

7. ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΣΑ ΣΕ ΓΕΩΤΡΗΣΗ (ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ - LOGGING)

7.1 Εισαγωγή

Τα υλικά κοπής των πετρωμάτων που μεταφέρονται στην επιφάνεια, κατά την εκτέλεση μιας γεώτρησης, είναι δύσκολο να ερμηνευθούν λόγω της ανάμειξης και της διήθησης τους μαζί με τα υγρά της γεώτρησης με αποτέλεσμα να μην παρέχουν συχνά επαρκείς πληροφορίες για τις εσωτερικές φυσικές ιδιότητες των σχηματισμών από τους οποίους προέρχονται. Οι γεωφυσικές διαγραφίες μέσα σε γεώτρηση χρησιμοποιούνται για να δώσουν επί πλέον πληροφορίες σχετικά με την αλληλουχία των στρωμάτων (πετρωμάτων) που συναντώνται κατά τη διάνοιξη μιας γεώτρησης. Ιδιαίτερη σημασία έχει ο καθορισμός του βάθους των γεωλογικών ασυνεχειών ή στρωμάτων, τα οποία έχουν ένα χαρακτηριστικό γεωφυσικό γνώρισμα, ώστε να παρέχουν ένα μέσο για τη συσχέτιση της γεωλογικής πληροφορίας μεταξύ των γεωτρήσεων και να λαμβάνεται πληροφορία για τις «επί τόπου» ιδιότητες των τοιχωμάτων της γεώτρησης. Εν δυνάμει, όλες οι γεωφυσικές τεχνικές που έχουν αναφερθεί για επιφανειακές διασκοπήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν και στις γεωφυσικές διαγραφίες μέσα σε γεώτρηση, αλλά οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, του φυσικού δυναμικού, της φυσικής και της τεχνητά εφαρμοζόμενης ραδιενέργειας, της ηχητικής ή ακουστικής ταχύτητας και της θερμοκρασίας.

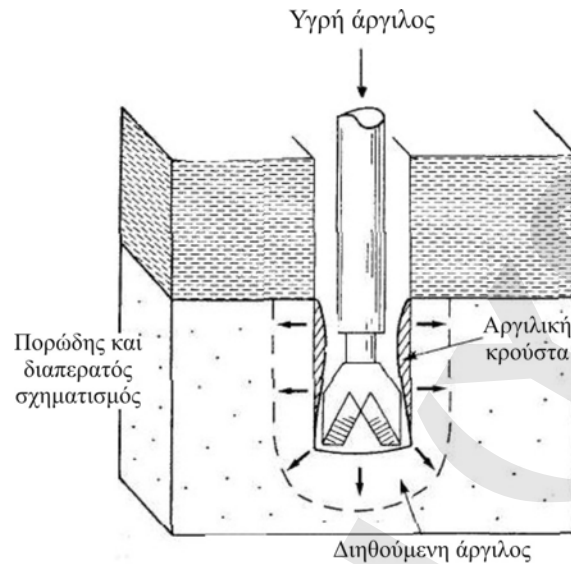
7.2 Στοιχεία της γεώτρησης – Επίδραση του υγρού κοπής

Πρέπει να αναφερθούν, κατ' αρχήν, ορισμένα χαρακτηριστικά στοιχεία μιας γεώτρησης. Έτσι, όταν η στήλη της υγρής αργίλου (που χρησιμοποιείται στην διάνοιξη της γεώτρησης) πιεσθεί κατά την εκτέλεση της γεώτρησης και βρεθεί σ' ένα σχηματισμό μεγάλου σχετικά πορώδους, τότε η άργιλος πέζεται να εισέλθει μέσα στον σχηματισμό. Ο πορώδης σχηματισμός δρα σαν φίλτρο που διαχωρίζει την άργιλο στα υγρά και στερεά συστατικά της. Η διηθούμενη άργιλος θα εισέλθει μέσα στο σχηματισμό, ενώ τα στερεά συστατικά θα σχηματίσουν μια ζώνη γύρω από τα τοιχώματα της γεώτρησης. Έτσι, θα σχηματισθεί μια αργιλική κρούστα. Η αργιλική κρούστα θα αυξάνει σε πάχος μέχρι κάποιο σημείο που από κει και πέρα δεν θα επιτρέπει την διείσδυση της υγρής αργίλου. Σε μια κατακόρυφη τομή (εικ. 7-1 & 7-2) που διέρχεται από την γεώτρηση, φαίνονται οι διάφορες ζώνες που αναπτύσσονται κατά την εκτέλεση της γεώτρησης.

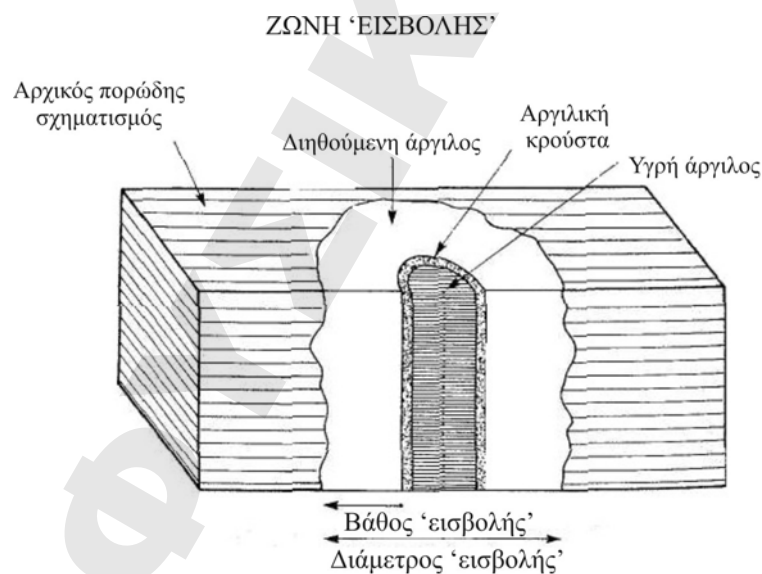
Το φαινόμενο της αντίστασης του πορικού υγρού του σχηματισμού που προκαλείται από την διηθούμενη άργιλο και οι διάφορες ζώνες που δημιουργούνται ορίζουν την περιοχή «εισβολής». Η «εισβολή» επιδρά σε πορώδεις και διαπερατούς σχηματισμούς στην άμεση γεινίαση της γεώτρησης. Περιγράφεται δε από το βάθος ή τη διάμετρο της εισβολής δηλαδή την απόσταση που φθάνει η διηθούμενη άργιλος από το τοίχωμα της γεώτρησης. Γενικά, η «εισβολή» είναι μικρή σε πολύ πορώδεις και διαπερατούς σχηματισμούς, διότι δημιουργείται αμέσως αργιλική κρούστα και εμποδίζει την διείσδυση της υγρής αργίλου. Αντίθετα, σε oligότερο διαπερατές ζώνες ή ρηγματομένους σχηματισμούς, όπου η αργιλική κρούστα δύσκολα και αργά αναπτύσσεται, η ζώνη «εισβολής» φθάνει σε μεγάλο βάθος, μέχρι μερικά μέτρα. Επειδή, οι βαθιές ζώνες «εισβολής» είναι ανεπιθύμητες, προστίθενται πολλές φορές χημικά στοιχεία για την δημιουργία προστατευτικής αργιλικής κρούστας. Τέτοια προϊόντα είναι τα lignosulfanates, διάφορες κόλλες (άμυλο), κτλ.

Για ευκολία, η ζώνη «εισβολής» ενός πορώδους και διαπερατού σχηματισμού από διηθούμενη άργιλο διαιρείται σε δύο ζώνες. Στην πραγματικότητα οι ζώνες μεταπίπτουν η μία προς την άλλη. Πλησιέστερα προς το τοίχωμα της γεώτρησης, πίσω από την αργιλική κρούστα είναι η «άμεση» ζώνη εισβολής, όπου η διηθούμενη άργιλος έχει αντικαταστήσει

όλο το αρχικό πορώδη υγρό. Βαθμιαία, μακριά από το τοίχωμα της γεώτρησης, ο όγκος της διηθούμενης αργίλου γίνεται μικρότερος μέχρι που το αρχικό πορώδη υγρό συναντάται σε κάποια απόσταση από το τοίχωμα της γεώτρησης. Αυτή είναι η «μεταβατική» ζώνη εισβολής, η οποία εν συνεχεία δίνει τη θέση της στη μη διαταραγμένη ζώνη του σχηματισμού.

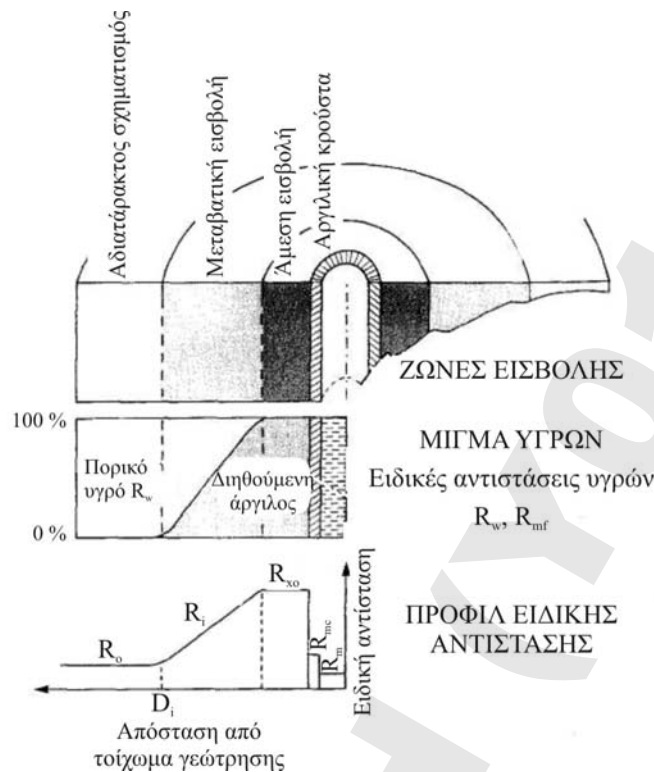


Εικόνα 7-1: Σχηματική απεικόνιση της δυναμικής διήθησης υγρής αργίλου καθώς το εργαλείο της κοπής κόβει τον πορώδη σχηματισμό.



Εικόνα 7-2: Εισβολή: απλή απεικόνιση της επίδρασης των υγρών κοπής στον πορώδη και διαπερατό σχηματισμό.

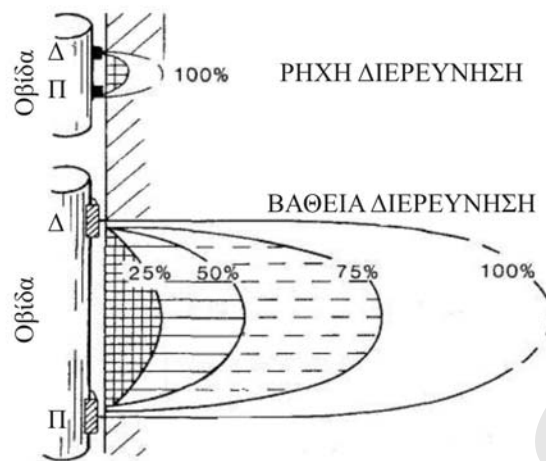
Η κανονική μεταβολή που λαμβάνει χώρα στα πορώδη υγρά πέρα από το τοίχωμα της γεώτρησης, προκαλεί παράλληλη (αντίστοιχη) μεταβολή στην ειδική αντίσταση του σχηματισμού σε συνάρτηση με την απόσταση από το τοίχωμα της γεώτρησης. Οι μεταβολές ειδικής αντίστασης μπορούν εύκολα να καθοριστούν με τη γραφική παράσταση της ειδικής αντίστασης σε συνάρτηση με την απόσταση από το τοίχωμα της γεώτρησης σε σταθερό βάθος. Έτσι λαμβάνονται δύο είδη γραφικής απεικόνισης της ειδικής αντίστασης (εικ. 7-3).



Εικόνα 7-3. i) Ζώνες εισβολής γύρω από γεώτρηση, ii) Ισοδύναμη σχηματική απεικόνιση του μίγματος υγρών, iii) Προφίλ (σχηματικό) ειδικής αντίστασης.

- Όπου R_{xo} : ειδική αντίσταση της ζώνης άμεσης «εισβολής»
 R_i : ειδική αντίσταση της ζώνης μεταβατικής «εισβολής»
 R_o : ειδική αντίσταση του γεωλογικού σχηματισμού
 R_{mc} : ειδική αντίσταση της αργιλικής κρούστας
 R_m : ειδική αντίσταση της υγρής αργίλου
 D_j : βάθος εισβολής

Οι μεταβολές της ειδικής αντίστασης οφείλονται εξ' ολοκλήρου στις αλλαγές που επιφέρει το διηθούμενο υγρό (κυρίως η υγρή άργιλος), δεδομένου ότι είναι ο ίδιος σχηματισμός. Στην άμεση ζώνη εισβολής το πορικό υγρό του σχηματισμού έχει αντικατασταθεί από την υγρή διηθούμενη άργιλο, ενώ στη μεταβατική ζώνη εισβολής έχει αντικατασταθεί μερικώς. Τέλος, το πορικό υγρό δεν έχει διαταραχθεί πέραν από τη μεταβατική ζώνη εισβολής και η ειδική αντίσταση του σχηματισμού, R_o , έχει παραμείνει ανεπηρέαστη και αντιπροσωπευτική του σχηματισμού. Ο προσδιορισμός της ειδικής αντίστασης, R_o , επομένως ενδιαφέρει από πλευράς διερεύνησης του σχηματισμού και πρέπει να εφαρμοσθεί η κατάλληλη διάταξη ώστε να εξασφαλισθεί το βάθος έρευνας του μη διαταραγμένου υλικού. Συνήθως εφαρμόζονται πλέον της μιας διατάξεις, προσδιορίζοντας αρχικά τις ειδικές αντιστάσεις πλησιέστερα προς τα τοιχώματα της γεώτρησης και στη συνέχεια διατάξεις που εξασφαλίζουν βαθύτερες διερευνήσεις (εικ.7-4)



Εικόνα 7-4. Σχηματική απεικόνιση δυο οβίδων ρηχής και βαθιάς διερεύνησης.

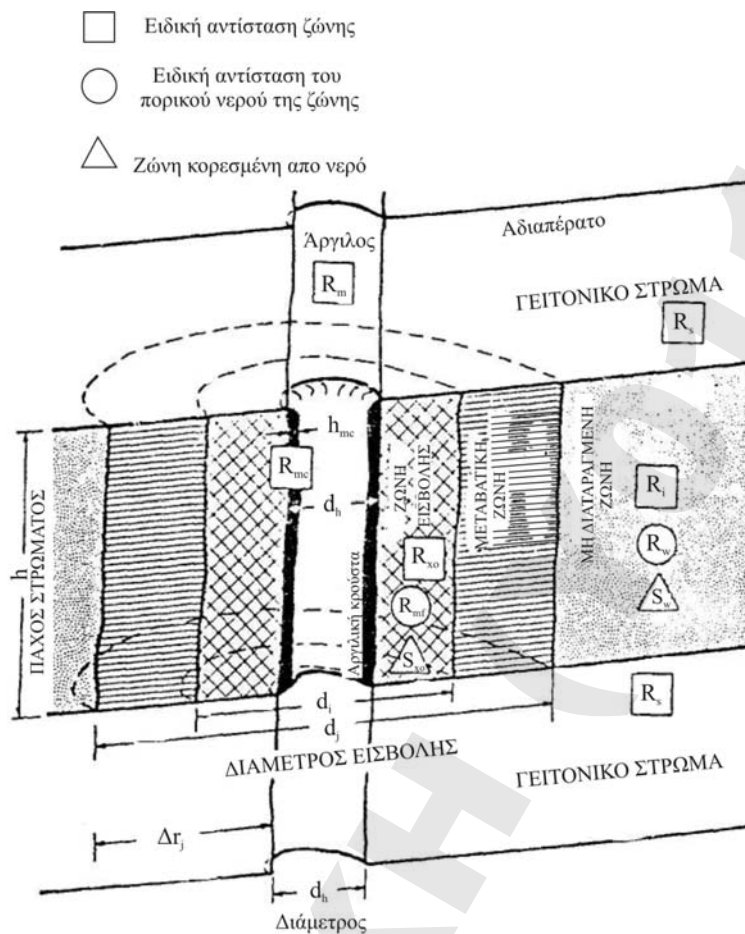
7.3 Τρόπος λήψης των μετρήσεων

Τα όργανα που χρησιμοποιούνται στις γεωφυσικές διαγραφίες, εγκλείονται σε ένα μεταλλικό κυλινδρικό σωλήνα, γνωστό ως οβίδα. Οι οβίδες αναρτώνται στη γεώτρηση από ένα οπλισμένο πολυπυρηνικό καλώδιο. Στη συνέχεια κατέρχονται μέχρι του βάθους της καταγραφής και αρχίζει η καταγραφή με την μετακίνηση τους προς τα πάνω κατά μήκος του αυλού της γεώτρησης. Η καταγραφή των δεδομένων γίνεται συχνά σε χαρτί ή σε μαγνητική ταινία σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή για παρατέρα επεξεργασία σε υπολογιστή. Τα εκτός γεώτρησης όργανα όπως, καταγραφικά συστήματα, καρούλια καλωδίων, βαρούλκα, είναι συνήθως εγκατεστημένα σε ένα κατάλληλα διαμορφωμένο όχημα, το οποίο τοποθετείται κοντά στη κεφαλή της γεώτρησης. Οι οβίδες κανονικά περιλαμβάνουν συνδυασμούς γεωφυσικών εργαλείων (τεχνικών), τα οποία δεν αλληλοεπηρεάζονται, έτσι ώστε μια ευρεία σειρά γεωφυσικών διαγραφιών μπορεί να αποκτηθεί από ένα περιορισμένο αριθμό διαδρομών καταγραφής.

Οι τεχνικές των γεωφυσικών διαγραφιών έχουν ευρύτατα χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικές γεωτρήσεις που έχουν διανοιχθεί στην έρευνα των υδρογονανθράκων, επειδή παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για τις «επί τόπου» ιδιότητες των πετρωμάτων και τον εντοπισμό πιθανών ταμειωτήρων. Επίσης, χρησιμοποιούνται στην επίλυση υδρογεωλογικών προβλημάτων. Μια επισκόπηση της μεθοδολογίας και των εφαρμογών των γεωφυσικών διαγραφιών στη θάλασσα δίδεται από τον Goldberg (1997). Μερικές μοντέρνες περιπτώσεις και αξιολογήσεις των πρόσφατων επιτευξών δίδονται από τον Lovell et. Al. (1999).

Το «ανιχνευτικό όργανο» (sonde) μπορεί να έχει μήκος μερικών μέτρων και διάμετρο σε αναλογία με την διάμετρο της γεώτρησης, δηλαδή από 0.2 έως 0.5 m. Οι μετρήσεις επηρεάζονται όχι μόνο από τις ιδιότητες του γεωλογικού σχηματισμού στο επίπεδο του οργάνου, αλλά και από την γεωλογία πάνω και κάτω από αυτό, (εκτός και αν είναι αρκετά παχύς), όπως επίσης και από το υγρό κοπής εντός του αυλού της γεώτρησης. Συνήθως το υγρό αυτό είναι υγρή άργιλος ή τριζοντροπική άργιλος, αιωρούμενη σε καθαρό ή αλατούχο νερό ή πετρέλαιο.

Η ειδική αντίσταση της υγρής αυτής άργιλος, είναι συνήθως λίγο μεγαλύτερη από αυτήν του υγρού του γεωλογικού ορίζοντα σε γεωτρήσεις πετρελαίου και συγκρίσιμη με αυτή σε γεωτρήσεις νερού.



Εικόνα 7-5. Απεικόνιση περιβάλλοντος γεώτρησης και τα σύμβολά που χρησιμοποιούνται στην ερμηνεία των μεθόδων.

Το «ενεργό βάθος έρευνας», ως ποιοτική έννοια, είναι η ακτίνα κύκλου με κέντρο το ανιχνευτικό όργανο και μέσα στην οποία περιέχεται το υλικό του οποίου οι ιδιότητες προσδιορίζουν τις τιμές των μετρήσεων. Το βάθος έρευνας ποικίλλει από μερικά εκατοστά του μέτρου μέχρι ένα μέτρο πέρα από το τοίχωμα της γεώτρησης.

Η εικόνα 7-5 απεικονίζει το περιβάλλον μιας γεώτρησης και τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στην ερμηνεία των μεθόδων.

7.4 Χρησιμότητα και εφαρμογή των γεωφυσικών διαγραφιών

Οι γεωλογικές ιδιότητες που λαμβάνονται από τις γεωφυσικές διαγραφίες είναι: το πάχος των σχηματισμών και η λιθολογία τους, το πορώδες, η διαπερατότητα, ο βαθμός κορεσμού σε νερό ή/και υδρογονάνθρακα των σχηματισμών, η κλίση των στρωμάτων και η θερμοκρασία.

Το πάχος των σχηματισμών και η λιθολογία καθορίζονται κανονικά με τη συσχέτιση των γεωφυσικών διαγραφιών με δεδομένα πυρηνοληψίας της γεώτρησης. Οι πιο χρήσιμες διαγραφίες είναι εκείνες που βασίζονται στις γεωηλεκτρικές μεθόδους της ειδικής αντίστασης, του φυσικού δυναμικού, της μέτρησης της ραδιενέργειας και της ακουστικής ταχύτητας, οι οποίες χρησιμοποιούνται συνδυασμένα για να αποκτηθεί μια αναμφισβήτητη δομή. Η διαγραφή caliper, η οποία μετρά αλλαγές της διαμέτρου της γεώτρησης, επίσης παρέχει έμμεση πληροφορία για τη λιθολογία. Γενικά, οι μεγαλύτερες διαμέτροι σε μια γεώτρηση φανερώνουν την παρουσία λιγότερο συνεκτικών τοιχωμάτων αυτής, τα οποία εύκολα μπορούν να διαβρωθούν κατά τη διάρκεια της διάνοιξης της.

Ο προσδιορισμός του πορώδους βασίζεται σε μετρήσεις της ειδικής αντίστασης, της ακουστικής ταχύτητας και της ραδιενέργειας. Επιπροσθέτως, ο προσδιορισμός του πορώδους μπορεί να αποκτηθεί από τη διαγραφή πυκνότητας ακτίνων γ , διαγραφία νετρονίου-ακτίνων γ και διαγραφία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR).

Η διαπερατότητα και ο βαθμός κορεσμού σε νερό και υδρογονάνθρακα παράγονται από μετρήσεις της ειδικής αντίστασης. Η κλίση των στρωμάτων και η θερμοκρασία υπολογίζονται από ειδικές αυτόνομες καταγραφές.

7.5 Γεωφυσικές μέθοδοι μέσα σε γεώτρηση

7.5.1 Η μέθοδος του φυσικού δυναμικού (SP)

Φυσικό δυναμικό είναι η φυσική διαφορά δυναμικού, η οποία ανιχνεύεται μεταξύ ενός απλού ηλεκτροδίου μέσα στην γεώτρηση και ενός ηλεκτροδίου αναφοράς στην επιφάνεια. Οφείλεται δε, σε συνδυασμό ηλεκτροχημικών φαινομένων, εκ των οποίων το σπουδαιότερο είναι το «δυναμικό μεμβράνης» και το οποίο δημιουργείται κυρίως στις επαφές σχιστολίθων – ψαμμιτών. Οι σχιστόλιθοι είναι διαπερατοί σε κατιόντα Na^+ , αλλά κατά βάση μη διαπερατοί σε ανιόντα Cl^- . Ως αποτέλεσμα δημιουργείται ένα δυναμικό όταν κατιόντα νατρίου περνούν από το αλατούχο νερό του ψαμμίτη στο γειτονικό στρώμα σχιστολίθου και από εκεί στην υγρή άργιλο του αυλού της γεώτρησης (εικ. 7-6).

Ένα ακόμη δυναμικό εμφανίζεται στην επαφή της διηθούμενης αργίλου στη ζώνη εισβολής και του αλατούχου νερού, πέρα από τη ζώνη αυτή που ονομάζεται δυναμικό «επαφής» (εικ. 7-6). Ως αποτέλεσμα της μεγαλύτερης ευκινησίας των ανιόντων Cl^- σε σχέση με τα κατιόντα Na^+ , δημιουργείται μια ροή ιόντων Cl^- προς τη ζώνη εισβολής.

Για να επιτευχθεί μια μόνιμη καταγραφή χρησιμοποιείται ειδικό καταγραφικό όργανο. Η διάταξη καταγραφής είναι πολύ απλή. Ένα καταγραφικό όργανο δυναμικού είναι ενωμένο με δύο ηλεκτρόδια τα οποία βρίσκονται, το ένα μέσα στην γεώτρηση και το άλλο στην επιφάνεια (εικ. 7-7).

7.5.1.α Ερμηνεία δεδομένων SP

1. Εύρεση του στατικού φυσικού δυναμικού (SSP) από την SP log διάταξη.
2. Υπολογισμός της θερμοκρασίας του γεωλογικού σχηματισμού T (° C) από:
(α) θερμοκρασία του πυθμένα της γεώτρησης και μέση επιφανειακή θερμοκρασία – γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο τιμών ή /και
(β) από την υπόθεση ότι η θερμοκρασία αυξάνεται με ρυθμό 1 °C / 55m.
3. Υπολογισμός της R_{mf} (ειδική αντίσταση της διηθούμενης αργίλου) από άλλες γεωφυσικές μεθόδους που γίνονται ταυτόχρονα στην γεώτρηση.
4. Υπολογισμός της ειδικής αντίστασης του ευρισκομένου στο γεωλογικό σχηματισμό, πορικού υγρού (R_w) από την παρακάτω σχέση:

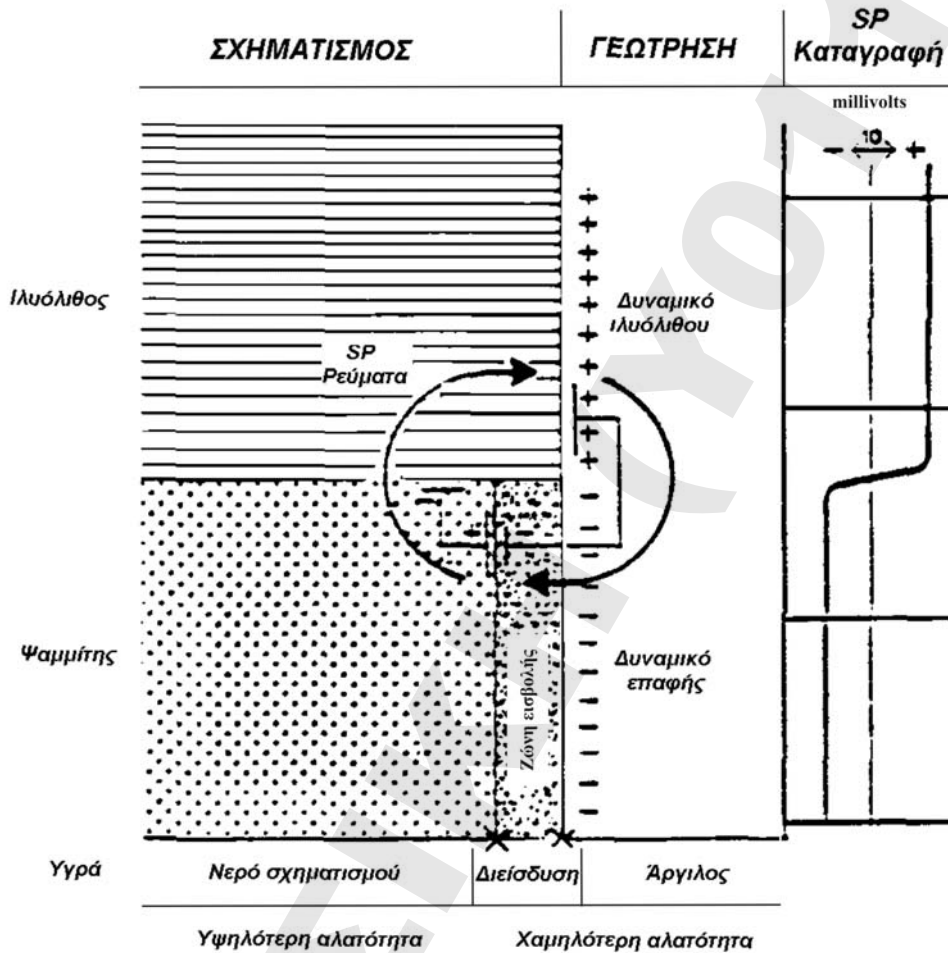
$$SSP = -k\log \frac{R_{mf}}{R_w} \quad \text{όπου } K = 65 + 0.24T \text{ (} ^\circ \text{C)}$$

5. Υπολογισμός του R_w σε οποιαδήποτε θερμοκρασία (από πίνακες)

7.5.1.β Προϋποθέσεις:

1. Πορικό υγρό (ύδωρ) σχηματισμού αρκετά αλατούχο
2. κυρίαρχο συστατικό το NaCl
3. καθαρή άργιλος χωρίς προσμίξεις

Σημείωση: Στατικό φυσικό δυναμικό (SSP) είναι το μέγιστο φυσικό δυναμικό που χαρακτηρίζει στρώμα ψαμμίτη για δεδομένο λόγο R_m/R_w . Το στρώμα αυτό πρέπει να είναι αρκετά διαπερατό με υψηλό πορώδες χωρίς προσμίξεις σχιστολιθικών (αργιλικών) σχηματισμών.



Εικόνα 7-6: Ροή ρεύματος από φυσικό δυναμικό μέσα σε γεώτρηση. Οι επιδράσεις των δυναμικών ιλυόλιθου και διάχυσης δρουν κυρίως στις επαφές των στρωμάτων προκαλώντας μια SP απόκλιση.

7.5.1.γ Χρήσεις της μεθόδου

- Για την διαφοροποίηση σχιστόλιθων και ψαμμιτών (η πιο βασική χρησιμότητα)
- στον υπολογισμό της ειδικής αντίστασης του πορικού υγρού (π.χ. νερού) του ευρισκομένου στον γεωλογικό ορίζοντα
- στον υπολογισμό της αργιλικότητας του διαπερατού στρώματος.

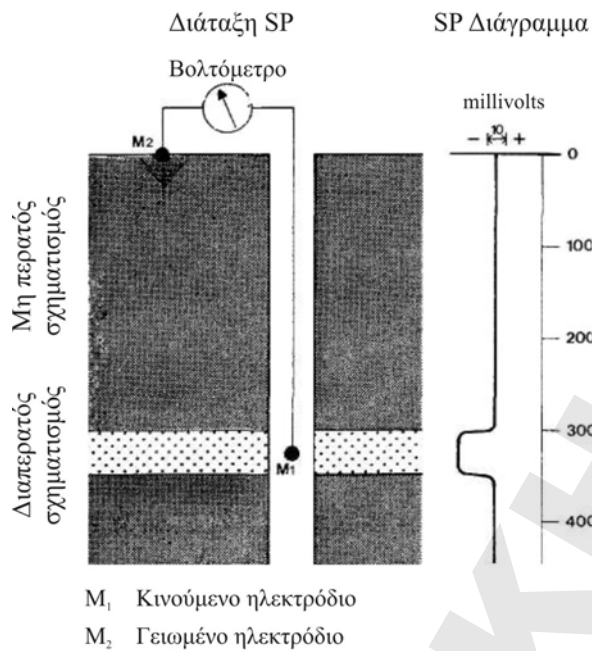
7.5.2 Η ηλεκτρική μέθοδος μέτρησης της ειδικής αντίστασης

7.5.2.α Γενικά

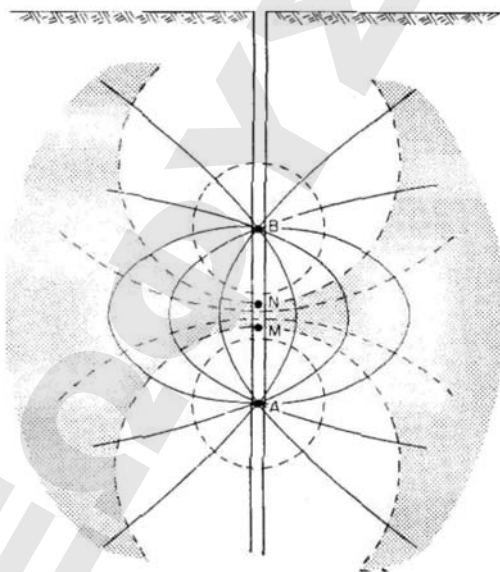
Η γενική εξίσωση για τον υπολογισμό της φαινόμενης ειδικής αντίστασης ρ_a για κάθε διάταξη μέσα σε γεώτρηση είναι:

$$\rho_a = \frac{4\pi\Delta V}{I \left\{ \left(\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} \right) - \left(\frac{1}{C_1 P_2} - \frac{1}{C_2 P_2} \right) \right\}}$$

όπου, C_1 (A), C_2 (B) είναι τα ηλεκτρόδια ρεύματος, P_1 (M), P_2 (N) τα ηλεκτρόδια δυναμικού μεταξύ των οποίων υπάρχει μια διαφορά δυναμικού ΔV , και I είναι το ρεύμα που ρέει στο κύκλωμα (εικ. 7-8 & 7-9).



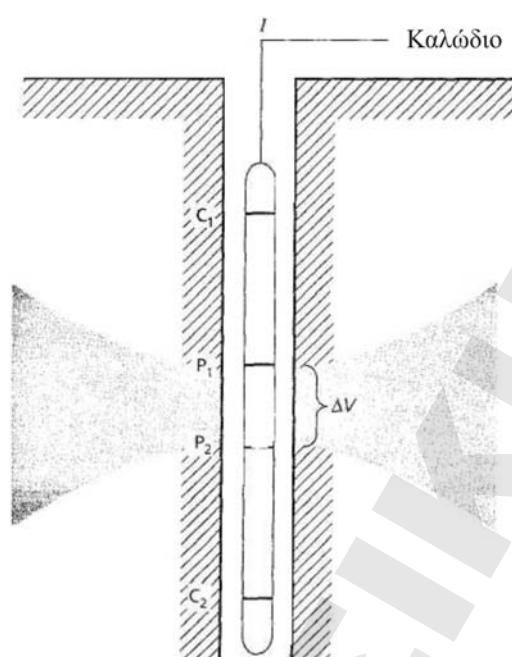
Εικόνα 7-7. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης SP.



Εικόνα 7-8. Διάγραμμα που δείχνει τις γραμμές ροής ρεύματος (συνεχείς γραμμές) και τις ισοδυναμικές επιφάνειες (διακεκομμένες γραμμές) μεταξύ της πηγής (A) και της καταβόθρας (B). Η μετρούμενη διαφορά δυναμικού μεταξύ M και N επηρεάζεται μόνο από το υλικό της σκιασμένης ζώνης.

Διαφορετικές διατάξεις ηλεκτροδίων χρησιμοποιούνται για να δώσουν πληροφορίες για διαφορετικές ζώνες γύρω από τη γεώτρηση. Με τη χρήση διακόπτη μπορεί να επιτραπεί η σύνδεση και άλλων διατάξεων ηλεκτροδίων και η λήψη μετρήσεων κατά τη διάρκεια μίας διαδρομής (πέρασμα) της οβίδας.

Η περιοχή που ενεργοποιείται (διασκοπείται) από κάθε μια γεωηλεκτρική διάταξη, μπορεί να εκτιμηθεί με τη θεώρηση των ισοδυναμικών επιφανειών στις οποίες τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται. Σε ένα ομογενές μέσον, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων αντανακλά την πυκνότητα του ρεύματος και την ειδική αντίσταση αυτής της περιοχής. Η ίδια διαφορά δυναμικού θα αποκτιόταν ανεξάρτητα της θέσης του ζεύγους των ηλεκτροδίων δυναμικού. Η ενεργοποιημένη ζώνη, κατά συνέπεια, είναι η περιοχή μεταξύ των ισοδυναμικών επιφανειών στις οποίες τα ηλεκτρόδια δυναμικού βρίσκονται. Στην εικόνα 7-9 φαίνεται η ενεργοποιημένη ζώνη σε ένα ομογενές μέσον.



Εικόνα 7-9. Η γενική μορφή της ηλεκτρικής διάταξης σε γεώτρηση. Η σκιασμένη περιοχή απεικονίζει την ενεργό περιοχή που μετρείται από το σύστημα.

7.5.2.β Ηλεκτρικές διατάξεις

Διάταξη ενός ηλεκτροδίου

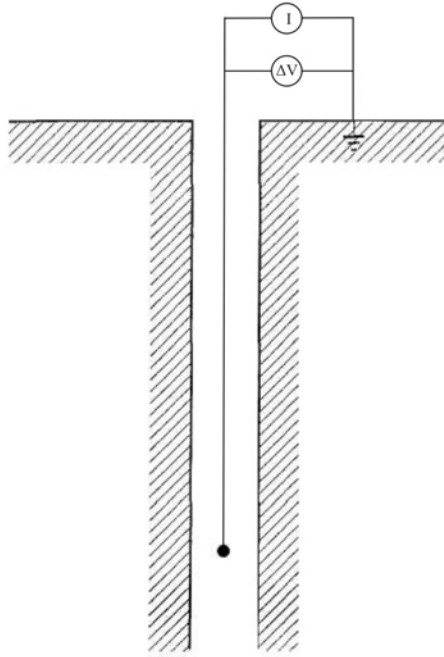
Χρησιμοποιείται η ίδια διάταξη με την μέθοδο ίδιου δυναμικού (SP log), αλλά με πιο πολύπλοκο καταγραφικό υλικό (εικ. 7-10). Το ενεργό βάθος έρευνας είναι 5-10 φορές μεγαλύτερο από την διάμετρο των ηλεκτροδίων.

Πλεονεκτήματα:

- Χαμηλό κόστος
- Εύκολη στην χρήση
- πολύ χρήσιμη για απλή συσχέτιση σχηματισμών
- χρήσιμη για ανίχνευση νερού, όχι πετρελαίου
- δείχνει πάχη στρωμάτων χωρίς φαινόμενο «εισβολής»

Μειονεκτήματα:

- Επηρεάζεται από την αλατότητα του νερού και γενικά οι φαινόμενες ειδικές αντιστάσεις που μετρούνται είναι διαφορετικές από τις πραγματικές τιμές.



Εικόνα 7-10: Ηλεκτρική διάταξη ενός ηλεκτροδίου

Διάταξη δύο ηλεκτροδίων (Normal log)

Αυτό είναι ένα σύστημα τεσσάρων ηλεκτροδίων εκ των οποίων τα δύο (ένα δυναμικού και ένα ρεύματος) βρίσκονται στην γεώτρηση. Η απόσταση αυτών των δύο ηλεκτροδίων είναι άλλοτε 16 ίντσες (κοντό ανάπτυγμα) και άλλοτε 64 ίντσες (μακρύ ανάπτυγμα). Τα άλλα δύο ηλεκτρόδια είναι σταθερά στην επιφάνεια του εδάφους (εικ. 7-11 & 7-12). Αυτή η διάταξη βασίζεται στην διάταξη τεσσάρων ηλεκτροδίων των κανονικών ηλεκτρικών μεθόδων (και ειδικότερα στη Wenner).

Η μέθοδος δίνει μία καμπύλη, η οποία είναι συμμετρική σε σχέση με τα στρώματα, των οποίων οι ειδικές αντιστάσεις διαφέρουν από τις άλλες των γειτονικών στρωμάτων. Το κοντό ανάπτυγμα δίνει πολύ καλή απόκριση σε λεπτά στρώματα, ενώ το μεγαλύτερο (άρα μεγαλύτερο βάθος έρευνας) δίνει ειδικές αντιστάσεις που δεν επηρεάζονται από την γεώτρηση και τη ζώνη εισβολής.

Εφαρμογές:

1. Λιθολογία. Τα δύο αναπτύγματα (16 και 64 ιντσών) δίνουν τις ίδιες ειδικές αντιστάσεις όταν δεν υπάρχει φαινόμενο εισβολής (π.χ. σε αργίλους), ενώ δίνουν διαφορετικές τιμές όταν υπάρχει.
2. Προσδιορισμός του πάχους στρώματος. Ο προσδιορισμός του πάχους του σχηματισμού εξαρτάται από την απόσταση των ηλεκτροδίων AM (εικ. 7-11 & 7-12). Η επίδραση αυτή φαίνεται στην εικόνα 7-13. Για μικρή απόσταση AM (7-13α) προκύπτει παχύ στρώμα του σχηματισμού ($\approx 5AM$), ενώ για μεγάλη απόσταση AM (7-13β) προκύπτει λεπτό στρώμα ($\approx 1.5AM$). Επίσης, στρώματα υψηλής ειδικής αντίστασης εμφανίζονται λεπτότερα από το πραγματικό τους πάχος, κατά ένα μήκος ίσο ή μικρότερο της απόστασης των ηλεκτροδίων, ενώ αγωγά στρώματα εμφανίζονται παχύτερα.
3. Πορώδες και ποιότητα νερού.

Ισχύουν:

Παράγοντας σχηματισμού, $F : F = \frac{R_0}{R_w}$ όπου: R_0 , η ειδική αντίσταση σχηματισμού

R_w , η ειδική αντίσταση του πορικού υγρού

Πορώδες, Φ : $F = \frac{\alpha}{\Phi^m}$ όπου: Φ , το πορώδες
α και m, σταθερές

Διαπερατότητα, κ : $F = \frac{\alpha}{\kappa^b}$ όπου: κ , η διαπερατότητα
α και b, σταθερές

Επίσης ισχύει: α) στη ζώνη άμεσης εισβολής : $F_a = \frac{R_{x0}}{R_{mf}}$

β) στη μη διαταραγμένη ζώνη : $F_b = \frac{R_0}{R_w}$

όπου: R_{x0} : ειδική αντίσταση περιοχής «άμεσης εισβολής»
 R_{mf} : ειδική αντίσταση διηθούμενης αργίλου
 R_0 : μετριέται με το μεγάλο ανάπτυγμα ηλεκτροδίων

Στο όριο της ζώνης εισβολής και της μη διαταραγμένης ζώνης πρέπει να ισχύει $F_a = F_b$. Ο μοναδικός άγνωστος παράγοντας επομένως είναι το R_w .

Διάταξη τριών ηλεκτροδίων (Lateral log)

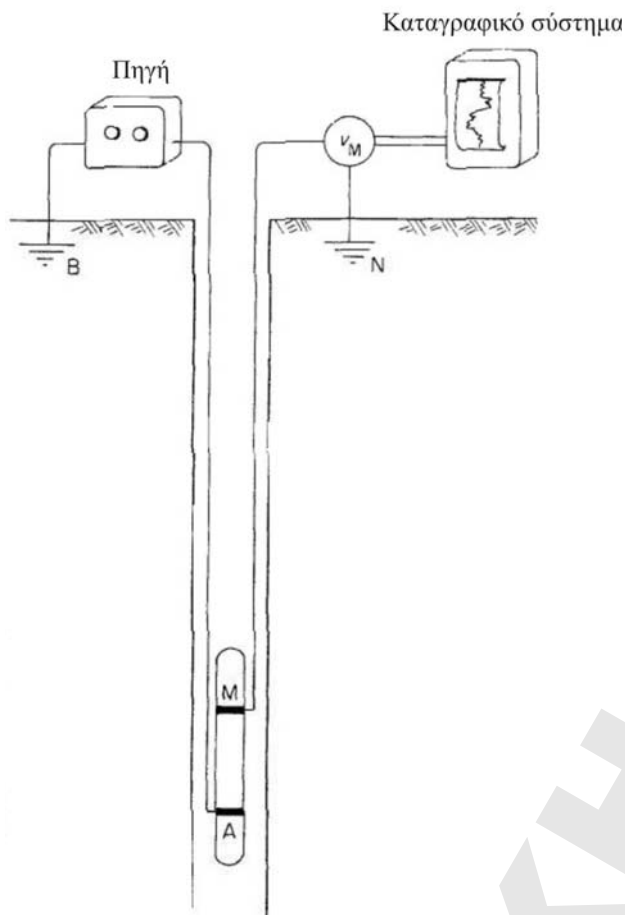
Είναι περίπου όμοια με τη διάταξη Schlumberger. Η πιο σημαντική απόσταση είναι αυτή μεταξύ του κοντινότερου ηλεκτροδίου ρεύματος και του μέσου της απόστασης των ηλεκτροδίων δυναμικού ($AO \approx 2.28m$) (εικ. 7-14).

Η ειδική αντίσταση δίδεται από τον τύπο: $\rho_\alpha = 4\pi R(AO)^2 / MN$ όπου $R = \Delta V/I$

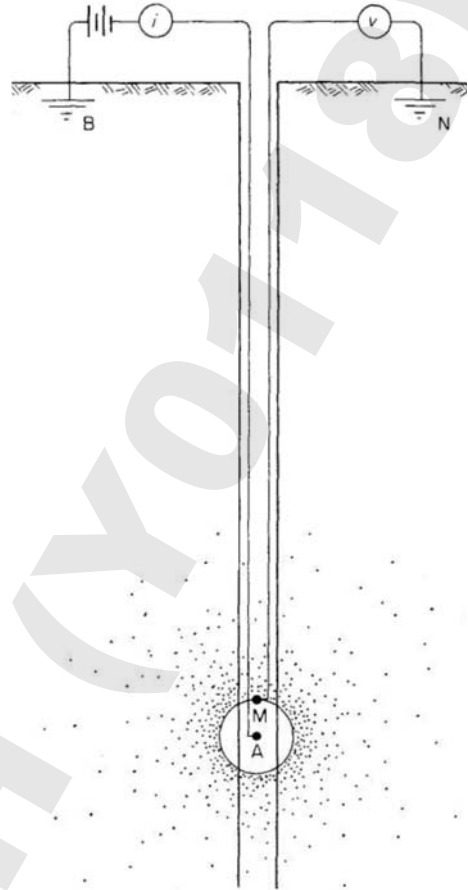
Το ενεργό βάθος έρευνας είναι αρκετά μεγάλο και συχνά ίσο με την απόσταση AO .

Άλλα χαρακτηριστικά της διάταξης:

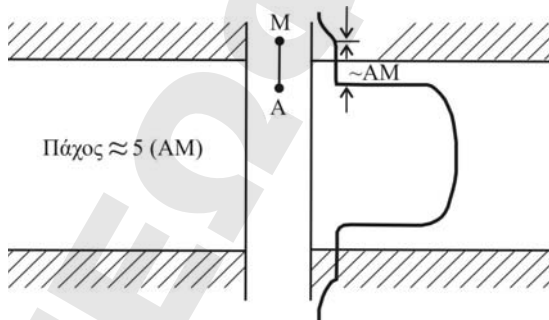
1. Όχι συμμετρικές καμπύλες – δίνει πολύπλοκα διαγράμματα (εικ. 7-15)
2. ευκολότερη η χρήση σε ξηρές περιοχές.
3. καλύτερη απόκριση
4. πολύ δύσκολος ο υπολογισμός του πάχους των στρωμάτων.
5. επηρεάζεται πολύ από το υγρό της γεώτρησης και την αλατότητα του



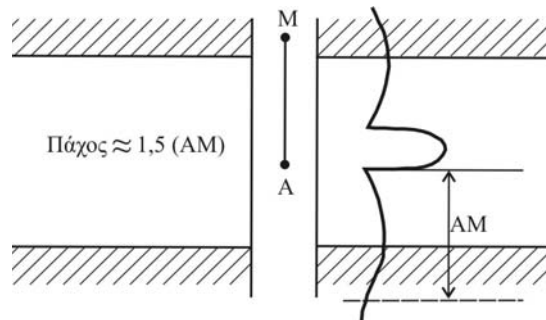
Εικόνα 7-11. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης normal log.



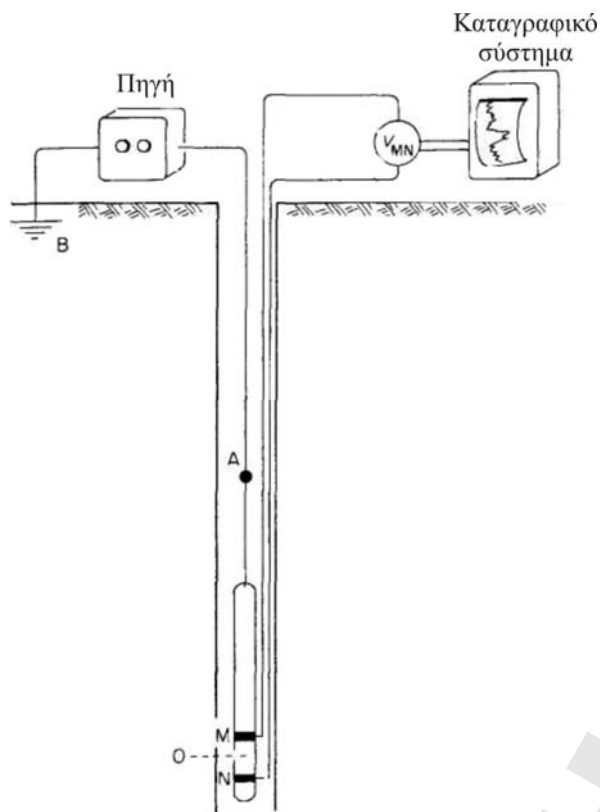
Εικόνα 7-12. Η διάταξη normal log. Η τιμή του δυναμικού επηρεάζεται από πού βρίσκεται μεταξύ του σφαιρικού κελύφους με εσωτερική ακτίνα AM και εξωτερική ακτίνα AN. Το υλικό που βρίσκεται κοντά στο σημείο M επηρεάζεται πολύ περισσότερο από εκείνο που βρίσκεται μακρύτερα και παρουσιάζεται με μια διαβάθμιση στη σκίαση.



Εικόνα 7-13α. Παχύ στρώμα σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων



Εικόνα 7-13β. Λεπτό στρώμα σε σχέση με την απόσταση των ηλεκτροδίων



Εικόνα 7-14. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης lateral log.

Εστιασμένες (τοπικές) ηλεκτρικές διατάξεις (Focused ή laterolog)

Η διαφορά με τις προηγούμενες διατάξεις είναι στο μήκος και στο είδος των ηλεκτροδίων. Με τον νέο τύπο ηλεκτροδίων ξεπερνιούνται προβλήματα παραμόρφωσης της ροής του ρεύματος, δημιουργούμενα λόγω της παρουσίας χαμηλής ειδικής αντίστασης της αργίλου μέσα στην γεώτρηση.

Το πρόβλημα λύθηκε με την διαίρεση του ηλεκτροδίου σε κομμάτια, ενώ οι μετρήσεις γίνονται μόνο από το κεντρικό ηλεκτρόδιο (Laterolog 3) (εικ. 7-16).

Η διαδικασία περιλαμβάνει τον έλεγχο των μετρήσεων και την ελεγχόμενη μορφή της ροής του ρεύματος, κρατώντας τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα ακραία ηλεκτρόδια (A1, A2) σταθερή και ίση με μηδέν. Με τη διάταξη αυτή επιτυγχάνεται η οριζόντια ροή ρεύματος από τη μεσαία πηγή ρεύματος (A₀).

Το ενεργό βάθος έρευνας της μεθόδου είναι πολύ μεγάλο, 3 x μήκος A1.

Μειονέκτημα της μεθόδου είναι τα πολύ μεγάλα ηλεκτρόδια (A1, A2 περίπου 1-2m και A0 περίπου 10-30 cm και επομένως η ανάγκη για πηγή ρεύματος μεγάλης ισχύος.

Ηλεκτρικές μικροδιατάξεις (Micrologs)

Χρησιμοποιούν για την μέτρηση ιδιοτήτων πολύ λεπτών στρωμάτων και είναι πολύ μικρού ενεργού βάθους έρευνας. Κυρίως χρησιμοποιούνται στην ανίχνευση της αργιλικής κρούστας και των ιδιοτήτων της.

Η ηλεκτρική μικροδιάταξη απεικονίζεται στην εικόνα 7-17. Μπορεί η διάταξη να χρησιμοποιηθεί είτε με δύο ηλεκτρόδια (C1, P1 - micronormal) ή με τρία ηλεκτρόδια (C1, P1, P2 - microlateral).

Οι τρεις βασικοί παράγοντες που επιδρούν είναι:

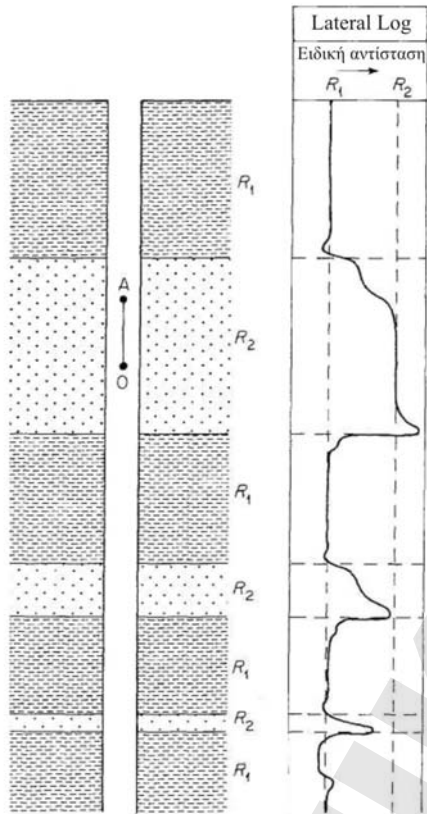
R_{mc} : η ειδική αντίσταση της αργιλικής κρούστας

R_{x0} : η ειδική αντίσταση της περιοχής άμεσης «εισβολής»

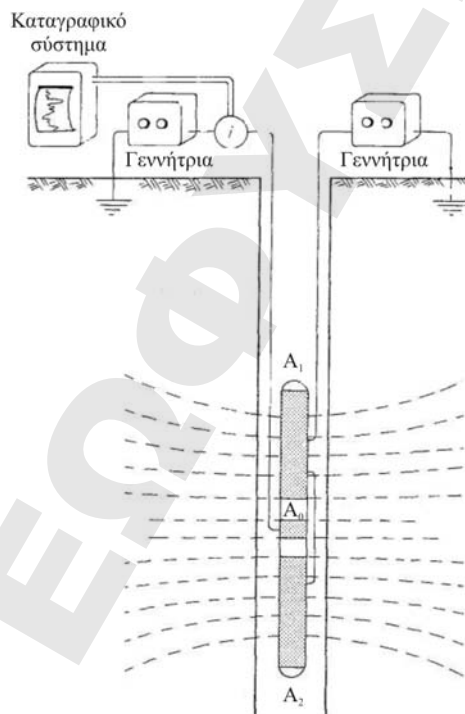
h_c : το πάχος της κρούστας

Εφαρμογές:

- Ακριβή περιγραφή των διαπερατών στρωμάτων όλων των τύπων.
- Ικανοποιητικός προσδιορισμός της ειδ. αντίστασης R_{x0} , όταν $R_{x0}/R_{mc} \leq 15$, $h_{mc} \leq 1,3$ cm και βάθος εισβολής > 10 cm.
- Χρησιμοποιείται και η μικροδιάταξη πολλών ηλεκτροδίων για τη μη παραμόρφωση της ροής του ρεύματος στην αργιλική κρούστα.



Εικόνα 7-15. Ιδεατό διάγραμμα της διάταξης lateral log. Είναι εμφανής η επίδραση της διάταξης πλησίον των επαφών διαφορετικών σχηματισμών



Εικόνα 7-16. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης laterolog. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακραίων ηλεκτροδίων ρεύματος (A_1 , A_2) παραμένει σταθερή και ίση με μηδέν.

7.5.3 Η ηλεκτρομαγνητική μέθοδος ή μέθοδος της επαγωγής

Πρόκειται περί της ηλεκτρομαγνητικής διάταξης με εφαρμογή σε γεωτρήσεις (εικ. 7-18). Λειτουργεί καλύτερα όταν υπάρχει αγώγιμο υγρό στην γεώτρηση. Ο πομπός δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο υψηλής συχνότητας ($f \approx 20\text{KHz}$), με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρευμάτων επαγωγής στο έδαφος σε ομόκεντρους κύκλους, με κέντρο τον άξονα της γεώτρησης. Το ρεύμα αυτό δημιουργεί ένα δευτερεύον Η/Μ πεδίο, που δημιουργεί επαγωγική τάση στο πηνίο του δέκτη.

Η επαγωγική τάση είναι ανάλογη της αγωγιμότητας του γεωλογικού σχηματισμού.

Πλεονεκτήματα:

- Η διάταξη επαγωγής δίνει ακριβή τιμή της ειδικής αντίστασης του γεωλογικού σχηματισμού
- μεγάλο ενεργό βάθος έρευνας
- πληροφορίες για την αγωγιμότητα.

Οι μετρήσεις εξαρτώνται από:

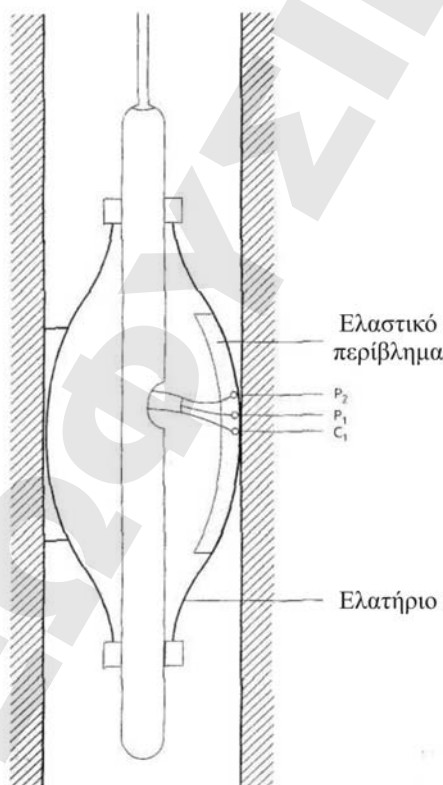
- το φαινόμενο εισβολής
- την ειδική αντίσταση της διηθούμενης αργίλου που εφαρμόζεται όταν $R_{mf} > 3R_w$
- το πάχος του στρώματος:

α. R_0 ακριβής για πάχος $\geq 1.5 \text{ m}$

β. R_0 ακριβής για λεπτά αγώγιμα στρώματα

γ. R_0 μη ακριβής για λεπτά στρώματα μεγάλης ειδικής αντίστασης.

Γενικά η μέθοδος είναι ακριβής για $R_0 < 200 \text{ Ohm.m}$

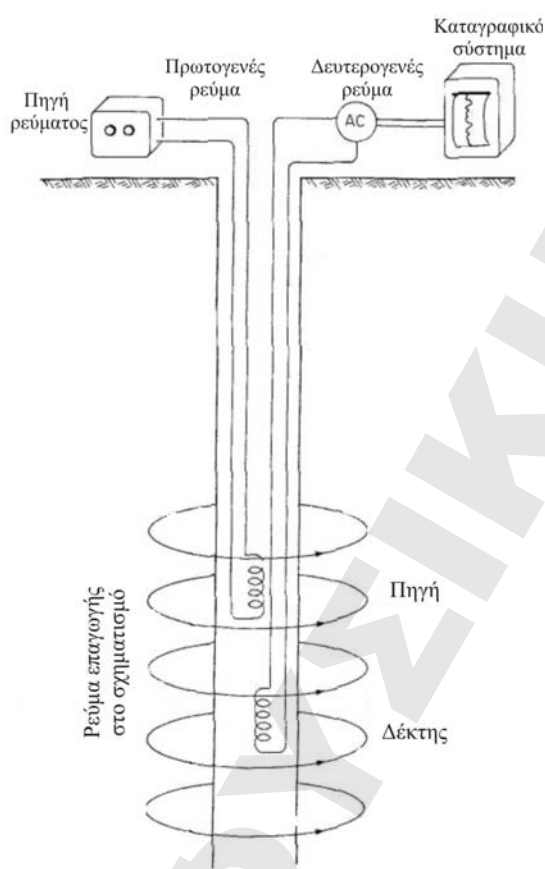


Εικόνα 7-17. Η ηλεκτρική διάταξη microlog

7.5.4 Ραδιενεργές διατάξεις

7.5.4.a Διάταξη ακτινοβολίας γάμμα

Η μέθοδος στηρίζεται στη μέτρηση της ραδιενέργειας των πετρωμάτων (σχηματισμών) γύρω από την γεώτρηση. Το ανιχνευτικό όργανο, είναι συνήθως ένας απαριθμητής κρούσεων που ενεργοποιείται από την ακτινοβολία γάμμα μέσα σε ορισμένη χρονική περίοδο και αποτελείται από έναν ανιχνευτή γάμμα ακτινοβολίας (συνήθως από ένα μεγάλο κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου) και έναν ενισχυτή. Τα ραδιενεργά στοιχεία, στα οποία οφείλεται η εκπομπή ακτινοβολίας γάμμα είναι κυρίως το κάλιο ^{40}K , το ουράνιο ^{238}U και το θόριο ^{232}Th . Το βάθος διεύθυνσης της γάμμα – ακτινοβολίας είναι περίπου 30 cm για ιζηματογενείς σχηματισμούς. Για τη λήψη των μετρήσεων απαιτείται ένα μεγάλο διάστημα μέτρησης αφενός και μικρή ταχύτητα κίνησης του οργάνου (οβίδας) αφετέρου.



Εικόνα 7-18. Σχηματική απεικόνιση της μεθόδου επαγωγής. Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο της πηγής επάγει ρεύματα στον περιβάλλοντα σχηματισμό. Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο που συνδέεται με αυτά τα γήινα ρεύματα επάγει εναλλασσόμενο ρεύμα στον δέκτη.

Εφαρμογές

1. Διαχωρισμός άμμου – σχιστολίθου (η μέθοδος δίνει περισσότερες λεπτομέρειες από τα SP log).
2. Προσδιορισμός λιγνίτη, ανυδρίτη και άλλων σχηματισμών με ραδιενεργά ορυκτά
3. Ανίχνευση ανθρακικών ορυκτών.
4. Ανίχνευση στρωμάτων χαμηλής ραδιενέργειας.

7.5.4.β Διάταξη πυκνότητας (Γάμμα-γάμμα)

Στο ανιχνευτικό όργανο βρίσκεται ανιχνευτής ακτινοβολίας – γάμμα και ραδιενεργός πηγή κοβαλτίου, ^{60}Co . Ο αριθμός των ακτίνων γάμμα που επιστρέφουν στον ανιχνευτή είναι

ανάλογος της πυκνότητας ηλεκτρονίων του περιβάλλοντος υλικού (εικ. 7-19), άρα ανάλογος και της κανονικής πυκνότητας.

Ο παρακάτω πίνακας είναι ένας ενδεικτικός για την ακτινοβολία ορισμένων ορυκτών και πετρωμάτων.

ΟΡΥΚΤΑ	K(%)	Th (ppm)	U (ppm)
Χαλαζίας	-	0.6	0.3
Άστριοι	0-11	1.2	0.4
Μαρμαρυγίας	0-10	15.0	5.0
Αργιλικά ορυκτά	2.1	21.0	7.5
Επίδοτο	-	200.0	40.0
Κεροσίλβη	-	25.0	8.0
Αυγίτης	-	?	4.0
Ζιρκόνιο	-	1000.0	1000.0
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	K(%)	Ih (ppm)	U (ppm)
Βασάλτης	0.6	2.0	0.6
Γρανίτης	4.0	10.0	4.0
Ψαμμίτης	0.8	1.2	0.6
Ασβεστόλιθος	0.2	0.5	0.5
Άργιλος/Σχιστόλιθος	2.0	12.0	3.0
Κάρβουνο/Ανυδρίτης	χαμηλή	χαμηλή	Χαμηλή
Αλατα Καλίου	Πολύ υψηλή τιμή	-	-

Σημείωση: ppm: κρούσεις / εκατομμύριο

Όσο πιο μεγάλη είναι η πυκνότητα του υλικού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των σκεδάσεων των φωτονίων (φαινόμενο *Compton*), άρα λιγότερα φωτόνια επιστρέφουν στον απεριθμητή (εικ. 7-20).

Κύρια εφαρμογή: ο υπολογισμός του πορώδους (φ)

7.5.5 Διάταξη νετρονίων

Τα κύρια χαρακτηριστικά της μεθόδου αυτής σε γενικές γραμμές είναι:

- Χρησιμοποιείται πηγή νετρονίων – βομβαρδισμός των γύρω περιοχών από νετρόνια (εικ. 7-21)
- Θετική απόκριση λόγω περιεχομένου στο πέτρωμα υδρογόνου.
- Ο ρυθμός απώλειας ενέργειας των νετρονίων είναι ανάλογος της πυκνότητας των πρωτονίων.
- Πολύ χρήσιμη διάταξη στην ανίχνευση σχηματισμών μεγάλου πορώδους.
- Σχιστόλιθοι και γύψος προκαλούν παραμόρφωση στα αποτελέσματα.

Εφαρμογές: α. Ο προσδιορισμός του πορώδους
β. της αλατότητας και
γ. ο εντοπισμός υδρογονανθράκων

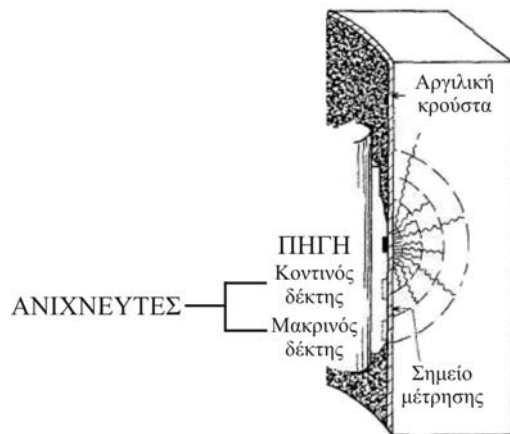
7.5.6 Σεισμική διάταξη

Πρόκειται περί της εφαρμογής της σεισμικής μεθόδου μέσα σε γεώτρηση.

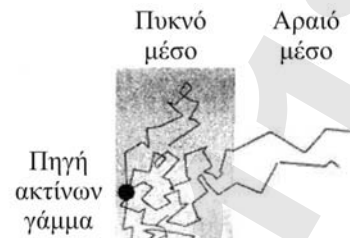
Τα κύρια χαρακτηριστικά της απλής σεισμικής διάταξης είναι:

- Σεισμική οβίδα : Μια πηγή σεισμικών κυμάτων στο ένα άκρο του οργάνου, και δύο δέκτες στο άλλο άκρο της οβίδας (εικ. 7-22)
- καταγράφονται οι χρόνοι διαδρομής για τους δύο δέκτες – προκύπτουν ειδικές πολύπλοκες γραφικές απεικονίσεις
- πολύ μικρό ενεργό βάθος έρευνας, περίπου μερικά εκατοστά

- κύρια εφαρμογή στον εντοπισμό υδρογονανθράκων.



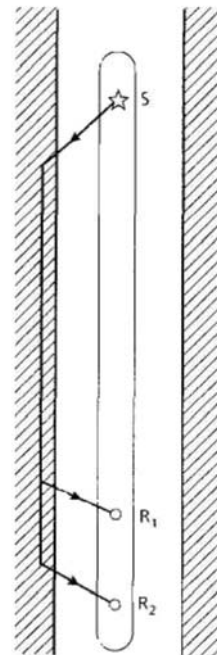
Εικόνα 7-19. Η διάταξη πυκνότητας (Γάμμα – γάμμα).



Εικόνα 7-20. Σχηματική απεικόνιση των σκεδάσεων Compton ακτίνων γάμμα. Η επίδραση είναι έντονη σε πυκνό υλικό.



Εικόνα 7-21. Σχηματική απεικόνιση της διάταξης νετρονίων.



Εικόνα 7-22: Σχηματική απεικόνιση της απλής σεισμικής διάταξης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Burger R. H. 1992. *Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface.* **Prentice Hall PTR**, Englewood Cliffs, New Jersey, **p.489.**

Dobrin M. B. And Savit C. H. 1988. *Geophysical Prospecting.* **McGraw-Hill** International Editions, Fourth Edition, **p.867.**

Kearey Ph., Brooks M. and Hill I. 2002. *An Introduction to Geophysical Exploration.* **Blackwell Science**, Third Edition, **p.262.**

Lillie R. J. 1999. *Whole Earth Geophysics.* **Prentice Hall**, New Jersey, **p. 361.**

Parasnis. 1997. *Principles of Applied Geophysics.* **Chapman & Hall**, London, Weinheim, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, Fifth Edition, **p. 429.**

Rider M. 2006. *The Geological Interpretation of Well Logs.* **Rider-French** Consulting Ltd, Second Edition, **p. 280.**

Robinson E. S. And Coruh C. 1988. *Basic Exploration Geophysics.* **John Wiley & Sons, Inc.**, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, **p.562.**

Telford W. M., Geldart L. P., Sheriff R. E., Keys D. A. 1986. *Applied Geophysics.* **Cambridge University Press**, London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, **p. 860.**