

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΘΕΜΑ

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΩΝ ΜΕ ΑΡΓΙΛΙΚΕΣ ΠΡΟΣΜΙΞΕΙΣ.
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΙΣ ΡΑ-10, ΡΒ-13 ΚΑΙ ΡΒ-**

14

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΖΟΥΔΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

Βαφείδης Αντώνιος, Καθηγητής Π.Κ.(επιβλέπων)

Μανούτσογλου Εμμανουήλ, Καθηγητής Π.Κ.

Δρ.Κρητικάκης Γεώργιος, ΕΔΙΠ

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2017

Στους γονείς μου, Εύα & Αντώνη

Περίληψη

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 και άλλων.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε επεξεργασία και αξιολόγηση δεδομένων γεωφυσικών διαγραφιών με τη μέθοδο Dual Water, από την περιοχή του Πρίνου-Καβάλας και πιο συγκεκριμένα από τις γεωτρήσεις PA-10, PB-13 και PB-14, οι οποίες παραχωρήθηκαν από την εταιρεία Energean Oil&gas.

Για την εύρεση του βαθμού κορεσμού σε νερό πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της τιμής του πορώδους (ϕ), του ενεργού πορώδους (ϕ_e) καθώς και του ολικού πορώδους (ϕ_t). Επίσης χρειάστηκε ο υπολογισμός του βαθμού κορεσμού του δεσμευμένου νερού του σχηματισμού (S_b), της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του δεσμευμένου νερού του σχηματισμού (R_b) και της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης (R_{wa}). Δημιουργήθηκαν διαγράμματα φυσικού δυναμικού, ακτίνων γάμμα, πορώδους και βαθμού κορεσμού συναρτήσει του βάθους. Σαν αποτέλεσμα βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο μεγαλύτερος μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό παρουσιάζεται στην γεώτρηση PA-10 με ποσοστό 36,4%. Ακολουθεί η γεώτρηση PB-13 με ποσοστό μέσου βαθμού κορεσμού σε νερό 41,7% και η PB-14 με το μέσο βαθμό κορεσμού σε νερό να κυμαίνεται σε ποσοστό της τάξεως του 40,9% .

Περιεχόμενα

<u>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</u>	2
<u>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</u>	3
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο</u>	6
<u>1.1 Εισαγωγή</u>	6
<u>1.2 Περιγραφή των κεφαλαίων</u>	7
<u>1.3 Ιστορική αναδρομή</u>	7
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο</u>	13
<u>2.1 Εισαγωγή</u>	13
<u>2.1.1 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις</u>	14
<u>2.1.2 Βασικοί τύποι διαγραφιών και αρχή λειτουργίας</u>	16
<u>2.2 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού</u>	17
<u>2.3 Διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας</u>	18
2.3.1 Διαγραφίες ακτίνων γάμμα.....	19
2.3.2 Διαγραφίες φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα.....	19
<u>2.4 Διαγραφίες νετρονίων</u>	20
<u>2.4.1 Συσκευές για τις διαγραφίες νετρονίου</u>	21
<u>2.5 Διαγραφίες πυκνότητας</u>	22
<u>2.6 Διαγραφίες ακουστικές</u>	23
<u>2.6.1 Συσκευές ακουστικών διαγραφιών</u>	24
<u>2.7 Ηλεκτρικές διαγραφίες</u>	26
<u>2.7.1 Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης</u>	26
<u>2.7.2 Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής</u>	29
<u>2.8 Η μέθοδος dual water</u>	30

2.8.1 Θεωρία του μοντέλου DW.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°	34
3.1 Γεωλογική εξέλιξη του Αιγαίου	34
3.2 Γεωδυναμική τεκτονική.....	37
3.3 Η λεκάνη του Πρίνου και η δημιουργία της.....	38
3.4 Γεωλογική περιγραφή της λεκάνης του Πρίνου-Καβάλας.....	39
3.5 Στρωματογραφική αποτύπωση της λεκάνης του Πρίνου.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°	45
4.1 Εισαγωγή.....	45
4.1.1 Πρωτογενή δεδομένα.....	46
4.1.2 Αξιολόγηση σχηματισμών.....	47
4.2 Επεξεργασία γεώτρησης PA-10	51
4.3 Επεξεργασία γεώτρησης PB-14	58
4.4 Επεξεργασία γεώτρησης PB-13.....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°	67
5.1 Συμπεράσματα για γεώτρηση PA-10.....	67
5.2 Συμπεράσματα για γεώτρηση PB-14.....	69
5.3 Συμπεράσματα για γεώτρηση PB-13.....	69
5.4 Συνολική εκτίμηση των γεωτρήσεων.....	73
Βιβλιογραφία	74
Διαδικτυακή βιβλιογραφία	75

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

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 και άλλων.

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 εξειδικευμένα 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 σχεδιαστεί 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. (Βαφείδης, 2011)

1.2 Περιγραφή των κεφαλαίων

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση του Dual Water Model σε τρεις γεωτρήσεις από τη λεκάνη του Πρίνου.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή όσον αφορά τις διαγραφίες από που, αλλά και ποιοι άνθρωποι συνετέλεσαν στο πέρας του χρόνου για να έχουμε τα σημερινά λαμπρά αποτελέσματα.

Το δεύτερο κεφάλαιο επικεντρώνεται στα είδη, τις αρχές λειτουργίας καθώς και τους τρόπους μέτρησης των διαγραφιών.

Εν συνεχεία στο τρίτο κεφάλαιο δίδεται βάση στην περιοχή μελέτης από την οποία αντλήθηκαν τα δεδομένα, καθώς επίσης και στην δημιουργία της λεκάνης του Πρίνου. Επίσης παρουσιάζεται η γεωλογική εξέλιξη της περιοχής του Αιγαίου και ειδικότερα της περιοχής του Πρίνου.

Η επεξεργασία των δεδομένων των τριών γεωτρήσεων με τη χρήση του Dual Water Model καθώς και τα αποτελέσματα αυτών παρουσιάζονται όλα εκτενώς στο τέταρτο κεφάλαιο.

Τέλος στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο συγκαταλέγονται τα συμπεράσματα και αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

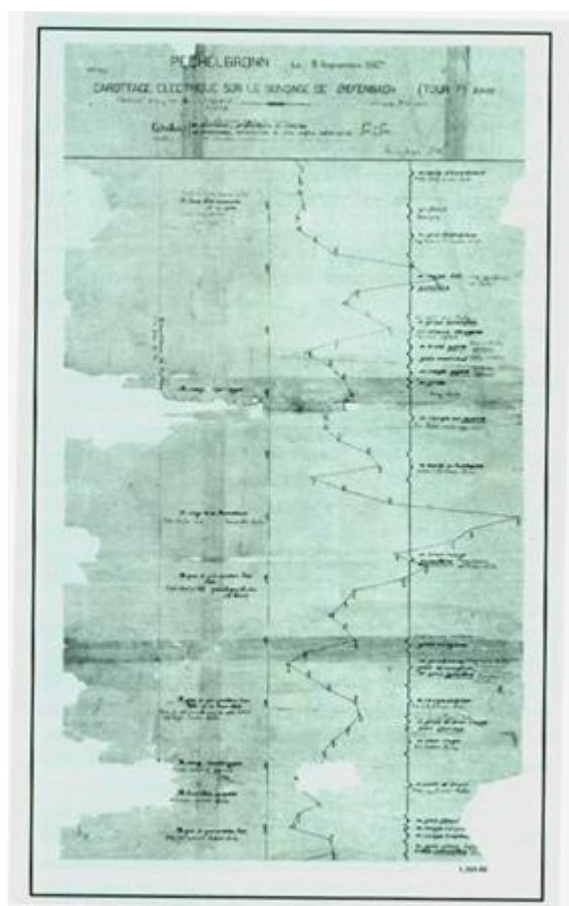
1.3 Ιστορική Αναδρομή

Η εξέλιξη της μεθόδου των διαγραφιών τα τελευταία 50 χρόνια είναι συναρπαστική και γεμάτη εκπλήξεις. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι οι οποίες αναπτύχθηκαν στον τομέα των διαγραφιών, πολλές από τις οποίες χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα. Οι διαγραφίες είναι μία σχετικά νέα επιστήμη, αλλά οι πρώτες εργασίες στο πεδίο μετρούν πάνω από 100 χρόνια.

Πολύ νωρίς το 1869, την ίδια περίοδο που πραγματοποιήθηκε η πρώτη γεώτρηση πετρελαίου στην Πενσυλβανία της Αμερικής, ο λόρδος Kelvin στη Βρετανία έκανε ερμηνείες στην ροή θερμότητας σε ρηχές γεωτρήσεις μετρώντας θερμοκρασία

συναρτήσει του βάθους. Το 1912, επιφανειακές μετρήσεις ηλεκτρικής αντίστασης των πετρωμάτων από τον Conrad Schlumberger και τον αδερφό του Marcel οδήγησαν σε παρόμοιες μετρήσεις στις γεωτρήσεις.

Η πρώτη ηλεκτρική διαγραφή πραγματοποιήθηκε το 1927 σε ένα μικρό κοίτασμα πετρελαίου στην Αλσατία της Γαλλίας από την Pelchebronn Oil Company. Η διαγραφή αυτή αποτελείται από μια γραφική παράσταση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης των Γεωλογικών σχηματισμών οι οποίοι συναντώνται σε μία γεώτρηση. Οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο των σταθμών. Στη μέθοδο των σταθμών τα ηλεκτρόδια του ρεύματος και του δυναμικού τοποθετούνται μέσα στη γεώτρηση και η ειδική αντίσταση μετράται σε διαδοχικές θέσεις-σταθμούς. (Βαφείδης, 2011) Η μέτρηση σε κάθε σταθμό αποτελεί ένα σημείο της ηλεκτρικής διαγραφής (σχ. 1.1).



Σχήμα 1.1: Η πρώτη διαγραφή που εκτελέστηκε (1927(Schlumberger Educational Services (1991))

Η πρώτη διαγραφή στην Αμερική πραγματοποιήθηκε στις 17/8/1929 για την εταιρία πετρελαίου Shell στο Κερν της Καλιφόρνια.

Οι πρώτες διαγραφίες στον Καναδά πραγματοποιήθηκαν το 1937 για ένα πρόγραμμα αναζήτησης χρυσού στο Οντάριο και το 1939 για πετρέλαιο στην Αλμπέρτα. Πολύ γρήγορα αναγνωρίστηκε η χρησιμότητα των ηλεκτρικών διαγραφιών στην ταυτοποίηση πιθανών κοιτασμάτων πετρελαίου. Έτσι το 1929, οι ηλεκτρικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες πετρελαίου στη Βενεζουέλα, στην Ρωσία και στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το 1931 πραγματοποιούνται μετρήσεις του φυσικού δυναμικού (διαγραφίες φυσικού δυναμικού) ηλεκτρικής αντίστασης.

Την ίδια χρονιά οι αδελφοί Schlumberger τελειοποιούν όργανο συνεχούς μέτρησης και καταγραφής της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Από το 1933 οι διαγραφίες χρησιμοποιούνται συστηματικά σε Αμερική και τον υπόλοιπο κόσμο.

Ορόσημο στην ιστορία των διαγραφιών είναι η πρώτη διαγραφή ραδιενέργειας (gamma ray) η οποία πραγματοποιήθηκε το 1934 στο Ινστιτούτο Well Surveys. Από το 1936 χρησιμοποιείται συνδυασμός μετρήσεων φυσικού δυναμικού και μιας σειράς μετρήσεων ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (βραχεία κανονική, μακρά κανονική και πλευρική). Τη δεκαετία του 50 αρχίζει η ταυτόχρονη μέτρηση και καταγραφή των παραπάνω φυσικών μεγεθών, ενώ σήμερα είναι δυνατή η ταυτόχρονη καταγραφή μέχρι δέκα διαφορετικών μετρήσεων των ηλεκτρικών ιδιοτήτων των γεωλογικών σχηματισμών.

Τα κυριότερα είδη ραδιενεργών διαγραφιών είναι

- ✓ οι διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας (Gamma Ray log)
- ✓ οι διαγραφίες νετρονίου (Neutron log) και
- ✓ οι διαγραφίες πυκνότητας (Density or Gamma Ray log).

Οι μέθοδοι μέτρησης ραδιενέργειας έχουν το πλεονέκτημα να δίνουν αξιόπιστες μετρήσεις σε σωληνωμένες ή μη γεωτρήσεις και ανεξάρτητα από το είδος της γεωτρητικής λάσπης.

Οι διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας συνδυάζονται με τις διαγραφίες φυσικού δυναμικού και δείχνουν το περιεχόμενο αργλικών προσμίξεων του πετρώματος. Από το 1949 αναγνωρίστηκε η χρησιμότητα της διαγραφίας νετρονίου στον προσδιορισμό του πορώδους. Σήμερα χρησιμοποιείται συσκευή διπλής μέτρησης του πορώδους (Dual porosity tool) με την οποία υπολογίζεται και καταγράφεται το πορώδες συναρτήσει του βάθους (διαγραφή νετρονίου). Οι προσπάθειες

υπολογισμού του πορώδους από τις διαγραφίες ηλεκτρικής αντίστασης οδήγησαν στην ανάπτυξη της συσκευής *Microlog* στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Η συσκευή αυτή αποτελείται από τρία ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται σε πολύ μικρές αποστάσεις (2-3 cm). Ένας βοηθητικός βραχίονας είναι προσαρμοσμένος στη συσκευή και έχει διπλή χρήση. Πρώτον χρησιμοποιείται για την μέτρηση της διαμέτρου του φρεατίου. Δεύτερον αναγκάζει τη συσκευή να εφάπτεται στα τοιχώματα του φρεατίου για να υπάρχει ηλεκτρική επαφή μεταξύ ηλεκτροδίων και γεωλογικού σχηματισμού. Η συσκευή *Microlog* είναι χρήσιμη στο διαχωρισμό περάτων και μη σχηματισμών. Το 1951 αναπτύχθηκε η πρώτη συσκευή εστίασης του ηλεκτρικού ρεύματος (*Laterolog tool*) η οποία επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό της ειδικής αντίστασης λεπτών στρωμάτων (πλευρική ηλεκτρική διαγραφή). Οι συμβατικές διαγραφίες ηλεκτρικής αντίστασης αντικαταστάθηκαν πολύ γρήγορα από τη πλευρική ηλεκτρική διαγραφή η οποία δίνει αξιόπιστα αποτελέσματα ακόμη και στη περίπτωση που η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων (μικρή ηλεκτρική αντίσταση), ενώ οι σχηματισμοί χαρακτηρίζονται από μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση. Μέχρι σήμερα έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές συσκευές με σύστημα εστίασης. Η πιο σύγχρονη συσκευή εστίασης είναι η *Dual laterolog tool* (DLL) η οποία έχει σύστημα διπλής εστίασης, μεγάλης και μικρής διεισδυτικής ικανότητας. Όταν η γεωτρητική λάσπη παρουσιάζει μεγάλη σχετικά ηλεκτρική αντίσταση (π.χ. *Fresh water mud*) προτιμώνται οι διαγραφίες επαγωγής (*Induction logs*). Η πρώτη συσκευή αναπτύχθηκε το 1949 και εφαρμόσθηκε σε γεωτρήσεις οι οποίες πληρούνται με λάσπη πετρελαίου. Σήμερα χρησιμοποιείται η συσκευή *Dual Induction logs* (DIL) με την οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις επαγωγής μέσης και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας και μέτρησης ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. (Βαφείδης, 2011)

Η καταγραφή ακουστικών κυμάτων από γεώφωνα τα οποία βρίσκονται μέσα σε γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1930. Στα αρχικά πειράματα η πηγή παραγωγής ακουστικών κυμάτων ήταν τοποθετημένη στην επιφάνεια της γης. Σήμερα η πηγή και η διάταξη γεωφώνων τοποθετούνται μέσα στη γεώτρηση και σε μικρή απόσταση. Από το χρόνο διαδρομής των ακουστικών κυμάτων τα οποία διαδίδονται μέσα στον υπό εξέταση σχηματισμό υπολογίζεται η ταχύτητα ή ο χρόνος που χρειάζεται το ακουστικό κύμα για να διανύσει απόσταση ίση με 1ft

(ακουστικές διαγραφίες). Από τη δεκαετία του 1950 οι ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του πορώδους, λόγω του ότι οι μετρήσεις μέσα σε πορώδεις σχηματισμούς εξαρτώνται κυρίως από το πορώδες και είναι πρακτικά ανεξάρτητες του βαθμού κορεσμού των ρευστών.

Οι ακουστικές διαγραφίες σε συνδυασμό με τις ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης (διαγραφίες επαγωγής και πλευρική ηλεκτρική διαγραφή) χρησιμοποιούνται στην αξιολόγηση των γεωλογικών σχηματισμών. Από την ακουστική διαγραφή υπολογίζεται το πορώδες, ενώ από τις ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης υπολογίζεται η πραγματική τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του πορώδους σχηματισμού ο οποίος δεν έχει επηρεασθεί από τη διείσδυση της λάσπης (non invaded virgin formation).

Οι συσκευές ακουστικών διαγραφιών (Borehole compensated log, BHL, long spaced sonic, LSS και Array-sonic) καταγράφουν όχι μόνο τις πρώτες αφίξεις αλλά ολόκληρη την ακολουθία των σεισμικών κυμάτων (σεισμογράμματα). Από την ανάλυση των σεισμογραμμάτων υπολογίζονται οι χρόνοι διαδρομής των επιμηνικών κυμάτων, των εγκαρσίων κυμάτων και των κυμάτων Stoneley. Η καταγραφή μέσα σε γεωτρήσεις της πυκνότητας των γεωλογικών σχηματισμών, μιας ακόμη μέτρησης η οποία εξαρτάται από το πορώδες, ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1960.

Το 1964 παρουσιάζεται μια βελτιωμένη συσκευή διαγραφών πυκνότητας (Formation compensated log) η οποία αντισταθμίζει το σφάλμα που προέρχεται από την γεωτρητική λάσπη. Τέλος ο συνδυασμός διαγραφών πυκνότητας και δείκτη φωτοηλεκτρικής απορρόφησης χρησιμοποιείται από το 1981 για την εκτίμηση του πορώδους και της λιθολογικής σύστασης των σχηματισμών (Litho - Density). Η σύντομη αυτή ιστορική αναδρομή δεν είχε σαν στόχο να καλύψει όλα τα είδη των μετρήσεων τα οποία πραγματοποιούνται με γεωφυσικά όργανα μέσα σε γεωτρήσεις. Ένα απλό πετροφυσικό μοντέλο το οποίο προτάθηκε από τους Waxman και Smits το 1968 και Waxman και Thomas το 1972 έχει σαν απολογισμό τα αποτελέσματα μιας εκτενούς πειραματικής μελέτης στις επιδράσεις των αργίλων πάνω στην ειδική αντίσταση των σχιστολίθων.

Αυτό το πρότυπο έχει γίνει αποδεκτό από τη βιομηχανία παρά μερικές ασυνέπειες με τα πειραματικά αποτελέσματα. Παρατηρείται ότι αυτές οι ασυνέπειες προέκυψαν από την παρουσία μη αλατούχου νερού.

Το αντίστοιχο νέο αυτό μοντέλο στηρίζεται στην μελέτη των Waxman και Smits η οποία εισάγει δύο τύπους νερών του σχηματισμού, το ελεύθερο και το δεσμευμένο. Το κρίσιμο βήμα, εντούτοις, εξισώνει κάθε έναν από αυτούς τους όρους αγωγιμότητας σε έναν ιδιαίτερο τύπο νερού, κάθε ένας που καταλαμβάνει έναν αντιπροσωπευτικό όγκο του συνολικού πορώδους. Αυτή η προσέγγιση έχει ονομαστεί το πρότυπο Dual Water (DW) λόγω αυτών των δύο τύπων νερού διαφορετικής αγωγιμότητας. Το πρότυπο DW έχει εξεταστεί σε αρκετά στοιχεία πυρήνων γεωτρήσεων από τους Waxman και Smits. Το μοντέλο Dual Water υποστηρίζεται επίσης από τα στοιχεία διαγραφιών και έχει εφαρμοστεί επιτυχώς στην ερμηνεία χιλιάδων γεωτρήσεων.

Σήμερα, η μέθοδος έχει πάρα πολύ αναπτυχθεί, κυρίως από την εταιρεία Schlumberger που την ανακάλυψε. Οι φυσικές παράμετροι που μπορούν να μετρηθούν είναι πάρα πολλές. Ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω η ηλεκτρική αντίσταση των στρωμάτων, η θερμοκρασία, η φυσική ακτινοβολία ακτίνων γ (μέσω της οποίας μπορούν να διαχωριστούν οι άργιλοι από τα άλλα στρώματα) η αγωγιμότητα του νερού της γεώτρησης και των υδροφόρων κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικός στόχος μιας γεωφυσικής διασκόπησης είναι εντοπισμός σχηματισμών, οι οποίοι περιέχουν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Για αυτό το σκοπό σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών παίζουν οι γεωφυσικές μέθοδοι. Με τον όρο αξιολόγηση γεωλογικού σχηματισμού εννοούμε τον καθορισμό της σύστασης και των φυσικών ιδιοτήτων αυτού.

Σχεδόν όλη η παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου προέρχεται από τη συγκέντρωση υδρογονανθράκων στους πόρους ψαμμιτικών ή ανθρακικών (ασβεστόλιθοι και δολομίτες) πετρωμάτων.

Για την αξιολόγηση γεωφυσικών σχηματισμών σημαντικό ρόλο παίζουν

- I. Οι γεωφυσικές διαγραφίες
- II. Η γεωμετρία του ταμιευτήρα
- III. Η θερμοκρασία του σχηματισμού
- IV. Η λιθολογική σύσταση
- V. Η πίεση

Γεωφυσική διαγραφή είναι η καταγραφή μετρήσεων φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί μέσα στις γεωτρήσεις.

Οι κύριες παράμετροι οι οποίες χαρακτηρίζουν ένα ταμιευτήρα πετρελαίου είναι

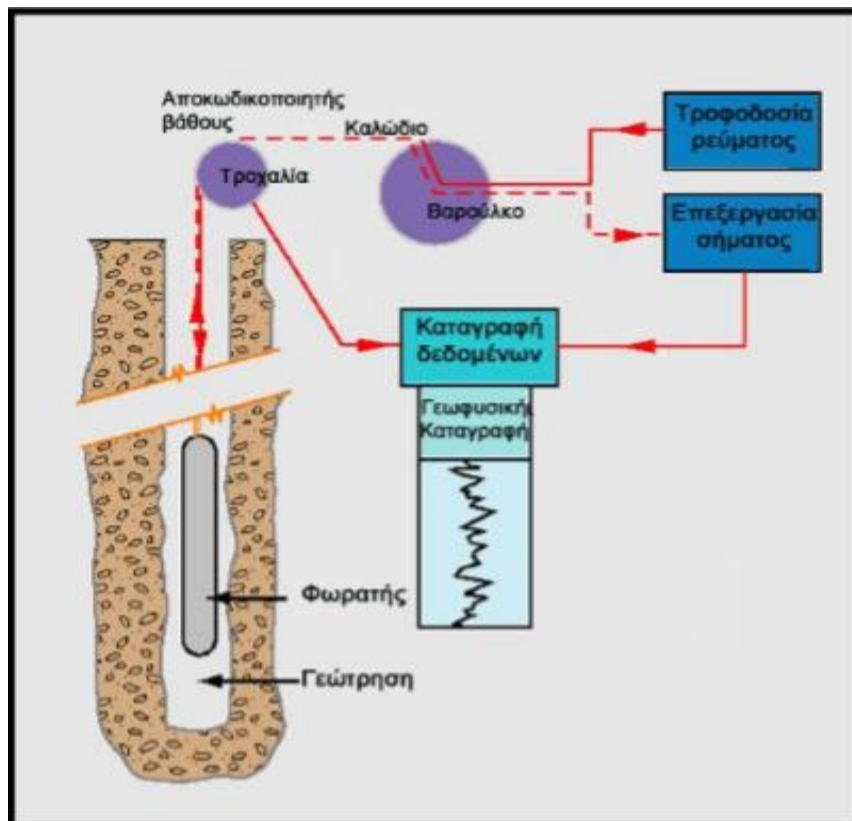
- I. Το πορώδες
- II. Ο βαθμός κορεσμού
- III. Το πάχος
- IV. Η πυκνότητα
- V. Η διαπερατότητα

Για να φτάσουμε στο τελικό συμπέρασμα χρειάζεται πρώτα να γίνει κατανοητή η έννοια του βαθμού κορεσμού. Ο βαθμός κορεσμού εκφράζει το ποσοστό (συνήθως επί τοις εκατό) του όγκου των πόρων που πληρούται με νερό. Οι πιθανές τιμές του βαθμού κορεσμού ενός εδαφικού υλικού κυμαίνονται από 0 (ακόρεστο) έως 100%(κορεσμένο).

2.1.1 Τρόπος πραγματοποίησης γεωφυσικών μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις

Ένα σύστημα εκτέλεσης γεωφυσικών καταγραφών (Σχ.2.1) περιλαμβάνει τον παρακάτω εξοπλισμό:

- Έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή (συσκευή καταγραφής)
- Ένα σύστημα (μονάδα) επιφανείας για την λειτουργία των φωρατών (συσκευή ανίχνευσης H/M κυμάτων), καθώς επίσης και για τη συλλογή και επεξεργασία των καταγεγραμμένων δεδομένων
- Ένα βαρούλκο με καλώδιο επικοινωνίας για την κάθοδο και άνοδο των φωρατών εντός των γεωτρήσεων.
- Αντίστοιχα καλώδια σύνδεσης μεταξύ των συστημάτων
- Μια τροχαλία με σύστημα καταγραφής βάθους
- Έναν εκτυπωτή
- Τους αντίστοιχους φωρατές
- Το σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος
- Ένα όχημα μεταφοράς ως κινητό συνεργείο



Σχήμα 2.1: Σχηματική περιγραφή του τρόπου εκτέλεσης μιας γεωφυσικής καταγραφής

Η κεφαλή του φωρατή συνδέεται στην κεφαλή του βαρούλκου. Το συρματόσχοινο του βαρούλκου φέρει εσωτερικά καλώδια για την ηλεκτρική επικοινωνία του φωρατή με το σύστημα επεξεργασίας των δεδομένων, το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια.

Το βαρούλκο συνδέεται μέσω καλωδίου με τη μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων.

Η μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων συνδέεται μέσω καλωδίου, με ηλεκτρονικό υπολογιστή για απεικόνιση των καταγεγραμμένων δεδομένων στην οθόνη.

Με τη βοήθεια της τροχαλίας ο φωρατής κατέρχεται και ανέρχεται εντός γεώτρησης.

Η τροχαλία φέρει μετρητή βάθους, για δεδομένα καταγραφής βάθους όταν εκτελείται μία οποιαδήποτε καταγραφή.

Οι γεωφυσικές διαγραφίες μπορούν να διαχωριστούν σε δύο γενικές κατηγορίες, τις στατικές ή παθητικές και τις δυναμικές. Οι πρώτες μετρούν υπάρχοντα φυσικά πεδία

χωρίς την εφαρμογή κάποιου σήματος διέγερσης ενώ οι δεύτερες μετρούν την απόκριση των σχηματισμών σε επαγόμενα πεδία.

Οι κυριότερες στατικές μέθοδοι είναι:

- ✓ Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού (SP logging).
- ✓ Η μέθοδος Calliper
- ✓ Η μέθοδος μέτρησης της ταχύτητας των ρευστών (flowmeterlog)
- ✓ Η μέθοδος φυσικής ραδιενέργειας
- ✓ Η μέθοδος μέτρησης της θερμοκρασίας (Tlog)

Οι κυριότερες δυναμικές μέθοδοι είναι:

- ✓ Η μέθοδος μέτρησης της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (resistivity log)
- ✓ Η μέθοδος gamma-gamma
- ✓ Η μέθοδος neutron-gamma
- ✓ Η μέθοδος sonic

Το βάθος ανίχνευσης διαφέρει από μέθοδο σε μέθοδο (Σχ 2.2)

2.1.2 Βασικοί τύποι διαγραφιών και αρχή λειτουργιάς

Τα είδη των γεωφυσικών διαγραφιών είναι τα εξής:

Λιθολογίας

- ✓ Φυσικού δυναμικού
- ✓ Φυσικής ραδιενέργειας

Πορώδους

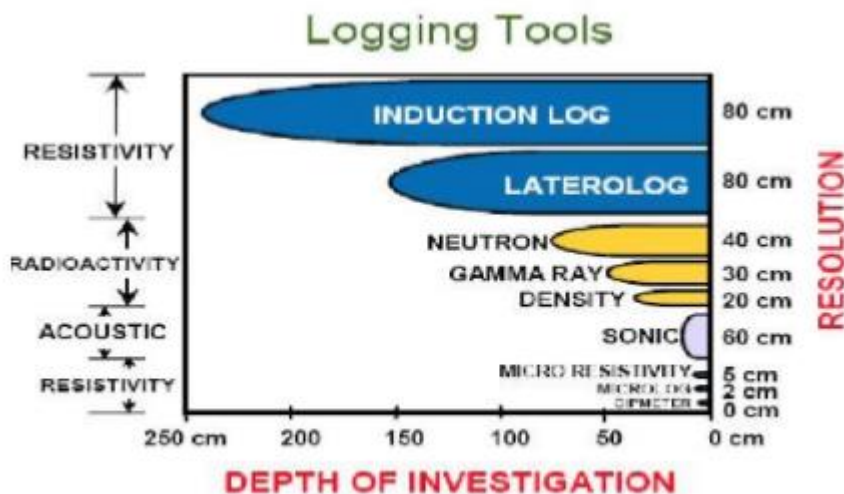
- ✓ Νετρονίου
- ✓ Πυκνότητας
- ✓ Ακουστικές

Ηλεκτρικές

- ✓ Εστίασης
- ✓ Επαγωγής

Άλλες

- ✓ Διαμετρήματος
- ✓ Θερμοκρασίας



Σχήμα 2.2: Βάθος ανίχνευσης των κυριότερων μεθόδων γεωφυσικής διαγραφίας

(<http://seismo.geology.upatras.gr/greek/logging2012enc.pdf>)

2.2 Διαγραφίες φυσικού δυναμικού

Η τεχνική αυτή είναι γνωστή και σαν Self Potential (SP) logging και συνίσταται στη συνεχή καταγραφή των μεταβολών του φυσικού δυναμικού κατά μήκος μιας γεώτρησης.

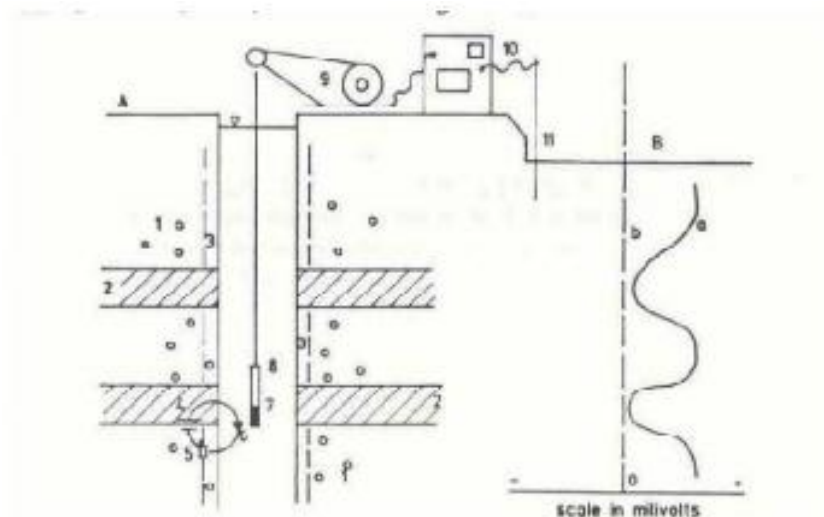
Στις καμπύλες φυσικού δυναμικού καταγράφεται το δυναμικό το οποίο παράγεται από την αλληλεπίδραση του νερού των σχηματισμών της αγώγιμης γεωτρητικής λάσπης και πετρωμάτων. Συνήθως στην καμπύλη φυσικού δυναμικού καταγράφεται η διαφορά δυναμικού μεταξύ του κινούμενου μέσα στη γεώτρηση ηλεκτροδίου σε σχέση με ένα σταθερό τοποθετημένο στην επιφάνεια ηλεκτρόδιο.

Το φυσικό δυναμικό οφείλεται στο συνδυασμό ηλεκτροχημικών φαινομένων. Το σπουδαιότερο είναι το δυναμικό μεμβράνης το οποίο δημιουργείται κυρίως στην επαφή σχιστολίθων-ψαμμιτών.

Ένα ακόμη δυναμικό εμφανίζεται στην επαφή του διηθήματος της γεωτρητικής λάσπης και του νερού του σχηματισμού το οποίο ονομάζεται δυναμικό επαφής.

Τέλος η χρήση της μεθόδου βοηθά

- Στη διαφοροποίηση σχιστολίθων (αδιαπεράτων) και ψαμμιτών ή ανθρακικών (περατών) σχηματισμών
- Στον υπολογισμό της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης του νερού που βρίσκεται στον γεωλογικό ορίζοντα
- Στον υπολογισμό των αργιλικών προσμίξεων των διαπερατών σχηματισμών.



Σχήμα 2.3:Μετρήσεις φυσικού δυναμικού σε γεώτρηση
(<http://seismo.geology.upatras.gr/greek/logging2012enc.pdf>)

2.3 Διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας

Οι ραδιενεργές διαγραφίες βασίζονται στην ανίχνευση στοιχειωδών σωματιδίων που εκπέμπονται από τον πυρήνα ενός ατόμου. Τις κυριότερες διαγραφίες φυσικής ραδιενέργειας αποτελούν η διαγραφή ακτίνων γάμμα (Gamma Ray Log) και η διαγραφή φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα (Natural Gamma Ray Spectrometry Log, NGS) .

Ένα από τα σημαντικά πλεονεκτήματα των ραδιενεργών διαγραφιών είναι ότι μπορούν να εκτελεστούν και μέσα σε σωληνωμένες γεωτρήσεις. Συχνά χρησιμοποιείται σαν συμπληρωματική της διαγραφίας φυσικού δυναμικού και επίσης αντικαθιστά τη διαγραφία φυσικού δυναμικού όταν η γεωτρητική λάσπη έχει υψηλή συγκέντρωση διαλυμένων αλάτων ή έχει σαν βάση το πετρέλαιο.

Η κυριότερη εφαρμογή των διαγραφιών φυσικής ραδιενέργειας είναι ο εντοπισμός στρωμάτων αργιλικού σχιστόλιθου και στρωμάτων που περιέχουν αργιλικές προσμίξεις.

2.3.1 Διαγραφίες ακτίνων γάμμα

Οι διαγραφίες φυσικής ακτινοβολίας γάμμα καταγράφουν την φυσική ακτινοβολία γάμμα που προέρχεται από τους σχηματισμούς που περιβάλλουν την γεώτρηση. Πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από τον πυρήνα ενός ασταθούς στοιχείου (ισοτόπου) όταν αυτό μεταπίπτει σε μια πιο σταθερή κατάσταση.

Τα πιο συνηθισμένα ραδιενεργά στοιχεία στα οποία οφείλεται η φυσική ακτινοβολία γάμμα είναι το κάλιο ^{40}K , το ουράνιο ^{238}U και το θόριο ^{232}Th .

2.3.2 Διαγραφίες φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα

Η διαγραφία φασματοσκοπίας ακτίνων γάμμα (NGS) καταγράφει όπως και η διαγραφία ακτίνων γάμμα την φυσική ραδιενέργεια των σχηματισμών. Ενώ με την διαγραφία ακτίνων γάμμα μετράται η ολική φυσική ραδιενέργεια, με τη διαγραφία 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:

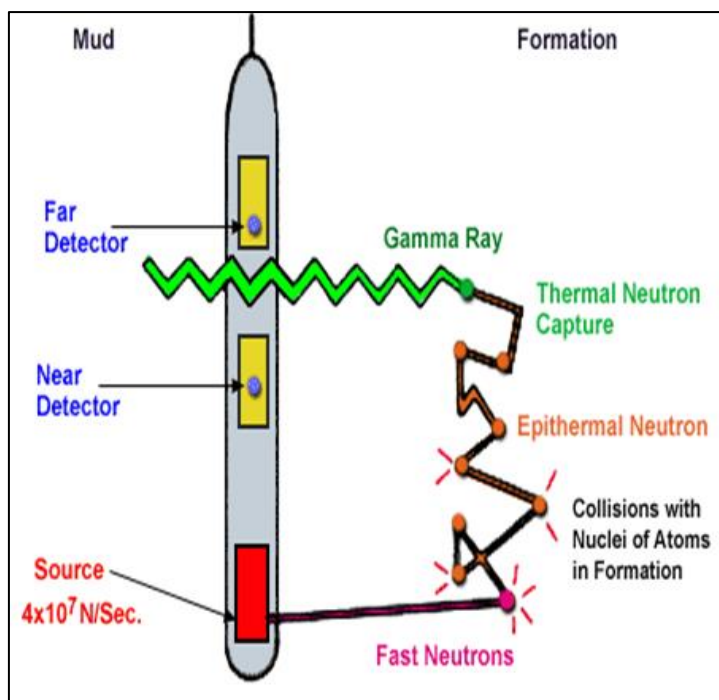
- του ^{40}K με χρόνο υποδιπλασιασμού 1.3×10^9 χρόνια,
- του ^{238}U με χρόνο υποδιπλασιασμού 2.14×10^9 χρόνια και
- του ^{232}Th με χρόνο υποδιπλασιασμού 1.4×10^{10} χρόνια

2.4 Διαγραφίες νετρονίων

Οι διαγραφίες νετρονίου χρησιμοποιούνται κυρίως στην μελέτη πορώδων σχηματισμών και στον υπολογισμό του πορώδους αυτών των σχηματισμών.

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή ο περιβάλλον στην γεώτρηση σχηματισμός βομβαρδίζεται με νετρόνια χρησιμοποιώντας κατάλληλη πηγή εκπομπής και γίνεται καταγραφή των σκεδαζόμενων νετρονίων. Τα νετρόνια που εκπέμπονται σκεδάζονται από τα άτομα υδρογόνου που συνήθως βρίσκονται στο νερό το οποίο υπάρχει στο πορώδες των πετρωμάτων.

Οι διαγραφίες νετρονίου είναι πολύ χρήσιμες στον εντοπισμό πετρωμάτων μεγάλου πορώδους και αυτό διαφαίνεται από το ότι όσο πιο μεγάλο είναι το πορώδες ενός πετρώματος και όσο μεγαλύτερος ο βαθμός πλήρωσής του από ρευστά (κυρίως νερό αλλά και υδρογονάνθρακες με μεγάλη αναλογία υδρογόνου στο μόριό τους, π.χ. το φυσικό αέριο), τόσο μικρότερος θα είναι ο αριθμός των καταγραφόμενων στους δέκτες νετρονίων. (σχήμα 2.4)



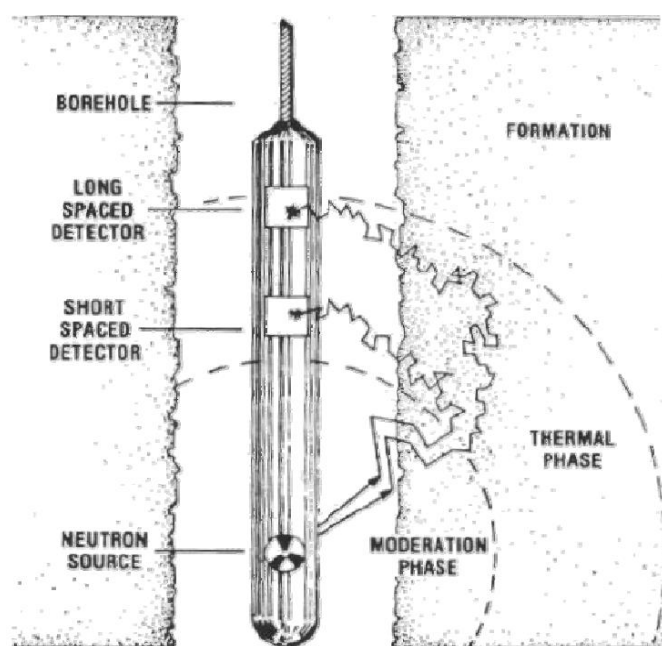
Σχήμα 2.4:Οβίδα μέτρησης διαγραφιών νετρονίων
(<http://seismo.geology.upatras.gr/greek/logging2012enc.pdf>)

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. 2.5). 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 ενέργειά 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

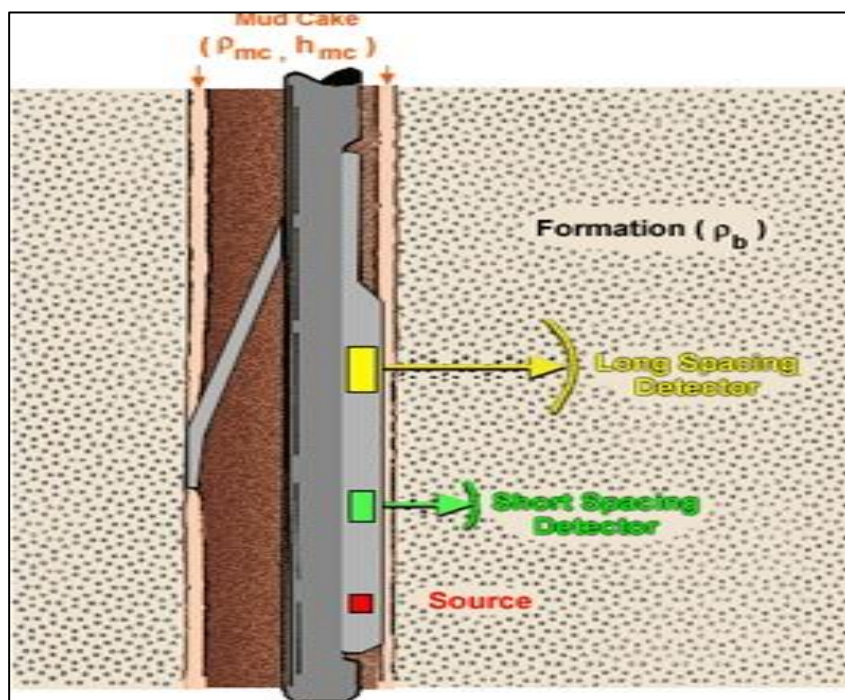


Σχήμα 2.5: Σκαρίφημα συσκευής δυο ανιχνευτών με πηγή νετρονίου για προσδιορισμό του πορώδους (Βαφείδης, 2011)

Οι συσκευές διαγραφίων 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 είναι κορεσμένος με νερό.

2.5 Διαγραφίες πυκνότητας

Οι διαγραφίες πυκνότητας πρόκειται για γραφήματα της πυκνότητας συναρτήσει του βάθους από τις οποίες κατά κύριο λόγο προσδιορίζεται το πορώδες. Οι διαγραφίες πυκνότητας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για την ερμηνεία των βαρυτικών και σεισμικών δεδομένων. Σε συνδυασμό με τις ακουστικές διαγραφίες χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των σχηματισμών.



Σχήμα 2.6: Οβίδα μέτρησης διαγραφίων γάμμα-γάμμα (Βαφείδης 2011)

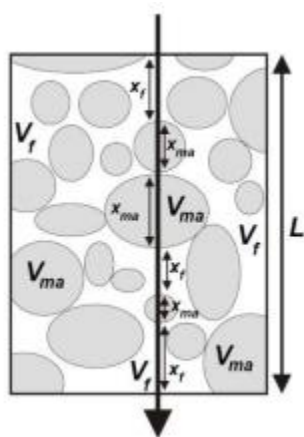
Η συσκευή περιλαμβάνει μία ραδιενεργή πηγή η οποία εφάπτεται στο τοίχωμα της γεώτρησης προς την κατεύθυνση του οποίου εκπέμπει μέσης ενέργειας ακτίνες γάμμα. Αυτές μπορούν να θεωρηθούν ως σωματίδια υψηλής ταχύτητας, τα οποία συγκρούονται με τα ηλεκτρόνια του σχηματισμού. Σε κάθε σύγκρουση η ακτίνες

γάμμα χάνουν ένα ποσοστό της ενέργειας 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 Ακουστικές διαγραφίες

Αυτή η τεχνική μας βοηθά να μετρήσουμε τον απαιτούμενο χρόνο διάδοσης σεισμικού κύματος μεταξύ δύο σημείων των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Ο χρόνος διάδοσης του σεισμικού κύματος εξαρτάται τόσο από το πορώδες όσο και από τη λιθολογία του σχηματισμού. Στη περίπτωση στην οποία η λιθολογία είναι γνωστή, οι ακουστικές διαγραφίες γίνονται ιδιαίτερα χρήσιμες για την εκτίμηση του πορώδους. Σε αυτή τη μέθοδο καταγράφεται και ο συνολικός χρόνος διαδρομής του ακουστικού κύματος, ο οποίος ισούται με το άθροισμα του χρόνου διαδρομής Δt .



Σχήμα 2.7: Η διαδρομή ενός σεισμικού παλμού μέσα από ένα πορώδες κορεσμένο πέτρωμα
(<http://seismo.geology.upatras.gr/greek/logging2012enc.pdf>)

Στον παρακάτω πίνακα (2.1) παρουσιάζονται ταχύτητες που χρησιμοποιούμε για την ανάλυση των ακουστικών διαγραφιών για τους κυριότερους γεωλογικούς σχηματισμούς.

Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ανάλυσης ακουστικών διαγραφιών

	V_{ma} (m/s)	Δt_{ma} (μs/m)
Ψαμμίτης	5.5 – 5.95	182 – 167
Ασβεστόλιθος	6.4 – 7	156 – 143
Δολομίτης	7.0	145
Ανυδρίτης	6.1	164
Αλάτι	4.57	219
Φρέσκο νερό στη ζώνη διείσδυσης	1.61	620
Αλμυρό νερό στη ζώνη διείσδυσης	1.65	607
Φυσικό αέριο	0.33	3018
Πετρέλαιο	1.32	755
Σωλήνωση (σίδηρος)	5.33	187

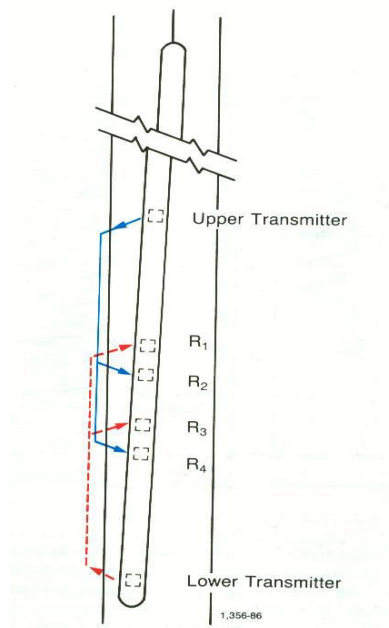
2.6.1 Συσκευές ακουστικών διαγραφιών

Οι κυριότερες συσκευές ακουστικών διαγραφών είναι: η BHC (Borehole Compensated Sonic Tool), η LSS (Long Spaced Sonic Tool) και η συσκευή Array-Sonic.

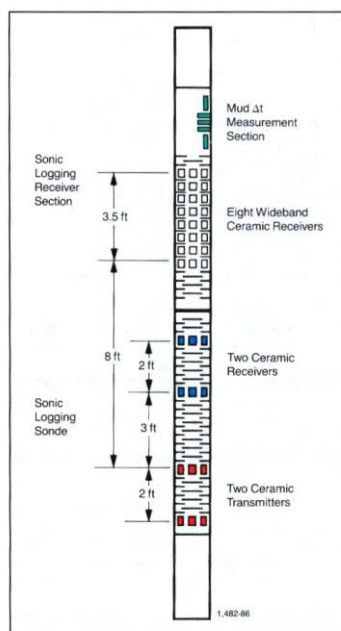
Η συσκευή BHC αποτελείται από δύο πηγές ακουστικών κυμάτων και τέσσερα γεώφωνα και είναι εφοδιασμένη με κατάλληλο σύστημα καταγραφής των πρώτων αφίξεων (επιμήκη μετωπικά κύματα). Το μετρούμενο μέγεθος είναι η διαφορά των χρόνων διαδρομής των επιμηκών μετωπικών κυμάτων, τα οποία φτάνουν σε δύο γεώφωνα που απέχουν 1ft και παρίσταται με το Δt .

Στη συσκευή LSS, οι αποστάσεις πηγής-γεωφώνων είναι 8ft και 10ft ή 10ft και 12ft. Οι μετρούμενοι χρόνοι διαδρομής Δt , αναφέρονται σε επιμήκη μετωπικά κύματα μεγαλύτερου βάθους διείσδυσης σε σχέση με τα αντίστοιχα της συσκευής BHC. Οι μετρήσεις με τη συσκευή LSS είναι απαλλαγμένες από τις επιδράσεις του εξαλλοιωμένου τμήματος του σχηματισμού. Αυτές οι πιο ακριβείς ακουστικές διαγραφίες είναι απαραίτητες στην επεξεργασία και ερμηνεία των σεισμικών δεδομένων ανάκλασης.

Με τη συσκευή Array-Sonic πραγματοποιούνται μετρήσεις του χρόνου διαδρομής Δt αλλά και καταγραφές των σειсмоγραμμάτων. Η συσκευή περιλαμβάνει δύο πηγές πιεζοηλεκτρικού τύπου και τρεις διατάξεις γεωφώνων.



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))



Σχήμα 2.9:Ακουστική συσκευή οκτώ δεκτών (Schlumberger Educational Services (1991))

2.7 Ηλεκτρικές διαγραφίες

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση αποτελεί ίσως την πιο χρήσιμη φυσική παράμετρο στον υπολογισμό του βαθμού κορεσμού σε υδρογονάνθρακες. Πιο συγκεκριμένα ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το σχηματισμό λόγω της ύπαρξης νερού μέσα στους πόρους του και υπό την προϋπόθεση ότι το νερό περιέχει διαλυμένα άλατα.

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του γεωλογικού σχηματισμού εξαρτάται από

- Την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού του σχηματισμού
- Την ποσότητα του νερού και
- Την γεωμετρία των πόρων

Οι τιμές της κυμαίνονται από 0.2-1000 Ωm . Αν ένας σχηματισμός είναι κορεσμένος σε αλατούχο νερό έχει μικρή αντίσταση, αν είναι κορεσμένο σε καθαρό νερό τότε η αντίστασή του είναι σχετικά υψηλότερη και τέλος αν είναι κορεσμένη σε πετρέλαιο η αντίστασή του είναι πολύ υψηλή.

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο ηλεκτρικό ρεύμα διαβιβάζεται στο σχηματισμό με δύο ηλεκτρόδια ρεύματος και μετριέται η διαφορά δυναμικού που δημιουργεί το ρεύμα με δύο ηλεκτρόδια δυναμικού.

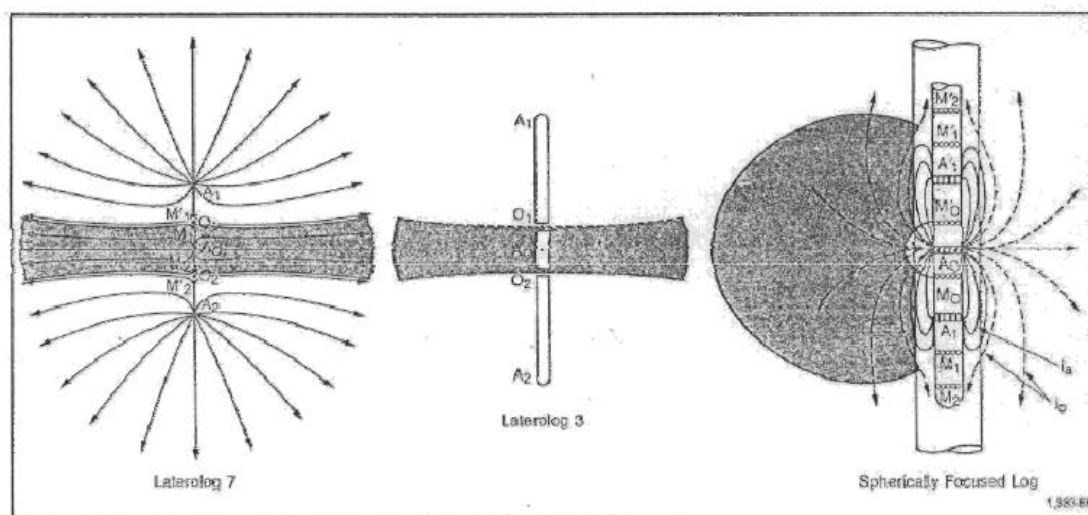
Οι ηλεκτρικές διαγραφίες χωρίζονται σε

- Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης και
- Ηλεκτρικές διαγραφίες επαγωγής

2.7.1 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).

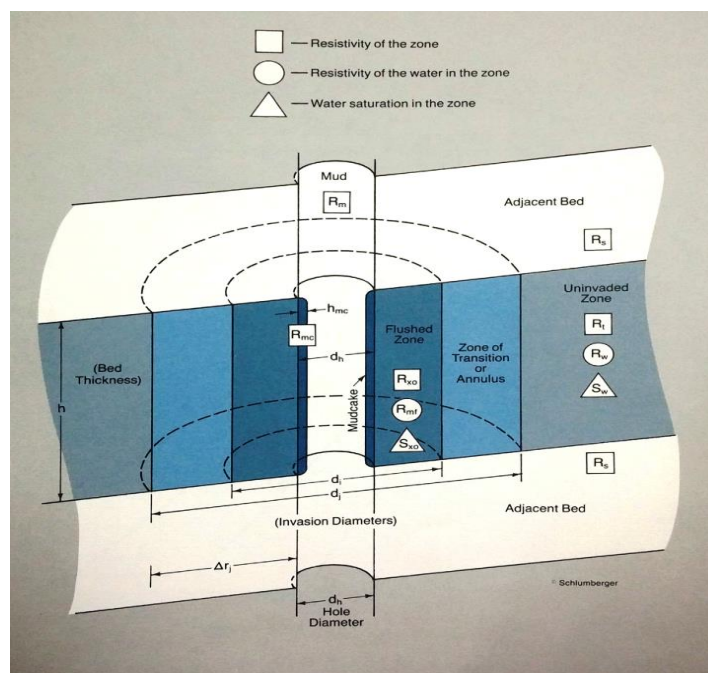
Ηλεκτρικές διαγραφίες εστίασης πραγματοποιούνται με συσκευές LATEROLOG και συσκευές σφαιρικής εστίασης (SFL). Τα συστήματα ηλεκτροδίων εστίασης σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να παρουσιάζουν μικρή, ενδιάμεση ή μεγάλη διεισδυτική ικανότητα. Οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης με συσκευές μικρής διεισδυτικής ικανότητας (π.χ. SFL, LATEROLOG 8) χρησιμοποιούνται, για την εκτίμηση της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης στη ζώνη διείσδυσης (R_{xo}). Από τις ενδιάμεσες και μεγάλης διεισδυτικής ικανότητας συσκευές (LATEROLOG 7, LATEROLOG 3) εκτιμάται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (R_t). (σχ 2.10)



Σχήμα 2.10: Σχηματική παράσταση της εστίασης του ηλεκτρικού (Schlumberger Educational Services (1991)).

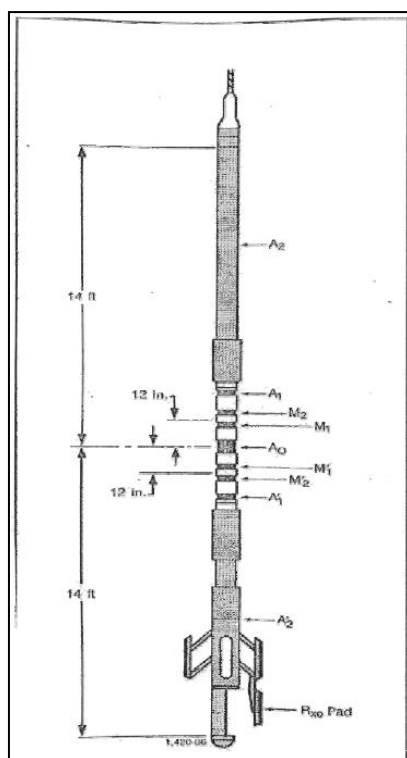
Στο σχήμα 2.11, γίνεται διαχωρισμός του σχηματισμού σε κυλινδρικά τμήματα τα οποία είναι ομοαξονικά της συσκευής. Σχεδόν όλες οι μετρήσεις της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σήμερα, εκτελούνται με συσκευές επαγωγής και εστίασης. Επίσης έτσι εκφράζεται η συνολική αγωγιμότητα και ο γεωμετρικός παράγοντας συγκεκριμένης ζώνης.

Ο γεωμετρικός παράγοντας εκφράζει το πόσο το τμήμα του σχηματισμού, τον οποίο περικλείει κύλινδρος με άξονα τη γεώτρηση και συγκεκριμένη διάμετρο, επηρεάζει την μέτρηση.



Σχήμα 2.11: 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) (σχ. 2.12), η οποία χρησιμοποιεί σύστημα διπλής εστίασης, μία με μεγάλη διεισδυτική ικανότητα (LLD) και μία με μικρή διεισδυτική ικανότητα (LLS). Η λειτουργία του στηρίζεται στη διαβίβαση του ρεύματος διασκόπησης σε λεπτό δίσκο (κυλινδρικό) τμήμα του σχηματισμού με τη χρήση ηλεκτροδίων. Από τα ηλεκτρόδια διαβιβάζεται ρεύμα στους γειτονικούς σχηματισμούς έτσι ώστε η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων να παραμένει μηδέν.



Σχήμα 2.12: Σχηματική παράσταση της συσκευής Dual Laterlog (Schlumberger Educational Services (1991))

2.7.2 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 αντίστασης. Για μη

αγώγιμη 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 αγώγιμη λάσπη χρησιμοποιούνται συσκευές εστίασης.

Η συσκευή επαγωγής, λόγω του ότι είναι ευαίσθητη στην ειδική ηλεκτρική 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 Η μέθοδος dual water

Το μοντέλο διπλού νερού (dual water) ξεκίνησε τον Μάιο 1983 και τροποποιήθηκε σε περίοδο 10 μηνών έτσι ώστε να καλύψει ποικιλία περιπτώσεων. Σκοπός αυτού του μοντέλου είναι να εξηγήσει την αντίσταση που εμφανίζει η αργιλώδης άμμος. Από πετροφυσικής πλευράς, ο αργιλώδης σχηματισμός χαρακτηρίζεται από την πυκνότητα, τον παράγοντα σχηματισμού, τον βαθμό κορεσμού σε νερό, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και το ολικό πορώδες. Ο σχηματισμός συμπεριφέρεται σαν καθαρός σχηματισμός (χωρίς αργλικές προσμίξεις μέσα στο πορώδες του σχηματισμού) με πανομοιότυπες παραμέτρους Φ_i (πορώδες), F_o (συντελεστής σχηματισμού) και S_{wt} (βαθμός κορεσμού σε νερό), αλλά περιέχει νερό του οποίου η αγωγιμότητα C_{we} διαφέρει από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού.

Το 1968, οι Waxman & Smits πρότειναν, βάσει της εργαστηριακής δουλειάς τους και της θεωρητικής γνώσης τους, μία σχέση μεταξύ βαθμού κορεσμού σε νερό και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης για σχηματισμούς, η οποία συνδέει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση με την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC). Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε δύο αρχές:

- Η αγωγιμότητα της αργίλου υπάρχει εξαιτίας του CEC του.
- Το CEC της καθαρού αργίλου είναι αναλογικό με την επιφάνεια του αργίλου.

Στα αλμυρά διαλύματα, τα ανιόντα δεν εμφανίζονται στην επιφάνεια του κόκκου.

Η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων (CEC) είναι ένα μέτρο για το πόσα κατιόντα μπορούν να διατηρηθούν στις επιφάνειες σωματιδίων του εδάφους. Τα αρνητικά φορτία στις επιφάνειες των σωματιδίων του εδάφους δεσμεύουν θετικά φορτισμένα άτομα ή μόρια (κατιόντα), αλλά επιτρέπουν σε αυτά να ανταλλάσσονται με άλλα

κατιόντα. Αυτός είναι ένας από τους τρόπους με τους οποίους τα στερεά υλικά στο έδαφος μεταβάλλουν τη χημεία του νερού του εδάφους. Το CEC επηρεάζει πολλές πτυχές της χημείας του εδάφους και χρησιμοποιείται ως μέτρο γονιμότητας του εδάφους, καθώς δείχνει την ικανότητα του εδάφους να διατηρεί διάφορες θρεπτικές ουσίες (Morisson 1989) & (Anderson B. et al .ELMOD. (1989))

2.8.1 Θεωρία του Μοντέλου DW

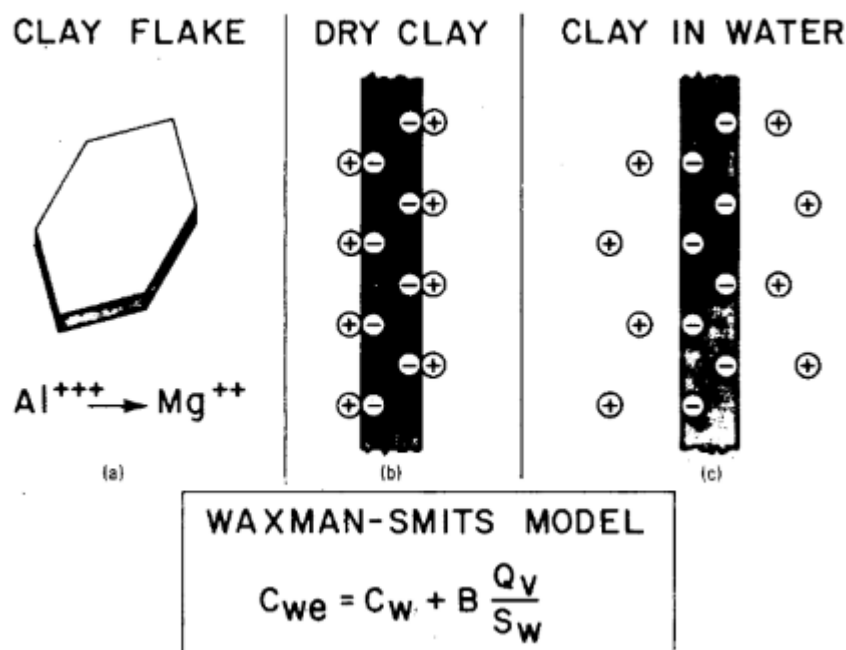
Οι άργιλοι είναι συνήθως σωματίδια που μοιάζουν με φύλλα και χαρακτηρίζονται από μια πολύ μεγάλη επιφάνεια σε σύγκριση με τον όγκο τους. Αυτά τα φύλλα αργίλου δημιουργούνται με το στοίβαγμα δύο ή τριών στρώσεων από οκτάεδρα αλουμινίου ή τετράεδρα πυριτίου. Συχνά υπάρχει πλεόνασμα αρνητικά φορτισμένων φορτίων μέσα στο φύλλο αργίλου που οφείλεται συνήθως στην αντικατάσταση των Mg^{++} με Al^{+++} οκταεδρικού πλέγματος. Είναι απαραίτητο να εξισορροπηθεί αυτή η τοπική ηλεκτρική ανισορροπία για να διατηρηθεί η ηλεκτρική ουδετερότητα του σωματιδίου της αργίλου. Η εξισορρόπηση γίνεται με θετικά ιόντα ή αντίθετα ιόντα που προσκολλούνται στην επιφάνεια των φύλλων αργίλου στην ξηρή κατάσταση (σχήμα 2.13). Το θετικό φορτίο που δημιουργείται, ίσο με το εσωτερικά αρνητικό έλλειμμα, είναι ένα μόνιμο χαρακτηριστικό της αργίλου που ονομάζεται ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων. Η ικανότητα αυτή μετράται σε meq ανά 100 γραμμάρια ξηρού υλικού.

Όταν τα μόρια αργίλου βυθίζονται σε διάλυμα ηλεκτρολυτών, οι δυνάμεις Coulomb που συγκρατούν τα κατιόντα στην επιφάνεια της αργίλου μειώνονται δραστικά από την υψηλή διηλεκτρική διαπερατότητα του νερού. Τα κατιόντα φεύγουν από την επιφάνεια της αργίλου και κινούνται σχετικά ελεύθερα στο νερό, συμβάλλοντας έτσι στην ηλεκτρική αγωγιμότητα του νερού και επομένως, αυξάνουν την αγωγιμότητα του πετρώματος. Αυτή η πρόσθετη αγωγιμότητα είναι ανάλογη με τη συγκέντρωση των κατιόντων στο νερό. Δηλώνεται σε meq/mL της συνολικής πυκνότητας της ύλης. Εξαιτίας της κινητικότητας των κατιόντων αργίλου στο νερό, μπορούν να αντικατασταθούν με οποιοδήποτε άλλο κατιόν σε ηλεκτρολύτη, εφόσον διατηρείται η ηλεκτρική ισορροπία.

Παρά την κινητικότητά τους, τα κατιόντα της αργίλου δεν κατανέμονται ομοιόμορφα στο νερό. Παραμένουν συγκεντρωμένα κοντά στην επιφάνεια της αργίλου καθώς

αδρανοποιούν το αρνητικό φορτίο, αλλά παράλληλα διατηρούνται σε απόσταση από αυτήν εφόσον τα μόρια νερού απορροφώνται στην επιφάνεια του αργίλου ή περιβάλλουν τα κατιόντα. Ως αποτέλεσμα, τα κατιόντα διαχωρίζονται από την άργιλο με μία λεπτή στρώση νερού την οποία δεν διαπερνούν τα ιόντα.

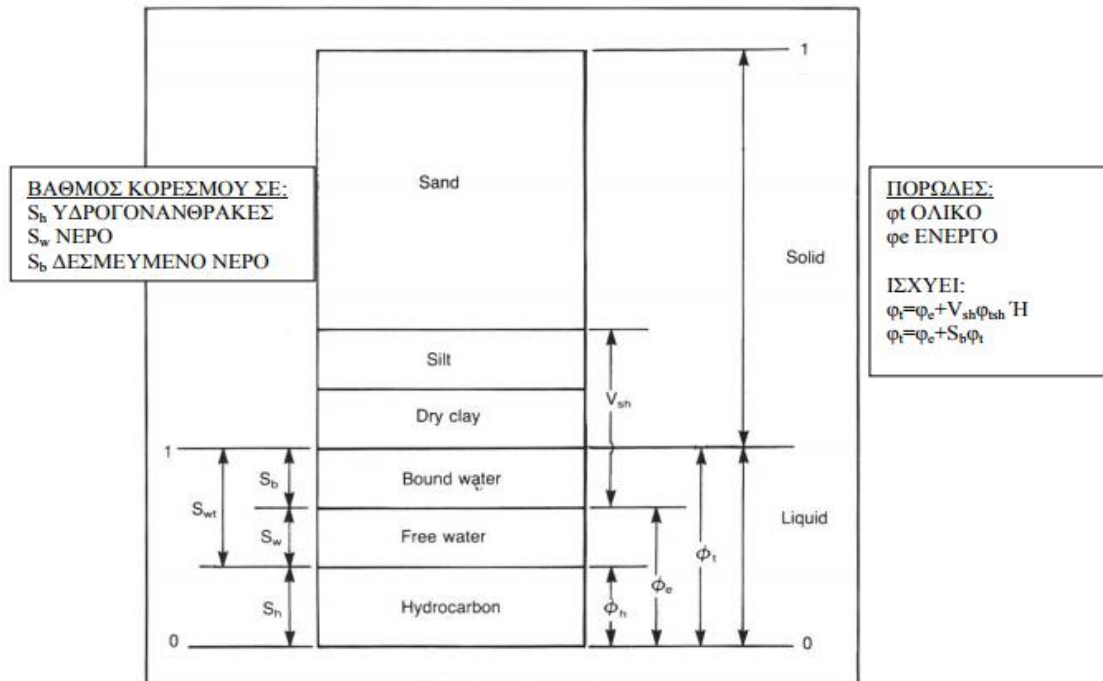
Η ύπαρξη νερού χωρίς ιόντα γύρω από τα σωματίδια της αργίλου δεν πρέπει να προκαλεί έκπληξη. Το γεγονός ότι η αγωγιμότητα ή η χλωριότητα του νερού σε κάποιους σχιστόλιθους είναι μικρότερη από αυτή στα περιβάλλοντα ύδατα οφείλεται σε αυτό, αν και ύδατα πλούσια σε ιόντα δεν έχουν αναφερθεί. Συμπερασματικά, έχει αποδειχτεί με πειράματα ότι τα ανάλατα ύδατα συμπιέζονται από αργίλους με αλμυρό νερό σε πολύ υψηλές πιέσεις. Πρόσθετα, οι διογκωμένοι άργιλοι είναι οι πιο συνήθεις αποδείξεις της επέκτασης της στρώσης χωρίς ιόντα όταν αλλάζει η αλμυρότητα του νερού.



Σχήμα 2.13:Απεικόνιση σωματιδίων αργίλου(Crain's Handbook, Theoretical and Experimental Bases for the Dual-Water Model for Interpretation of Shaly Sands)

Στις γεωτρήσεις παρατηρείται το στερεό και το υγρό κομμάτι (solid-liquid). Το στερεό αποτελείται από ψαμμίτες, ιλείς, και αργίλους, ενώ το υγρό από το δεσμευμένο στις αργίλους νερό, το ελεύθερο νερό και τους υδρογονάνθρακες. Στον όγκο των

αργιλικών προσμίξεων εμπεριέχοντω οι ιλείς οι άργιλοι καθώς και το δεσμευμένο νερό. Οι βαθμοί κορεσμού είναι αποτέλεσμα και του δεσμευμένου και του ελεύθερου νερού. (σχ.2.14)



Σχήμα 2.14: Dual Water Model (Βαφείδης, 2011)

- 100% κορεσμένο σε νερό

$$C_{we} = C_w(1 - S_b) + C_b S_b$$

Όπου C_w και C_{we} η αγωγιμότητα του νερού του σχηματισμού και η αντίστοιχη ενεργός αγωγιμότητα C_b και S_b είναι η αγωγιμότητα του δεσμευμένου νερού του σχηματισμού και ο βαθμός κορεσμού σε αυτό αντίστοιχα.

- Έχουμε $S_{wt} \neq 1$. Τότε $C_{we} = C_w(1 - S_b/S_{wt}) + C_b S_b/S_{wt}$

$$\text{Και } C_t = (S_{wt} \phi_t)^2 [C_w(1 - S_b/S_{wt}) + C_b S_b/S_{wt}]$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις και αν αντικαταστήσουμε τις αγωγιμότητες με αντιστάσεις ($C = 1/R$) προκύπτει:

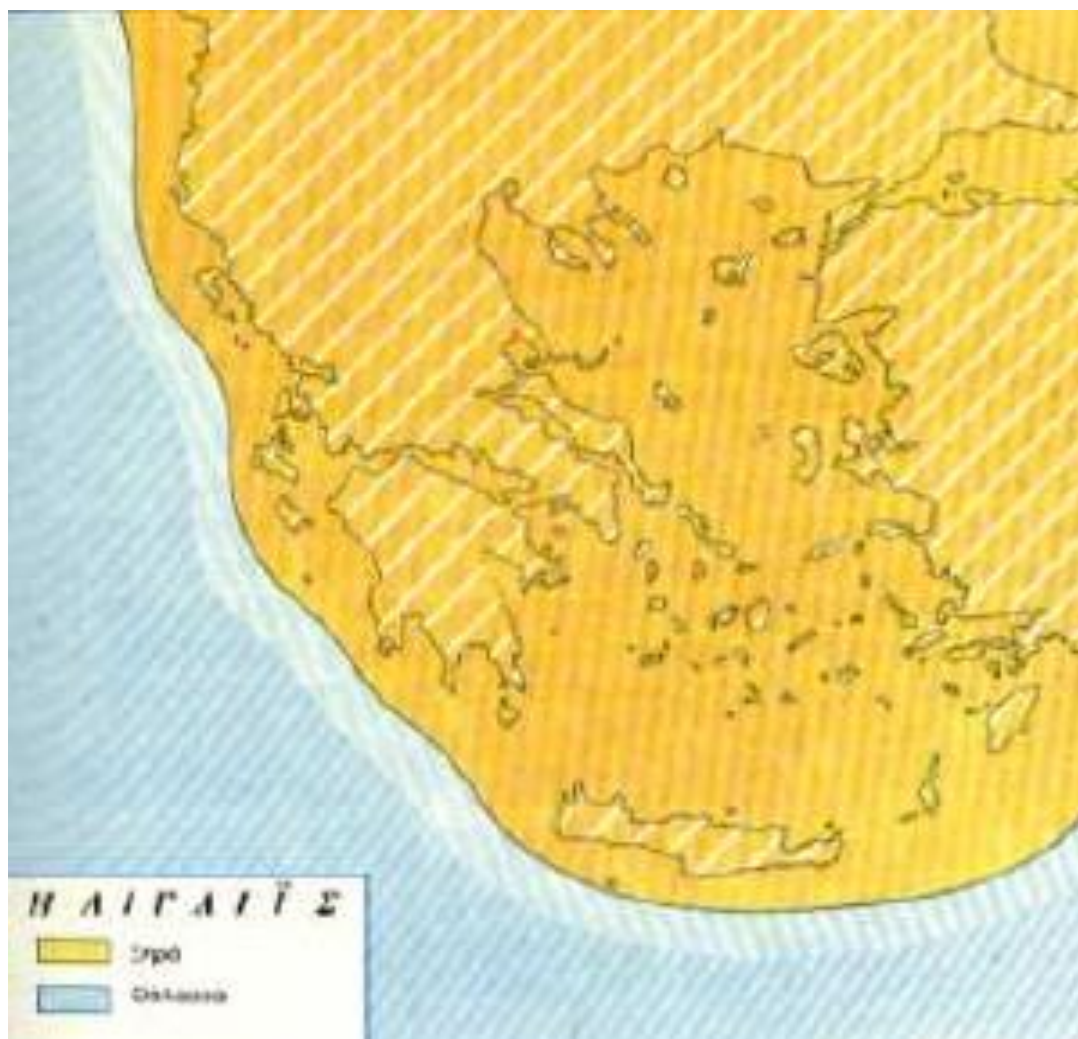
$$S_{wt}^2 - S_{wt} S_b (1 - R_w/R_b) = R_w / (R_t \phi_t^2)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ

(Πουλάκης Παναγιώτης, 2008)

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..



Σχήμα 3.1: Η χώρα της Αιγίδας (http://exereuniseis-ghs.blogspot.gr/2013/05/blog-post_7749.html)

Η χώρα της Αιγίδας, όπως είναι γνωστό, καταλαμβάνει το χώρο όπου η Αφρικανική πλάκα βυθίζεται κάτω από την Ευρασιατική, με αποτέλεσμα η εξέλιξη του Αιγαίου χώρου να εξαρτάται άμεσα από τις πολυσύνθετες διεργασίες της καταβύθισης. Βασικές αλλαγές και πολύπλοκα γεωλογικά γεγονότα έλαβαν χώρα στη διαμόρφωση των λεκανών και της παλαιογεωγραφικής τους εξέλιξης κατά την διάρκεια του Ανώτερου Καινοζωικού, δηλαδή των τελευταίων 23 εκατομ. χρόνων περίπου.

Κατά την περίοδο, λοιπόν, του Κατώτερου Μειόκαινου (Ακουιτάνιο), πριν από 22,5 εκατ. χρόνια, ο Αιγαίος χώρος παρουσιάζει μια εικόνα διαφορετική από την σημερινή αλλά όμως αρχίζει να εμφανίζεται μια βόρεια θαλάσσια Αιγαιακή λεκάνη καθώς επίσης και στη περιοχή των Κυκλάδων, στο κεντρικό τμήμα υπάρχει η πελαγονική χερσαία μάζα στο μέσο της οποίας δημιουργείται μια εσωτερική λεκάνη γλυκών και υφάλμυρων υδάτων. Επίσης, στα ανατολικά της ευρύτερης αυτής περιοχής αναπτύσσεται μια ηφαιστειακή ζώνη. Στο Μέσο-Μειόκαινο και συγκεκριμένα στη περίοδο μεταξύ Λάγγιου- Σερραβαλλίου, πριν από 15 εκατ. χρόνια περίπου, ολόκληρος σχεδόν ο Ελλαδικός χώρος, προφανώς και το Αιγαίο, χερσεύει και αποτελεί με την Μικρά Ασία, που επίσης χερσεύει, μια ξηρά. Η θάλασσα αποσύρεται περιφερειακά και εξαπλώνεται από το Ιόνιο έως τα νότια της Κρήτης και των Δωδεκανήσων. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να έχουμε σε διάφορες περιοχές απόθεση λιμναίων και χερσαίων ιζημάτων ενώ απόθεση θαλάσσιων ιζημάτων όπου υπήρχε θάλασσα.

Στο Ανώτερο Μειόκαινο (Τορτόνιο), πριν από 10 εκατ. χρόνια, η θάλασσα εισβάλλει από τα νότια σε ολόκληρο σχεδόν το χώρο του σημερινού Αιγαίου πελάγους. Χέρσος παρέμεινε η περιοχή των Κυκλάδων που αποτελούσε συνέχεια της ηπειρωτικής Ελλάδας καθώς επίσης και περιοχές του Ανατολικού Αιγαίου όπως τα νησιά Λέσβος, Χίος, Σάμος κ.α. και αποτελούσαν συνέχεια της ξηράς με την Μικρά Ασία. Οι παλαιογεωγραφικές συνθήκες όμως αλλάζουν πολύ γρήγορα και σε μεγάλη έκταση και έτσι κατά το Ανώτερο Μειόκαινο (Μεσσήνιο) πριν από 8 εκατομ χρόνια, η Μεσόγειος περιορίζεται σε επιμέρους λεκάνες. Αυτό οφείλεται στην απομόνωση της Μεσογείου από τους γειτονικούς ωκεανούς με το κλείσιμο των σημείων επικοινωνίας με αυτούς. Η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται είναι μεγαλύτερη από την ποσότητα των νερών που εισρέει στη Μεσόγειο από τους ποταμούς των γειτονικών

ξηρών. Έτσι, δημιουργείται η κρίση αλμυρότητας σε ολόκληρο τη Μεσόγειο και στο Αιγαίο φυσικά. Σε πολλές περιοχές στο Αιγαίο έχουμε απόθεση εβαποριτών όπως στη θαλάσσια περιοχή της Θάσου, στις Βόρειες Σποράδες, στη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Κυκλάδων και Χίου, βόρεια και ανατολικά της Κρήτης και στο Ιόνιο πέλαγος.



Σχήμα 3.2:Εξέλιξη του Αιγαίου (http://exereuniseis-ghs.blogspot.gr/2013/05/blog-post_7749.html)

Στην ίδια περίπου περίοδο, στο χερσαίο Ελλαδικό χώρο είχαμε απόθεση ποταμοχειμάρριων υλικών και λιμναίων ιζημάτων. Επίσης, είχαμε μια χαρακτηριστική χερσαία φάση ερυθροχωμάτων που σε πολλές περιοχές φιλοξενούν απολιθώματα μεγάλων Σπονδυλωτών, όπως στο Πικέρμι στην Αττική, στη Σάμο, στην Εύβοια και αλλού. Κατά το τέλος του Μειόκαινου-Κατώτερο Πλειόκαινο, πριν από 6 εκατ. χρόνια ο Αιγαιακός χώρος χερσεύει λόγω συμπιεστικών τάσεων και αποτελεί μια ενιαία χέρσο με την Ηπειρωτική Ελλάδα και την Μικρά Ασία. Η θάλασσα κατά την περίοδο αυτή έχει αποσυρθεί νοτιότερα και εκτείνεται από το Ιόνιο, και την περιοχή της Κρήτης μέχρι Δωδεκάνησα. Στο βόρειο Αιγαίο αρχίζει να εισβάλλει η Παρατηθύς. Κατά το Ανωτ. Πλειόκαινο, πριν από 3.5 εκατ. χρόνια η τεκτονική δράση εκφράζεται με εφελκυσμό, έτσι δημιουργούνται νέα ρήγματα ή επαναδραστηριοποιούνται παλαιά με αποτέλεσμα να ακολουθήσει εκτεταμένη επίκλυση της θάλασσας. Στο τέλος του Πλειόκαινου, αρχές του Πλειστόκαινου πριν από 1,8 εκατ. χρόνια, η θάλασσα αποσύρεται προς τα νότια και σχηματίζονται λίμνες στο βόρειο και κεντρικό Αιγαίο. Η τεκτονική στη περίοδο αυτή είναι συμπιεστική όχι όμως για μακρό χρονικό διάστημα.

Κατά την διάρκεια του Μέσου Πλειστόκαινου και μέχρι σήμερα, δηλαδή τα τελευταία 700 000 χρόνια ο εσωτερικός Ελλαδικός χώρος επηρεάζεται από μια νέα εφελκυστική

φάση με αποτέλεσμα την ανάδραση παλαιών ρηγμάτων και τη δημιουργία νέων, όπως στην Κω, Ρόδο, Κρήτη, κ.α. Αυτό συνεπάγεται επίκλυση της θάλασσας η οποία παίρνει σχεδόν την σημερινή της μορφή. Πιο συγκεκριμένα, πριν από 21 500 χρόνια η στάθμη της θάλασσας ήταν 120 μέτρα κάτω από την σημερινή στάθμη. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να υπάρχει ευρεία επικοινωνία μεταξύ των νησιών και της Ηπειρωτικής Ελλάδας αλλά και της Μικράς Ασίας. Στην περιοχή των Κυκλάδων σχηματίζεται μια εκτεταμένη ξηρά. Πριν από 11 500 χρόνια η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε και έφθασε στα -60 μέτρα από τη σημερινή στάθμη, με συνέπεια τη διακοπή επικοινωνίας πολλών περιοχών. Τέλος πριν από 8 000 χρόνια η στάθμη της θάλασσας φθάνει σχεδόν στο σημερινό επίπεδο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να κατακλυστούν πολλές χαμηλές χερσαίες περιοχές από θάλασσα και να διακοπούν οι επικοινωνίες μεταξύ των νησιών.

3.2 ΓΕΩΔΥΝΑΜΙΚΗ –ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

Η γεωδυναμική συμπεριφορά του Αιγαίου χώρου κατά το Νεογενές - Τεταρτογενές δεν ήταν μόνο αποτέλεσμα της καταβύθισης της Αφρικανικής πλάκας στα νότια της Κρήτης και δυτικά της Πελοποννήσου κάτω από την Αιγαιακή μικροπλάκα, αλλά ήταν ακόμη αποτέλεσμα και άλλων πλευρικών τάσεων. Αποτέλεσμα των συνθηκών αυτών ήταν ο Ελλαδικός χώρος να υποστεί διάφορες τεκτονικές φάσεις συμπίεσης και εφελκυσμού με άμεση συνέπεια τη πολλαπλή εισβολή της θάλασσας και την απόθεση θαλάσσιων ιζημάτων, ενώ παράλληλα είχαμε κατά θέσεις απόθεση λιμναίων και χερσαίων ιζημάτων. Η τεκτονική δραστηριότητα επομένως στη περιοχή του Αιγαίου ήταν πολύπλοκη, πολυσύνθετη με γρήγορες εναλλαγές φάσεων συμπίεσης και εφελκυσμού και έπαιξε τον πιο σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση του Αιγαίου χώρου όπως αυτός εμφανίζεται σήμερα.

3.3 Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ

Η λεκάνη του Πρίνου είναι η μόνη περιοχή στην Ελλάδα, όπως προαναφέρθηκε όπου παράγονται πετρέλαιο και αέριο και μάλιστα, για περισσότερο από εικοσιπέντε χρόνια. Ολόκληρη η λεκάνη βρίσκεται υποθαλάσσια, μεταξύ των νησιών Θάσου-Θασοπούλας και της απέναντι ηπειρωτικής χώρας, στη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, (μήκος 38km & πλάτος 20km). Καλύπτει περίπου 800km² της συνολικής περιοχής, ενώ το βάθος της θάλασσας δεν υπερβαίνει τα 50m. Παρέμεινε επάνω από τη στάθμη της θάλασσας κατά τη διάρκεια του κύκλου της Τηθύος και μόνο κατά τη διάρκεια του μέσου Μειόκαινου άρχισε να υποβυθίζεται, 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.

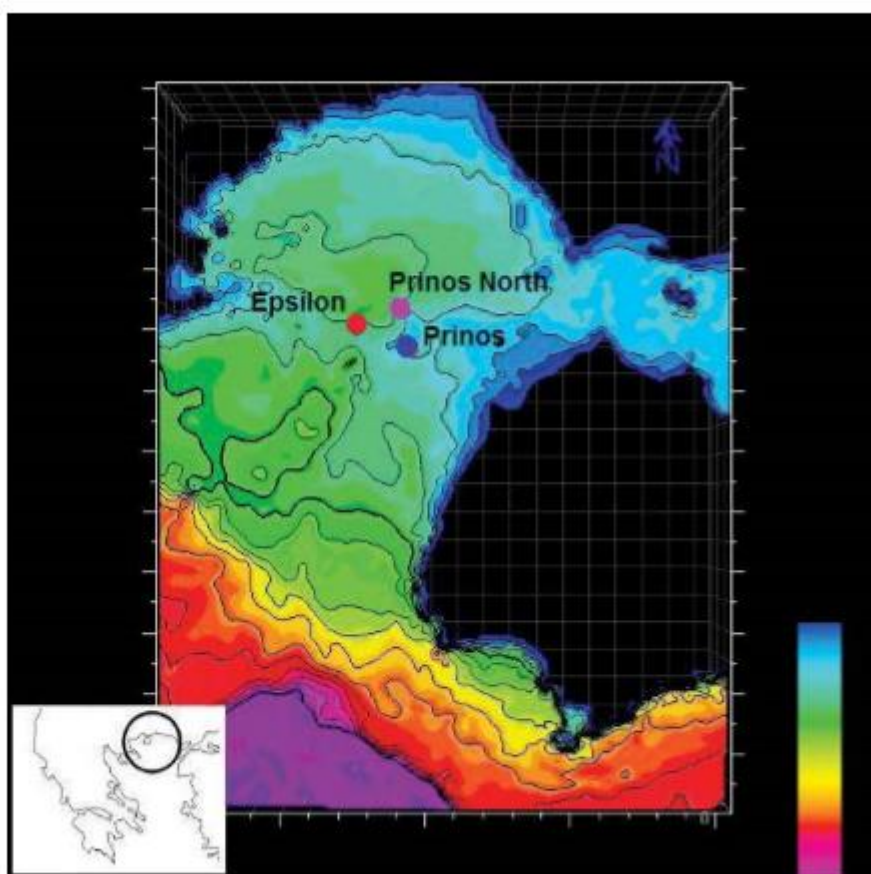
Η ταχύτατη ιζηματογένεση που έλαβε χώρα πριν και μετά το «Μεσσήνιο συμβάν», δημιούργησε τις προϋποθέσεις για τη συσσώρευση ενός μεγάλου πάχους ιζημάτων ηλικίας Μειόκαινου, Πλειόκαινου και Τεταρτογενούς, το οποίο ανήλθε στα 5000 μέτρα. Αυτό είχε ως συνέπεια την καλή συντήρηση της οργανικής ουσίας, η οποία αποτέλεσε την πηγή για την δημιουργία πετρελαίου. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για ύπαρξη υδρογονανθράκων στην περιοχή είναι η εμφάνιση των αντικλίνων και άλλων τύπων παγίδων. Αυτά βρίσκονται γύρω από το βαθύτερο μέρος της λεκάνης και σε αυτή και πραγματοποιήθηκε η παγίδευση πετρελαίου. Τα αντίκλινα που συναντώνται στην περιοχή είναι τύπου roll-over.

Στην περιοχή απαντώνται και στρωματογραφικές παγίδες πετρελαίου. Τέτοιες είναι τα μεγάλου πάχους στρώματα με υψηλή περιεκτικότητα σε αλάτι, κάτω από τα οποία είναι εγκλωβισμένο το πετρέλαιο εμποδίζοντας το να μεταναστεύσει. 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.

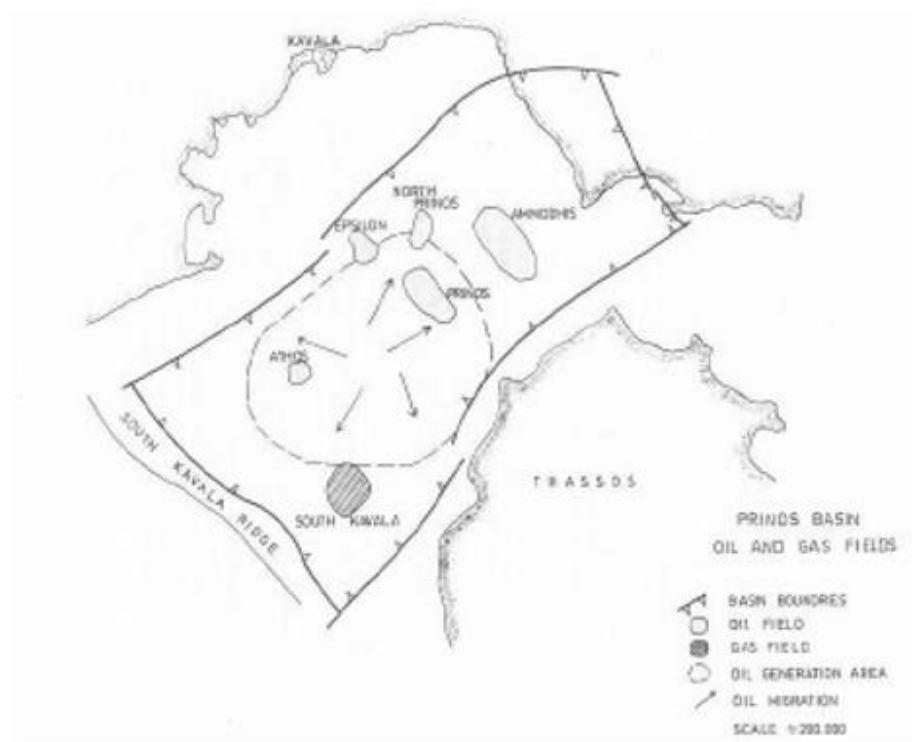
Κατά τη διάρκεια της ενεργοποίησης και μετακίνησης των ρηγμάτων, τα λεπτά υποστρώματα ανυδρίτη και ασβεστόλιθων της εβαποριτικής ζώνης στο βόρειο μισό της λεκάνης παρέμειναν διαρηγμένα, επιτρέποντας έτσι τη διασπορά των ελαφριών υδρογονανθράκων προς την επιφάνεια.

3.4 Γεωλογική περιγραφή λεκάνης Πρίνου – Καβάλας

Η γεωλογική εξέλιξη της λεκάνης του Πρίνου-Καβάλας ξεκινά στο Παλαιογενές και συμπίπτει με την τελευταία τεκτονική δραστηριότητα στη “Μάζα της Ροδόπης”, ως αποτέλεσμα της Αλπικής ορογένεσης. Η ταφρογενετική λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας σχηματίστηκε στο νότιο άκρο της μάζας της Ροδόπης, μεταξύ των νήσων Θάσου-Θασοπούλας και της ηπειρωτικής χώρας, στη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ, έχοντας μήκος 38km και πλάτος περίπου 20km.



Εικόνα 3.3: Χάρτης της λεκάνης Πρίνου-Καβάλας. Ο σχηματισμός του Πρίνου, του Βόρειου Πρίνου και του Έψιλον σημειώνονται νότια, βόρεια και βορειοδυτικά αντίστοιχα (Νταγκουνάκη Βηθλεέμ, 2009)



Εικόνα 3.4: Πεδία πετρελαίου και αερίου στη λεκάνη του Πρίνου

Η περιοχή στην οποία σχηματίστηκε η λεκάνη του Πρίνου, παρέμεινε πάνω από το επίπεδο της θάλασσας κατά τη διάρκεια του κύκλου της Τηθύος και μόνο κατά τη διάρκεια του μέσου Μειόκαινου ξεκίνησε η ανάπτυξη της λεκάνης ως αποτέλεσμα της τεκτονικής που οδήγησε στο σπάσιμο της πλάκας του Αιγαίου. Η εναπόθεση των ιζημάτων ξεκίνησε στην περιοχή, στο Μέσο Μειόκαινο με χερσαίες αποθέσεις άμμων, ιλυολίθων και αργίλων και συνεχίστηκε με εναποθέσεις πλούσιες σε οργανική ύλη. Σε αυτή τη περίοδο κλαστικές και ανθρακικές εναποθέσεις επικαλύφθηκαν από τουρβιδίτες. Κατά τη διάρκεια του Μεσσήνιου εναλλαγή ιζηματογένεσης κλαστικών και εβαποριτικών αποθέσεων, σε συνδυασμό με την ενεργό τεκτονική κάλυψε τους τουρβιδίτες, η οποία εξαιτίας του ξηρού κλίματος και της απομόνωσης της λεκάνης, εξασφάλισε μία άριστη παγίδα για τους υδρογονάνθρακες. Η ιζηματογένεση συνεχίστηκε με λιμνοθαλάσσια και θαλάσσια ιζήματα μέχρι το Πλειόκαινο, σχηματίζοντας μία ιζηματογενή ακολουθία μέγιστου πάχους 5800m. Η τεκτονική που προέκυψε από την πλαγιολίσθηση του νότιου τμήματος του ρήγματος της «Ανατολίας» δεν επηρέασε τη λεκάνη του Πρίνου και τις παρακείμενες Μειοκαινικής ηλικίας λεκάνες. Η κατακόρυφη αυτή τεκτονική είναι και

ο κύριος παράγοντας σχηματισμού και ανάπτυξης αυτών των λεκανών. Η ιζηματογενής αυτή λεκάνη είναι αποτέλεσμα μίας ταφρογενετικής βύθισης, που δημιουργήθηκε από ένα σύστημα βορειοδυτικών-νοτιοανατολικών ρηγμάτων. Αναλυτικότερα, η λεκάνη του Πρίνου-Καβάλας υποδιαιρέθηκε σε δύο υπολεκάνες, τη βόρεια υπολεκάνη του Νέστου και τη νότια υπολεκάνη του Πρίνου που διαχωρίζονται από ένα ύψωμα που τοποθετείται στην περιοχή του Αμμουδίου.

3.5 ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ ΠΡΙΝΟΥ

(Νταγκουνάκη Βηθλεέμ, 2009)

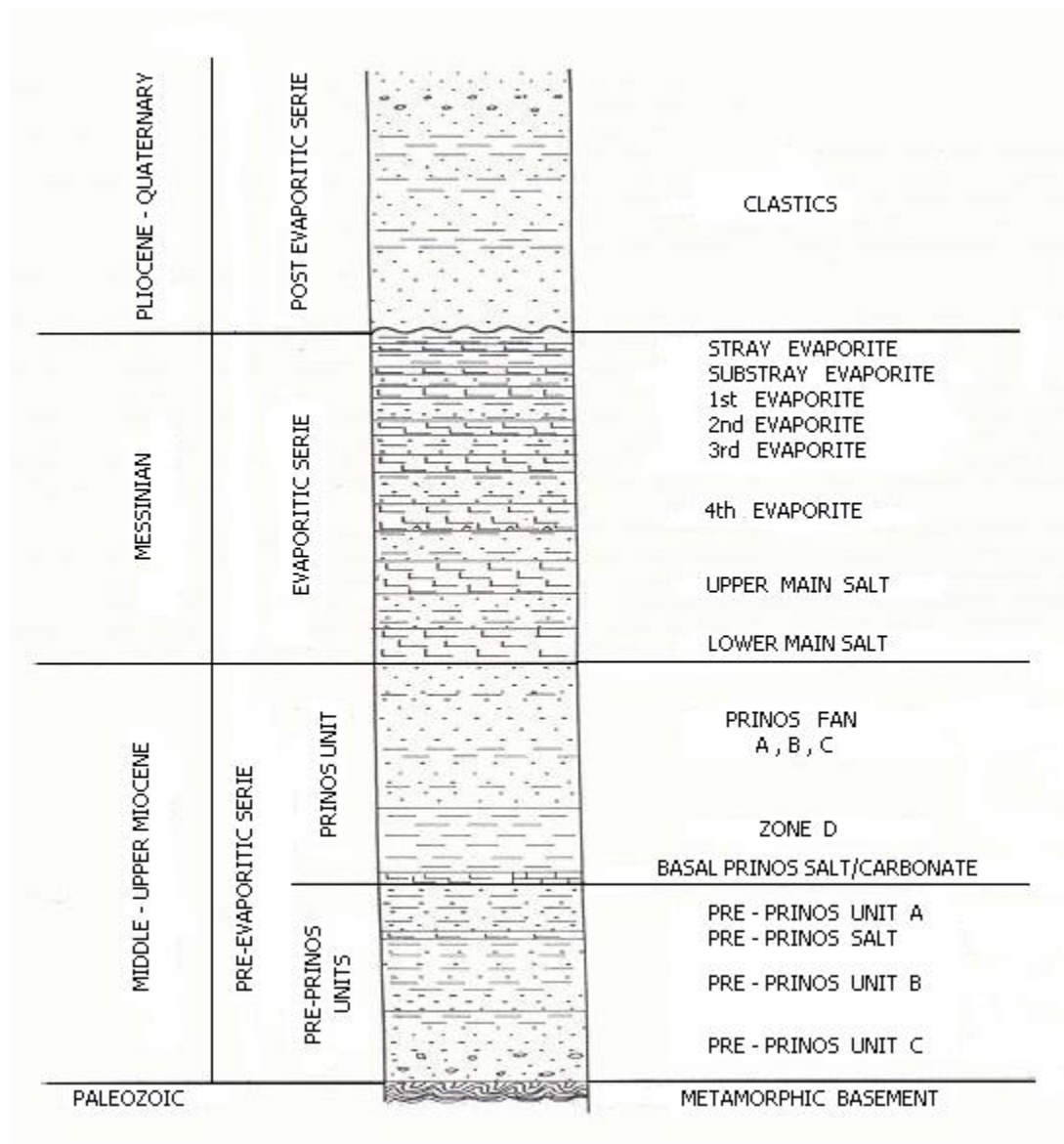
Οι στρωματογραφικές ενότητες που επικρατούν σε όλη τη λεκάνη συνολικά είναι η προεβαποριτική, η εβαποριτική και η μετα-εβαποριτική (Pollack & Προέδρου 1979).

Η ιζηματογενής ύλη της λεκάνης του Πρίνου-Καβάλας μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις ακολουθίες

► *Προ-εβαποριτική ακολουθία: κλαστικά, Μέσης Μειοκαινικής ηλικίας που αποτέθηκαν πάνω από το μεταμορφωμένο υπόβαθρο (γνεύσιοι και μάργες) με μέγιστο πάχος στα 2100m. Η συγκέντρωση υδρογονανθράκων καταγράφεται κυρίως σε αυτά τα ιζήματα τουρβιδιτών, που αναπαριστούν τους ταμιευτήρες πετρελαίου της λεκάνης.*

► *Εβαποριτική ακολουθία: πιθανόν Μεσσήνιας ηλικίας, αποτελείται από επτά εβαποριτικά στρώματα, εναλλασσόμενα με κλαστικά με ένα μέσο πάχος 800m.*

► *Μετα-εβαποριτική ακολουθία: κλαστικά Πλειοκαινικής – Πλειστοκαινικής ηλικίας και κυρίως άμμοι, ιλυόλιθοι και άργιλοι, με ένα μέσο πάχος της τάξης των 1800m.*



Σχήμα3.5: Χρονοστρωματογραφική στήλη της λεκάνης του Πρίνου (Proedrou P. & Papaconstantinou P 2004)

Τα τρία αυτά τμήματα αναπαριστούν διαφορετικά περιβάλλοντα ιζηματογένεσης και φυσιολογικά το πάχος τους αυξάνεται στο κέντρο των υπολεκάνων. Το υπόβαθρο αποτελείται από μεταμορφωμένα πετρώματα κυρίως γνεύσιου, χαλαζίτη και δολομίτη. Αναλυτικότερα, η προεβαποριτική ακολουθία εμφανίζει ένα μέσο όρο πάχους της τάξης των 2000m. Τα πρώτα ιζήματα που αποτέθηκαν ήταν χερσαία, κροκαλοπαγή με πολλά συστατικά υποβάθρου, αμμόλιθοι, αστριούχοι κυρίως ανώριμοι, άργιλοι και παχιά στρώματα γαιανθράκων. Σύμφωνα με τα σεισμικά δεδομένα, αυτές οι χερσαίες αποθέσεις, μεταφέρθηκαν από ΒΑ και ΝΔ και το πάχος τους μειώνεται προς το κέντρο των υπολεκάνων. Το συνολικό τμήμα των κλαστικών αποθέσεων της προ-εβαποριτικής ακολουθίας γίνεται πολύ παχύ στο κέντρο της

λεκάνης. Αποθέσεις αλάτων και ανυδριτών εναλλάσσονται με θαλάσσιους ιλυόλιθους και ψαμμίτες που γίνονται περισσότερο χονδρόκοκκοι στην περιφέρεια της λεκάνης, καλύπτοντας τις παλαιότερες αποθέσεις. Πιο συγκεκριμένα οι αποθέσεις αυτές ακολουθούνται από μία ζώνη ασβεστόλιθου, δολομίτη και στρώματα ανυδριτών που εναλλάσσονται με κλαστικά τα οποία καλύπτουν το νότιο τμήμα της υπολεκάνης του Πρίνου. Στο κέντρο, στο πιο βαθύ τμήμα της λεκάνης οι ανυδρίτες αντικαθιστώνται από στρώματα αλάτων συνήθως πάχους λίγων μόνο μέτρων. Στην κορυφή της προεβαποριτικής ακολουθίας μία εκτεταμένη απόθεση σκούρων γκρι αργίλων, που χαρακτηρίζεται σαν η ζώνη D, επικρατεί σε όλο το νότιο τμήμα της υπολεκάνης. Είναι πετρελαιοφόρα και ισχυρά ανθρακική. Οι παρενστρώσεις ψαμμιτών είναι ιδιαίτερα συχνές. Τα τουρβιδιτικά γεγονότα της μετακίνησης τεράστιας μάζας έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου και διέκοψαν την ήρεμη απόθεση κυρίως στο επάνω τμήμα αυτής της ζώνης. Ο τουρβιδίτης του Πρίνου είναι το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα (300m πάχος). Η ύπαρξη των στρωμάτων αλάτων στη βάση της λεκάνης βοήθησε τις κατολισθήσεις στα ΝΔ βαθιά τμήματα. Επτά εβαποριτικά στρώματα εναλλάσσονται με κλαστικά και αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια του άνω Μειόκαινου (Μεσσήνιο) κάλυψαν την προεβαποριτική ακολουθία. Το πάχος των στρωμάτων των αλάτων κυμαίνεται στα 350m και η όλη ακολουθία ονομάστηκε εβαποριτική ακολουθία με ένα μέσο όρο πάχους στα 800m. Πιο συγκεκριμένα η υπερκείμενη εβαποριτική ακολουθία χαρακτηρίζεται από δύο φάσεις. Στο βόρειο τμήμα της υπολεκάνης στρώματα ανυδριτών και ασβεστόλιθων πάχους 3-5m εναλλάσσονται μεταξύ τους και με αμμόλιθους, αργίλους και μάργες. Στο νότιο επτά στρώματα αλάτων αυξανόμενου πάχους στη βάση του τμήματος εναλλάσσονται με κλαστικά συνιστώντας ένα πάχος ακολουθίας πάνω από 800m. Τα άλατα είναι άσπρα, γκρι, κρυσταλλικά και συχνά εναλλάσσονται με ανυδρίτες. Τα στρώματα ανυδριτών και δολομιτών συχνά αλληλεπικαλύπτονται σε αυτή την ακολουθία. Μετα-διαγενετικοί κόνδυλοι ανυδριτών εμφανίζονται πολύ συχνά στους αργίλους. Η μέτα-εβαποριτική ακολουθία αποτελείται από άμμους και αργίλους που αποτέθηκαν από το Πλειόκαινο-Πλειστόκαινο μέχρι και σήμερα. Ο μέσος όρος πάχους της ακολουθίας είναι 1800m και χαρακτηρίζεται από την αφθονία τρηματοφόρων ναννοπλαγκτόν και υπολειμμάτων φυκιών που προϋποθέτουν θαλάσσια προέλευση Πλειοκαινικής ηλικίας. Στην κορυφή χονδρόκοκκα κλαστικά

ιζήματα με άφθονα υπολείμματα συγκεντρώνονται σε ένα δελταϊκό περιβάλλον, σύμφωνα με τα σεισμικά δεδομένα της ακολουθίας. Η δομή του Πρίνου σχηματίστηκε από ένα ρηγματώδη αντικλινικό δόμο και αποτελείται από αρκετά τμήματα άμμου με καλό πορώδες (18%) και διαπερατότητα. Οι υδρογονάνθρακες μετανάστευσαν από το κέντρο της λεκάνης. Οι άμμοι υποδιαίρονται σε τέσσερις ξεχωριστούς ταμιευτήρες: A1, A2, B και C. Ερευνητικές γεωτρήσεις ανατολικά της δομής του Πρίνου αποκάλυψαν τον ταμιευτήρα της Νότιας Καβάλας, σε ένα αντίκλινο με μέσο βάθος στα 1700m. Οι παραγόμενες άμμοι με πάχος 20m, τοποθετούνται μεταξύ δύο εβαποριτικών κύκλων. Τα χαρακτηριστικά του σχηματισμού περιλαμβάνουν μέγιστο πορώδες 20%, καλή διαπερατότητα και κορεσμό νερού στο 33%. Το πετρέλαιο του Πρίνου παράχθηκε από μητρικά πετρώματα τα οποία αποτέθηκαν κάτω από αναγωγικές συνθήκες σε ανοξικά και εβαποριτικά περιβάλλοντα και αυτός είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που βοήθησε στη διατήρηση της θαλάσσιας οργανικής ύλης. Σήμερα παραμένει ο μοναδικός μορφοτεκτονικός σχηματισμός στον Ελληνικό χώρο, στις Νεογενούς ηλικίας κλαστικές αποθέσεις του οποίου έχουν σχηματιστεί εκμεταλλεύσιμοι ταμιευτήρες πετρελαίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

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 εργασίας. 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 εδόθησαν σε τρία αντίστοιχα αρχεία σε μορφή .xls προς διευκόλυνση στην προσβασιμότητα και επεξεργασία αυτών. Η μέθοδος η οποία χρησιμοποιήθηκε είναι αυτή των διπλών νερών (Dual Water Model) και ως στόχο είχε την εύρεση του βαθμού κορεσμού σε νερό, S_{wt} .

Σε πρώτη φάση και στις τρεις γεωτρήσεις πραγματοποιήθηκε ανάγνωση των δεδομένων και κατόπιν διαλογή εκείνων των οποίων ικανοποιούσαν τις συνθήκες των εξισώσεων για την εύρεση του τελικού αποτελέσματος.

Σε κάποιες γεωτρήσεις εστίασαμε σε συγκεκριμένα βάθη ενδιαφέροντος. Στον πίνακα 4.1 αναφέρονται τα δεδομένα τα οποία λήφθηκαν από την εταιρία, ώστε να πραγματοποιηθεί η επεξεργασία με τη μέθοδο των διπλών νερών.

Τα βήματα της επεξεργασίας των δεδομένων είναι:

- i. Η εύρεση του όγκου των αργιλικών προσμίξεων με τη βοήθεια των δεδομένων ανάλογα την γεώτρηση
- ii. Ο υπολογισμός του πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας (Φ_D)
- iii. Ο υπολογισμός των διορθωμένων τιμών των μετρήσεων του πορώδους από διαγραφίες πυκνότητας και νετρονίου (Φ_{DC}, Φ_{NC})
- iv. Ο υπολογισμός του ενεργού πορώδους (Φ_e)
- v. Ο υπολογισμός του πορώδους σχηματισμού (Φ_{tsh})
- vi. Ο υπολογισμός του βαθμού κορεσμού σε δεσμευμένο νερό (S_b)
- vii. Ο υπολογισμός αντίστασης σε δεσμευμένο νερό (R_b) και
- viii. Ο υπολογισμός βαθμού κορεσμού σε νερό (S_{wt}).

4.1 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	Διαμέτρηση γεώτρησης

Στις δύο στήλες που παρατίθενται στον Πίνακα 4.1, αριστερά παρουσιάζεται στην μορφή στην οποία μας δόθηκαν τα δεδομένα, δηλαδή στο .xls και δεξιά δίνεται μία σύντομη περιγραφή για το τι αντιπροσωπεύει κάθε στοιχείο.

Άξιον αναφοράς είναι ότι σε κάθε μία από τις γεωτρήσεις υπήρχαν παραπάνω από μία καταγραφές ώστε να αποφευχθούν τυχόν σφάλματα, αλλά και για να επιτευχθεί εγκυρότητα των αποτελεσμάτων.

Επί της ουσίας έγινε αναζήτηση των βάθρων στα οποία υπάρχουν αργιλικές προσμίξεις, επομένως βασιζόμενοι στα δεδομένα πραγματοποιήθηκε διαχωρισμός σε περατούς και μη περατούς σχηματισμούς.

Σε κάθε γεώτρηση αυτό έγινε με διαφορετικό τρόπο, ο οποίος αναλύεται ενδελεχώς παρακάτω, διότι τα δεδομένα δεν ήταν ίδια σε όλες.

4.4.1 Αξιολόγηση σχηματισμών

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τόσο ο τρόπος όσο και οι εξισώσεις οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν για να βρεθεί ο βαθμός κορεσμού σε νερό στις τρεις γεωτρήσεις.

Κοινός παρονομαστής στις γεωτρήσεις ήταν η εύρεση του όγκου αργιλικών προσμίξεων (V_{sh}), η οποία έγινε με διαφορετικό τρόπο σε κάθε γεώτρηση, λόγω των διαφορετικών δεδομένων τα οποία υπήρχαν προς επεξεργασία.

Επίσης άλλη μια διαφοροποίηση στην επεξεργασία των τριών γεωτρήσεων ήταν η επιλογή του πορώδους αργιλικών σχηματισμών (Φ_{Dsh} και Φ_{Nsh}) από τα δεδομένα των διαγραφιών πυκνότητας και νετρονίου αντίστοιχα, καθώς και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (R_{sh}).

Ανάλυση για τον τρόπο εύρεσης του όγκου, του πορώδους και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης γίνεται εκτενώς παρακάτω.

Για την εκτίμηση του βαθμού κορεσμού σε υδρογονάνθρακες σύμφωνα με το Dual Water Model ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

➤ Ο υπολογισμός του πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας (Φ_D)

Ο υπολογισμός του πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

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

- Όπου, Φ_d Η τιμή του πορώδους
- ρ_{ma} Η πυκνότητα του στερεού τμήματος του σχηματισμού
- ρ_b Η πυκνότητα του σχηματισμού
- ρ_f Η πυκνότητα του ρευστού

Σε αυτή την εξίσωση θεωρήθηκε η πυκνότητα του στερεού τμήματος του σχηματισμού (πυριτικός ψαμμίτης) $\rho_{ma}=2,65\text{g/cm}^3$ και η πυκνότητα του ρευστού (νερό) $\rho_f=1\text{g/cm}^3$. Η πυκνότητα του σχηματισμού ρ_b δίνεται από τα δεδομένα της διαγραφίας πυκνότητας και στις τρεις γεωτρήσεις.

➤ Ο υπολογισμός της διορθωμένης τιμής του πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας

Ο υπολογισμός της διορθωμένης τιμής του πορώδους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$\Phi_{dc} = \Phi_d - (V_{sh} * \Phi_{dsh}) \quad (4.2)$$

- Όπου, Φ_{dc} Η διορθωμένη τιμή του πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας
- V_{sh} Ο όγκος των αργιλικών προσμίξεων
- Φ_{dsh} Το πορώδες του σχηματισμού

Πρόκειται για την διορθωμένη τιμή των μετρήσεων πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας. Όπου Φ_d είναι το αποτέλεσμα της παραπάνω εξίσωσης, V_{sh} ο όγκος των αργιλικών προσμίξεων, ο οποίος περιγράφεται παρακάτω ο τρόπος εύρεσης του λόγω της διαφοροποίησης σε κάθε γεώτρηση και Φ_{dsh} το πορώδες του σχηματισμού.

- Ο υπολογισμός της διορθωμένης τιμής του πορώδους από τις διαγραφίες νετρονίου

Ο υπολογισμός της διορθωμένης τιμής του πορώδους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$\Phi Nc = \Phi N - (Vsh * \Phi Nsh) \quad (4.3)$$

- Όπου, ΦNc Η διορθωμένη τιμή του πορώδους από τις διαγραφίες νετρονίου
- ΦN Το πορώδες νετρονίου
- ΦNsh Το πορώδες νετρονίου στον σχηματισμό

Ομοίως και σε αυτή την εξίσωση ισχύουν τα ανωτέρω με μόνη διαφορά ότι βρίσκουμε τη διορθωμένη τιμή των μετρήσεων πορώδους από τις διαγραφίες νετρονίου.

- Ο υπολογισμός του ενεργού πορώδους από τις διαγραφίες πυκνότητας και νετρονίου

Ο υπολογισμός του ενεργού πορώδους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$\Phi e = \frac{\Phi dc + \Phi Nc}{2} \quad (4.4)$$

- Όπου, Φe Το ενεργό πορώδες

Με αυτή την εξίσωση βρέθηκε το ενεργό πορώδες σε συνδυασμό με τις διορθωμένες τιμές των μετρήσεων πορώδους.

- Ο υπολογισμός του πορώδους του αργλικού σχηματισμού από τις διαγραφίες πυκνότητας και νετρονίου

Ο υπολογισμός του πορώδους του αργλικού σχηματισμού πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$\Phi tsh = \delta * \Phi dsh + (1 - \delta) * \Phi Nsh \quad (4.5)$$

- Όπου, Φtsh Το πορώδες του αργλικού σχηματισμού
- $\delta=0.7$

Στο πορώδες του αργλικού σχηματισμού (Φ_{tsh}) θεωρήθηκε η παράμετρος $\delta=0.7$ και έγινε αντικατάσταση των υπολοίπων παραμέτρων από τις παραπάνω εξισώσεις.

- Ο υπολογισμός του ολικού πορώδους του περατού σχηματισμού, ο οποίος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$\Phi_t = \Phi_e + (V_{sh} * \Phi_{tsh}) \quad (4.6)$$

- Όπου, Φ_t Το ολικό πορώδες του περατού σχηματισμού

Το ολικό πορώδες το υπολογίστηκε με τη βοήθεια του ενεργού πορώδους, του όγκου των αργλικών προσμίξεων και του πορώδους σχηματισμού

- Ο υπολογισμός του βαθμού κορεσμού σε δεσμευμένο νερό, ο οποίος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$S_b = \frac{V_{sh} * \Phi_{tsh}}{\Phi_t} \quad (4.7)$$

- Όπου, S_b Ο βαθμός κορεσμού σε δεσμευμένο νερό του σχηματισμού

Με αυτή την εξίσωση υπολογίστηκε το (S_b) στους σχηματισμούς μας πολλαπλασιάζοντας το (V_{sh}) με το πορώδες του σχηματισμού και διαιρώντας με το ολικό πορώδες.

- Ο υπολογισμός της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σε δεσμευμένο νερό, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$R_b = R_{sh} * \Phi_{tsh}^2 \quad (4.8)$$

- Όπου, R_b Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του δεσμευμένου νερού

Την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του δεσμευμένου νερού (R_b) την υπολογίστηκε πολλαπλασιάζοντας το τετράγωνο του πορώδους αργλικού σχηματισμού με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του ίδιου σχηματισμού.

- Ο υπολογισμός της φαινόμενης ηλεκτρικής αντίστασης, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$R_{wa} = \Phi_t^2 R_t \quad (4.9)$$

- Όπου, R_{wa} Η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση
- R_t Η πραγματική ειδική ηλεκτρική αντίσταση του περατού σχηματισμού

Με αυτή την εξίσωση υπολογίστηκε η φαινόμενη ηλεκτρική αντίσταση, θεωρώντας ότι όπου $R_t = R_{ILD}$ το οποίο αντλήθηκε από τα δεδομένα και πολλαπλασιάζοντας με το τετράγωνο του ολικού πορώδους.

- Ο υπολογισμός της παραμέτρου b , η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$b = \frac{Sb \left(1 - \frac{Rw}{Rb}\right)}{2} \quad (4.10)$$

Για αυτή την παράμετρο θεωρήθηκε $Rw = 0.02 \text{ Ohmm}$ (παραδοχή από Πολίτης, 2015)

- Ο υπολογισμός του βαθμού κορεσμού σε νερό, ο οποίος πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της σχέσης:

$$Swf = b + \sqrt{\left(b^2 + \left(\frac{Rw}{Rwa}\right)\right)} \quad (4.11)$$

- Όπου, Swf Ο βαθμός κορεσμού σε νερό

Όλες οι παραπάνω εξισώσεις πραγματοποιήθηκαν με σειρά στην επεξεργασία και των τριών γεωτρήσεων για να καταλήξουμε στην εξίσωση παραπάνω η οποία γνωστοποιεί και το βαθμό κορεσμού σε νερό.

4.4.2 Επεξεργασία γεώτρησης PA-10

Στη συγκεκριμένη γεώτρηση σκοπός ήταν να υπολογιστεί ο βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}). Στη μέθοδο των διπλών νερών για να βρεθεί ο βαθμός κορεσμού λόγω του ότι οι καταγραφές των μετρήσεων δεν βοηθούσαν καθ'όλο το εύρος της γεώτρησης, επικεντρωθήκαμε σε βάθος από τα 2550-3000 μέτρα.

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από αυτή την γεώτρηση ήταν οι μετρήσεις φυσικού δυναμικού (SP) και φυσικής ραδιενέργειας (GR).

Πίνακας 4.2: Δεδομένα της γεώτρησης PA-10, όπως μας δόθηκαν από την energen oil

DEPTH.m	SP	GR_Run2	RHOB .g/cm3	NPHI_Run2	ILD_Run2
2550	-9,32144	81,6	2,197351933	0,214598924	8,865784645
2550,1	-9,55617	82,95	2,241853714	0,225895479	7,600669861

Στη συνέχεια για να βρεθεί ο όγκος των αργιλικών προσμίξεων, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση του βαθμού κορεσμού δόθηκε έμφαση στις δύο αυτές διαγραφίες ξεχωριστά.

Στα δεδομένα φυσικού δυναμικού βρέθηκε η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή για το βάθος από 2550-3000, όπως απεικονίζεται και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (σχήμα 4.1).

Το βήμα μέτρησης του βάθους και καταγραφής των δεδομένων μας ήταν 0.1.

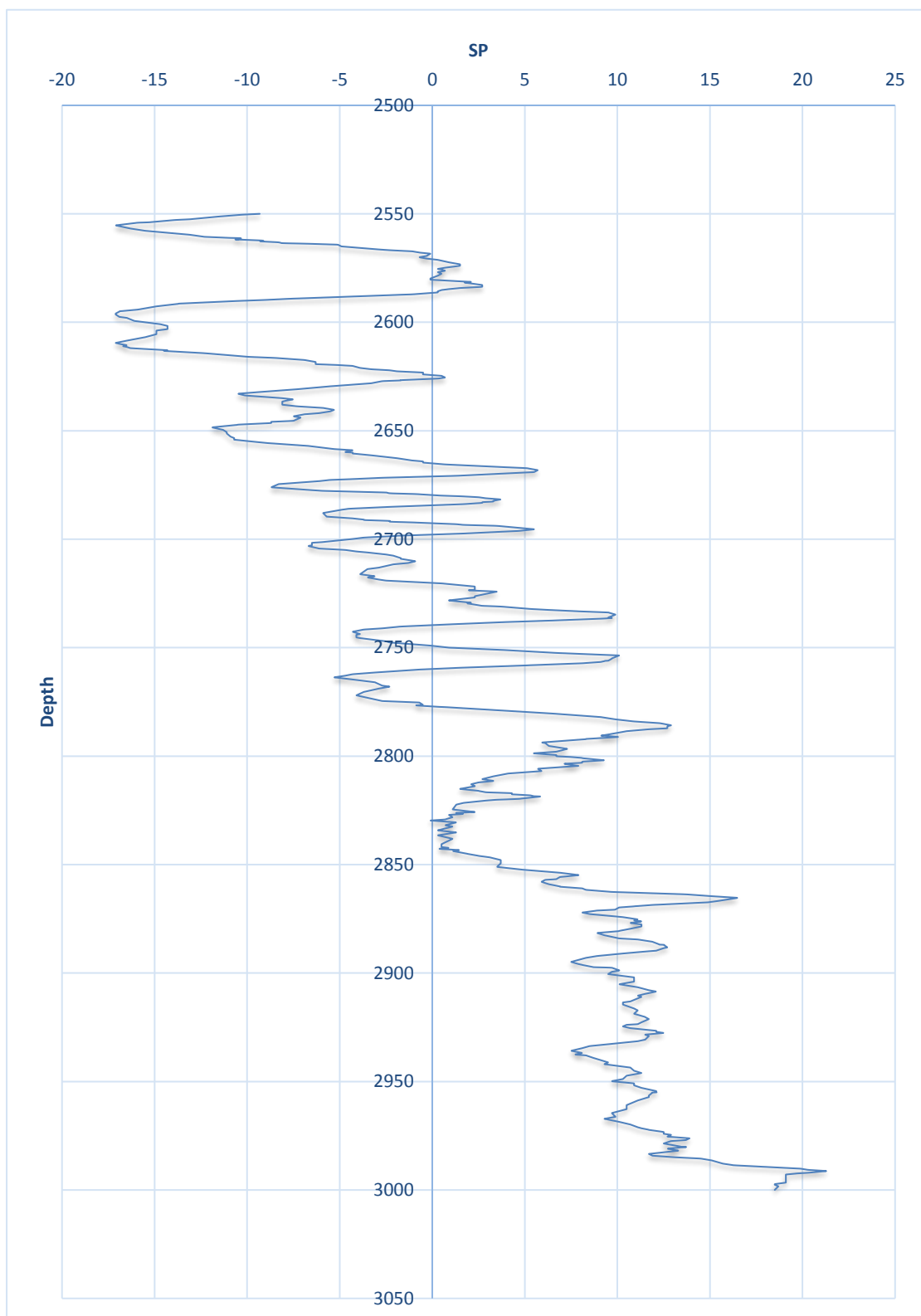
Τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από το ανωτέρω γράφημα χρησιμοποιήθηκαν στον παρακάτω τύπο.

$$V_{sh} = \frac{SP_{log} - SP_{ss}}{SP_{sh} - SP_{ss}} \quad (4.12)$$

Όπου,

- SP_{log} είναι τα δεδομένα στα αντίστοιχα βάθη
- SP_{ss} (ψαμμίτη) η ελάχιστη τιμή του φυσικού δυναμικού και
- SP_{sh} (αργιλικού σχηματισμού) το μέγιστο σημείο στο σχήμα (σχήμα 4.1).

Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίστηκε ο όγκος των αργιλικών προσμίξεων από τα δεδομένα φυσικού δυναμικού.



Σχημα 4.1: Διαγραφίες φυσικού δυναμικού συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PA-10

Εν συνεχεία με τη βοήθεια της διαγραφίας φυσικής ραδιενέργειας (σχήμα 4.2), βρέθηκε ο δείκτης αργλικών προσμίξεων με τον ίδιο τρόπο.

$$I_{sh} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (4.13)$$

Όπου,

- GR_{log} είναι τα δεδομένα στα αντίστοιχα βάθη
- GR_{ss} (ψαμμίτη) το ελάχιστο σημείο στο σχήμα και
- GR_{sh} (αργλικού σχηματισμού) το μέγιστο σημείο στο σχήμα.

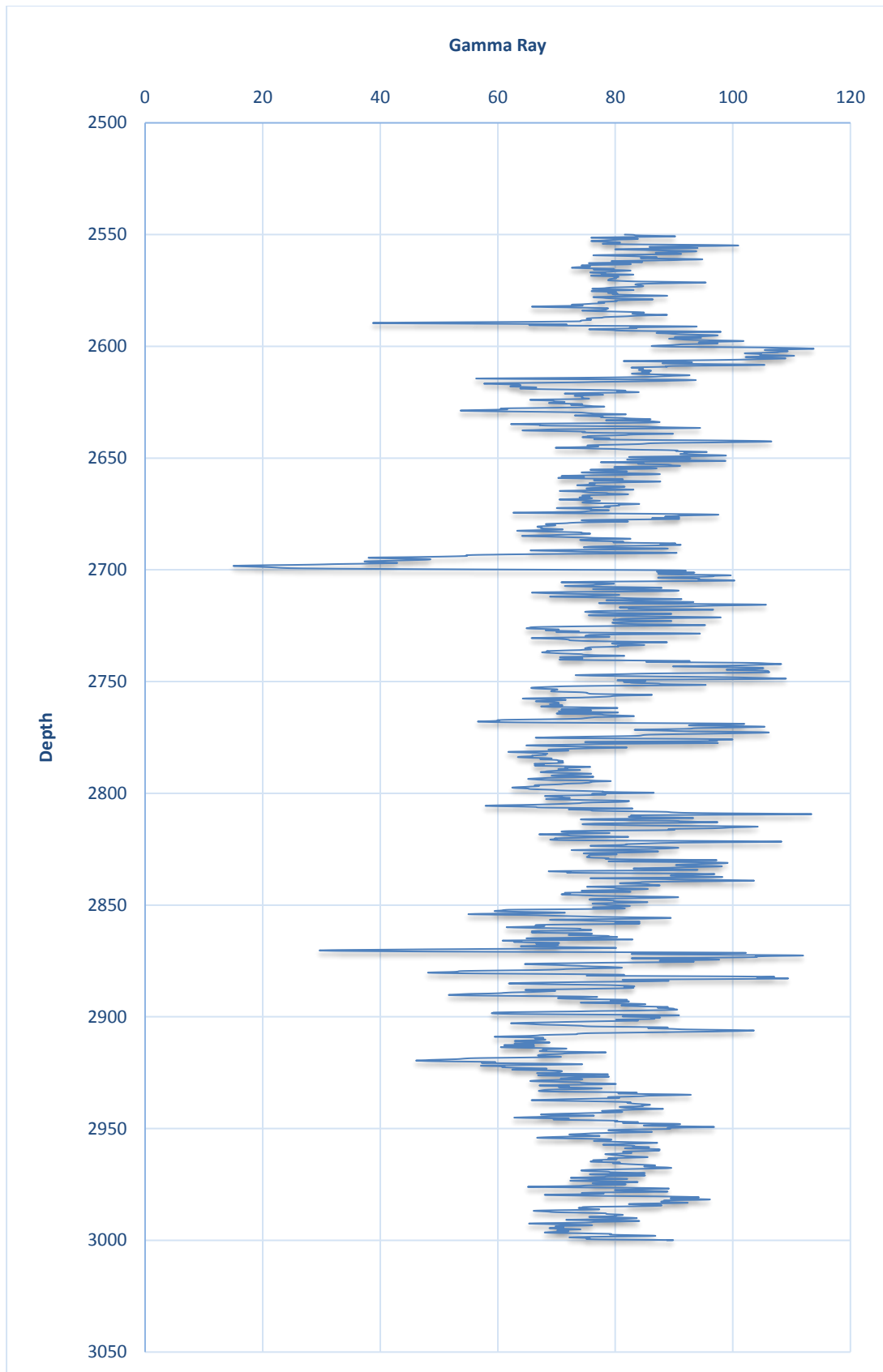
Επίσης χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (4.14)

$$V_{sh} = I_{sh} * (\rho / \rho_{sh})^3 \quad (4.14) \quad (\text{Schlumberger Educational Services (1991)})$$

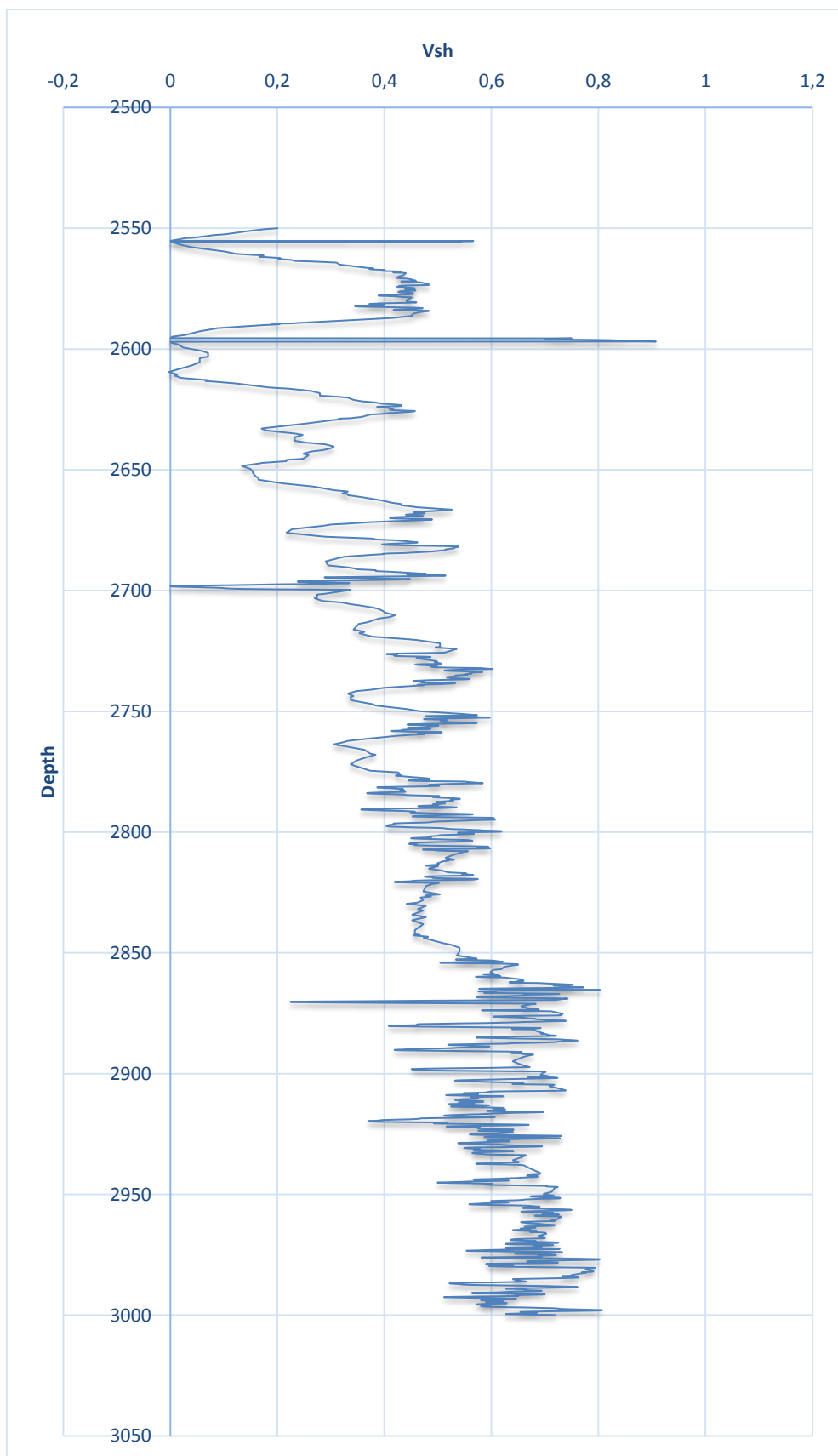
Όστε να βρεθεί ο όγκος των αργλικών προσμίξεων μέσω της διαγραφίας φυσικής ραδιενέργειας.

Για την εκτίμηση του πορώδους του σχηματισμού από τις διαγραφίες πυκνότητας σε αυτή τη γεώτρηση, αφού έγινε σύγκριση και βρέθηκε η μικρότερη τιμή του όγκου αργλικών προσμίξεων, μεταξύ των διαγραφιών φυσικού δυναμικού και φυσικής ραδιενέργειας, εντοπίστηκαν οι ζώνες με αργλικούς σχηματισμούς, όπου ο όγκος των αργλικών προσμίξεων είναι κοντά στη μονάδα για να υπολογιστεί το $\Phi_{dsh}=0.05$.

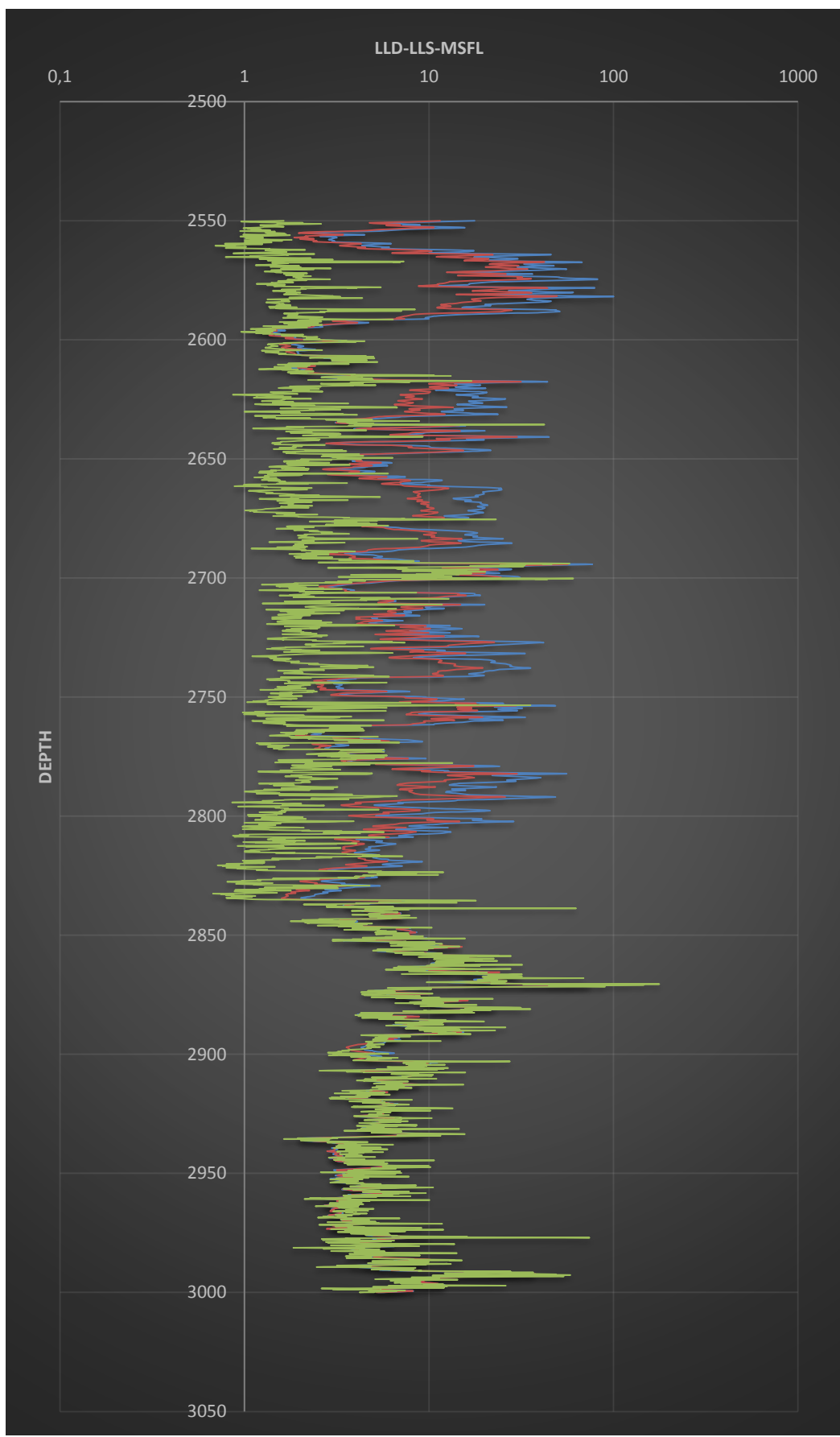
Αντίστοιχη διαδικασία ακολουθήθηκε για τις διαγραφίες νετρονίων, ($\Phi_{Nsh}=0.15$) και για τις ηλεκτρικές διαγραφίες του σχηματισμού ($R_{sh}=17.97 \text{ Ohmm}$). Η παραπάνω διαδικασία προϋποθέτει, ότι στην υποδιασκόπηση γεώτρηση υπάρχουν καθαροί αργλικοί σχηματισμοί.



Σχήμα 4.2: Διαγραφίες ακτίνων γάμμα συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PA-10



Σχήμα 4.3: Όγκος αργιλικών προσμίξεων συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PA-10



Σχήμα 4.4 Ηλεκτρικές διαγραφίες συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PA-10

4.4.3 Επεξεργασία γεώτρησης PB-14

Σε αυτή την γεώτρηση παρατηρήται ότι τα δεδομένα τα οποία μας δόθηκαν είχαν πολλές καταγραφές διαγραφιών φυσικής ραδιενέργειας. Το βασικότερο πρόβλημα το οποίο έπρεπε να αντιμετωπίσουμε ήταν ως προς την επιλογή εκείνων των δεδομένων των οποίων θα μας έδιναν τα καλύτερα αποτελέσματα βαθμού κορεσμού σε νερό στο μεγαλύτερο εύρος της γεώτρησης.

Αρκετές από τις καταγραφές παρατηρήθηκε ότι δεν είχαν καταγράψει μετρήσεις σε μεγάλο εύρος του βάθους επομένως πραγματοποιήθηκε επιλογή δύο εκ των καταγραφών.

Η τελική επιλογή της καταγραφής στην οποία βασιστήκαμε ώστε να προχωρήσουμε στην εύρεση του βαθμού κορεσμού σε νερό πραγματοποιήθηκε ύστερα από σύγκριση των δύο (καταγραφών ακτίνων γάμμα) σε σχέση με τις τιμές των υπολοίπων (καταγραφών ακτίνων γάμμα). Παρατηρήσαμε ότι στις υπόλοιπες καταγραφές πιο κοντά στις τιμές ήταν μία εξ' αυτών και αυτός ήταν και ο λόγος επιλογής της

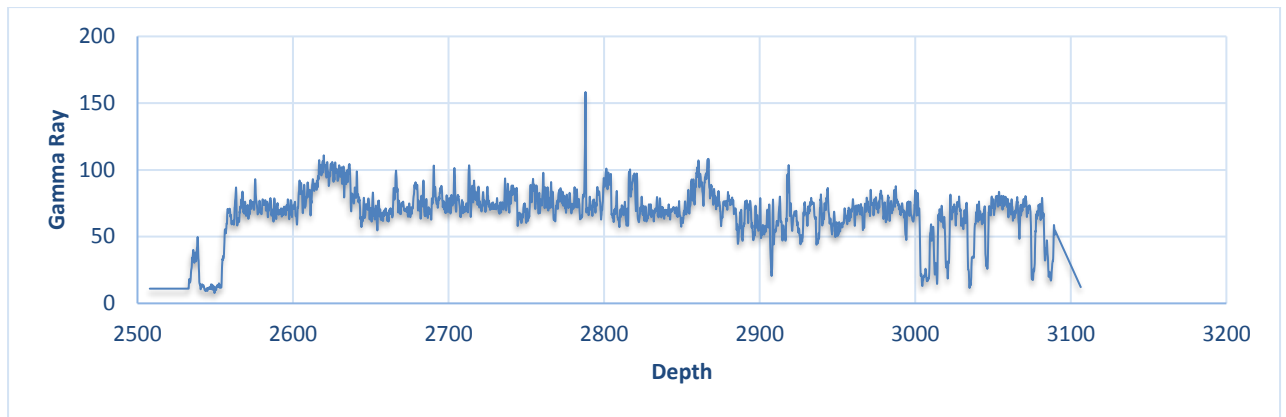
Ένα δείγμα των δεδομένων των οποίων χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω.

Πίνακας 4.3 Δεδομένα της γεώτρησης PB-14, όπως μας δόθηκαν από την *energean oil*

DEPT .m	RHOB .g/cm3	GR .gAPI	NPHI .m3/m3	RILD .ohm.m
2556,05	2,36	52,22	39,82	3,96
2556,20	2,24	55,41	37,01	3,95
2556,36	2,24	55,50	37,04	4,05

Το βήμα μέτρησης του βάθους και καταγραφής των στοιχείων ήταν 15 εκατοστά.

Η διαδικασία της επεξεργασίας ξεκίνησε με την εύρεση της μεγίστης και ελαχίστης τιμής των ακτίνων γάμμα. Επομένως αφού δημιουργήθηκε σχεδιάγραμμα (σχ 4.4) βάθους-ακτίνων γάμμα έγινε επιλογή των τιμών και ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με την γεώτρηση PA-10.



Σχήμα 4.5 Διαγραφίες ακτίνων γάμμα συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-14

Όπως φαίνεται και στο σχεδιάγραμμα (σχήμα 4.5) η μέγιστη τιμή την οποία βρήκαμε GR_{sh} (αργιλικού σχηματισμού) ισούται με 158 και η ελάχιστη GR_{ss} (ψαμμίτη) ισούται με 8.

Ύστερα κάναμε αντικατάσταση στον γενικό τύπο και βρήκαμε τον δείκτη αργιλικών προσμίξεων. (εξίσωση 4.13)

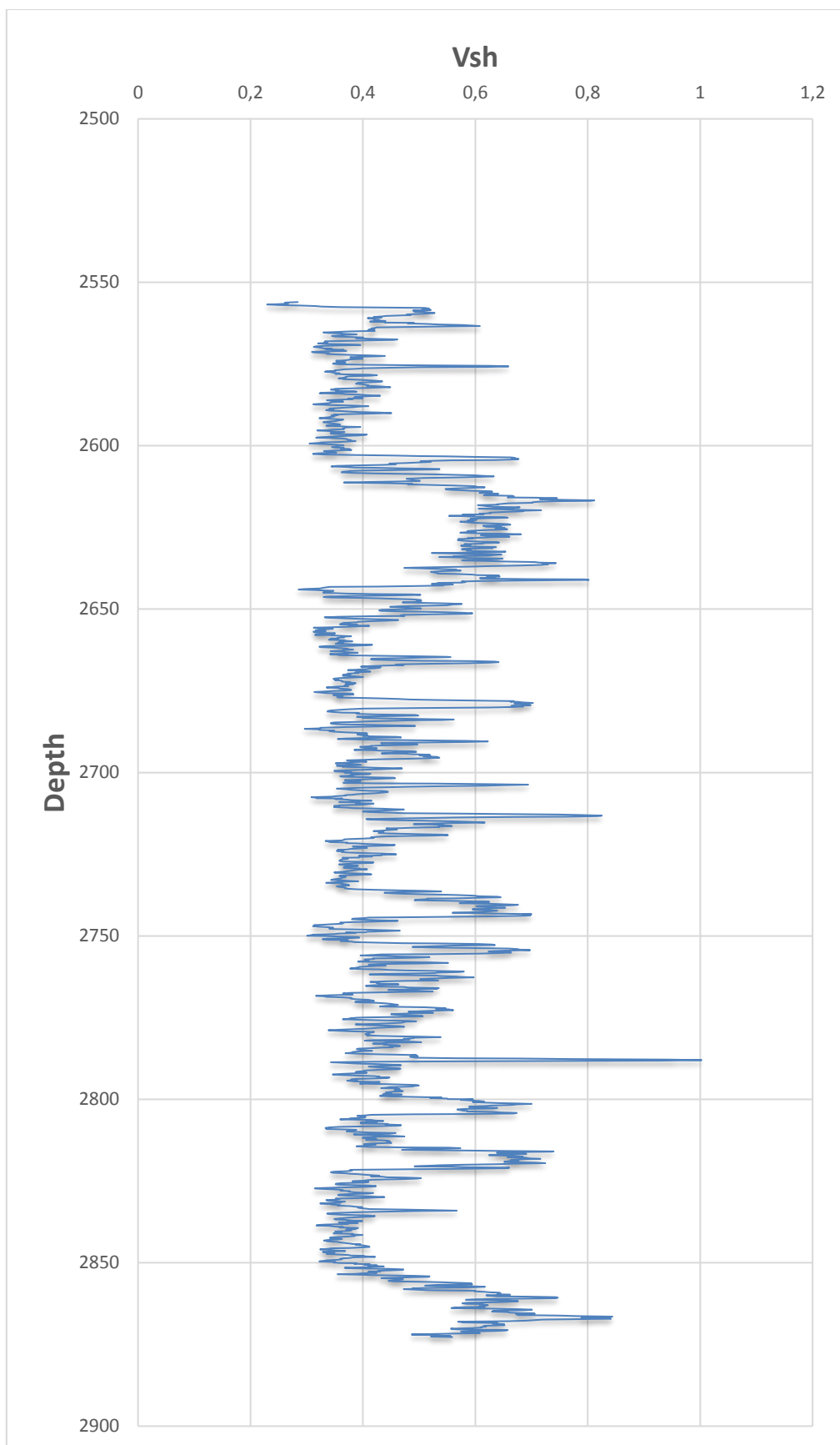
$$I_{sh} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}}$$

Για να βρούμε τον όγκο των αργιλικών προσμίξεων χρησιμοποιήσαμε πάλι τον τύπο.

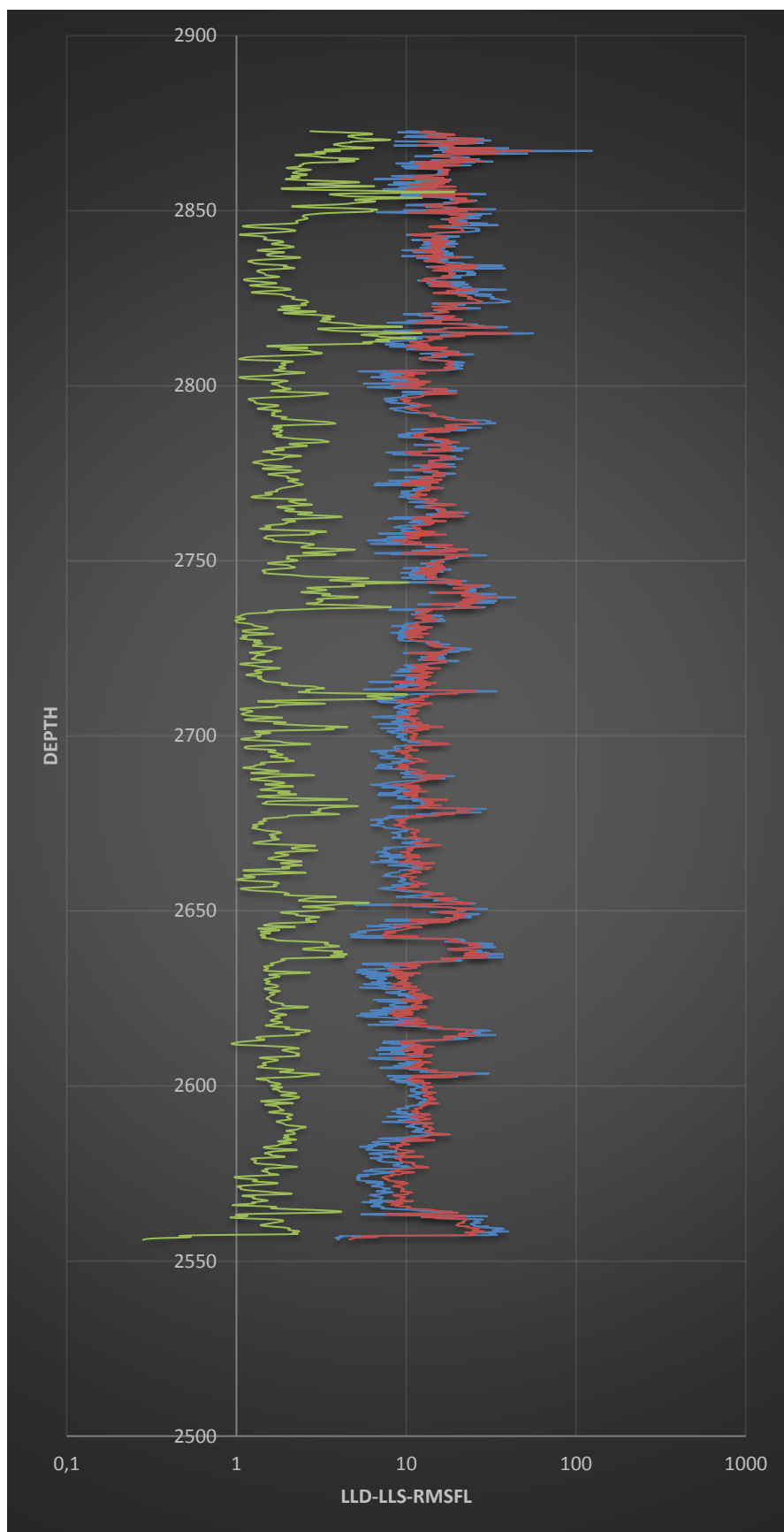
$$V_{sh} = I_{sh} * (p/p_{sh})^3$$

Οι ενέργειες που ακολουθήθηκαν για την εύρεση του πορώδους σχηματισμού, του πορώδους σχηματισμού νετρονίων και της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σχηματισμού είναι ίδιες με την παραπάνω γεώτρηση με προφανή και λογική διαφορά στις τιμές των.

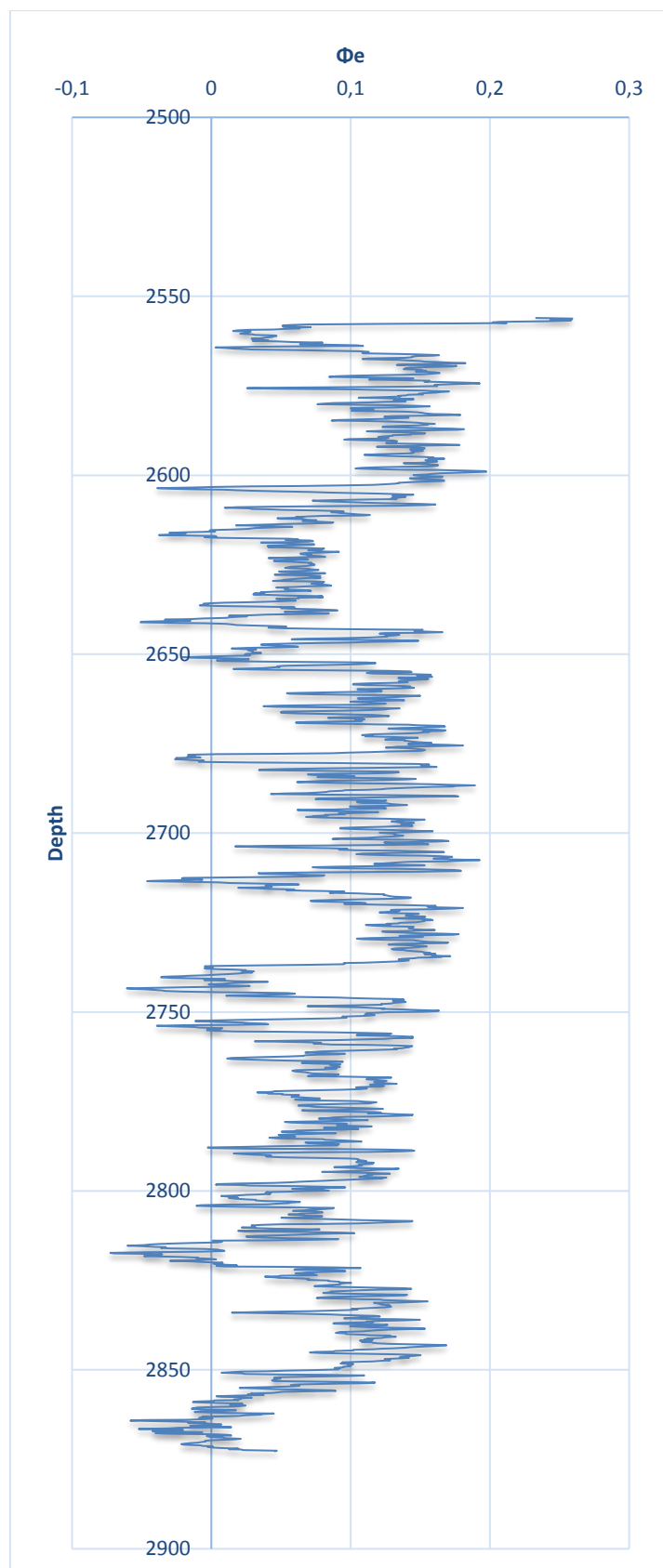
Πιο συγκεκριμένα το πορώδες σχηματισμού $\Phi_{dsh}=0.16$, το πορώδες σχηματισμού νετρονίων $\Phi_{Nsh}=0.22$ και η τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης $R_{sh}=3.5$.



Σχήμα 4.6 Όγκος αργιλικών προσμίξεων συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-14



Σχήμα 4.7 Ηλεκτρικές διαγραφίες συναρτήσεως του βάθους, για την γεώτρηση PB-14



Σχήμα 4.8 Πορώδες συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-14

4.4.3 Επεξεργασία γεώτρησης PB-13

Η γεώτρηση PB-13 είναι η μοναδική στην οποία τα δεδομένα εξ' αρχής έδιναν τον όγκο αργιλικών προσμίξεων, αν και όχι σε όλο το εύρος της γεώτρησης (σχήμα 4.9). Σε αυτή την γεώτρηση επομένως η προσέγγιση για την εύρεση του βαθμού κορεσμού πραγματοποιήθηκε πιο εύκολα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα δεδομένα που δόθηκαν σε τρία διαφορετικά σημεία της γεώτρησης της επιλογής μας. Το ένα σημείο είναι σε ένα ψαμμιτικό σχηματισμό, δεύτερο σε έναν υπό μελέτη και το τρίτο σε έναν με αργιλικούς σχιστόλιθους.

Πίνακας 4.4 Δεδομένα γεώτρησης της γεώτρησης PB-13, όπως μας δόθηκαν από την energen oil

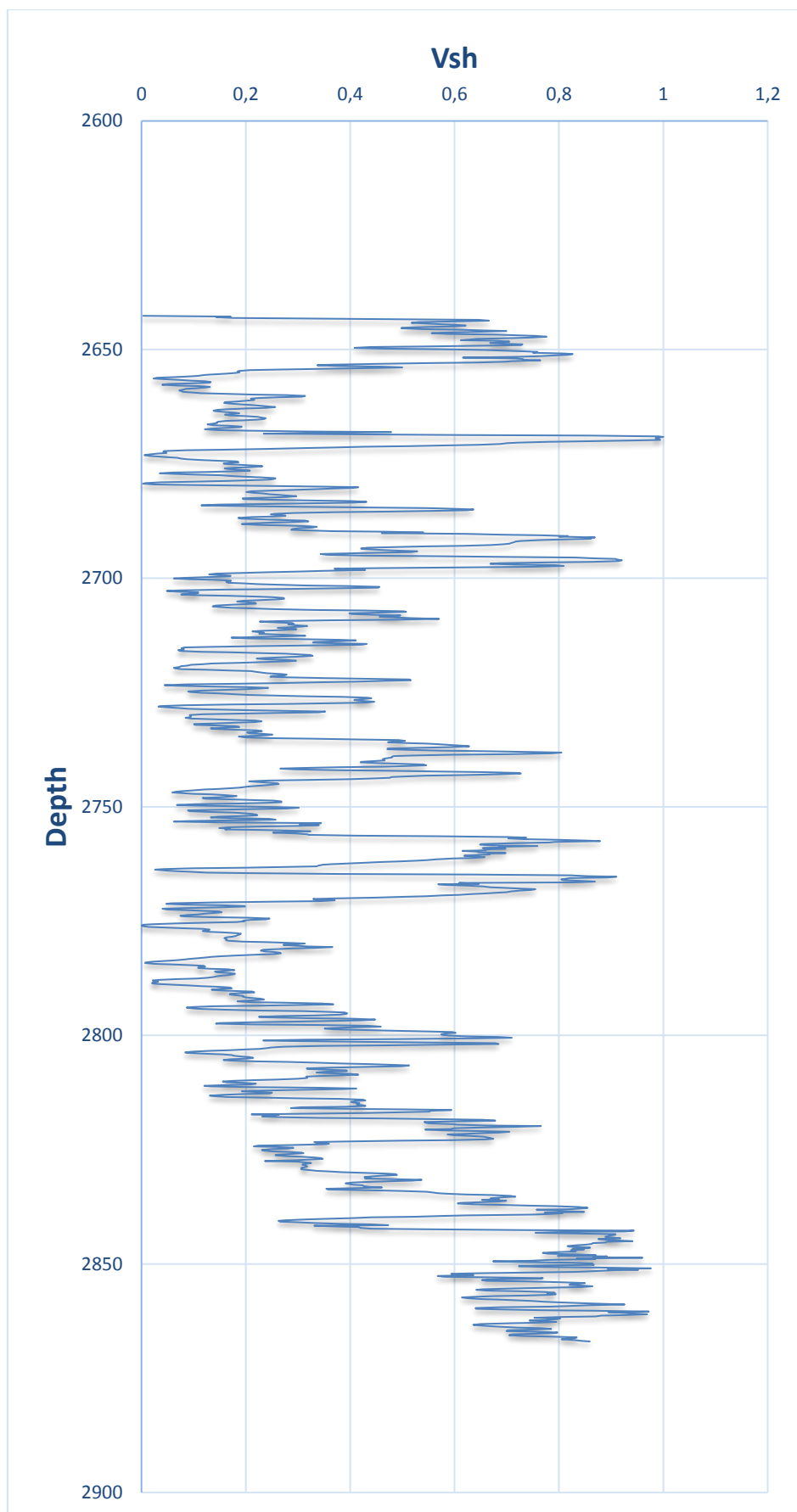
	DEPTH	VCL .	SP .	GR-SONIC .gAPI
ΨΑΜΜΙΤΗΣ	2642,61	0,003	67,88	72,37
ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ	2816,80	0,502	77,88	78,81
ΑΡΓ ΣΧΙΣΤΑ	2860,39	0,972	80,19	72,93

Στην γεώτρηση PB-13 παρόλο που στα δεδομένα υπήρχαν οι διαγραφές φυσικού δυναμικού και φυσικής ραδιενέργειας για τα αντίστοιχα βάθη ασχοληθήκαμε αποκλειστικά με τον όγκο των αργιλικών προσμίξεων.

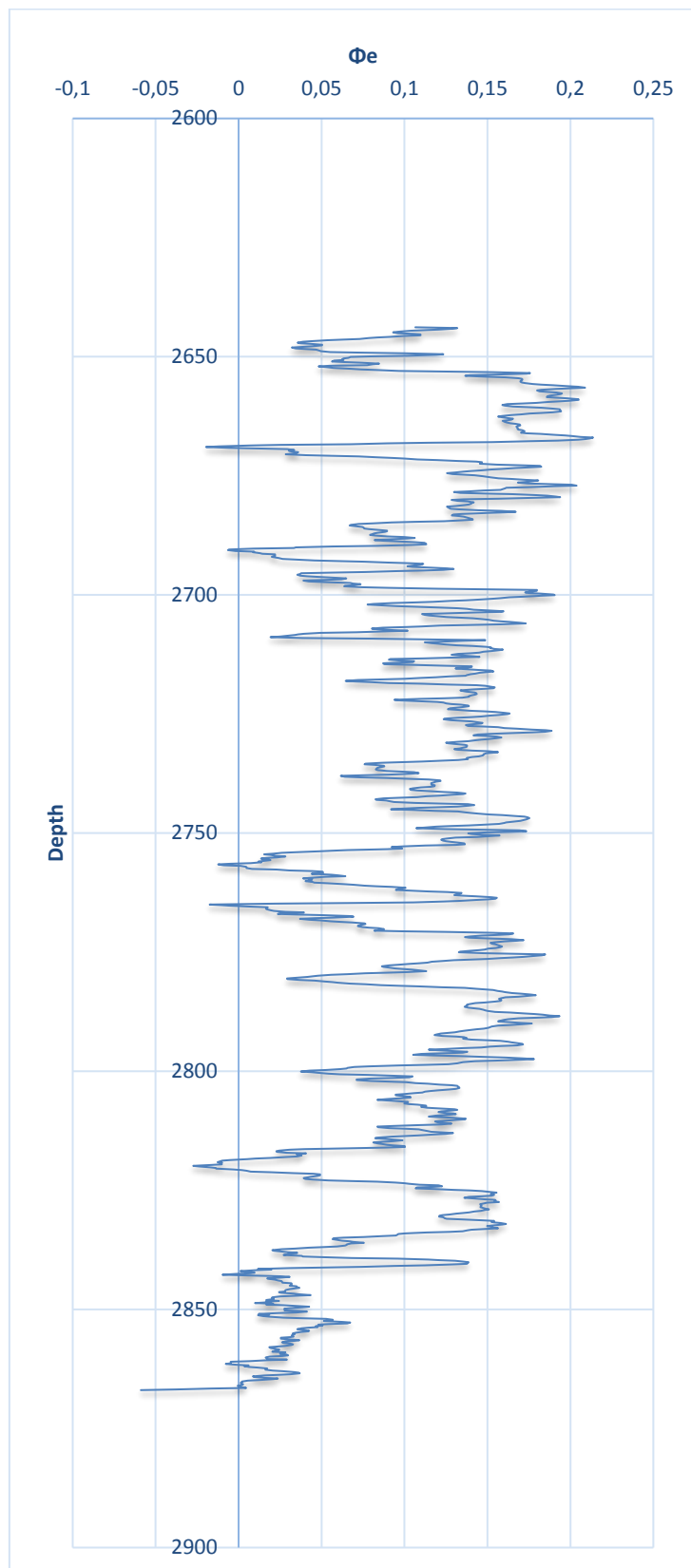
Αφαιρέθηκαν τα σημεία στα οποία εντοπίστηκαν σφάλματα στις μετρήσεις μας και εστιάσαμε στο βάθος από 2642,62 έως 2866,95 μέτρα με βήμα 0,15.

Στη συνέχεια εντοπίστηκαν τα σημεία που ο όγκος προσεγγίζει την μονάδα, ώστε να πάρουμε τις τιμές του πορώδους νετρονίου του σχηματισμού (ΦNsh) και του πορώδους του σχηματισμού (ΦDsh). Οι τιμές είναι ΦNsh=0,15 και ΦDsh=0,04 αντίστοιχα και βγήκαν ως ο μέσος όρος στα βάθη εντοπισμού αργιλικών σχιστολίθων.

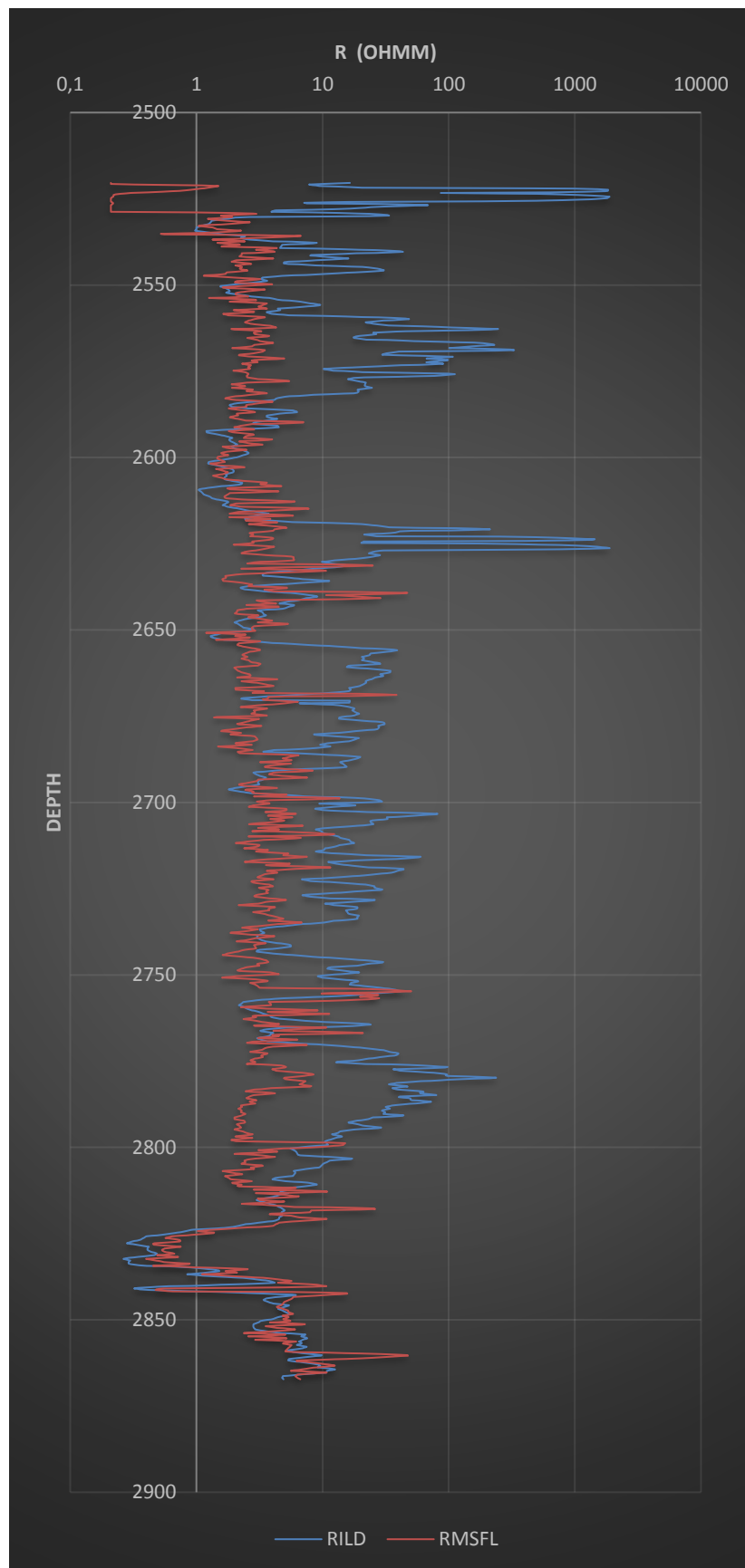
Τέλος ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως και στις προηγούμενες δύο γεωτρήσεις, αντικαθιστώντας στις εξισώσεις για να βρεθεί ο βαθμός κορεσμού σε νερό.



Σχήμα 4.9 Όγκος αργλικών προσμίξεων συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-13



Σχήμα 4.10 Πορώδες συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-13



Σχήμα 4.11 Ηλεκτρικές διαγραφίες συναρτήσεως του βάθους, για την γεώτρηση PB-13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Συμπεράσματα για γεώτρηση PA-10

Σε αυτή την γεώτρηση το βάθος ενδιαφέροντος κυμαίνεται από 2550 έως 2790 μέτρα. Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε αναφέρεται για μέσο βαθμό κορεσμού μικρότερο του 57.7%.

Ταμιευτήρας A₁:

Κυμαίνεται μεταξύ 2550-2616 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 15.2%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 24.9%.

Ταμιευτήρας A₂:

Κυμαίνεται μεταξύ 2616-2706 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 9.8%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 38.5%.

Ταμιευτήρας B:

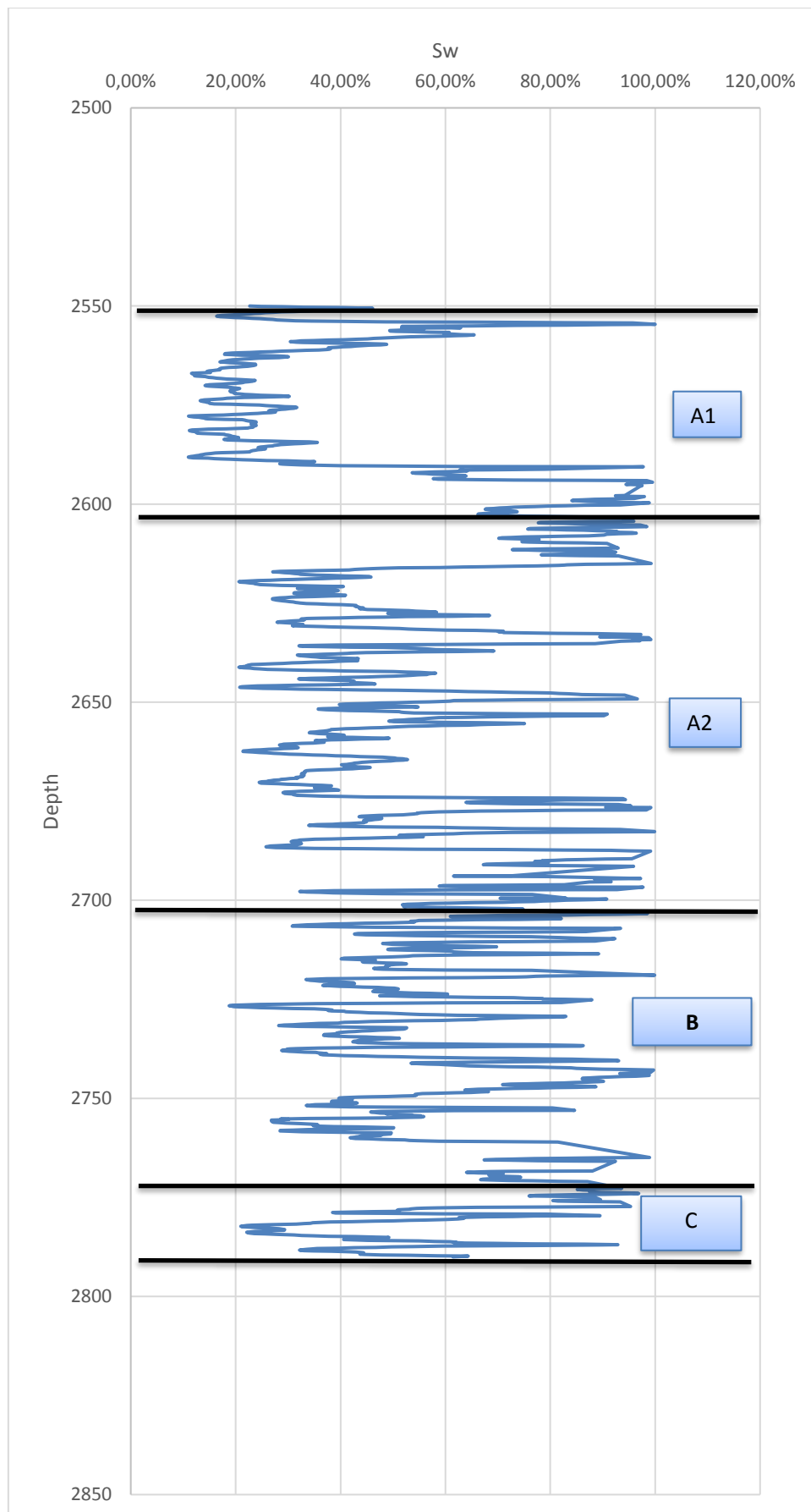
Κυμαίνεται μεταξύ 2706-2776 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 8.1%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 42.6%.

Ταμιευτήρας C:

Κυμαίνεται μεταξύ 2776-2790 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 8.2%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 38%.

Πίνακας 5.1: Οι μέσοι βαθμοί κορεσμού σε νερό και τα πορώδη για την γεώτρηση PA-10

Depths	S_{wt}	ϕ
2550-2616	24.9%	15.2%
2616-2706	38.5%	9.8%
2706-2776	42.6%	8.1%
2776-2790	38%	8.2%



Σχήμα 5.1 Βαθμός κορεσμού σε νερό συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PA-10

5.2 Συμπεράσματα για γεώτρηση PB-14

Σε αυτή την γεώτρηση το βάθος ενδιαφέροντος κυμαίνεται από 2566 έως 2834 μέτρα. Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε αναφέρεται για μέσο βαθμό κορεσμού μικρότερο του 57.7%.

Ταμιευτήρας A₁:

Κυμαίνεται μεταξύ 2566-2643 μέτρα με βήμα 0,1524. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 9.5%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 36.1%.

Ταμιευτήρας A₂:

Κυμαίνεται μεταξύ 2643-2756 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 9.7%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 40.7%.

Ταμιευτήρας B:

Κυμαίνεται μεταξύ 2756-2834 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 7.2%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 47.7%.

Πίνακας 5.2: Οι μέσοι βαθμοί κορεσμού σε νερό και τα πορώδη για την γεώτρηση PB-14

Depths	S _{wt}	φ
2566-2643	36.1%	9.5%
2643-2756	40.7%	9.7%
2756-2834	47.7%	7.2%

5.3 Συμπεράσματα για γεώτρηση PB-13

Σε αυτή την γεώτρηση το βάθος ενδιαφέροντος κυμαίνεται από 2642 έως 2805 μέτρα. Η μεθοδολογία η οποία ακολουθήθηκε αναφέρεται για μέσο βαθμό κορεσμού μικρότερο του 57.7%.

Ταμιευτήρας A₂:

Κυμαίνεται μεταξύ 2642-2697 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 11,8%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 40.5%.

Ταμιευτήρας B:

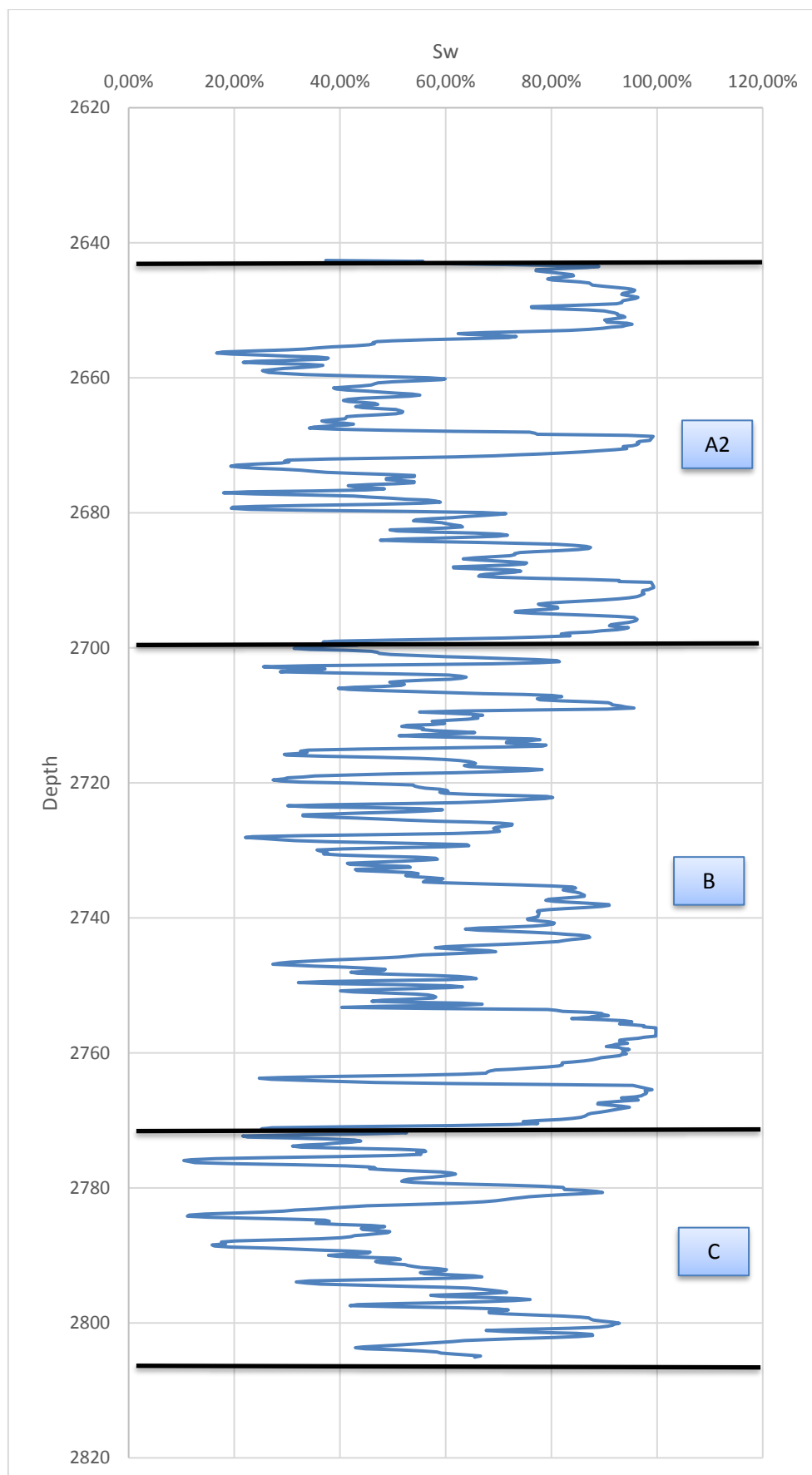
Κυμαίνεται μεταξύ 2697-2769 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 11%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 43.2%.

Ταμιευτήρας C:

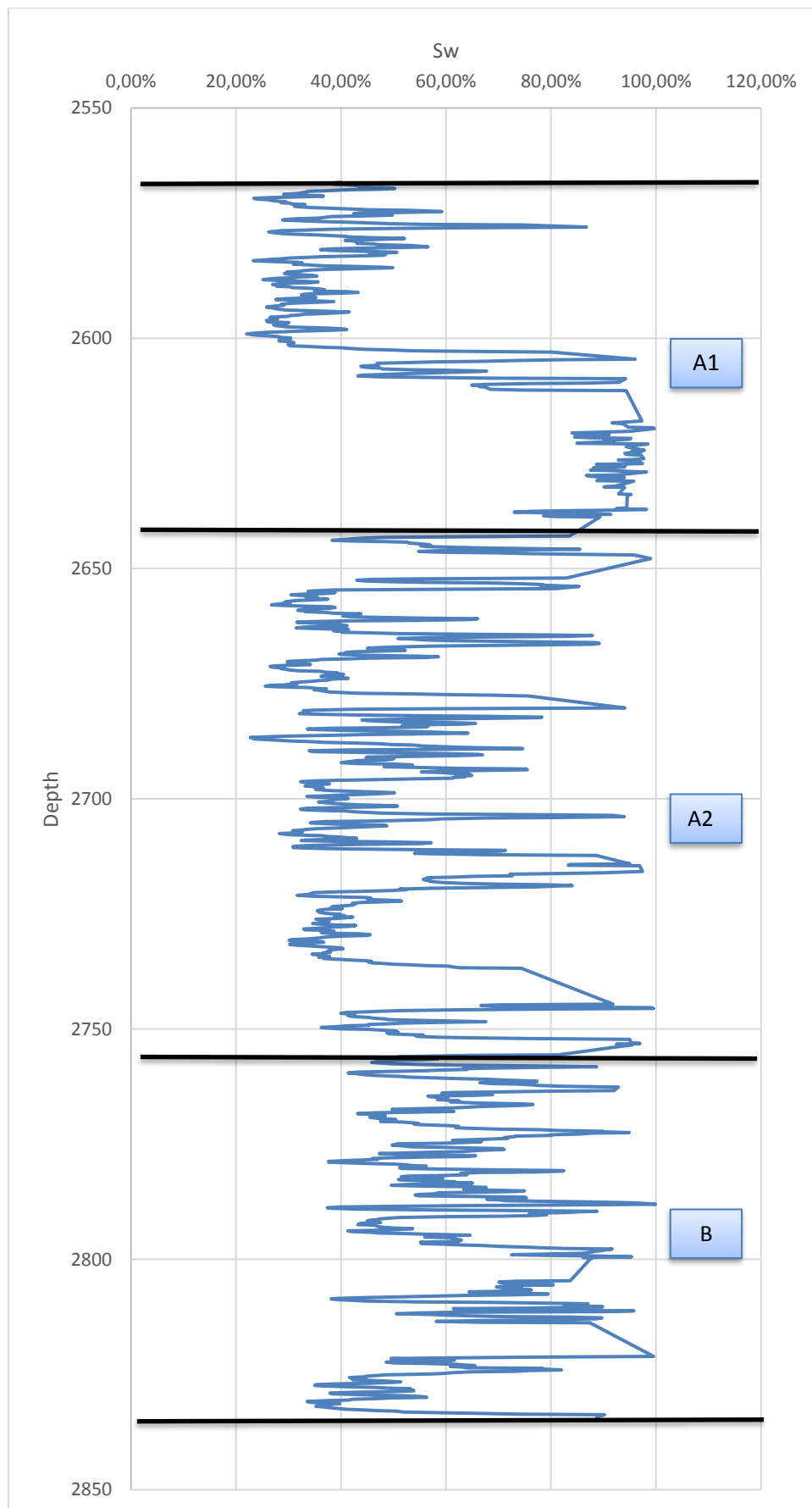
Κυμαίνεται μεταξύ 2769-2805 μέτρα. Η μέση τιμή του πορώδους είναι της τάξεως του 12,6%. Ο μέσος βαθμός κορεσμού σε νερό (S_{wt}) εκτιμάται στο 39.5%

Πίνακας 5.3: Οι μέσοι βαθμοί κορεσμού σε νερό και τα πορώδη για την γεώτρηση PB-13

Depths	S_{wt}	ϕ
2642-2697	40.5%	11.8%
2697-2769	43.2%	11%
2769-2805	39.5%	12.6%



Σχήμα 5.2 Βαθμός κορεσμού σε νερό συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-13



Σχήμα 5.3 Βαθμός κορεσμού σε νερό συναρτήσει του βάθους, για την γεώτρηση PB-14

5.4 Συνολική εκτίμηση και των τριών γεωτρήσεων

Σύμφωνα με τα παραπάνω καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η γεώτρηση PB-14 παρουσιάζει μέσο βαθμό κορεσμού σε νερό 40.9% σε βάθος από 2566 έως 2834, η γεώτρηση PA-10 έχει μέσο βαθμό κορεσμού σε νερό 36.4% για το εύρος από 2540 έως 2790 και η γεώτρηση PB-13 παρουσιάζει μέσο βαθμό κορεσμού σε νερό 41.7% για τα βάθη 2618 έως 2805.

Τέλος καταλήγουμε ότι, λόγω του ότι λάβαμε υπόψη μας τις αργιλικές προσμίξεις είναι αναμενόμενο να παρουσιάζεται μεγαλύτερος βαθμός κορεσμού σε νερό σε σχέση με την μη ύπαρξη αργιλικών προσμίξεων (πίνακας 5.4, 5.5, 5.6)

Πίνακας 5.4: Σύγκριση μέσου βαθμού κορεσμού με παρουσία και μη αργιλικών προσμίξεων για την γεώτρηση PA-10

Depths	S _{wt} (Με αργιλικές προσμίξεις)	S _{wt} (Χωρίς αργιλικές προσμίξεις) [Πολίτης,2015]
2550-2616	24.9%	17%
2616-2706	38.5%	23.5%
2706-2776	42.6%	27%
2776-2790	38%	24%

Πίνακας 5.5: Σύγκριση μέσου βαθμού κορεσμού με παρουσία και μη αργιλικών προσμίξεων για την γεώτρηση PB-14

Depths	S _{wt} (Με αργιλικές προσμίξεις)	S _{wt} (Χωρίς αργιλικές προσμίξεις) [Πολίτης,2015]
2566-2643	40.5%	23%
2643-2756	43.2%	20%
2756-2834	39.5%	21%

Πίνακας 5.6: Σύγκριση μέσου βαθμού κορεσμού με παρουσία και μη αργιλικών προσμίξεων για την γεώτρηση PB-13

Depths	S _{wt} (Με αργιλικές προσμίξεις)	S _{wt} (Χωρίς αργιλικές προσμίξεις) [Πολίτης,2015]
2642-2697	36.1%	23%
2697-2769	40.7%	26%
2769-2805	47.7%	25%

Βιβλιογραφία

1. Anderson B. et al .ELMOD. (1989), Putting Electromagnetic Modeling to Work to Improve Resistivity Log Interpretation. SPWLA Thirtieth Annual Logging Symposium, Paper M.
2. E. R. (Ross) Crain, P.Eng. (2012), Crain's petrophysical handbook, Theoretical and Experimental Bases for the Dual-Water Model for Interpretation of Shaly Sands
3. G.R Morrison. (1989), Bureau of mineral resources, geology and geophysics
4. *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*
5. *Proedrou P. and Papaconstantinou P., (2004) : Prinos Basin – A model for exploration. Proc. Of the XXXVI Geological society of Greece, Thessaloniki, April, 327-333.*
6. Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Charts.
7. Schlumberger Educational Services (1991) .Log Interpretation Principles/Applications.
8. Waxman, M.H. and Smits L.J.M. (1968). Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands.
9. Waxman, M.H. and Thomas, E.C. (1974) Electrical Conductivities in Shaly Sands-I. The Relation between Hydrocarbon Saturation and Resistivity Index
10. Βαφείδης Α. (2011) «Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους» Πολυτεχνείο Κρήτης, Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Γεωφυσικής
11. Μανούτσογλου Εμ. (2000) : Εισαγωγή στη Γεωλογία. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
12. Μανούτσογλου Εμ. (2003) : Εισαγωγή στη Γεωλογία Ελλάδος. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης, Τμήμα Μηχανικών Ορυκτών Πόρων, Χανιά
13. Μιχελάκης, Μ. (2010). Τρισδιάστατη λιθοστρωματογραφική προσομοίωση του κοιτάσματος υδρογονανθράκων του Πρίνου. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

14. Νταγκουνάκη Β. (2009) Συγκριτική αξιολόγηση ωριμότητας μητρικών σχηματισμών υδρογονανθράκων του ελληνικού χώρου. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
15. Πολίτης Ε. (2015). Αξιολόγηση γεωλογικών σχηματισμών με τη χρήση διαγραφιών από τις γεωτρήσεις PA-10, PB-13 και PB-14. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά
16. Πουλάκης Π. (2008). Συγκριτική αξιολόγηση πετρελαίων από σχηματισμούς της λεκάνης του Πρίνου με μεθόδους οργανικής γεωχημείας. Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά

Διαδικτυακή βιβλιογραφία

1. <http://petrowiki.org/PetroWiki>
2. <https://www.wikipedia.org/>
3. <http://seismo.geology.upatras.gr/greek/logging2012enc.pdf>
4. http://exereuniseis-ghs.blogspot.gr/2013/05/blog-post_7749.html