)	ϕ %	S_w %	S_o %	F	S_{xo} %	S_{or} %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2537-2618	21,2%	14,2%	85,8%	20,4	41,7%	58,3%	0,33
A2	2618-2697	17,7%	17,2%	82,8%	30,8	48,7%	51,3%	0,35
B	2697-2769	15,5%	20,5%	79,5%	39,5	48,8%	51,2%	0,42
C	2769-2805	14,1%	18,8%	81,2%	48,7	54,7%	45,3%	0,34

4.5 Γεώτρηση PB-14

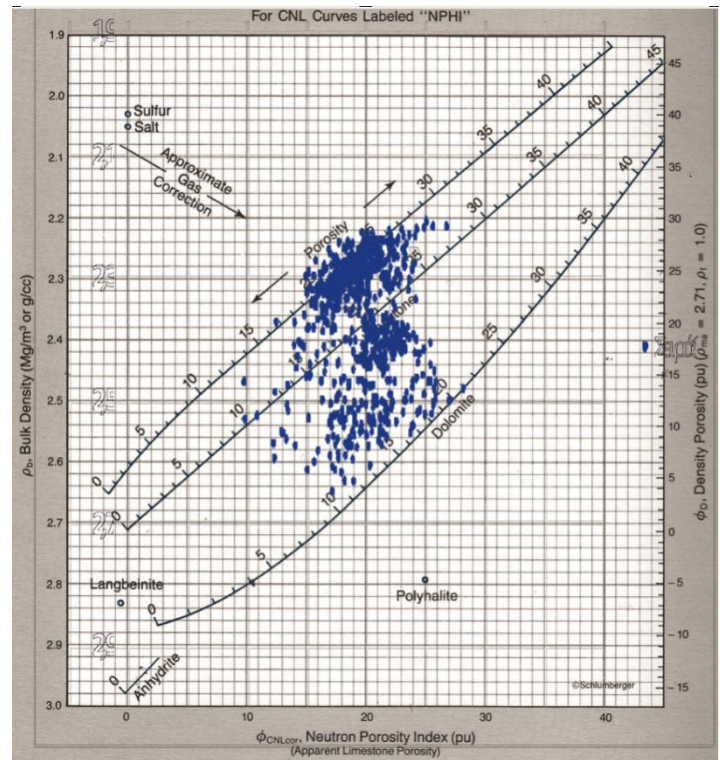
Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία αξιολόγησης με εκείνη των διαγραφιών στη γεώτρηση PA-10. Αφού έχει υπολογιστεί το πορώδες (ϕ), σχηματίστηκαν τα διαγράμματα τύπου cross-plot και παρατηρήθηκε η περιοχή που καταγράφεται το πλήθος των τιμών. Εν συνεχεία αξιολογήθηκε το εύρος του ποσοστού στον ψαμμιτικό σχηματισμό και τέθηκαν τα όρια (πίνακας 4.4). Στα (σχήματα 4.27-4.30) απεικονίζουν τον συνδυασμό πορώδους και πυκνότητας για κάθε έναν απ' τους τέσσερις ταμιευτήρες όπου οι αντίστοιχες τιμές βρίσκονται εντός των ορίων.

Έπειτα δημιουργήθηκαν οι λόγοι των αντίστοιχων ηλεκτρικών διαγραφιών με σκοπό να γίνει η εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης R_t με βάσει το πρότυπο διάγραμμα, στα (σχήματα 4.31-4.34) παρουσιάζονται τα διαγράμματα από τον συνδυασμό ηλεκτρικών διαγραφιών εστίασης. Οι τιμές τις οποίες λαμβάνει από την αξιολόγηση των διαγραμμάτων είναι για $R_t=R_{LLD}$ και $R_t=1,2 \cdot R_{LLD}$

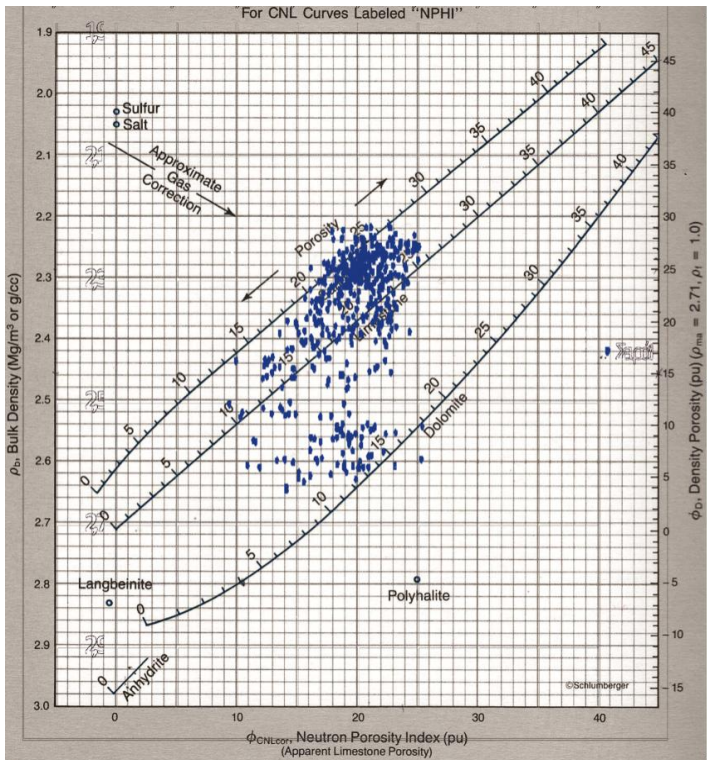
Διαγράμματα cross-plots στην γεώτρηση PB-14 πορώδους-πυκνότητας (ϕ_N - ρ_b).



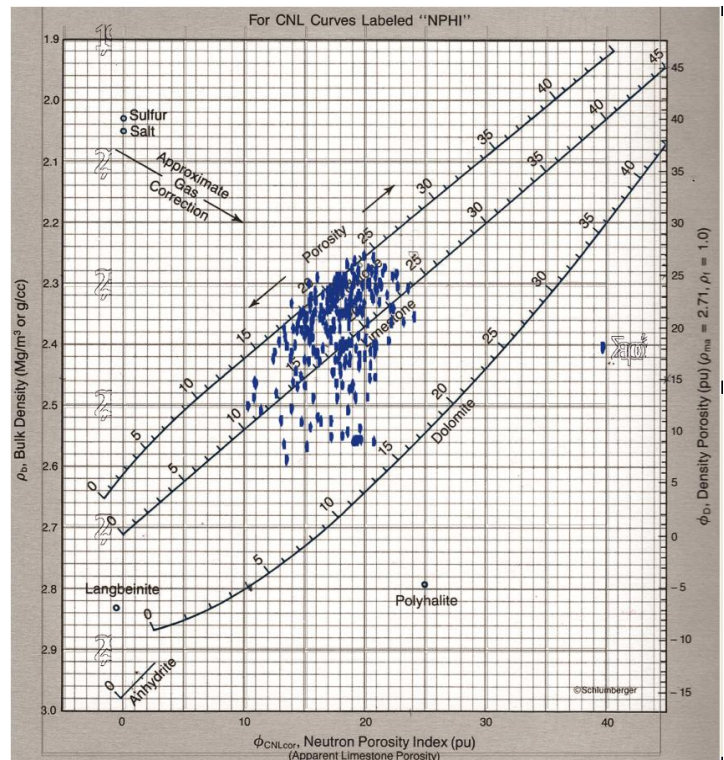
Σχήμα 4.27: Ταμιευτήρας Α₁



Σχήμα 4.28: Ταμιευτήρας Α₂



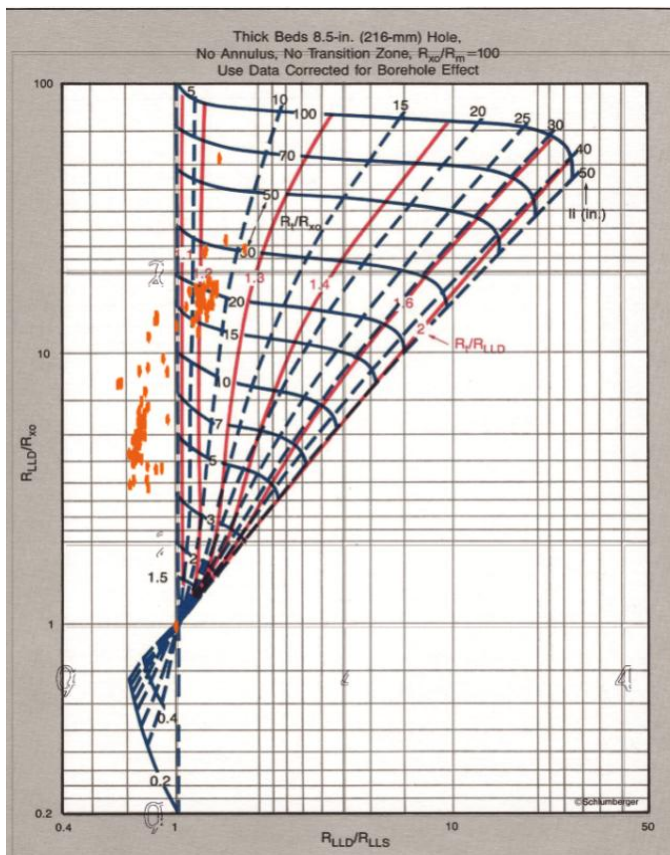
Σχήμα 4.29: Ταμιευτήρας Β



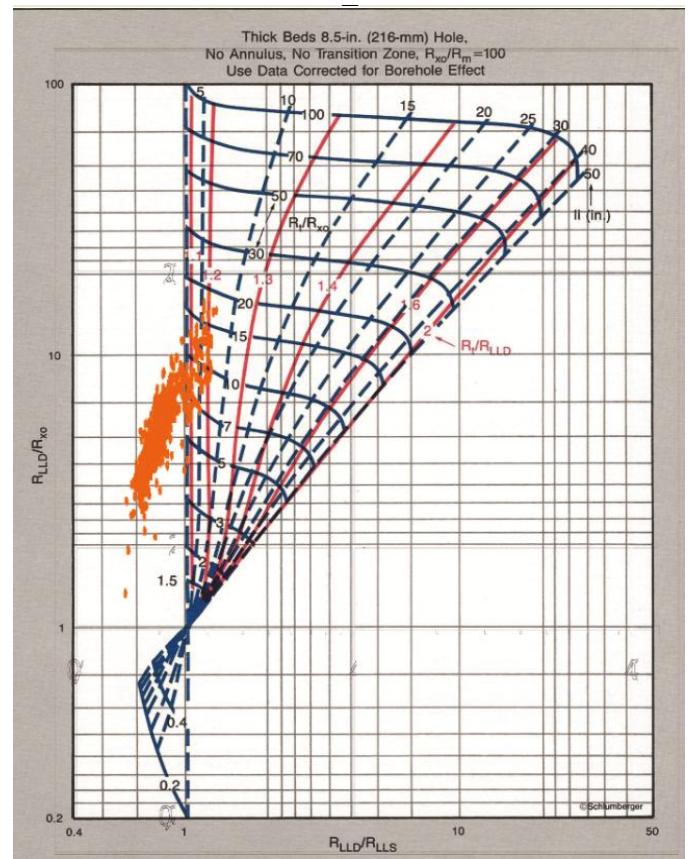
Σχήμα 4.30: Ταμιευτήρας C

Διαγράμματα cross-plots στην γεώτρηση PB-14 ηλεκτρικών διαγραφιών εστίασης

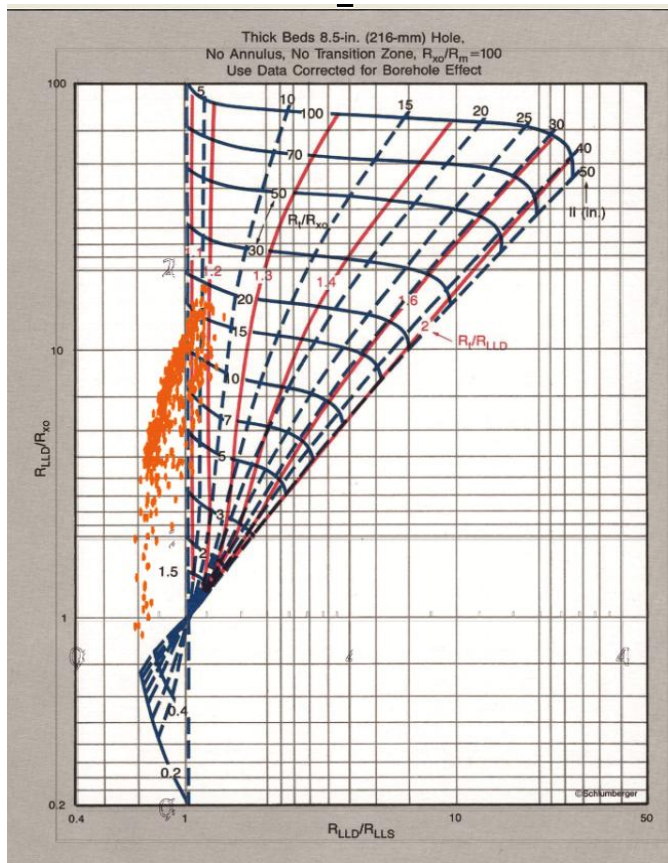
(R_{LLD}/R_{MSFL} - R_{LLD}/R_{LLS}).



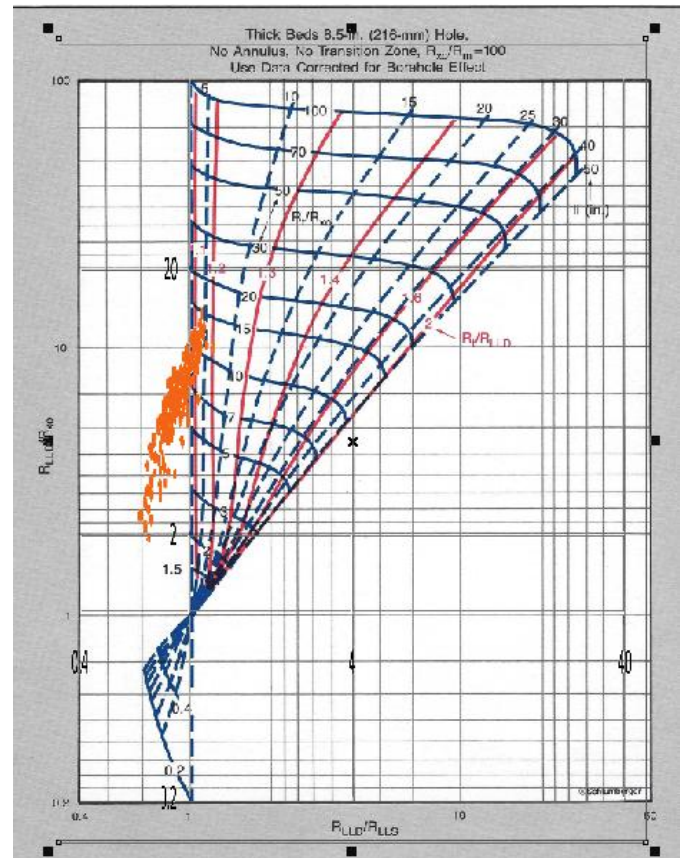
Σχήμα 4.31: Ταμειντήρας Α₁



Σχήμα 4.32: Ταμειντήρας Α₂

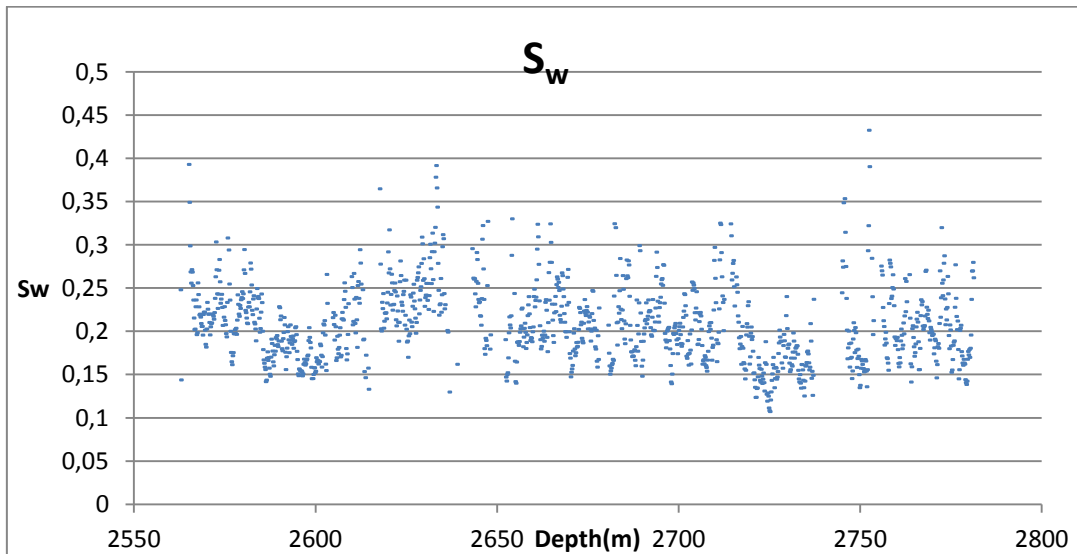


Σχήμα 4.33: Ταμειντήρας Β

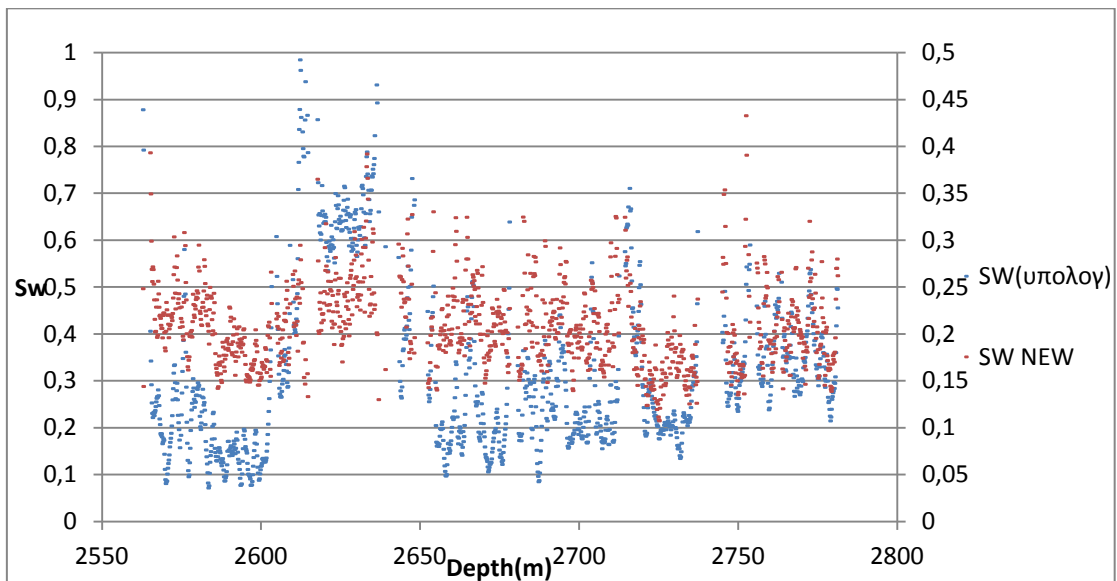


Σχήμα 4.34: Ταμειντήρας C

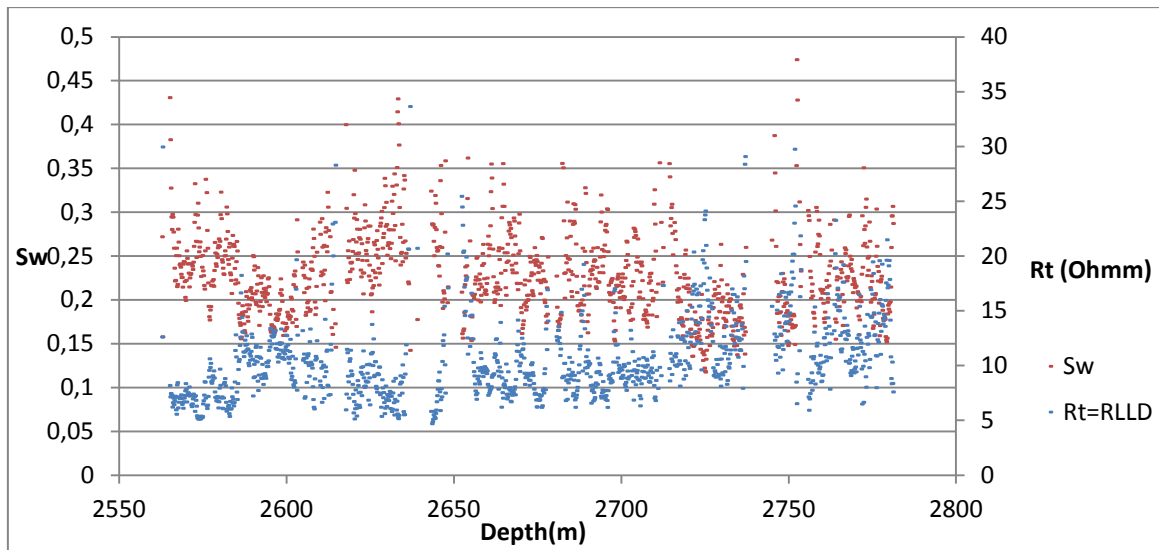
Στο (σχήμα 4.36) παρουσιάζονται δύο διαφορετικές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό. Στο διάγραμμα βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (Σχήματα 4.37 και 4.38) οι πολύ χαμηλές τιμές του βαθμού κορεσμού σε νερό αντιστοιχούν σε μεγάλες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης



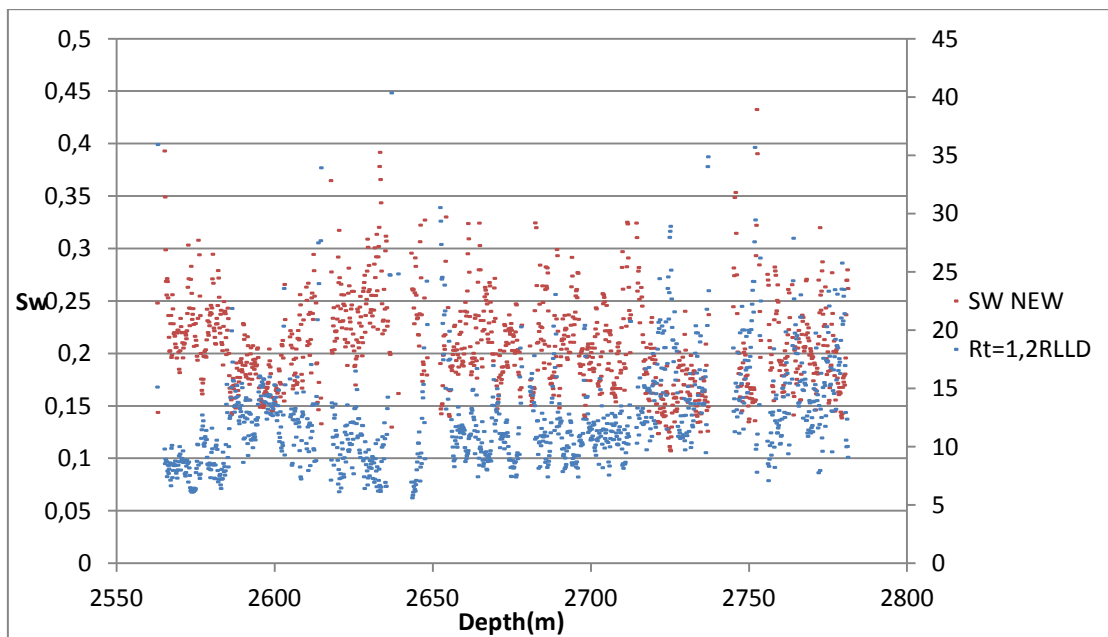
Σχήμα 4.35: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-14



Σχήμα 4.36: Βαθμοί κορεσμού S_w σε νερό, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-14



Σχήμα 4.37: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση $R_t=R_{LLD}$, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-14



Σχήμα 4.38: Βαθμός κορεσμού S_w σε νερό και ειδική ηλεκτρική αντίσταση, συναρτήσει του βάθους στην γεώτρηση PB-14

Η αξιολόγηση των παραγωγικών σχηματισμών συνοψίζεται στους κάτωθεν πίνακες 4.11 και 4.12 για τη γεώτρηση PB-14 και ειδικότερα παρέχουν τις μέσες τιμές για τις πετροφυσικές παραμέτρους σε κάθε ταμιευτήρα.

Πίνακας 4.11: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για $R_t=R_{LLD}$ (Γεώτρηση PB-14)

TAMIEYTHPAS	DEPTH (m)	ϕ %	S_w %	S_o %	F	S_{xo} %	S_{or} %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2566-2643	19,7%	23,7%	76,3%	24,34	56,5%	43,5%	0,42
A2	2643-2756	19,4%	22,1%	77,9%	25,79	57,4%	42,6%	0,39
B	2756-2834	17,7%	22,2%	77,8%	30,25	58,7%	41,3%	0,38

Πίνακας 4.12: Σύνοψη αξιολόγησης των παραγωγικών σχηματισμών για $R_t=1.2 \cdot R_{LLD}$ (Γεώτρηση PB-14)

TAMIEYTHPAS	DEPTH (m)	ϕ %	S_w %	S_o %	F	S_{xo} %	S_{or} %	$\frac{S_w}{S_{xo}}$
A1	2566-2643	19,6%	21,7%	78,3%	24,69	56,9%	43,1%	0,38
A2	2643-2756	19,4%	20,3%	79,7%	26,08	56,9%	43,1%	0,36
B	2756-2834	17,7%	20,4%	79,6%	30,29	58,6%	41,4%	0,35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΩΤΡΗΣΗ ΡΑ-10

Reservoir A₁:

Χρησιμοποιήθηκαν δύο εκτιμήσεις της μέσης τιμής της R_t , με πολλαπλασιαστικό παράγοντα 1,2 και 1,3 αντίστοιχα της R_{LLD} , με αποτέλεσμα η ειδική ηλεκτρική αντίσταση να κυμαίνεται από 37 έως 39 Ohmm. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του πορώδους σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες η οποία είναι ίση με (18,7%). Ο βαθμός κορεσμού σε πετρέλαιο S_o κυμαίνεται (82,9%-83%). Ταυτόχρονα παρουσιάζει το μεγαλύτερο S_{or} σε παραμένων υδρογονάνθρακες (42,7%). Ο δείκτης παραγωγικότητας του ταμιευτήρα προέκυψε από το λόγο S_w/S_{xo} και η τιμή του είναι <0,6.

Reservoir A₂:

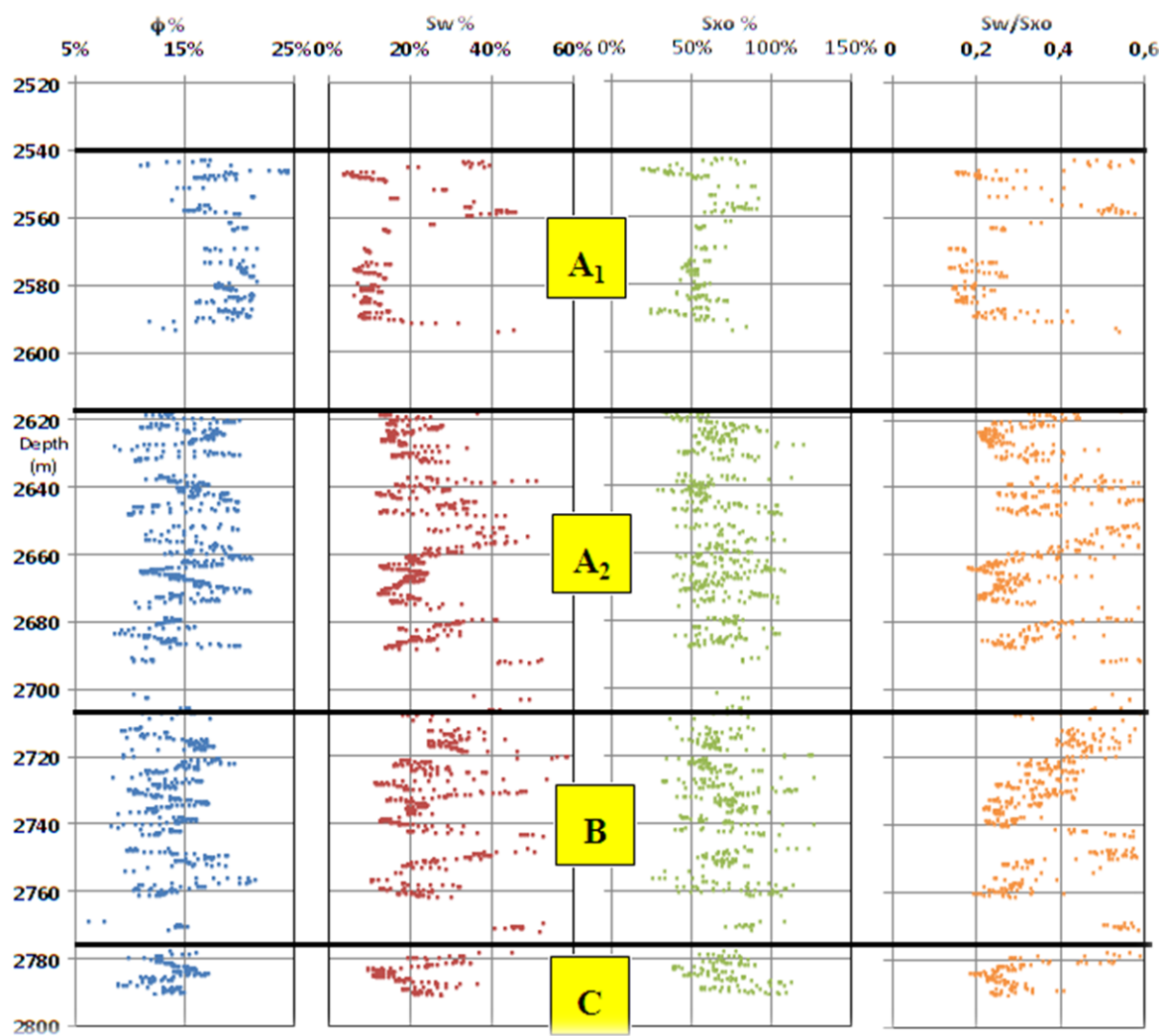
Η τιμή του πορώδους είναι χαμηλότερη από τον προηγούμενο ταμιευτήρα (15,2%) με την μέση τιμή της R_t να κυμαίνεται μεταξύ 19 έως 17 Ohmm. Η τιμή κορεσμού σε υδρογονάνθρακες βρίσκεται μεταξύ (76,2%-76,8%). Οι παραμένοντες υδρογονάνθρακες που προέκυψαν από τους βαθμούς κορεσμού σε υδρογονάνθρακες, καταλαμβάνουν το ποσοστό του (30,9%). Ο δείκτης παραγωγικότητας του ταμιευτήρα είναι <0,6.

Reservoir B:

Διακρίνεται πως το πορώδες όσο πιο βαθύτερα στη γεώτρηση τόσο μειώνεται, συγκεκριμένα (14,1%), ενώ ταυτόχρονα συναντούνται και οι χαμηλότερα επίπεδα μέσης τιμής της R_t (17-18 Ohmm) ταυτόχρονα η τιμή του κορεσμού σε υδρογονάνθρακες κυμαίνεται μεταξύ (72,5%-73,6%). Η μέση τιμή των παραμενόντων υδρογονανθράκων είναι μεταξύ (27,3% και 27,8%). Τέλος ο δείκτης παραγωγικότητας <0,6 υπογραμμίζοντας βέβαια πως λαμβάνει τις μεγαλύτερες τιμές σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες.

Reservoir C:

Στον τελευταίο ταμιευτήρα της γεώτρησης παρατηρείται και η χαμηλότερη ένδειξη του πορώδους (13,6%) με την ηλεκτρική αντίσταση να αυξάνεται λίγο και να βρίσκεται μεταξύ 24 και 25 Ohmm. Παράλληλα λαμβάνει τις χαμηλότερες μέσες τιμές κορεσμού σε υδρογονάνθρακες (74,9%-77,7%). Επίσης, η μέση τιμή των παραμενόντων υδρογονανθράκων κυμαίνεται από 24,3% έως 26,2% και είναι τα χαμηλότερα όρια μεταξύ των παραπάνω ταμιευτήρων. Ο δείκτης παραγωγικότητας και σε αυτόν τον ταμιευτήρα είναι <0,6.



Σχήμα 5. 1 Πετροφυσικές παράμετροι για την γεώτρηση PA-10

Reservoir A₁:

Στη παρούσα γεώτρηση η εκτίμηση της R_t για τον πρώτο ταμιευτήρα λαμβάνει τη τιμή (86 Ohmm), το πορώδες του είναι το υψηλότερο σε σχέση με εκείνα των άλλων ταμιευτήρων και ίσο με (18,6%). Ο S_o είναι (83%) και το ποσοστό των παραμένοντες υδρογονανθράκων είναι το υψηλότερο (42,4%). Ο δείκτης παραγωγικότητας είναι $<0,6$.

Reservoir A₂:

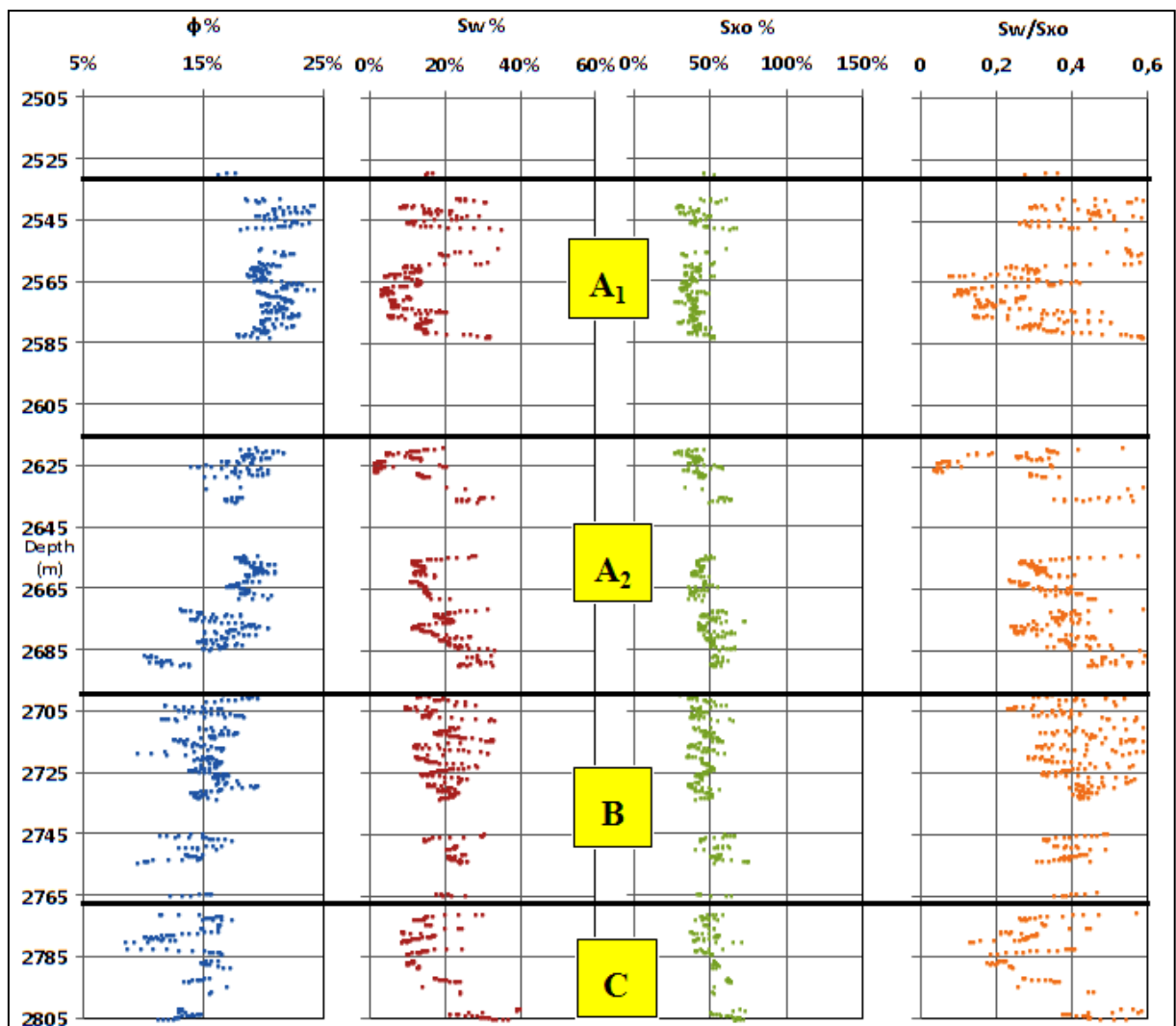
Η ηλεκτρική αντίσταση παρατηρούμε μια πολύ μεγάλη πτώση στα (13 Ohmm) με ταυτόχρονη μείωση του πορώδους σε (15,2%). Ο βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες είναι μεγαλύτερος από τις υπόλοιπες παραγωγικές ζώνες με (76,8%), οι παραμένοντες υδρογονάνθρακες είναι (30,9%) σημειώνουμε ότι ο δείκτης παραγωγικότητας έχει τη μικρότερη τιμή σε αυτόν τον ταμιευτήρα σε σχέση με τους υπόλοιπους και εδώ είναι $<0,6$.

Reservoir B:

Και σε αυτόν τον ταμιευτήρα διακρίνεται η πολύ μικρή τιμή της R_t που είναι ίση με (16 Ohmm) και διαδοχικά παρατηρείται η πτωτική τάση στο πορώδες, όπου λαμβάνει τη τιμή (14,2%). Ο βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες είναι (73,6%) και οι παραμένοντες υδρογονάνθρακες είναι (27,8%). Ο δείκτης παραγωγικότητας λαμβάνει τη μεγαλύτερη τιμή σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες παραμένοντας βέβαια μικρότερη 0,6.

Reservoir C:

Τελευταίος ταμιευτήρας της γεώτρησης με σχετικά λίγο μεγαλύτερη τιμή στην ειδική ηλεκτρική αντίσταση ίση με (24,6 Ohmm) από τους A₂ και B, αλλά με την μικρότερη τιμή του πορώδους (13,6%). Ο βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες είναι (74,9%) και οι παραμένοντες υδρογονάνθρακες καταγράφουν την μικρότερη τιμή από όλους τους ταμιευτήρες με (24,3%). Ο δείκτης παραγωγικότητας εξακολουθεί και βρίσκεται $<0,6$.



Σχήμα 5. 2 Πετροφυσικές παράμετροι για την γεώτρηση PB-13

Reservoir A₁:

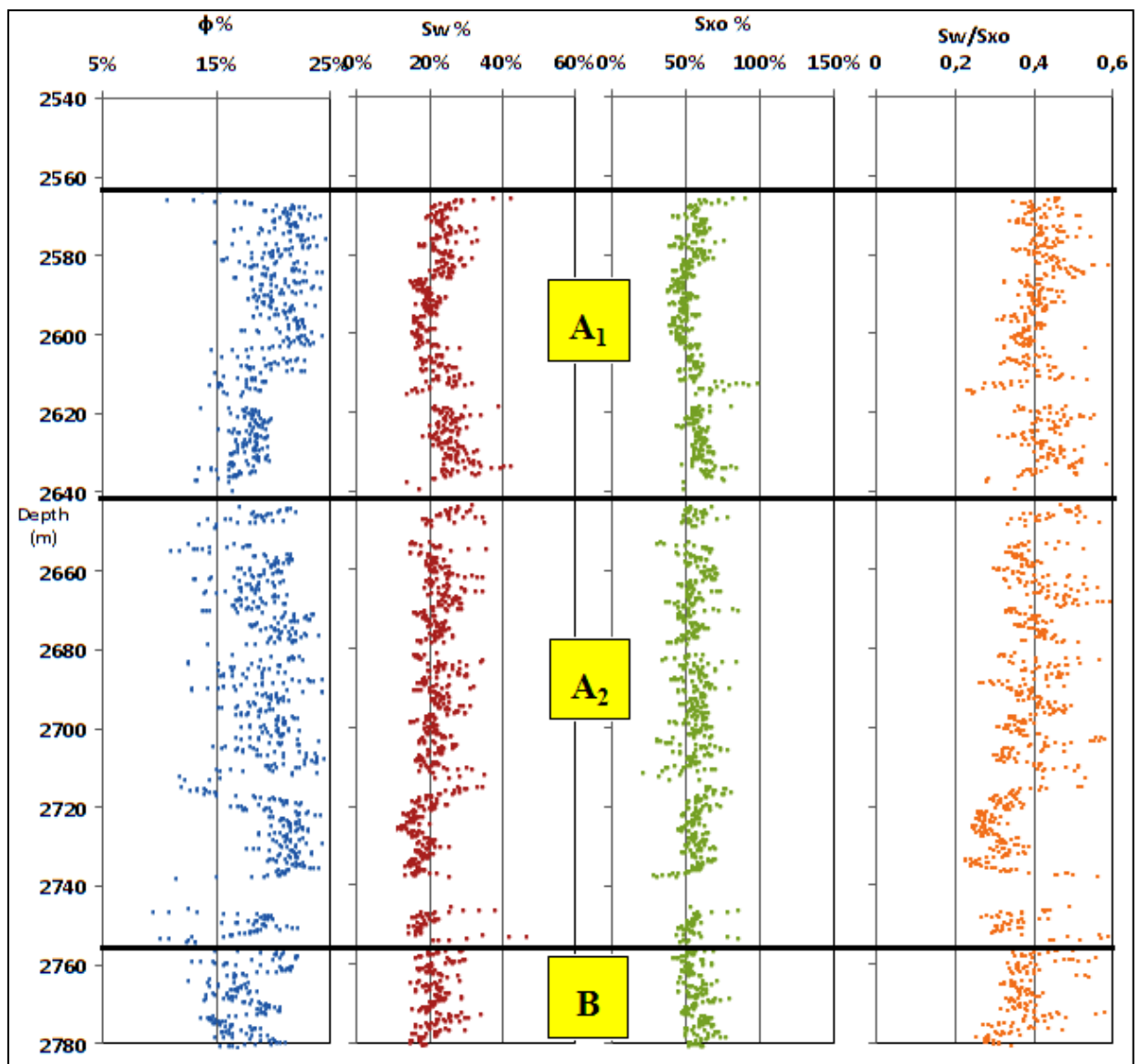
Εδώ όπως και στην γεώτρηση 10 χρησιμοποιήθηκαν δύο εκτιμήσεις της μέσης τιμής της R_i , με πολλαπλασιαστικό παράγοντα 1 και 1,2 αντίστοιχα της R_{LLD} , με αποτέλεσμα η ειδική ηλεκτρική αντίσταση να κυμαίνεται από 9 έως 11 Ohmm. Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη τιμή του πορώδους σε σχέση με τους άλλους ταμιευτήρες η οποία είναι ίση με (20%). Ο βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες S_o κυμαίνεται (76%-78%). Ταυτόχρονα παρουσιάζει S_{or} (44%). Ο δείκτης παραγωγικότητας του ταμιευτήρα προέκυψε από το λόγο S_w/S_{xo} και η τιμή είναι $<0,6$.

Reservoir A₂:

Η R_i από τις μέσες τιμές δείχνει να κυμαίνεται (11-13 Ohmm), με το πορώδες να μειώνεται ελαφρώς σε (19,3%). Ο S_o λαμβάνει ποσοστό (78%-79%) και οι παραμένοντες οι υδρογονάνθρακες λαμβάνουν περίπου 43 %. Ο δείκτης παραγωγικότητας $<0,6$.

Reservoir B:

Στον τρίτο κατά σειρά ταμιευτήρα από τιμές της R_i κυμαίνεται από 12 έως 15 Ohmm και το πορώδες να λαμβάνει (19,5%). Ο βαθμός κορεσμού σε υδρογονάνθρακες είναι μεταξύ (78% - 80 %) ενώ οι παραμένοντες υδρογονάνθρακες 41 %. Ο δείκτης παραγωγικότητας και εδώ $<0,6$.



Σχήμα 5. 3 Πετροφυσικές παράμετροι για την γεώτρηση PB-14

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Για τον ταμιευτήρα A_1 και στις τρεις γεωτρήσεις οι μέσες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρατηρούμε ότι διαφέρουν αρκετά. Στην PB-13 παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή. Το πορώδες δείχνει την μεγαλύτερη τιμή στην PB-13 άνω του 20% γεώτρηση ενώ στην PA-10 και PB-14 είναι λίγο μικρότερο το ποσοστό. Παράλληλα ο βαθμός κορεσμού σε νερό, καταγράφει την μικρότερη τιμή στην PB-13 γεώτρηση παρουσιάζοντας ποσοστό 14,2% ενώ μόνο στην PB-14 ξεπερνά το 20%.

Στον A_2 ταμιευτήρα οι μέσες τιμές της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης παρουσιάζουν σαφέστατα μικρότερη διακύμανση από τον A_1 , το πορώδες μειώνεται, ενώ ο βαθμός κορεσμού σε νερό καταγράφει, το χαμηλότερο ποσοστό στην PB-13 γεώτρηση.

Εν συνεχεία στον επόμενο ταμιευτήρα B η R_t δείχνει κοντινές τιμές και στα τρία φρεάτια και με το πορώδες να μειώνεται σταδιακά. Πιο εξισορροπημένος παρουσιάζεται στο σημείο αυτό ο βαθμός κορεσμού σε νερό σε σχέση με τους παραπάνω ταμιευτήρες παραμένοντας σταθερός άνω του 20% έως και 27%.

Τέλος, στον ταμιευτήρα C κοντινές τιμές έχει η R_t , τις χαμηλότερες μέσες τιμές να λαμβάνει το πορώδες και ο βαθμός κορεσμού σε νερό να ξεπερνά παντού να είναι κοντινός.

Πίνακας 5. 1 Συνολική εκτίμηση των γεωτρήσεων PA-10, PB-13 και PB-14

		Φ %	S_w %	S_{xo} %	S_w/S_{xo}
A_1	PA-10	18,7	17,1	57,3	0,28
	PB-13	21,2	14,2	41,7	0,33
	PB-14	19,6	21,7	43,1	0,38
A_2	PA-10	15,2	23,2	69,1	0,34
	PB-13	17,7	17,2	48,7	0,35
	PB-14	19,4	20,3	56,9	0,36
B	PA-10	14,2	26,4	72,2	0,37
	PB-13	15,5	20,5	48,8	0,42
	PB-14	17,7	20,4	58,6	0,35
C	PA-10	13,7	22,3	73,8	0,3
	PB-13	14,1	18,8	54,7	0,34

Βιβλιογραφία

1. Aguilera R. et al. (1991) Contributions in Petroleum and Engineering Volume 9 .Horizontal Wells.. Gulf Publishing Company, Houston Texas.
2. Anderson B. et al .ELMOD Putting Electromagnetic Modeling to Work to Improve Resistivity Log Interpretation. SPWLA Thirtieth Annual Logging Symposium, June 11-14, 1989. Paper M.
3. Βαφείδης Α. (1994) «Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους» Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής
4. Δρ. Λαλεχός 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”.
5. Energean Oil & Gas S.A. Προσωπική επικοινωνία
6. Μανούτσογλου Εμ. (2000) : Εισαγωγή στη Γεωλογία. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
7. Μανούτσογλου Εμ. (2003) : Εισαγωγή στη Γεωλογία Ελλάδος. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
8. Μιχελάκης, Μ. (2010). Τρισδιάστατη λιθοστρωματογραφική προσομοίωση του κοιτάσματος υδρογονανθράκων του Πρίνου. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
9. Φρόνιμος Π.Κ (1998). Έλεγχος Θέσης Οριζόντιας Γεώτρησης με χρήση Γεωφυσικών Διαγραφιών Logging While Drilling. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
10. Proedrou P. (1979) : *The evaporite formation in the Nestos - Prinos graben in the Northern Aegean Sea, Annex Geologique Pays Hellenic, tome hors serie fash II, 1013-1020, Athens*
11. Proedrou P. and Papaconstantinou P., (2004) : *Prinos Basin – A model for exploration. Proc. Of the XXXVI Geological society of Greece, Thessaloniki, April, 327-333.*
12. Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Charts.
13. Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications.

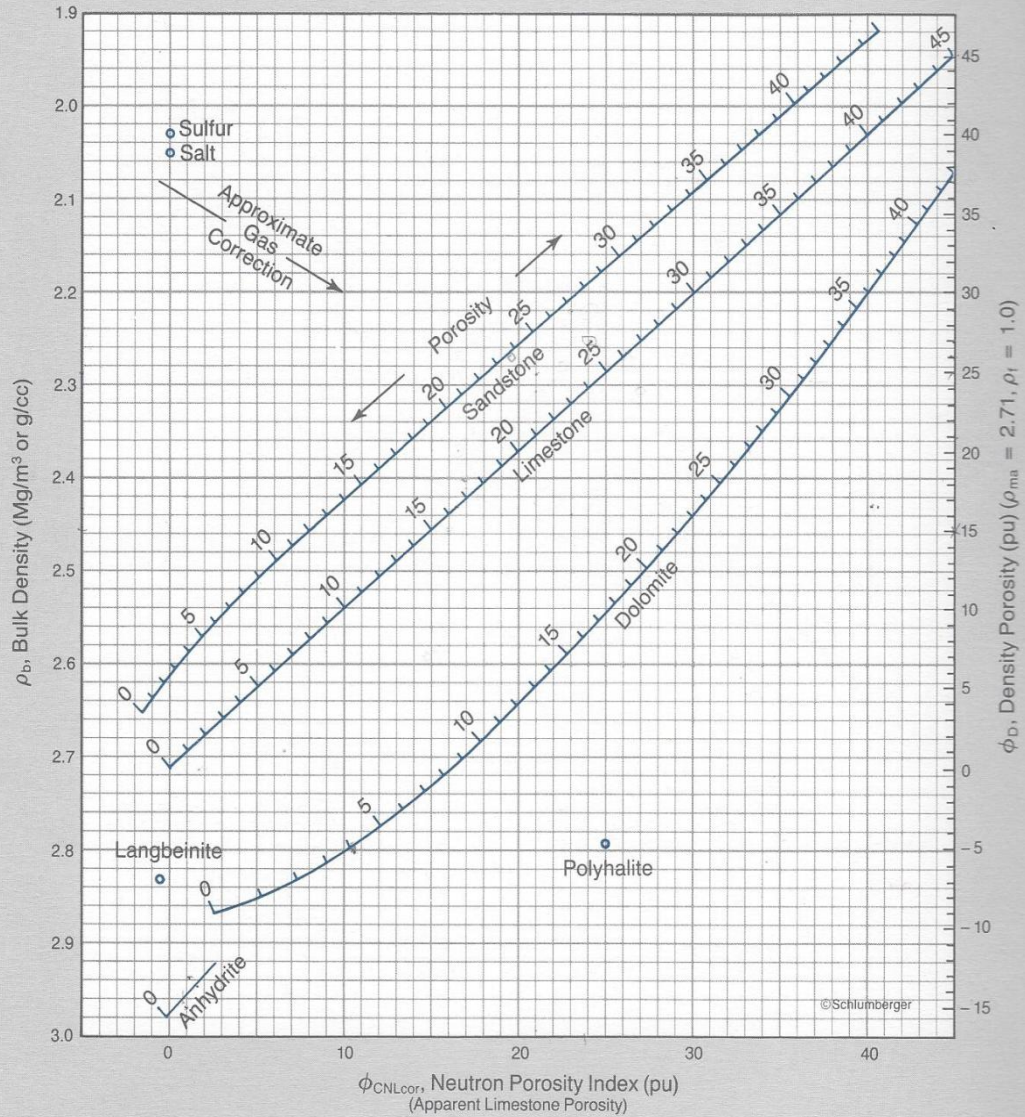
Διαδικτυακή βιβλιογραφία

14. <http://www.energean.com/>
15. <http://www.georesources.gr/>
16. <http://petrowiki.org/PetroWiki>
17. <http://www.sciencedirect.com/>
18. <http://www.slb.com/>
19. <http://www.slideshare.net/?ss>
20. <https://www.wikipedia.org/>

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.

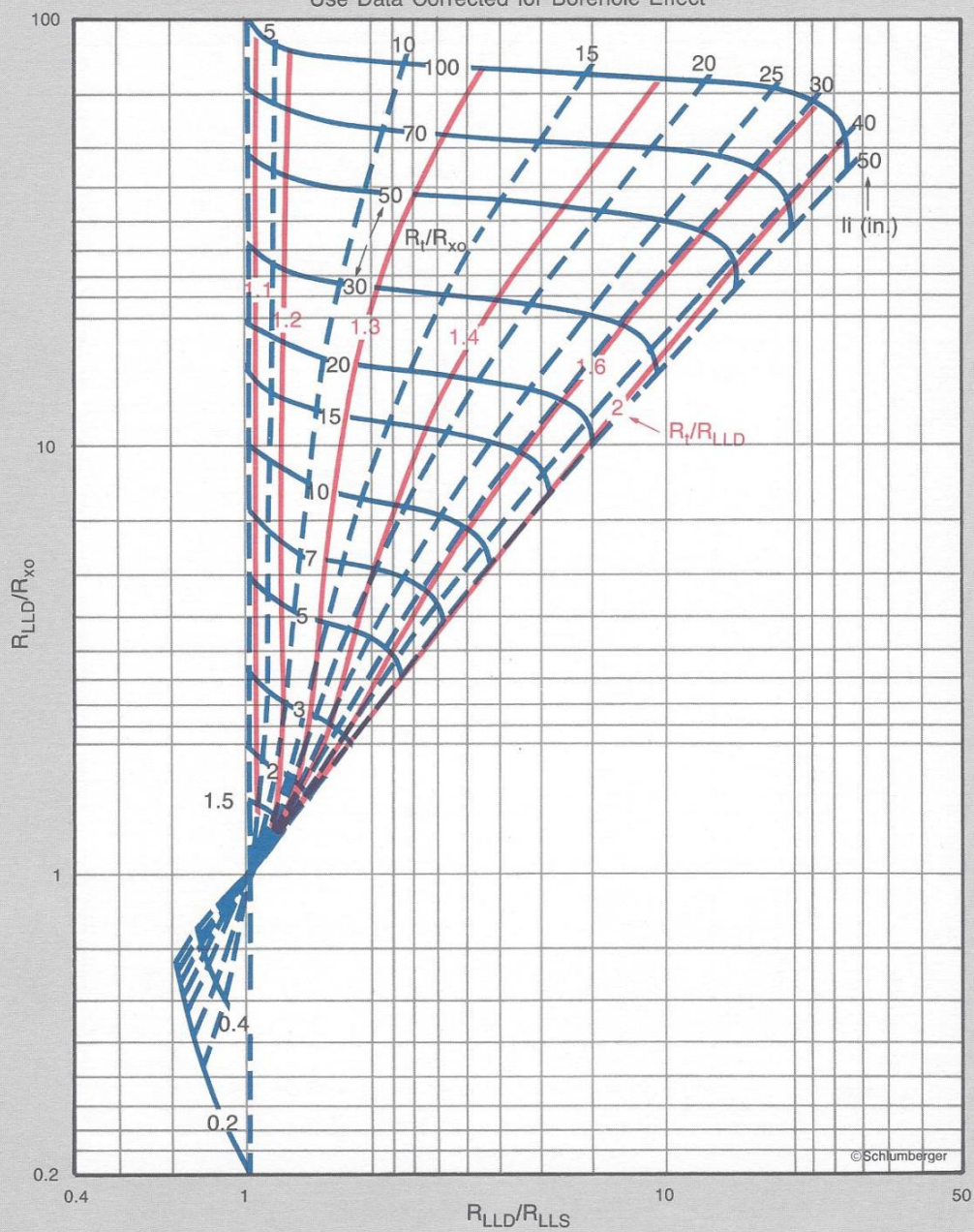
*Mark of Schlumberger

CP-1c

Dual Laterolog- R_{xo}

DLT-D/E LLD-LLS- R_{xo}

Thick Beds 8.5-in. (216-mm) Hole,
No Annulus, No Transition Zone, $R_{xo}/R_m=100$
Use Data Corrected for Borehole Effect



Rint-9b1