



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

«Αξιολόγηση υδρογεωτρήσεων με χρήση διαγραφιών»

Διπλωματική εργασία

ΝΙΚΟΛΑΟΣ Ι. ΑΡΕΤΑΚΗΣ

Εξεταστική Επιτροπή

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΒΑΦΕΙΔΗΣ Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης (επιβλέπων).

ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΚΕΛΕΣΙΔΗΣ Επίκουρος Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΠΑΝΤΕΛΗΣ ΣΟΥΠΙΟΣ Επίκουρος Καθηγητής ΤΕΙ Κρήτης.

ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ: Μηχανικός Πετρελαίων M Sc.

Διευθύνων Σύμβουλος της ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ και της ΚΑΒΑΛΑ OIL.

Χανιά

Φεβρουάριος, 2006

Περίληψη

Η παρούσα εργασία περιγράφει μία μέθοδο γεωφυσικής διασκόπησης, η οποία βρίσκει εφαρμογή στο πιο συχνό υδρομαστευτικό έργο: στην γεώτρηση. Η μέθοδος των διαγραφιών, των μετρήσεων φυσικών μεγεθών συναρτήσει του βάθους, εφαρμόστηκε αρχικά στις γεωτρήσεις πετρελαίου ενώ τις τελευταίες δεκαετίες εφαρμόζεται και στις υδρογεωτρήσεις με την ίδια αξιοπιστία. Οι διαγραφίες είναι εκείνο το εργαλείο που επιτρέπει στον μηχανικό να “φωτίσει το σκοτάδι” μίας βαθιάς πολλές φορές οπής, που μόλις άνοιξε στο έδαφος και που καλείται να εκμεταλλευτεί με τον καλύτερο τρόπο το περιεχόμενο της.

Η ολοένα αυξανόμενη ζήτηση σε αποδεκτής ποιότητας νερό, κατέστησε επιβεβλημένη την ορθολογιστική χρήση του, που με την σειρά της παραπέμπει στο αρχικό στάδιο, αυτό της ανεύρεσης του εντός αυτών των υδρομαστευτικών έργων.

Από το στάδιο αυτό και μέχρι την άντληση του νερού στην επιφάνεια, η εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου στις υδρογεωτρήσεις συμβάλει καταλυτικά στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης του, παρέχοντας ταυτόχρονα την δυνατότητα τεχνικού ελέγχου αυτών.

Abstract

The present paper describes a method of a geophysical research, which finds application in the most frequent field work: in the drilling. The method of logging, that is, the measurements of natural sizes associated the depth, was applied initially in the oil drillings, while the last decades it has been also applied in the water drilling with the same reliability. Logging is that tool that allows the engineer to illuminate often deep wells that have just been drilled in the ground and whose contents are to be exploited in the optimum way.

The ever - increasing demand for water of acceptable quality, has necessitated its more rational use, which in turn has led to the initial stage, that of water discovery during drilling.

From this stage and up to the pumping of water in the surface, the application this specific method of water logging contributes significantly to the optimisation of this process, while also providing the possibility of technical control.

Zusammensetzung

Die vorliegende Arbeit beschreibt eine geophysikalische Methode, die in den meisten Wasserbohrungen angewendet werden kann. Die Methode von Logging, die Messung der natürlichen Größen in Bezug auf der Tiefe, wurde in der Ölbohrungen eingeführt, und wird in den letzten Dekaden auch in den Wasserbohrungen mit der gleichen Zuverlässigkeit angewendet. Logging ist jenes Werkzeug, das dem Ingenieur erlaubt eine neue tiefe Bohrung zu beleuchten und dadurch ihren Inhalt auf eine ideale Art und Weise auszunutzen.

Die ständig zunehmende Nachfrage nach qualitativem Wasser, verlangt seinen rationellen Gebrauch, der wiederum auf das Ausgangsstadium der Erforschung in der Wasserbohrungen verweist.

Von diesem Stadium und bis zum Pumpen des Wassers in der Oberfläche, trägt die Anwendung der bestimmten Methode in den Wasserbohrungen entscheidend in der Optimierung seines Managements bei und gleichzeitig stellt sie die Möglichkeit der technischen Steuerung von diesen bereit.

Πρόλογος

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία είναι το επισφράγισμα μίας πολυετούς πανεπιστημιακής πορείας του συγγραφέα. Η πορεία αυτή ήταν πάντα γεμάτη έντονες στιγμές είτε χαράς ή λύπης είτε αγωνίας. Ήταν όμως και μία περίοδος συναναστροφής με ανθρώπους από διάφορα μήκη και πλάτη, με διαφορετική κουλτούρα, με διαφορετικό τρόπο σκέψης που μαζί με την πανεπιστημιακή εκπαίδευση καλλιέργησαν τον σεβασμό στον συνάνθρωπο και την κοινωνικότητα. Αξίες που αποτελούν εφόδιο για κάθε νέο.

Κατά την διάρκεια αυτής της εξέλιξης αρωγός ήταν η οικογένεια μου, που παρά τις αντιξοότητες βρισκόταν πάντα δίπλα μου.

Στην εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας είχα την βοήθεια του καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης κ. Αντώνιου Βαφείδη τον οποίο και ευχαριστώ θερμά, όπως και του διευθύνοντος συμβούλου της εταιρείας ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ κ. Κωνσταντίνου Παπακωνσταντίνου καθώς και των επίκουρων καθηγητών κ. Βασίλειου Κελεσίδη, κ. Παντελή Σουπιό και των συνεργατών και φίλων Νεκτάριο Κουμάκη και Στέλιο Μαυριγιαννάκη τους οποίους και ευχαριστώ.

αφιερώνεται
στην οικογένεια μου

N.A

Περιεχόμενα

<i>Περίληψη</i>	<i>i</i>
<i>Abstract</i>	<i>ii</i>
<i>Zusammensetzung</i>	<i>iii</i>
<i>Πρόλογος</i>	<i>iv</i>
Κεφάλαιο 1	1
Εισαγωγή	1
Κεφάλαιο 2	2
Βασικές έννοιες	2
2.1 Βασικές έννοιες εδαφών και πετρωμάτων	2
2.1.1 Πορώδες (Porosity).....	2
2.1.2 Διαπερατότητα (Permeability).....	6
2.1.3 Παράγοντας σχηματισμού (Formation Factor).....	7
2.2 Βασικές έννοιες υδρογεωτρήσεων	7
2.2.1 Όρυξη της υδρογεώτρησης.....	8
2.2.2 Κατασκευή της υδρογεώτρησης.....	8
2.2.3 Λειτουργία της υδρογεώτρησης	9
2.2.4 Χαρακτηριστικά υδρογεωτρήσεων.....	9
Κεφάλαιο 3	11
Διαγραφίες (Logging)	11
3.1 Εξοπλισμός.....	11
3.2 Παρουσίαση διαγραφιών	14
3.3 Ηλεκτρικές διαγραφίες (Electric logs)	17
3.3.1 Διαγραφή φυσικού δυναμικού (Spontaneous Potential Log)	17
3.3.2 Διαγραφίες ηλεκτρικών αντιστάσεων (Resistivity Logs).....	20
3.3.3 Διαγραφή εστιασμένης αντίστασης (Guard Log).....	24
3.3.4 Διαγραφή επαγωγής (Induction Log)	27
3.4 Διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Gamma Ray Log)	27
3.5 Διαγραφή θερμοκρασίας – αγωγιμότητας (Temperature - Conductivity Log).....	30
3.6 Διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης (Directional Log).....	34
3.7 Διαγραφή μέτρησης διαμέτρου-τριών βραχιόνων (Three Arm Caliper Log).....	38

3.8 Σύστημα οπτικού ελέγχου υδρογεωτρήσεων	41
Κεφάλαιο 4	44
Εφαρμογή, ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών	44
4.1 Εφαρμογή διαγραφιών στις υδρογεωτρήσεις	44
4.1.1 Διαγραφίες ασωλήνων υδρογεωτρήσεων	44
4.1.2 Διαγραφίες σωληνωμένων υδρογεωτρήσεων	45
4.3 Ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών	47
4.3.1 Ερμηνεία ηλεκτρικών διαγραφιών και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα	47
4.3.2 Προσδιορισμός πορώδους	51
4.4 Αξιολόγηση ηλεκτρικών διαγραφιών και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα	52
4.5 Ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών τεχνικού ελέγχου	56
4.5.1 Διαγραφή θερμοκρασίας - αγωγιμότητας	56
4.5.2 Διαγραφή τριών βραχιόνων	56
4.5.3 Διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα	57
4.5.4 Διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης της γεώτρησης	57
Κεφάλαιο 5	60
Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	62

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Η αλματώδης αύξηση των αναγκών για άρδευση, ύδρευση καθώς και η χρήση του νερού από ολόένα και πιο πολλές βιομηχανίες οδήγησε στην συνειδητοποίηση της σπουδαιότητας του. Αξίζει να σημειωθεί ότι, από τα γλυκά νερά το 98% είναι υπόγεια και σχεδόν το 2% επιφανειακά. Η σημασία του νερού στην γεωργία είναι φανερή, δεδομένου ότι στην επικράτεια το 85% καταναλώνεται για άρδευση ενώ το 12% χρεώνεται στην ύδρευση. Οι αρδευόμενες εκτάσεις από 12% το 1965, έφθασαν το 2005 στο 32% με αυξανόμενη τάση και ανέρχονται σε 13,5 εκατομμύρια στρέμματα. Η βιομηχανική κατανάλωση αντιστοιχεί στο 3% του νερού που αντλείται. Τα 3/4 αυτού χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα, ενώ το 1/4 για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Αποτέλεσμα της αυξημένης χρήσης του νερού είναι η επιβεβλημένη αλλαγή στον τρόπο διαχείρισης, από την πρώτη κιόλας στιγμή ανεύρεσης του.

Το κυριότερο υδρομαστευτικό έργο είναι οι γεωτρήσεις. Έχει το μικρότερο κόστος, συγκριτικά με τα υπόλοιπα υδρομαστευτικά έργα, το οποίο με δεδομένη την προσβασιμότητα του εξοπλισμού για μικρές διαμέτρους κοπτικών κυμαίνεται από 100 έως 140 Ευρώ το μέτρο, (ενδεικτικές τιμές 2005) την μεγαλύτερη ευελιξία και είναι ένα έργο με άμεσο αποτέλεσμα.

Με την παρούσα εργασία επιδιώκεται να γίνει αντιληπτό, με ποιο τρόπο η χρήση διαγραφιών, η γραφική απεικόνιση ενός ή περισσοτέρων μετρούμενων μεγεθών συναρτήσει του βάθους, συνεισφέρει στην βελτιστοποίηση της διαχείρισης των υδρογεωτρήσεων τόσο κατά το στάδιο της κατασκευής, όπου λαμβάνει χώρα ο εντοπισμός των υδροφόρων σχηματισμών, όσο και κατά το στάδιο της λειτουργίας.

Η χρήση των διαγραφιών σε υδρογεωτρήσεις είναι μία καινοτόμος μέθοδος, που εφαρμόζεται τελευταία και στην Ελλάδα. Αρχικά οι διαγραφίες χρησιμοποιήθηκαν στις γεωτρήσεις πετρελαίου για την εκτίμηση του βαθμού κορεσμού ενός ταμιευτήρα σε φυσικό αέριο ή σε πετρέλαιο, για μετρήσεις σχετικά με το πορώδες του πετρώματος και άλλα μεγέθη με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται σήμερα στις υδρογεωτρήσεις με μικρότερου μεγέθους εξοπλισμό, δεδομένου των χαμηλότερων πιέσεων, θερμοκρασιών και του μικρότερου βάθους.

Ο έως τώρα περιορισμένος αριθμός για τα Ελληνικά δεδομένα αυτής της έκτασης συγγραμμάτων καθώς και η μικρή εμπειρία που απέκτησε ο συγγραφέας, κατά την διάρκεια της πρακτικής του στην εταιρεία ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, έδρασαν καταλυτικά για την δημιουργία της συγκεκριμένης εργασίας. Σε αυτήν θα περιγραφούν μερικές βασικές έννοιες εδαφών και πετρωμάτων και οι διάφορες διαγραφίες με τις αρχές λειτουργίας τους που εκτελούνται με τον συγκεκριμένο εξοπλισμό της παραπάνω εταιρείας. Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι διαγραφίες που εκτελούνται σε σωληνωμένες και ασωλήνωτες υδρογεωτρήσεις ενώ στο επόμενο κεφάλαιο δίνεται μία ολοκληρωμένη και αντιπροσωπευτική παρουσίαση και ερμηνεία διαγραφιών που εκτελέστηκαν κατά το στάδιο κατασκευής και λειτουργίας τριών υδρογεωτρήσεων.

Κεφάλαιο 2

Βασικές έννοιες

Στην συνέχεια παρατίθενται ορισμένες έννοιες που χρησιμοποιούνται συχνά και αφορούν χαρακτηριστικά εδαφών και πετρωμάτων, αλλά και έννοιες που αφορούν τις υδρογεωτρήσεις.

2.1 Βασικές έννοιες εδαφών και πετρωμάτων

2.1.1 Πορώδες (Porosity)

Μία από τις πιο βασικές έννοιες είναι το πορώδες. Ορίζεται ως ο λόγος του όγκου των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι του πετρώματος, προς τον συνολικό όγκο αυτού. Κατά συνέπεια είναι αδιάστατο μέγεθος, εκφράζεται σε επί τοις εκατό ποσοστό και συμβολίζεται με το γράμμα ϕ . Όταν αναφέρεται ότι ένα πέτρωμα έχει 40% πορώδες, σημαίνει ακούθως ότι ο δεδομένος όγκος αποτελείται κατά 60% συμπαγές υλικό και κατά 40% κενό χώρο, ο οποίος δύναται να γεμίσει νερό. Στον πίνακα 2.1 δίνεται το πορώδες σχηματισμών που απαντούν πιο συχνά.

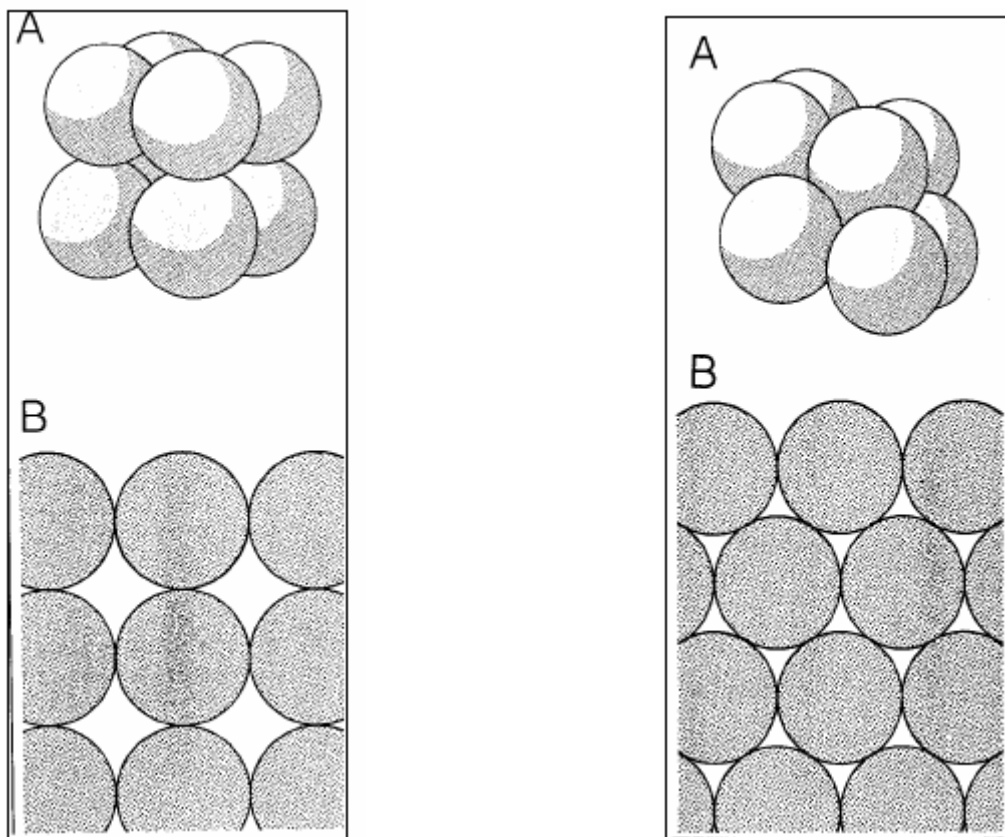
Ενεργό πορώδες είναι το ποσό εκείνων των κενών που σχηματίζουν οι κόκκοι ενός πετρώματος, που έχουν την δυνατότητα σύνδεσης μεταξύ τους. Τα κενά αυτού του είδους, δίνουν πρακτικά τη δυνατότητα μεταφοράς του νερού που τα πληρεί.

Το πρωτεύον πορώδες αναφέρεται στον κενό χώρο που σχηματίζεται εξαιτίας ασυνεχιών του πετρώματος.

Υπάρχουν τέσσερις παράγοντες που μεταβάλλουν το πορώδες. Αυτοί είναι η διάταξη, η ταξινόμηση, το σχήμα και η σύνδεση των κόκκων. Αλλαγές στην διάταξη οφειλόμενες σε φαινόμενα όπως η συμπίεση των πετρωμάτων, μειώνει το πορώδες εξαναγκάζοντας τους κόκκους να έρθουν πιο κοντά. Θεωρώντας τους κόκκους του πετρώματος σαν σφαίρες, μία ασυμπίεστη διάταξη μπορεί να αποδώσει μέγιστο πορώδες της τάξης του 47,6% ενώ σαν ελάχιστο φθάνει το 25,9% (Σχήμα 2.1).

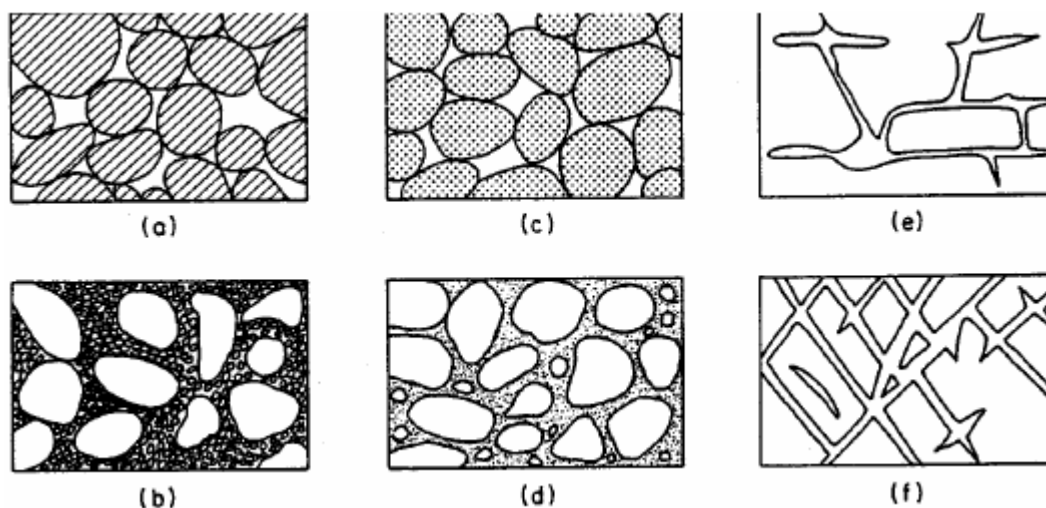
Μη συνεκτικοί σχηματισμοί	
Αργιλοαμμώδεις προσχώσεις	6-18%
Ιλύς	34-50%
Χαλίκι	25-40%
Άμμος	25-50%
Άργιλος	40-70%
Συνεκτικοί σχηματισμοί	
Ηφαιστειακοί σχηματισμοί	0,1-3,5%
Γρανιτικοί σχηματισμοί	0,1-2,5%
Βασάλτης με ασυνέχειες	5-50%
Καρστικοί ασβεστόλιθοι	5-50%
Δολομίτης	0-20%
Σχιστόλιθος	0-10%

Πίνακας 2.1: Πορώδες σχηματισμών.



Σχήμα 2.1: Αριστερά, επίτευξη μέγιστου ποσοστού πορώδους κατά 47,6% και δεξιά ελάχιστου κατά 25,9% (Welenco, 2002).

Η ταξινόμηση των κόκκων ενός πετρώματος παίζει σημαντικό ρόλο στην περίπτωση ύπαρξης πολλών διαφορετικών μεγεθών από αυτούς (Σχήμα 2.2). Οι μικροί τείνουν να καταλαμβάνουν τους χώρους που δημιουργούν οι μεγαλύτεροι, μειώνοντας το πορώδες. Το σχήμα των κόκκων επηρεάζει το πορώδες, καθώς οι γωνιώδεις κόκκοι δύναται να συμπιεστούν και να μειωθεί το πορώδες, σε αντίθεση με τους αποστρογγυλεμένους που διατηρούν έστω και αν συμπιεστούν ένα μικρό πορώδες. Τέλος, ανάλογα με το υλικό σύνδεσης των κόκκων υπάρχουν περιπτώσεις που το πορώδες ελαχιστοποιείται. Αυτό με την σειρά του οδηγεί σε αύξηση της ηλεκτρικής αντίστασης του πετρώματος.



Σχήμα 2.2: (a) Ίζημα με καλή ταξινόμηση κόκκων που διαθέτει υψηλό πορώδες, (b) ίζημα με φτωχή ταξινόμηση κόκκων που διαθέτει χαμηλό πορώδες, (c) ίζημα με καλή ταξινόμηση κόκκων που διαθέτουν την ικανότητα κατακράτησης νερού, προσδίδοντας στο σχηματισμό υψηλό πορώδες, (d) ίζημα με καλή ταξινόμηση κόκκων, του οποίου το πορώδες μειώθηκε από την απόθεση υλικού ανάμεσα στους πόρους, (e) πέτρωμα με πορώδες που δημιουργήθηκε μετά από επίδραση διάβρωσης (διάλυση) του μητρικού πετρώματος (ανθρακικός σχηματισμός), (f) πέτρωμα με πορώδες που δημιουργήθηκε από ρηγματώσεις (Σούλιος, 1996).

2.1.2 Διαπερατότητα (Permeability)

Διαπερατότητα είναι η ικανότητα των ρευστών να κινούνται διαμέσω των αλληλοσυνδεόμενων πόρων ενός πετρώματος. Όσο πιο μεγάλοι είναι αυτοί και όσο πιο εκτεταμένη είναι η μεταξύ τους σύνδεση, τόσο πιο μεγάλη είναι η διαπερατότητα. Μονάδα μέτρησης αυτής αποτελεί το Darcy, κατά το οποίο ένα τετραγωνικό εκατοστό πετρώματος απελευθερώνει ένα κυβικό εκατοστό ρευστού, σε ένα δευτερόλεπτο υπό πίεση μίας ατμόσφαιρας ανά εκατοστό.

Όταν το ποσοστό της αργίλου σε ένα σχηματισμό αυξάνεται, η διαπερατότητα μειώνεται καθώς οι αργιλικοί κόκκοι καταλαμβάνουν μέρος των κενών των κόκκων του πετρώματος. Η σχέση δε, ποσοστού της αργίλου και μείωσης της διαπερατότητας δεν είναι γραμμική. Αύξηση του ποσοστού της αργίλου μπορεί να μειώσει δραστικά την διαπερατότητα.

2.1.3 Παράγοντας σχηματισμού (Formation Factor)

Ο παράγοντας σχηματισμού δίνεται από την Εξίσωση (2.1) και ορίζεται από το πηλίκο της ηλεκτρικής αντίστασης ενός σχηματισμού κορεσμένου σε νερό R_o προς την αντίσταση του νερού με το οποίο είναι κορεσμένος R_w (Βαφείδης, 1994).

$$F = \frac{R_o}{R_w} \quad (2.1)$$

Όταν το πορώδες και η διαπερατότητα ενός σχηματισμού αυξάνεται, η αντίσταση R_o μειώνεται, διότι περισσότερος χώρος καταλαμβάνεται τώρα από το ρευστό του σχηματισμού και λιγότερος από τα δομικά μέρη που απαρτίζουν τον σχηματισμό και αντιστέκονται στην δίοδο του ηλεκτρικού ρεύματος. Η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να μετασχηματισθεί ως εξής:

$$F = \frac{\alpha}{\phi^m} \quad (2.2)$$

Όπου m συντελεστής που ονομάζεται συντελεστής τσιμέντωσης που λαμβάνει τιμές μεταξύ του 1 (για ασύνδετα πετρώματα) και του 3 (για συμπαγή πετρώματα), α συντελεστής που εξαρτάται από την περιεκτικότητα σε άργιλο στον σχηματισμό και ϕ το πορώδες του.

2.2 Βασικές έννοιες υδρογεωτρήσεων

Οι υδρογεωτρήσεις έχουν διάμετρο μερικών ιντσών (9-17) ή (0,23 -0,43) μέτρων αναλόγως το είδος, αν δηλαδή είναι ερευνητική ή παραγωγική, ενώ το βάθος τους φθάνει έως και τα πεντακόσια μέτρα ανάλογα με την δομή του υπεδάφους και το βάθος των υδροφόρων στρωμάτων. Παρακάτω περιγράφονται οι κυριότερες φάσεις των υδρογεωτρήσεων.

2.2.1 Όρυξη της υδρογεώτρησης

Της όρυξης μίας γεώτρησης προηγείται μια υδρογεωλογική μελέτη και που εν τέλει υποδεικνύει την κατάλληλη θέση. Κατά την διάρκεια της διάτρησης, τα τοιχώματα της διανοιγόμενης γεώτρησης έχουν την τάση να καταρρέουν, ιδιαίτερα όταν τα πετρώματα είναι μαλακά ή διαρρηγμένα. Στις πρώτες γεωτρήσεις συνηθιζόταν να χρησιμοποιείται νερό για την διευκόλυνση της περιστροφής της κεφαλής του γεωτρύπανου, οπότε η λάσπη που δημιουργείτο είχε καλά αποτελέσματα στην αποτροπή κατάρρευσης των τοιχωμάτων της γεώτρησης εξαιτίας της επικάλυψης που προσέφερε. Αργότερα αντικαταστάθηκε το νερό από γεωτρητική λάσπη, η σύνθεση της οποίας προκύπτει από ανάμιξη αργίλων με νερό ή μίγματα αργίλων με έλαια ή αλατούχα νερά. Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί γεωτρητικής λάσπης χρησιμοποιείται υγρός ή ξηρός αέρας. Ο καθορισμός της γεωτρητικής λάσπης επηρεάζει την επιλογή και την εκτέλεση των διαγραφιών.

Η σημασία του σταδίου αυτού είναι μεγάλη δεδομένου ότι κατά την διάρκεια του, ο χειριστής του γεωτρύπανου ή ο επιβλέπων μηχανικός πρόβαινε στην πρώτη αξιολόγηση της παρατηρώντας τις λεγόμενες επιστροφές του γεωτρύπανου και κατόπιν αποφάσιζε την μετάβαση στο επόμενο στάδιο ή όχι. Σε αυτόν το συμβατικό τρόπο αξιολόγησης υπεισέρχεται πάντα ένα ενδεχόμενο υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης των δεδομένων, γεγονός που οδηγεί σε λανθασμένη απόφαση. Αυτό το ενδεχόμενο εξαλείφει η εφαρμογή των διαγραφιών που με μεγαλύτερη βεβαιότητα οδηγεί, ή όχι στο επόμενο στάδιο.

2.2.2 Κατασκευή της υδρογεώτρησης

Στο στάδιο αυτό γίνεται η σωλήνωση της γεώτρησης. Οι μεταλλικοί σωλήνες που τοποθετούνται μέσα στην γεώτρηση αφενός υποστηρίζουν τα περιβάλλοντα πετρώματα που δεν παρουσιάζουν υδροφορία ή απομονώνουν ανεπιθύμητα υδροφόρα στρώματα και αφετέρου προστατεύουν την γεώτρηση από καταπτώσεις. Αυτοί οι μεταλλικοί σωλήνες ονομάζονται «τυφλά» και διαθέτουν σπείρωμα και στα δύο άκρα τους για τις μεταξύ τους συνδέσεις. Απέναντι από υδροφόρους σχηματισμούς τοποθετούνται μεταλλικοί σωλήνες που διαθέτουν σε όλη την περιφέρεια τους οπές, μέσω των οποίων το νερό εισρέει στην γεώτρηση. Αυτοί με την σειρά τους ονομάζονται φιλτροσωλήνες. Είναι ευνόητο, ότι «τυφλά» και φιλτροσωλήνες έχουν μικρότερη διάμετρο από αυτή της γεώτρησης ενώ το μήκος τους

είναι συνήθως τρία μέτρα. Η τοποθέτηση αυτών πραγματοποιείται από κάτω προς τα πάνω.

Τις περισσότερες φορές το κενό μεταξύ σωλήνωσης και τοιχωμάτων της γεώτρησης πληρείται με χαλίκι συγκεκριμένης κοκκομετρίας, το οποίο εμποδίζει το φράξιμο των οπών των φιλτροσωλήνων με αργιλικό υλικό, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει την διήθηση του ρευστού του σχηματισμού. Διαγραφίες εκτελούνται τόσο πριν την σωλήνωση, όσο και μετά και οι οποίες περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

2.2.3 Λειτουργία της υδρογεώτρησης

Μετά την τοποθέτηση της σωλήνωσης το ρευστό από τους υδροφόρους σχηματισμούς εισέρχεται μέσα στην στήλη. Αυτό αντλείται στην επιφάνεια με την βοήθεια ενός αντλητικού συστήματος, ισχύος ανάλογης με την εκτιμωμένη παροχή της γεώτρησης και του βάθους της υδροφορίας, που τοποθετείται σε κατάλληλο βάθος. Η παροχή της γεώτρησης υπολογίζεται πραγματοποιώντας δοκιμαστική άντληση, κατά την οποία καταγράφεται το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του ρευστού, η διάρκεια άντλησης και ο χρόνος επαναφοράς της στάθμης στο αρχικό σημείο.

2.2.4 Χαρακτηριστικά υδρογεωτρήσεων

Όπως αναφέρθηκε, για την όρυξη μίας υδρογεώτρησης γίνεται χρήση γεωτρητικής λάσπης. Τα χαρακτηριστικά της γεωτρητικής λάσπης μίας υδρογεώτρησης, όπως η αλατότητα της, επηρεάζουν την επιλογή του τύπου των ηλεκτρικών διαγραφιών. Οι διαγραφίες ηλεκτρικών αντιστάσεων (SPR, SN, LN) εκτελούνται όταν η αλατότητα της γεωτρητικής λάσπης κυμαίνεται εντός μίας περιοχής τιμών, ενώ στην περίπτωση που η τιμή αυτή είναι εκτός ενός εύρους τιμών ή όταν η γεώτρηση πραγματοποιείται εντός εβαποριτών εκτελείται η διαγραφή εστιασμένης αντίστασης (Guard Log) που παρέχει πιο αξιόπιστα δεδομένα εξαιτίας της καλύτερης διακριτικής της ικανότητας.

Η διαπερατότητα των σχηματισμών και η πίεση της γεωτρητικής στήλης είναι χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την διείσδυση της γεωτρητικής λάσπης εντός του σχηματισμού. Όσο υψηλότερη διαπερατότητα έχουν οι συγκεκριμένοι σχηματισμοί τόσο δυσκολότερο είναι να ελεγχθεί η έκταση της διείσδυσης. Επίσης μεγάλη πίεση, προερχόμενη από την

στήλη δύναται να οδηγήσει στον αποχωρισμό μέρους του νερού της γεωτρητικής λάσπης και στην ενσωμάτωση του στο νερό του σχηματισμού.

Ο χρόνος επίσης είναι ένας καθοριστικός παράγοντας και αυτό διότι, όσο παρατείνεται η επαφή μεταξύ γεωτρητικής λάσπης και του σχηματισμού επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διείσδυση της πρώτης στον τελευταίο. Επίσης ο παρατεταμένος χρόνος επαφής δίνει την δυνατότητα ανταλλαγής ιόντων μεταξύ γεωτρητικής λάσπης και νερού του σχηματισμού και κατά συνέπεια η καταγραφή ειδικά των διαγραφιών των ηλεκτρικών αντιστάσεων να θεωρείται μη αντιπροσωπευτική.

Η διάμετρος της γεώτρησης είναι ένα χαρακτηριστικό που επηρεάζει τις περισσότερες καταγραφές. Οι γεωτρήσεις με μικρότερη διάμετρο παρέχουν καλύτερες καταγραφές και για το λόγο αυτό θεωρείται σκόπιμο, οι διαγραφίες να εκτελούνται στην ερευνητική και όχι απαραίτητα στην διευρημένη ή παραγωγική υδρογεώτρηση. Οι τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων που εκτελούνται υπό την παρουσία γεωτρητικής λάσπης μικρής αλατότητας μειώνονται με αυξανόμενη διάμετρο, ενώ ταυτόχρονα η καταγραφή εξομαλύνεται. Το ίδιο ισχύει και με την διαγραφή της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, στην οποία με αυξανόμενη διάμετρο ελαττώνεται ο ρυθμός καταγραφής περιορίζοντας την διακριτική της ικανότητα. Οι αρχές λειτουργίας των παραπάνω διαγραφιών περιγράφονται στο κεφάλαιο που ακολουθεί.

Κεφάλαιο 3

Διαγραφίες (Logging)

Το κεφάλαιο αυτό πραγματεύεται τον εξοπλισμό, τις αρχές λειτουργίας των χρησιμοποιούμενων διαγραφιών καθώς και το τρόπο εκτέλεσης τους.

3.1 Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός περιλαμβάνει τόσο μηχανικά μέρη, όσο και ηλεκτρονικά. Αυτός φέρεται πάνω σε κατάλληλα τροποποιημένο φορητό και τροφοδοτείται από εναλλασσόμενο ρεύμα τάσεως 230V που παράγεται από γεννήτρια.

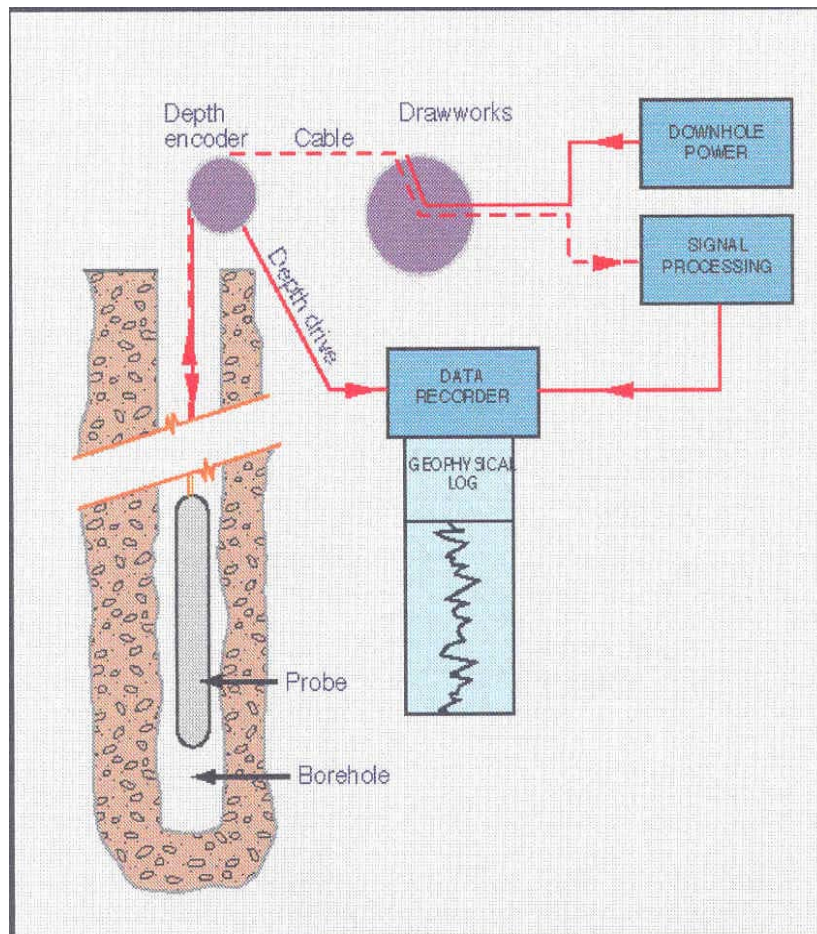
Το τύμπανο περιέλιξης ή βαρούλκο (Winch) (Εικόνα 3.1) είναι πακτωμένο στο φορητό και αποτελείται από ένα σύστημα τροχαλιών πάνω στις οποίες κινείται μεταλλικό καλώδιο μήκους έως 1000 μέτρων. Γνωρίζοντας την διάμετρο των δίσκων, το τύμπανο περιέλιξης διαθέτει οθόνη ένδειξης βάθους καθώς και την δυνατότητα αυξομείωσης του ρυθμού καθόδου ή ανόδου της καταγραφικής συσκευής ή φωρατής. Για την λειτουργία του απαιτείται εναλλασσόμενο ρεύμα, που παρέχεται είτε από δίκτυο ηλεκτρικού ρεύματος, είτε από την γεννήτρια.

Το μεταλλικό καλώδιο (Logging Cable) αποτελείται εξωτερικά από δύο ατσάλινα σύρματα που το ενισχύουν, ενώ στο εσωτερικό του υπάρχουν επτά χάλκινοι πυρήνες. Οι απολήξεις του ενός άκρου των καλωδιακών πυρήνων βρίσκονται στο εξωτερικό του τύμπανου και συνδέονται στο καταγραφικό, ενώ το άλλο άκρο καταλήγει στον φωρατή.

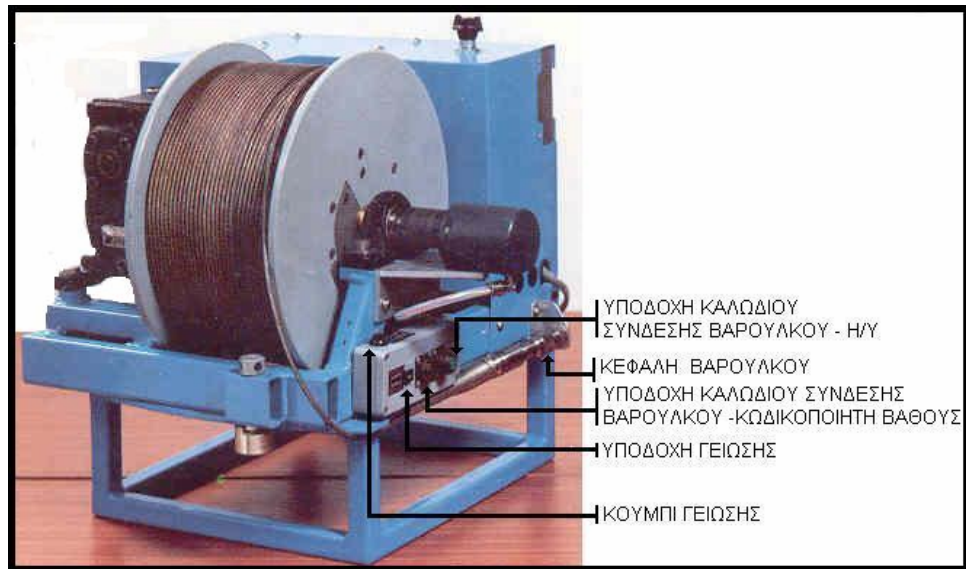
Το καταγραφικό (Controls) είναι μία ηλεκτρονική μονάδα με μεγάλη υπολογιστική ισχύ που επιτρέπει την απεικόνιση των διαγραφιών σε πραγματικό χρόνο, ενώ λειτουργεί σε περιβάλλον Windows. Μέσω του καταγραφικού ελέγχεται η σωστή λειτουργία όλου του εξοπλισμού πριν την εκτέλεση των διαγραφιών.

Ο φωρατής (Probe) είναι ένας εν μέρει μεταλλικός σωλήνας με μήκος από 1,66 έως 3,1 μέτρα και βάρος από 7 έως 21 κιλά που περιέχει στο εσωτερικό του τα ανάλογα γεωφυσι-

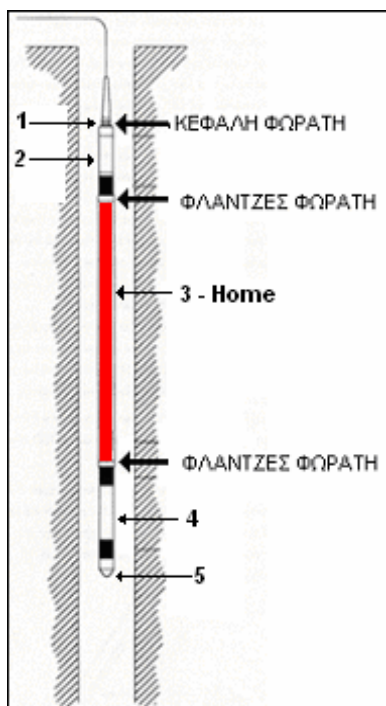
κά όργανα για τις αντίστοιχες μετρήσεις (Εικόνα 3.2). Ο φωρατής συνδέεται με το μεταλλικό καλώδιο, μονώνεται, το καλώδιο με την σειρά του καταλήγει στο τύμπανο περιέλιξης και από εκεί στο καταγραφικό. Το Σχήμα 3.1 παρουσιάζει σχηματικά όλη την παραπάνω διάταξη.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση της συνδεσμολογίας των επιμέρους τμημάτων καταγραφής διαγραφιών.



Εικόνα 3.1: Το τύμπανο περιέλιξης με τις υποδοχές που φέρει.



Εικόνα 3.2: Φωρατής ηλεκτρικών διαγραφιών με περιγραφή των επιμέρους τμημάτων του.



3.2 Παρουσίαση διαγραφιών

Ο τρόπος παρουσίασης των διαγραφιών που πραγματοποιούνται στις υδρογεωτρήσεις είναι αντίστοιχος εκείνου των γεωτρήσεων πετρελαίου. Ο τελευταίος καθιερώθηκε από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Πετρελαίου (API) προκειμένου να υπάρχει ένα κοινό σύστημα παρουσίασης για όλες τις εταιρείες που δραστηριοποιούνται με το συγκεκριμένο αντικείμενο.

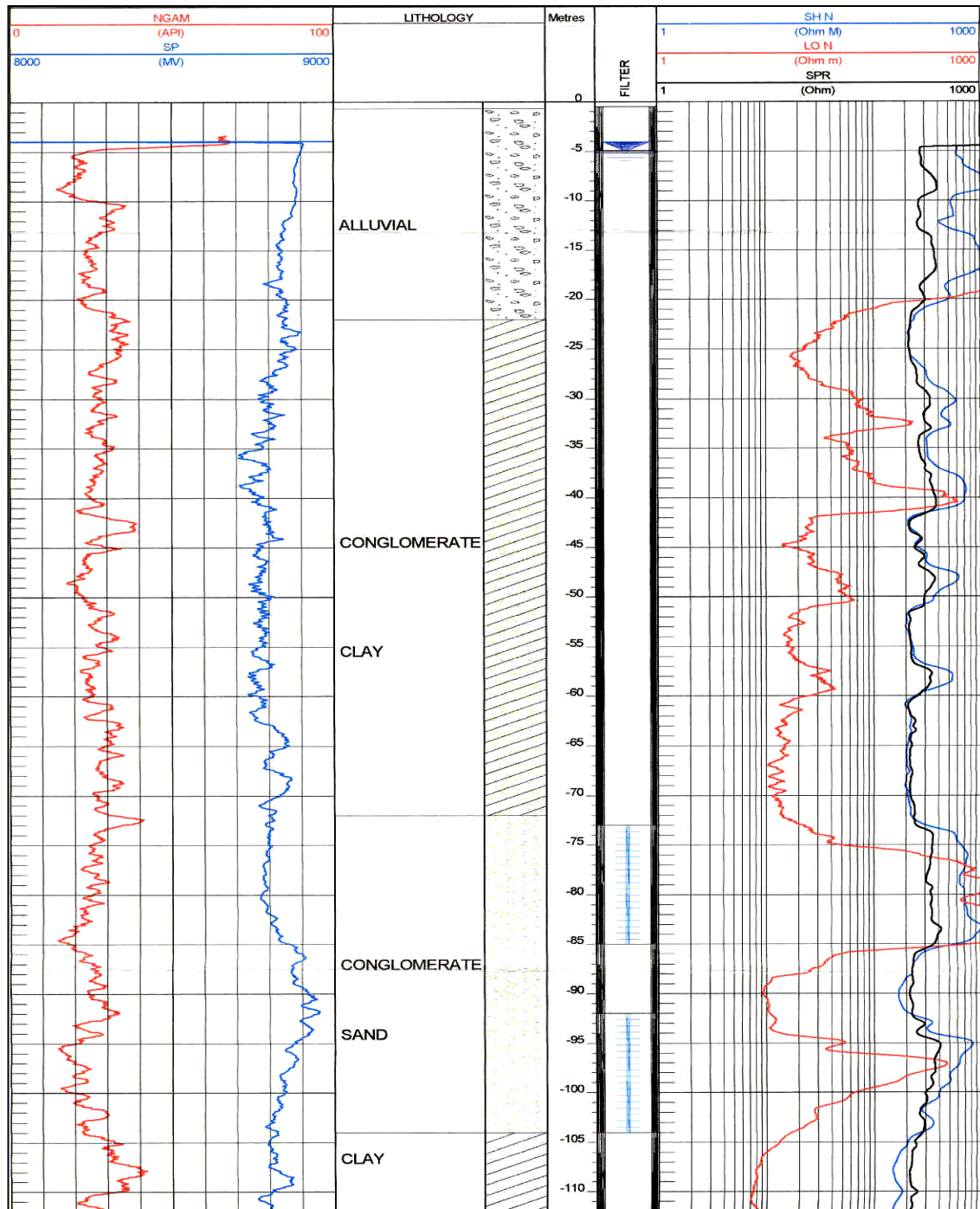
Στο πρώτο χωρίο (header) (Σχήμα 3.3) δίνονται στοιχεία όπως το τοπωνύμιο της περιοχής, η ημερομηνία, το βάθος και η διάμετρος της γεώτρησης, το είδος της γεωτρητικής λάσπης καθώς και επιτόπιες μετρήσεις όπως η αγωγιμότητα και η θερμοκρασία της τελευταίας.

Στο επόμενο χωρίο (Σχήμα 3.4) απεικονίζονται οι διαγραφίες. Στο αριστερό μέρος (track) καταγράφονται αυτές του φυσικού δυναμικού και της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα. Για την διαγραφή του φυσικού δυναμικού η κλίμακα είναι γραμμική και η μονάδα μέτρησης είναι το mVolt, ενώ για την διαγραφή της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα η μονάδα μέτρησης είναι το API που ορίζεται σαν το 1/200 της απόκλισης του διαστήματος ανάμεσα στην ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της ακτινοβολίας γάμμα που καταγράφονται κατά την βαθμονόμηση του οργάνου του φωρατή. Στο δεξιό μέρος καταγράφονται οι τρεις κλασικές ηλεκτρικές διαγραφίες (SH, LN, SPR) είτε σε κανονική είτε σε λογαριθμική κλίμακα με μονάδα μέτρησης το $\Omega \cdot m$, ενώ το ίδιο ισχύει και για τις υπόλοιπες ηλεκτρικές.

Στην περίπτωση της διαγραφίας τριών βραχιόνων αυτή καταγράφεται ξεχωριστά με μονάδα μέτρησης την ίντσα ενώ αυτή της αγωγιμότητας και της θερμοκρασίας καταγράφονται στο ίδιο μέρος με μονάδα μέτρησης τα $\mu S/cm$ και τους βαθμούς Κελσίου αντίστοιχα. Με μονάδα μέτρησης τους βαθμούς Κελσίου και σε γραμμική κλίμακα απεικονίζεται η διαγραφή καθετότητας ή εναλλακτικά σε μέτρα απόκλισης από την κατακόρυφο.

 GEOTECH		ΓΕΩΤΕΚ Α.Τ.Ε. - GEORESOURCES TECHNOLOGY S.A. ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Τ.Θ. 1431, Περιγιάλι 83 - 652 01 ΚΑΒΑΛΑ Τηλ.: 2510-231852, Fax: 2510-620953 e-mail: info@georesources.gr *www.georesources.gr							
		ΕΙΔΟΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΑΣ: ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ							
ΕΤΑΙΡΙΑ: ΓΕΩΤΡΗΣΗ: 1 ΠΕΡΙΟΧΗ: ΝΟΜΟΣ: ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ: ΓΕΩΓΡ. ΠΛΑΤΟΣ: ΓΕΩΓΡ. ΜΗΚΟΣ:					ΆΛΛΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ: --				
ΜΟΝΙΜΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ: ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ: ΣΗΜΕΙΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΒΑΘΟΥΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ:				ΥΨΟΜΕΤΡΟ		ΚΒ DF GL			
ΜΕΤΡΗΣΗ: ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: ΤΥΠΟΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΑΣ: ΒΑΘΟΣ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ: ΒΑΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΡΕΥΣΤΟ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ: ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ΠΟΛΦΟΥ: ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΟΛΦΟΥ: ΣΤΑΘΜΗ ΠΟΛΦΟΥ: ΜΕΓΙΣΤΗ ΘΕΡΜ/ΣΙΑ: ΧΡΟΝΟΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ: ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ: ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΣ ΠΕΛΑΤΗ:		1 ELXG 320 μ. 295 μ. 295 μ. 180 μ. ΝΕΡΟ Ν/Α μS/cm -- 180 μ. -- 15 λεπτά Μ. ΤΑΤΟΣ							
ΜΕΤΡΗΣΗ	ΚΟΠΤΙΚΟ			ΣΩΛΗΝΟΣΗ					
	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ	ΜΕΓΕΘΟΣ	ΒΑΡΟΣ	ΑΠΟ	ΕΩΣ		
	15"	0	320M	0 0		0 0	0 0		

Σχήμα 3.3: Το χωρίο (header) συμπλήρωσης επιτόπιων μετρήσεων πριν την καταγραφή των διαγραφιών της εταιρείας ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ.



Σχήμα 3.4: Παράδειγμα διαγραφιών ηλεκτρικών αντιστάσεων SPR, SN, LN (δεξιό χωρίο) και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, φυσικού δυναμικού NG, SP (αριστερό χωρίο).



Εικόνα 3.3: Η πρώτη ηλεκτρική διαγραφή.

3.3 Ηλεκτρικές διαγραφίες (Electric logs)

Αν και οι πρώτες ηλεκτρικές διαγραφίες (Εικόνα 3.3) εμφανίστηκαν στις αρχές του 20ού αιώνα, η εμπορική τους είσοδος έγινε το 1929 στην Αλσατία της Γαλλίας από τους αδελφούς Schlumberger. Αξίζει δε να αναφερθεί ότι κατά την διάρκεια μετρήσεων που πραγματοποιούσαν οι τελευταίοι το 1931, αποσυνδέθηκε η παροχή ρεύματος και αντί μηδενικών ενδείξεων όπως αναμενόταν, καταγράφονταν συνεχώς διάφορες τιμές. Η συγκεκριμένη διάταξη κατέγραφε δυναμικό με προέλευση την ίδια την γεώτρηση αποτελώντας την πρώτη καταγραφή φυσικού δυναμικού.

Οι κλασικές ηλεκτρικές διαγραφίες αποτελούνται από την διαγραφή φυσικού δυναμικού και τριών ακόμα διαγραφιών με διαφορετικό βάθος διείσδυσης στον υπό μελέτη σχηματισμό. Οι ηλεκτρικές διαγραφίες παρέχουν την δυνατότητα προσδιορισμού του βάθους και πάχους ενός σχηματισμού ενώ είναι επίσης εφικτός ο υπολογισμός της ηλεκτρικής αντίστασης του ρευστού που περιέχεται στο σχηματισμό. Όλα τα παραπάνω απαιτούν την γνώση μεγεθών όπως η ηλεκτρική αντίσταση της λάσπης της γεώτρησης, η θερμοκρασία, η ηλεκτρική αντίσταση του ρευστού του σχηματισμού και άλλα. Παρόλα αυτά υπάρχει ένα πλήθος από άλλα μεγέθη ή γεωμετρικούς παράγοντες που καθιστούν πολλές φορές την ερμηνεία των ηλεκτρικών διαγραφιών διττή και αρκετά δύσκολη. Σε αυτό το σημείο η εμπειρία του μηχανικού κατέχει σημαντικό ρόλο.

3.3.1 Διαγραφή φυσικού δυναμικού (Spontaneous Potential Log)

Η προέλευση του φυσικού δυναμικού είναι αποτέλεσμα ύπαρξης φυσικών ηλεκτρικών ρευμάτων που αναπτύσσονται μεταξύ της γεωτρητικής λάσπης, του ρευστού του σχηματισμού και διεπιφανειών διαφόρων σχηματισμών. Το Σχήμα 3.5 καταγράφει το φυσικό δυ-

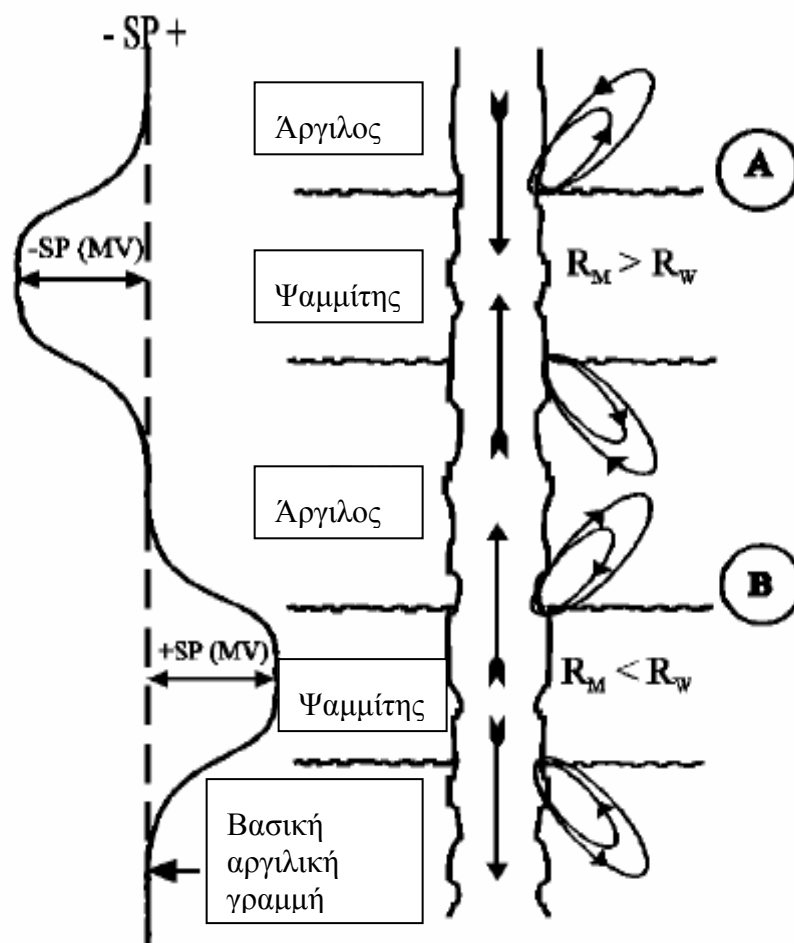
ναμικό σαν αποτέλεσμα της ύπαρξης των τριών παραπάνω μέσων, όπου στο Α μέρος αυτού, το ρευστό του σχηματισμού παρουσιάζει μικρότερη αντίσταση από αυτή της γεωτρητικής λάσπης, ενώ στο Β μέρος του σχήματος το ρευστό του σχηματισμού παρουσιάζει μεγαλύτερη αντίσταση από αυτή της γεωτρητικής λάσπης. Απέναντι από τους αργιλικούς σχιστόλιθους η καμπύλη είναι περίπου ευθεία (βασική αργιλική γραμμή), ενώ απέναντι από περατούς σχηματισμούς η καμπύλη εμφανίζεται μετακινημένη.

Μία αιτία δημιουργίας αυτών των φυσικών ρευμάτων είναι η επαφή δύο ηλεκτρολυτών με διαφορετικές συγκεντρώσεις ιόντων. Αυτό ακριβώς λαμβάνει χώρα μέσα σε μία γεώτρηση και ονομάζεται δυναμικό επαφής. Τα ιόντα που απαντούν σε τέτοιου είδους ηλεκτρολύτες είναι κυρίως τα ιόντα χλωρίου και νατρίου, κάνοντας την παραδοχή ότι γεωτρητική λάσπη και ρευστό του σχηματισμού περιέχουν ένα είδος διαλυμένου άλατος. Έτσι, αν το ρευστό του σχηματισμού έχει μεγαλύτερη αλατότητα από την γεωτρητική λάσπη, τότε ιόντα θα διαχυθούν από το πρώτο στο δεύτερο. Εξαιτίας της μεγαλύτερης κινητικότητας των χλωριούχων ιόντων το πλήθος τους θα είναι μεγαλύτερο στην γεωτρητική λάσπη έναντι των λιγότερο κινητικών ιόντων νατρίου, δημιουργώντας πάντα σε αυτήν μία περίσσεια αρνητικού φορτίου. Η εμφάνιση αρνητικού πόλου στο αραιό διάλυμα -γεωτρητική λάσπη- και θετικού πόλου στο πυκνό διάλυμα -ρευστό του σχηματισμού- δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο κάτω από την επίδραση του οποίου τα ανιόντα χλωρίου κινούνται προς το υψηλής συγκέντρωσης διάλυμα και τα κατιόντα νατρίου προς το χαμηλής συγκέντρωσης διάλυμα.

Η κυριότερη αιτία δημιουργίας του φυσικού δυναμικού οφείλεται στη δυνατότητα των αργιλικών σχηματισμών να λειτουργούν σαν περατές μεμβράνες επιτρέποντας στα λιγότερο ταχέως κινούμενα ιόντα νατρίου να περάσουν μέσα από το ρευστό του σχηματισμού στην γεωτρητική λάσπη, απωθώντας ταυτόχρονα τα ιόντα χλωρίου με δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσεως. Επομένως η γεωτρητική λάσπη απέναντι από τέτοιους σχηματισμούς παρουσιάζει, σε σχέση με το ρευστό του σχηματισμού, μία περίσσεια σε κατιόντα που ισοδυναμεί εν τέλει με ένα θετικό δυναμικό εν συγκρίσει με το δυναμικό σε γειτονικά σημεία. Αυτές οι διαφορές στο δυναμικό, ανάμεσα στους αργιλικούς σχηματισμούς και στους γειτονικούς τους αποτελούν την καταγραφή του δυναμικού μεμβράνης. Όπως το δυναμικό επαφής έτσι και το δυναμικό μεμβράνης αυξάνεται όσο η διαφορά μεταξύ της αλατότητας του ρευστού του σχηματισμού και της γεωτρητικής λάσπης μεγαλώνει. Η διαγραφή του φυσικού δυναμικού συνίσταται στην καταγραφή του δυναμικού επαφής και του δυναμικού

μεμβράνης, με το πρώτο να συνεισφέρει κατά 17% ενώ το δυναμικό μεμβράνης αποτελεί το 83% της συνολικής καταγραφής του φυσικού δυναμικού.

Επομένως η δημιουργία του φυσικού δυναμικού προϋποθέτει την ύπαρξη τριών μέσων: ενός περατού σχηματισμού όπου οι πόροι του πληρούνται με νερό, ενός αργιλικού σχηματισμού και του ρευστού της γεώτρησης, είτε είναι λάσπη είτε νερό. Το φυσικό δυναμικό επηρεάζεται κυρίως από τη σχέση που έχει το πάχος του σχηματισμού με την διάμετρο της γεώτρησης και από την σχέση της αντίστασης του σχηματισμού με την αντίσταση της γεωτρητικής λάσπης. Όσο η σχέση, πάχος σχηματισμού προς διάμετρο γεώτρησης αυξάνει, επιτυγχάνεται μέγιστη ανάπτυξη του φυσικού δυναμικού.



Σχήμα 3.5: Μεταβολή του φυσικού δυναμικού συναρτήσει της αντίστασης της γεωτρητικής λάσπης και του ρευστού του σχηματισμού.

3.3.2 Διαγραφίες ηλεκτρικών αντιστάσεων (Resistivity Logs)

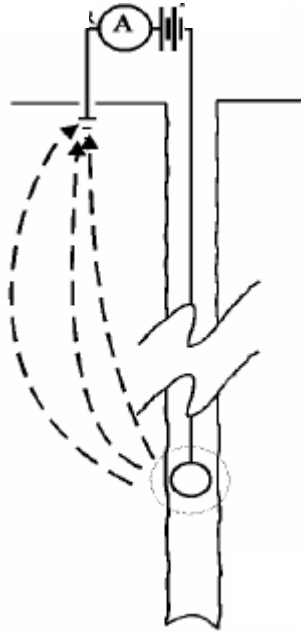
Αντίσταση είναι η δυσκολία που παρουσιάζει ένα σώμα όταν από αυτό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Μονάδα μέτρησης είναι το Ω και ένα σώμα έχει αντίσταση 1 Ω όταν εφαρμόζοντας δυναμικό 1 Volt στα άκρα του, διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1 Ampere.

Όλοι οι σχηματισμοί άγουν λίγο ή πολύ το ηλεκτρικό ρεύμα. Αντίθετα με τους μεταλλικούς αγωγούς η ηλεκτρική αγωγιμότητα των σχηματισμών οφείλεται στην παρουσία ιόντων που περιέχονται στα ρευστά που πληρούν τους πόρους αυτών. Με την σειρά της, η ηλεκτρική αγωγιμότητα εξαρτάται από την συγκέντρωση και από το είδος των ιόντων που βρίσκονται εν διαλύσει.

Το μετρούμενο μέγεθος είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού R και η οποία δίνεται από το πηλίκο του γινομένου της ηλεκτρικής αντίστασης του πετρώματος σχήματος κυλινδρικού, επί την διατομή του S , προς το μήκος του l . Ισχύει δηλαδή η Εξίσωση (3.1):

$$R = \frac{r * S}{l} \quad (3.1)$$

Όπου r είναι η ηλεκτρική αντίσταση σε Ω και R είναι η ειδική ηλεκτρική αντίσταση σε $\Omega \cdot m$.

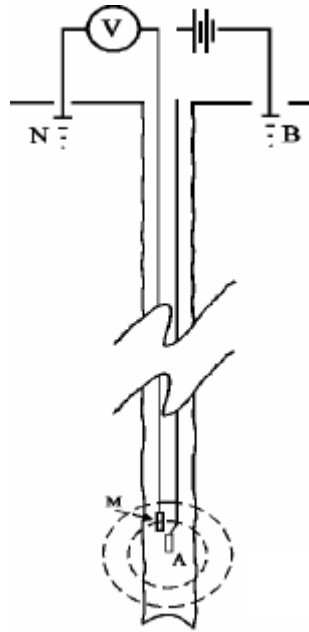


Σχήμα 3.6: Διάταξη εκτέλεσης ηλεκτρικών διαγραφιών με ένα ηλεκτρόδιο.

Τα περισσότερα ιζηματογενή πετρώματα παρουσιάζουν μια ειδική ηλεκτρική αντίσταση από $0,1-1000 \Omega \cdot m$, ενώ για τους ασβεστόλιθους μπορεί να φθάσει έως και $10000 \Omega \cdot m$.

Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζεται η αρχική διάταξη εκτέλεσης των ηλεκτρικών διαγραφιών η οποία χρησιμοποιούσε ένα ηλεκτρόδιο. Ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται από την επιφάνεια στο ηλεκτρόδιο, διαχέεται στον σχηματισμό, επιστρέφει στην επιφάνεια και στην πηγή παραγωγής του ρεύματος μέσω ενός δεύτερου ηλεκτροδίου. Οι μετρήσεις της διάταξης αυτής επηρεάζονταν από το γεωτρητικό ρευστό ενώ ταυτόχρονα ήταν ασαφές το βάθος διείσδυσης στο σχηματισμό. Για αυτούς τους λόγους, η διάταξη αυτή εγκαταλείφθηκε γρήγορα.

Η νέα διάταξη περιλαμβάνει σύστημα δύο ηλεκτροδίων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7. Το ηλεκτρόδιο A είναι ηλεκτρόδιο ρεύματος, ενώ το M είναι δυναμικού. Τα ηλεκτρόδια B και N που βρίσκονται στην επιφάνεια είναι οι επιστροφές ρεύματος και δυναμικού αντίστοιχα. Η απόσταση μεταξύ του ηλεκτροδίου ρεύματος A και του ηλεκτροδίου δυναμικού M είναι καθοριστική για το βάθος διείσδυσης της μέτρησης στον σχηματισμό. Όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση AM, τόσο μεγαλύτερη είναι η διείσδυση στο σχηματισμό με τίμημα



Σχήμα 3.7: Η σημερινή διάταξη εκτέλεσης ηλεκτρικών διαγραφιών με δύο ηλεκτρόδια.

όμως μικρότερη διακριτική ικανότητα. Όταν γίνεται λόγος για ηλεκτρική διαγραφή των 16 ή 64 ιντσών, νοείται η απόσταση των προαναφερόμενων ηλεκτροδίων, δηλαδή η απόσταση AM. Στην παραπάνω διάταξη διοχετεύεται ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης με την βοήθεια των ηλεκτροδίων A και B. Ισχύει η Εξίσωση (3.2):

$$V_M = \frac{I * R}{4 * 3.14 * AM}$$

Όπου V_M το δυναμικό του ηλεκτροδίου M σε Volts, R η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού σε $\Omega \cdot m$, I η ένταση του ρεύματος σε Amperes και AM η απόσταση των ηλεκτροδίων A, M σε m. Οι μετρήσεις των ηλεκτρικών διαγραφιών αποτελούνται από συνεχείς καταγραφές της τάσης V_M , η οποία είναι ανάλογη της αντίστασης του σχηματισμού.

Οι ηλεκτρικές διαγραφίες (Σχήμα 3.8) αποτελούνται από δύο τύπους, αυτές με την μικρή διείσδυση και αυτές με την μεγάλη διείσδυση στο σχηματισμό. Οι πρώτες έχουν σαν βασική καταγραφή την αντίσταση μίας ζώνης πολύ κοντά στην γεώτρηση. Αυτή η ζώνη πληρείται από το ρευστό της γεώτρησης που έχει απωθήσει το ρευστό του σχηματισμού σε βαθμό που εξαρτάται από το βάθος και από το ειδικό βάρος του πρώτου. Η ζώνη αυτή είναι γνωστή και σαν ζώνη διείσδυσης (invaded zone). Αυτή η ζώνη δεν παρατηρείται στους μη κατακερματισμένους αργιλικούς σχιστόλιθους, οι οποίοι δεν διαθέτουν διαπερατότητα

και κατ' επέκταση η αντίσταση τους παραμένει η ίδια σε οποιαδήποτε απόσταση από την γεωτρητική στήλη. Διαγραφίες τέτοιου τύπου είναι η αντίσταση μόνου σημείου SPR (Single Point Resistivity) και η βραχεία κανονική SN (Short Normal) των 16 ιντσών, μέγεθος που αναφέρεται στην απόσταση των ηλεκτροδίων A και M. Το βάθος διείσδυσης της τελευταίας στο σχηματισμό είναι περίπου ένα μέτρο.

Η ηλεκτρική διαγραφή με την μεγάλη διείσδυση στο σχηματισμό καταγράφει την αντίσταση μίας ζώνης μακριά από την στήλη, όπου δεν έχει λάβει χώρα καμία αντικατάσταση ρευστών και που η κατάσταση του σχηματισμού θεωρείται αδιατάραχτη. Η αντίσταση που καταγράφεται θεωρείται η πραγματική του σχηματισμού και η διαγραφή αυτή ονομάζεται μακρά κανονική LN (Long Normal) των 64 ιντσών με ένα βάθος διείσδυσης στον σχηματισμό περίπου τριών μέτρων.

Σε σχηματισμούς με ασύνδετο πορώδες η αντίσταση του ρευστού του σχηματισμού δεν επηρεάζει την συνολική αντίσταση. Αντί αυτού, η αντίσταση των περιβαλλόντων σχηματισμών επηρεάζει σημαντικά την καταγραφόμενη αντίσταση. Η περίπτωση προσομοιάζει αυτής ηλεκτρικού κυκλώματος, όπου το ρεύμα διέρχεται από πλήθος αντιστάσεων με την συνολική αντίσταση να δίνεται από το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεων. Γεγονός που σημαίνει ότι με την χρήση των παραπάνω διαγραφιών δεν είναι δυνατός ο διαχωρισμός μεταξύ σχηματισμών με μηδενικό πορώδες και αυτών με ασύνδετο πορώδες.

Το πάχος του υπό μελέτη σχηματισμού επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων. Ο βαθμός του σφάλματος εξαρτάται από την σχέση του πάχους του σχηματισμού και της απόστασης AM των ηλεκτροδίων. Όταν ένας μη αγωγίμος σχηματισμός έχει μικρότερο πάχος από την απόσταση AM και περιβάλλεται από αγωγίμους σχηματισμούς, τότε θα καταγραφεί σαν αγωγίμος. Σε αυτές τις περιπτώσεις προτιμάται η διαγραφή εστιασμένης αντίστασης.

Όλες οι ηλεκτρικές διαγραφίες εκτελούνται με φορά από το πέρας της γεώτρησης προς την κορυφή της, με ταχύτητα ανόδου του φορατή 10 m/min.

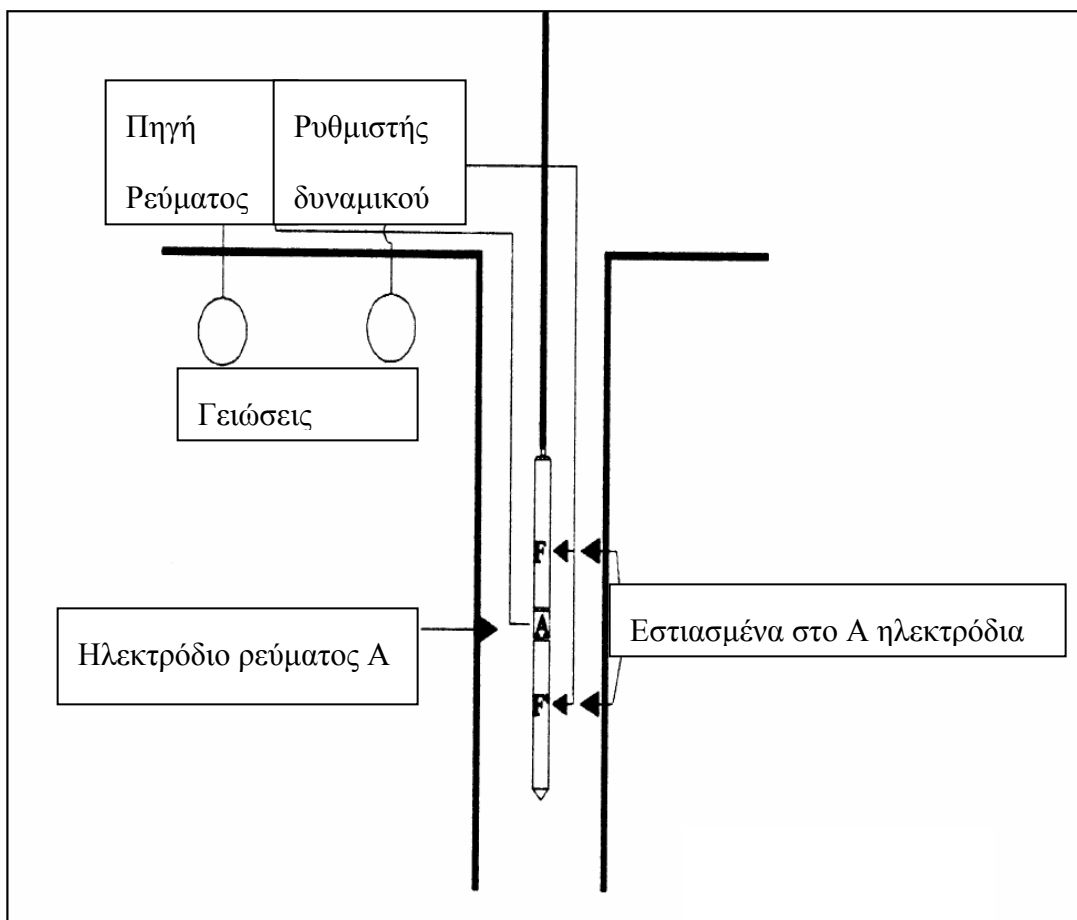
3.3.3 Διαγραφία εστιασμένης αντίστασης (Guard Log)

Η αρχή λειτουργίας της διαγραφίας εστιασμένης αντίστασης στηρίζεται εν μέρει σε αυτήν των ηλεκτρικών διαγραφιών κατά την οποία ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται στο ηλεκτρόδιο A, με αποτέλεσμα μία διαφορά δυναμικού μεταξύ αυτού και της γείωσης B. Κοντά στο ηλεκτρόδιο A δημιουργούνται ισοδυναμικές επιφάνειες. Τοποθετώντας ένα ακόμα ηλεκτρόδιο M σε γνωστή απόσταση από το ηλεκτρόδιο A επιτυγχάνεται, τέτοιο βάθος διείσδυσης στον σχηματισμό των ηλεκτρικών διαγραφιών, όσο και η απόσταση AM. Όμως όσο μεγαλύτερη η απόσταση AM, τόσο μειώνεται η ακρίβεια των μετρήσεων. Οι διαγραφίες αυτές δεν βρίσκουν εφαρμογή σε περιπτώσεις όταν η αλατότητα της γεωτρητικής λάσπης είναι πολύ μεγάλη.

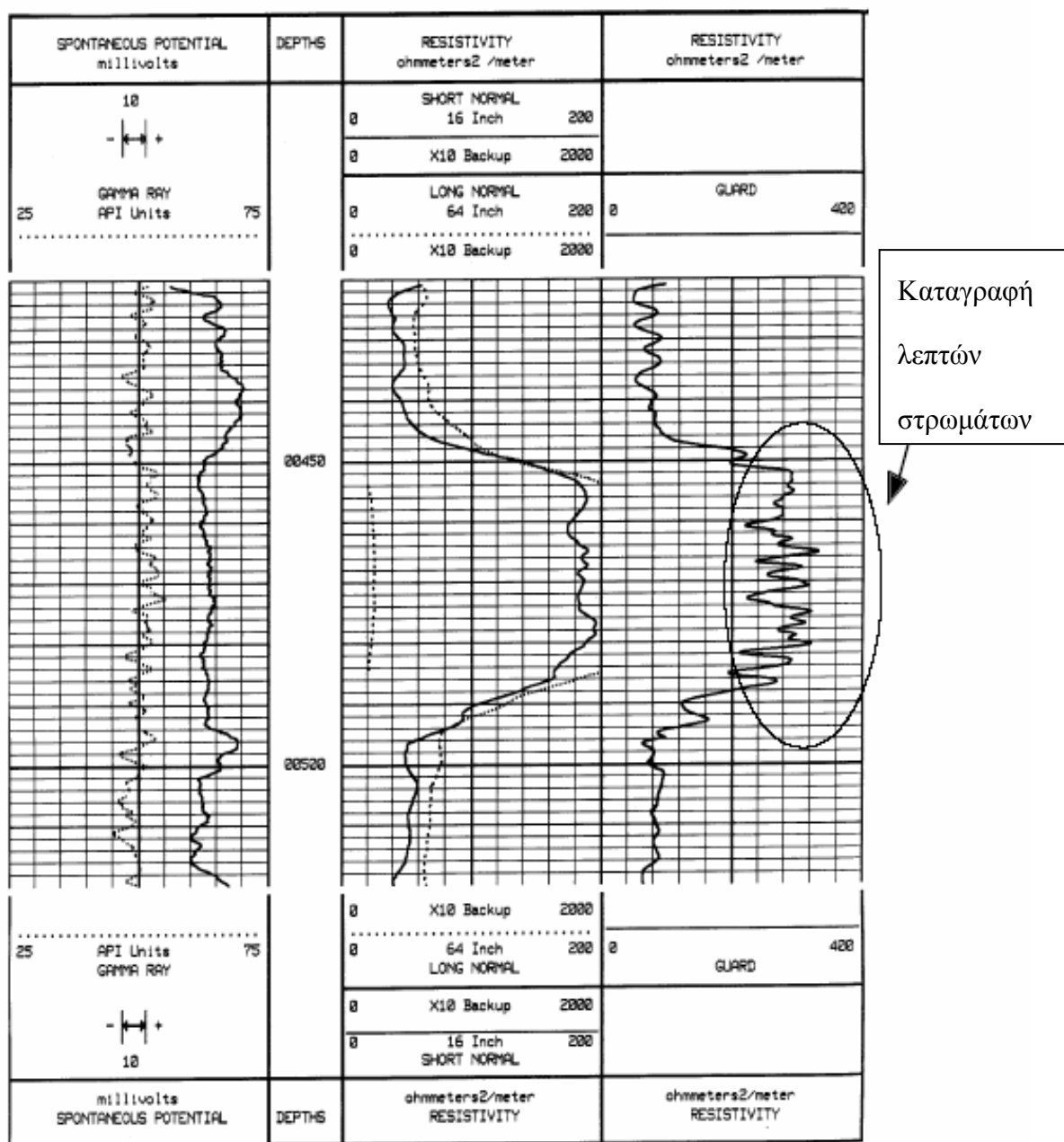
Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την διάταξη της εστιασμένης αντίστασης (Σχήμα 3.8). Στο μέσο του φωρατή τοποθετείται ένα ακόμα ηλεκτρόδιο ρεύματος μήκους δέκα εκατοστών, ενώ στο πάνω και κάτω μέρος του φωρατή βρίσκονται τα ηλεκτρόδια εστίασης μήκους ενός μέτρου το κάθε ένα. Με την χρήση κατάλληλου ηλεκτρονικού εξοπλισμού τα τρία ηλεκτρόδια έχουν το ίδιο δυναμικό επιτυγχάνοντας έτσι το ηλεκτρικό ρεύμα που διοχετεύεται από το κεντρικό ηλεκτρόδιο στο σχηματισμό να είναι ανάλογο της αντίστασης.

Η χρήση της διαγραφίας αυτής παρέχει την δυνατότητα σαφώς πιο αξιόπιστων δεδομένων σε περιπτώσεις που η χρήση των ηλεκτρικών διαγραφιών είναι προβληματική, όπως αυτή των αποθέσεων με μη ευδιάκριτες στρώσεις (Σχήμα 3.9). Ή ακόμα σε περιπτώσεις όπου η εναλλαγή αργιλικών και ψαμμιτικών στρωμάτων είναι ευδιάκριτη, η διαγραφή εστιασμένης αντίστασης δύναται να χρησιμοποιηθεί για την ακριβή εύρεση του πάχους των στρωμάτων έτσι ώστε η τοποθέτηση των φίλτρων της γεώτρησης να είναι η βέλτιστη δυνατή.

Αξίζει ακόμα να αναφερθεί η χρήση της παραπάνω διαγραφίας στην περίπτωση συμπαγούς σχηματισμού. Αυτή μπορεί να καταγράψει τον κατακερματισμό του και να παράσχει πληροφορίες αν αυτός πληρείται με νερό ή όχι. Και αυτό διότι η καταγραφή συμπαγούς σχηματισμού ή κατακερματισμένου πληρούμενου με υλικού, είναι χαρακτηριστική με μία τάξη μεγέθους αντίσταση των $2000 \Omega \cdot m$ (ο σχηματισμός δεν περιέχει αγωγίμο ρευστό και διαθέτει μηδενικό πορώδες). Στην αντίθετη περίπτωση, όπου αυτό πληρείται με νερό η αντίστοιχη καταγραφή είναι μικρότερη των $2000 \Omega \cdot m$.



Σχήμα 3.8: Η διάταξη καταγραφής της εστιασμένης αντίστασης.



Σχήμα 3.9: Καταγραφή διαγραφιών φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και φυσικού δυναμικού στο αριστερό χωρίο, ενώ στο μέσο δίνονται οι κλασσικές ηλεκτρικές με την συνεχή καμπύλη να αντιστοιχεί στην βραχεία των 16' και την διακοπτόμενη να αντιστοιχεί στην μακρά των 64'. Δεξιά η διαγραφή εστίασης καταγράφει με λεπτομέρεια τους λεπτούς σχηματισμούς, κάτι που δεν δύναται η βραχεία των 16'.

3.3.4 Διαγραφία επαγωγής (Induction Log)

Η διαγραφία επαγωγής χρησιμοποιούνται όταν δεν υπάρχει ηλεκτρική επαφή μεταξύ ηλεκτροδίων ρεύματος και σχηματισμού, εξαιτίας μη αγώγιμου γεωτρητικού ρευστού ή λόγω διάτρησης με αέρα. Η καταγραφή χαρακτηρίζεται από μεγάλη διεισδυτική ικανότητα, αλλά δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σωληνωμένη γεώτρηση.

Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης συσκευής βασίζεται στην δημιουργία μαγνητικού πεδίου που προέρχεται από εναλλασσόμενο ρεύμα σταθερής έντασης και υψηλής συχνότητας που διαρρέει ένα πηνίο. Το μαγνητικό πεδίο με την σειρά του επάγει ηλεκτρικά ρεύματα στο σχηματισμό, τα οποία με την σειρά τους δημιουργούν ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, το οποίο επάγει ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα δεύτερο πηνίο.

Για τον λόγο ότι οι ηλεκτρικές διαγραφίες καταγράφουν την αγωγιμότητα του σχηματισμού, ο φωρατής εκτέλεσης των επαγωγικών διαγραφιών διαθέτει διάταξη που μετατρέπει την καταγραφόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε ηλεκτρική αντίσταση.

3.4 Διαγραφία φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Gamma Ray Log)

Η διαγραφία φυσικής ακτινοβολίας γάμμα είναι η πλέον συνηθισμένη της κατηγορίας των ραδιενεργών διαγραφιών, με την διαφορά ότι για την εκτέλεση αυτής δεν απαιτείται η ύπαρξη τεχνητού ραδιενεργού υλικού.

Η διαγραφία φυσικής ακτινοβολίας γάμμα καταγράφει την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από ραδιενεργούς πυρήνες κατά την μεταστοιχείωση τους. Τα πιο συχνά, ευρισκόμενα στους διάφορους σχηματισμούς, ραδιενεργά στοιχεία είναι το κάλιο 40 (K40), το ουράνιο 238 (U238), το ουράνιο 235 (U235) και το θόριο 232 (TH232) με το πρώτο να υπερτερεί έναντι των υπολοίπων.

Όταν ένα από τα παραπάνω στοιχεία μεταστοιχειώνεται εκπέμπει φωτόνια. Αυτά προσπίπτουν σε ένα κρύσταλλο ιωδιούχου νατρίου (Εικόνα 3.4) που με την σειρά του τα απορροφά στιγμιαία, διεγείρεται και κατά την αποδιέγερση του εκπέμπει ορατό φως. Ένας φωτοπολλαπλασιαστής μετατρέπει το ορατό φως σε ηλεκτρικό ρεύμα, η ένταση του οποίου είναι αντίστοιχη της έντασης της ακτινοβολίας γάμμα. Η μονάδα μέτρησης της φυσικής ραδιενέργειας στις διαγραφίες ακτινοβολίας γάμμα είναι το API (American Petroleum

Institute). Η μέτρηση της φυσικής ραδιενέργειας με την συγκεκριμένη διάταξη, τον απαραίτητη σπινθηρισμών, εκφράζεται συναρτήσει της περιεκτικότητας σε K (%), U (ppm) και Th (ppm) και δίνεται από την Εξίσωση (3.3):

$$GR_{API} = \alpha U_{ppm}^{238} + \beta Th_{ppm}^{232} + \gamma K_{\%}^{40} \quad (3.3)$$

όπου α , β , γ είναι σταθερές της συσκευής του απαριθμητή σπινθηρισμών. Όπως αναφέρθηκε το κάλιο 40 είναι το στοιχείο εν αφθονία, συγκρινόμενο με τα υπόλοιπα, που απαντά σε καλιούχα ορυκτά όπως τα ορθόκλαστα, τον βιοτίτη και σε άλλα αργιλικά, των οποίων η παρουσία αυξάνει τη φυσική ακτινοβολία γάμμα. Η τελευταία μειώνεται βαίνοντας από αργιλικούς σε ψαμμιτικούς σχηματισμούς. Το γεγονός αυτό παρέχει την δυνατότητα υπολογισμού της περιεκτικότητας των αργιλικών προσμίξεων των σχηματισμών από τον δείκτη I_{sh} που εκφράζει περιεκτικότητα % και την Εξίσωση (3.4):

$$I_{sh} = \frac{GR_{log} - GR_{min}}{GR_{max} - GR_{min}} \quad (3.4)$$

όπου GR_{max} και GR_{min} είναι οι τιμές της φυσικής ραδιενέργειας στους αργιλικούς σχιστόλιθους και σε σχηματισμό που δεν περιέχει αργιλικές προσμίξεις αντίστοιχα, ενώ GR_{log} είναι η μετρούμενη τιμή από την διαγραφή του υπό μελέτη σχηματισμού (Βαφειδής, 1994).

Όταν η διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα εκτελείται απέναντι από μεταμορφωμένους ή πυριγενείς σχηματισμούς με μικρό πορώδες, η απόκριση της εξαρτάται από τα περιεχόμενα ραδιενεργά ορυκτά σε αυτούς. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση κατά την οποία το νερό του σχηματισμού περιέχει ραδιενεργά στοιχεία, γεγονός που οδηγεί σε υψηλές τιμές κατά την καταγραφή.

Η διακριτική ικανότητα της διαγραφίας της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα εξαρτάται από τον αριθμό των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στην μονάδα του χρόνου, την ταχύτητα ανόδου του φωρατή, τη διάμετρο της γεώτρησης και την ένταση της ακτινοβολίας γάμμα. Στην περίπτωση που οι δύο πρώτες μεταβλητές βελτιστοποιηθούν η διακριτική ικανότητα φθάνει τα τριάντα εκατοστά του μέτρου. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, επειδή η ενέργεια της ακτινοβολίας γάμμα είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης, όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της γεώτρησης, τόσο μικρότερη είναι η διακριτική ικανότητα της

συγκεκριμένης διαγραφίας. Εξαιτίας της στατιστικής φύσεως της μέτρησης, κατά την επανάληψη της καταγραφής είναι δυνατόν να υπάρχουν διαφορές στις δύο διαγραφίες, όμως στο μεγαλύτερο μέρος τους ομοιάζουν.

Συνοψίζοντας, η κυριότερη εφαρμογή της διαγραφίας φυσικής ακτινοβολίας γάμμα είναι ο εντοπισμός και η καταγραφή σχηματισμών που περιέχουν αργλικές προσμίξεις και εκτελείται τόσο σε ασωλήνωτη, όσο και σε σωληνωμένη γεώτρηση με φορά καταγραφής από το πέρας της γεώτρησης προς την κορυφή της και ταχύτητα ανόδου του φωρατή 10 m/min.



Εικόνα 3.4: Ο κρύσταλλος NaI που φέρει ο φωρατής μοντέλου 25003000 φυσικής ακτινοβολίας γάμμα κατασκευής της εταιρείας Robertson Geologging Ltd.

3.5 Διαγραφή θερμοκρασίας – αγωγιμότητας (Temperature - Conductivity Log)

Η διαγραφή θερμοκρασίας καταγράφει την θερμοκρασία του υγρού της γεώτρησης συναρτήσει του βάθους. Η αρχή λειτουργίας της συγκεκριμένης διαγραφίας βασίζεται στην ύπαρξη ημιαγωγών, οι οποίοι ανταποκρίνονται άμεσα στις αυξομειώσεις της θερμοκρασίας με ανάλογες αυξομειώσεις της αντίστασης τους. Αυτές οι μεταβολές, που προκαλούνται σε ηλεκτρικό κύκλωμα, μετατρέπονται σε παλμό που με την σειρά του καταγράφεται σαν θερμοκρασιακός βαθμός. Η παραπάνω διάταξη βρίσκεται στο κάτω άκρο του φωρατή. Ο φωρατής πρέπει να βαθμονομείται περιοδικά – χωρίς να απαιτείται αυτό στο χώρο εργασίας- χρησιμοποιώντας συνεχές λουτρό γνωστής θερμοκρασίας.

Η διαγραφή θερμοκρασίας είναι σε θέση να προσδιορίσει το βάθος της στάθμης του νερού όπως και το σημείο εισροής του στη γεώτρηση, διότι αυτή συνοδεύεται από διαφοροποιήσεις στην θερμοκρασία.

Υπάρχει και η διαγραφή διαφορικής θερμοκρασίας, που συνίσταται σε συνεχή καταγραφή της διαφοράς δύο διαδοχικών θερμοκρασιακών τιμών και κατά συνέπεια αποτελεί το ρυθμό μεταβολής της θερμοκρασίας.

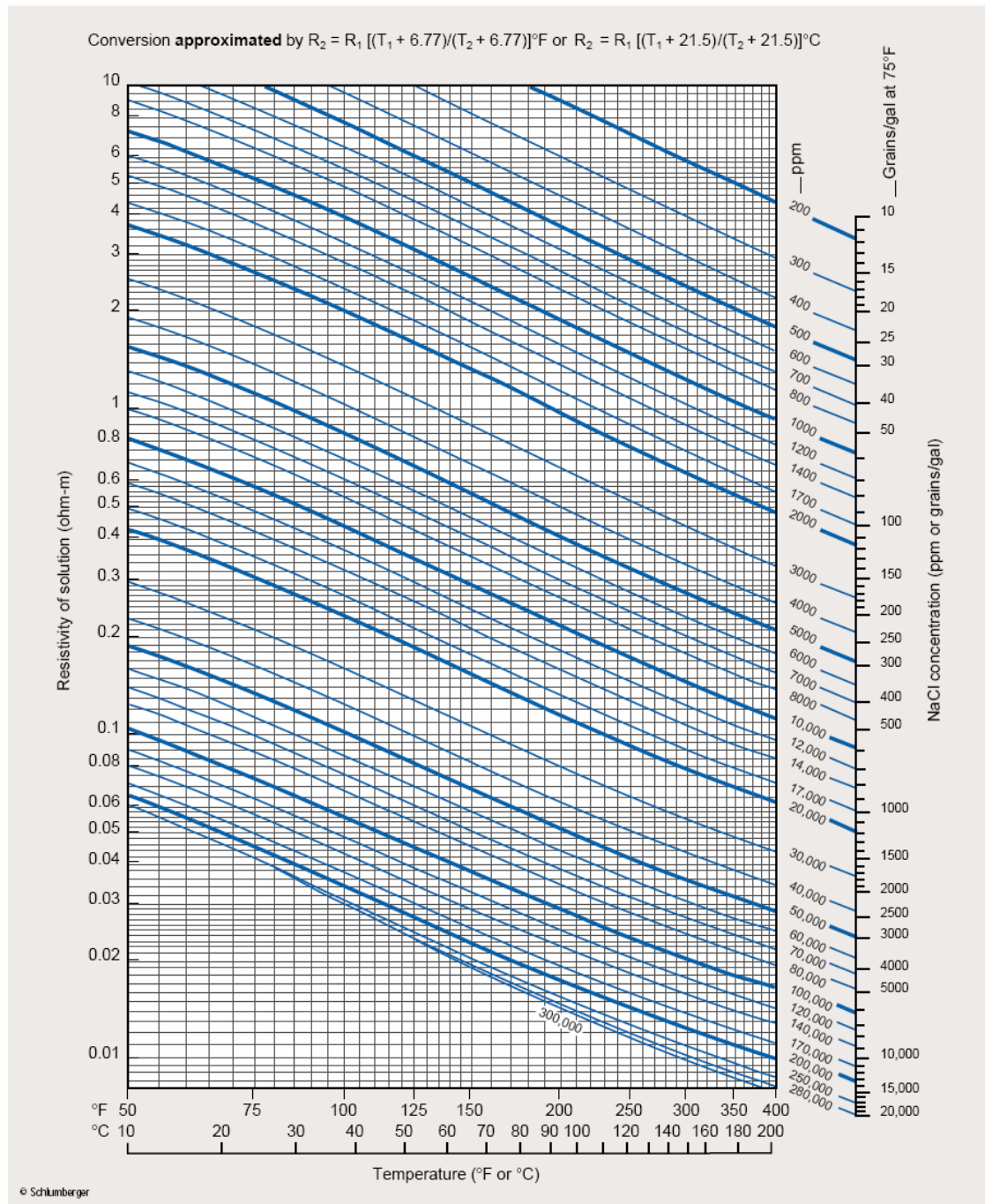
Ο φωρατής φέρει επίσης μηχανισμό μέτρησης της αγωγιμότητας του ρευστού, το οποίο εισέρχεται από οπές στο κατάλληλα διαμορφωμένο εξωτερικό περίβλημα του. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός της συγκέντρωσης του χλωριούχου νατρίου σε ppm γνωρίζοντας την θερμοκρασία, την αντίσταση ή την αγωγιμότητα του ρευστού και χρησιμοποιώντας τις πρότυπες καμπύλες αλατότητας του Σχήματος 3.10. Ομοίως υπολογίζεται η συγκέντρωση χλωριούχου νατρίου του ρευστού της γεώτρησης από τις διαγραφές θερμοκρασίας και αγωγιμότητας του Σχήματος 3.11 και παρατίθενται στο Σχήμα 3.12.

Για την βαθμονόμηση του αγωγιμόμετρου χρησιμοποιούνται διαλύματα αναφοράς χλωριούχου καλίου συγκεκριμένης αγωγιμότητας.

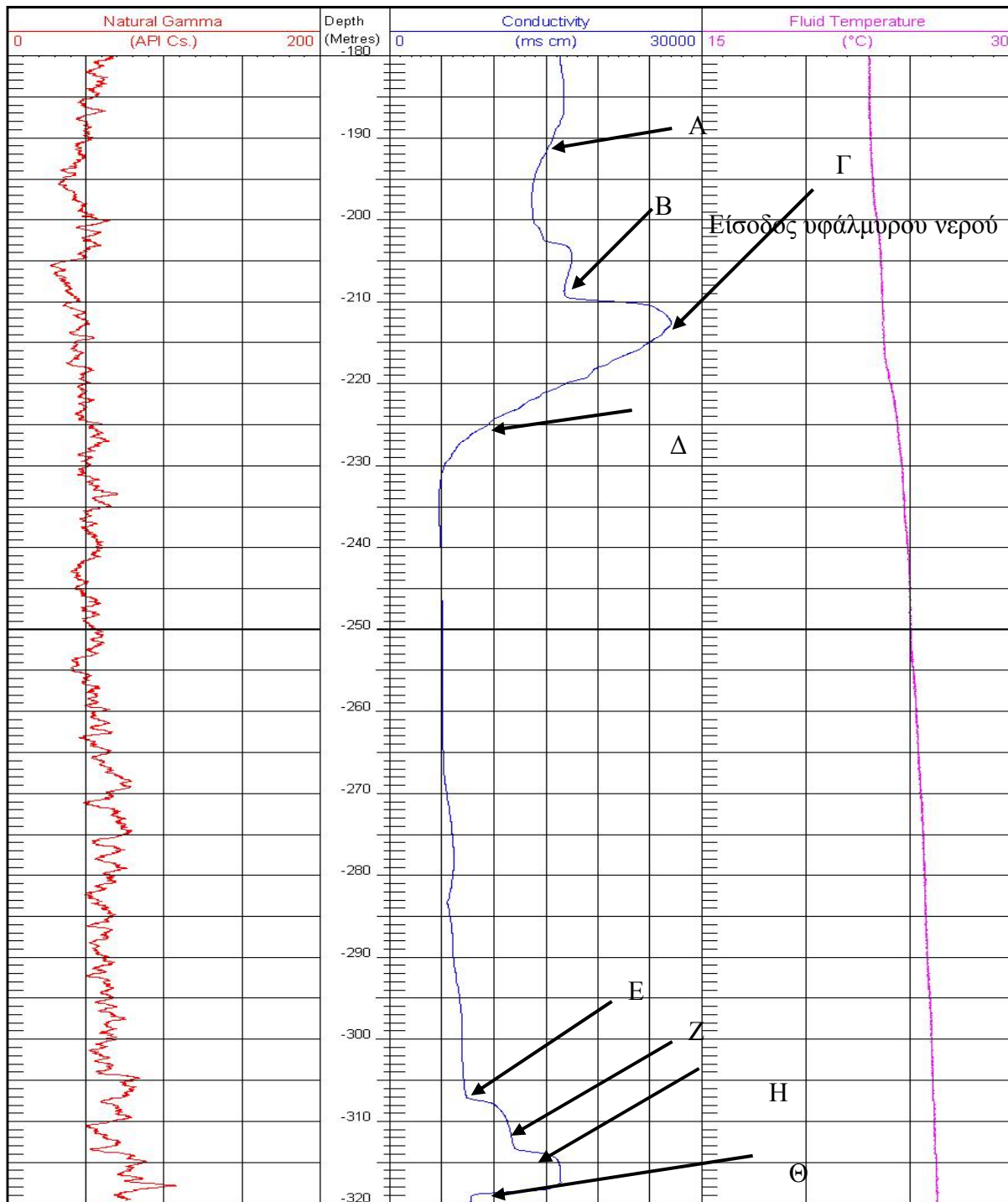
Η διαγραφή θερμοκρασίας-αγωγιμότητας εκτελείται με φορά από πάνω προς τα κάτω με ταχύτητα ανόδου του φωρατή 5m/min έως 7 m/min και δύναται να λάβει χώρα τόσο σε σωληνωμένη, όσο και σε ασωλήνωτη γεώτρηση.

Resistivity of NaCl Solutions

Gen-9



Σχήμα 3.10: Διάγραμμα πρότυπων καμπύλων αλατότητας διαλυμάτων χλωριούχου νατρίου (κατά Schlumberger).

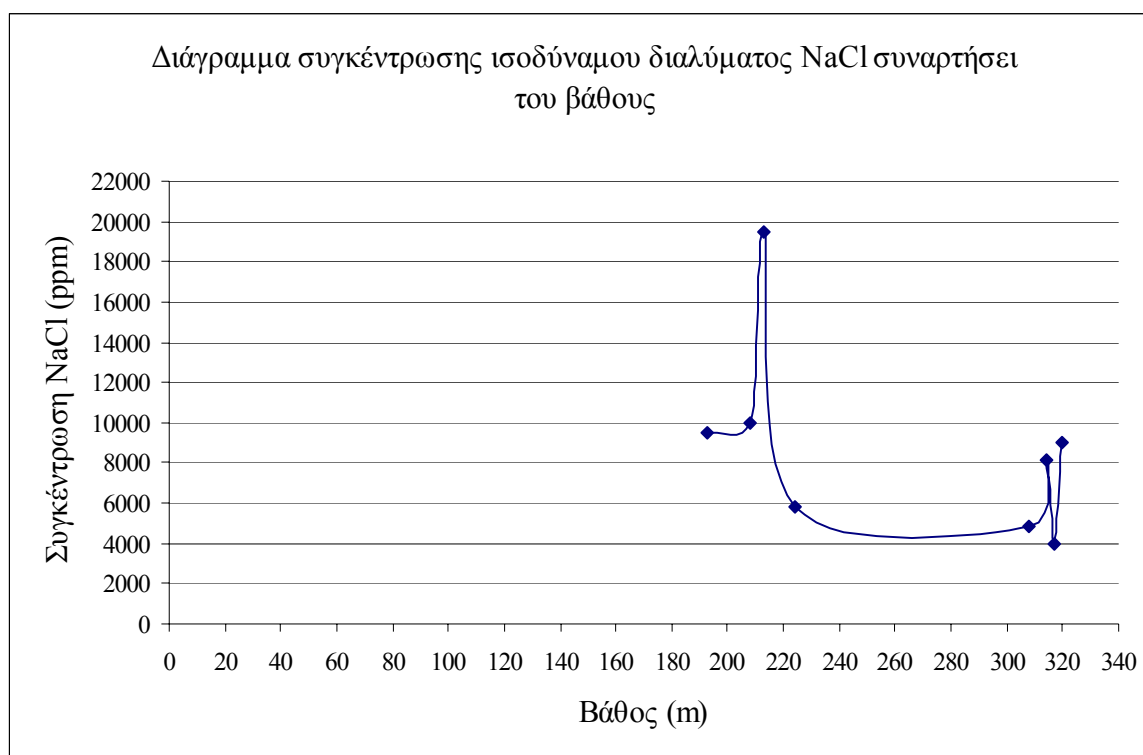


Σχήμα 3.11: Παράδειγμα διαγραφίας θερμοκρασίας, αγωγιμότητας που συνοδεύεται αριστερά από αυτήν της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα που πραγματοποιήθηκαν σε σωληνωμένη γεώτρηση.

Τα βέλη στο Σχήμα 3.11 υποδείχνουν τα σημεία με την βοήθεια των οποίων και του Σχήματος 3.10 κατασκευάστηκαν ο πίνακας και το διάγραμμα που ακολουθούν:

Σημείο	Αγωγιμότητα ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Αντίσταση ($\Omega\cdot\text{m}$)	θερμοκρασία ($^{\circ}\text{C}$)	Θερμοκρασία ($^{\circ}\text{F}$)	Συγκέντρωση NaCl (ppm)	Βάθος (m)
A	15000	0,667	22,8	73,04	9500	193
B	17000	0,588	23,5	74,30	10000	208
Γ	28000	0,370	23,8	74,84	19500	213
Δ	10000	1,000	24,5	76,10	5800	224
E	10000	1,000	26,3	79,34	4800	308
Z	15000	0,667	26,6	79,88	8100	314
H	17000	1,000	26,7	80,06	4000	317
Θ	7500	1,333	26,7	80,06	9000	320

Πίνακας 3.1: Τα δεδομένα που προέκυψαν με την χρήση των πρότυπων καμπύλων.



Σχήμα 3.12: Γραφική απεικόνιση της συγκέντρωσης ισοδύναμου διαλύματος NaCl που βρίσκεται εντός σχηματισμού συναρτήσει του βάθους.

Οι τιμές της δεύτερης και της τέταρτης στήλης του Πίνακα 3.1 προέκυψαν από την διαγραφή αγωγιμότητας και την διαγραφή θερμοκρασίας αντίστοιχα του Σχήματος 3.11, ενώ οι τιμές της προτελευταίας στήλης προέκυψαν από τις παραπάνω στήλες με ταυτόχρονη χρήση των πρότυπων καμπύλων του Σχήματος 3.10. Από το Σχήμα 3.12 διαπιστώνεται ποσοτικά ότι η συγκέντρωση του ισοδύναμου διαλύματος σε ιόντα NaCl παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, γεγονός που οφείλεται στην είσοδο υφάλμυρου νερού στην γεώτρηση. Αυτό καταγράφεται και στην διαγραφή αγωγιμότητας.

3.6 Διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης (Directional Log)

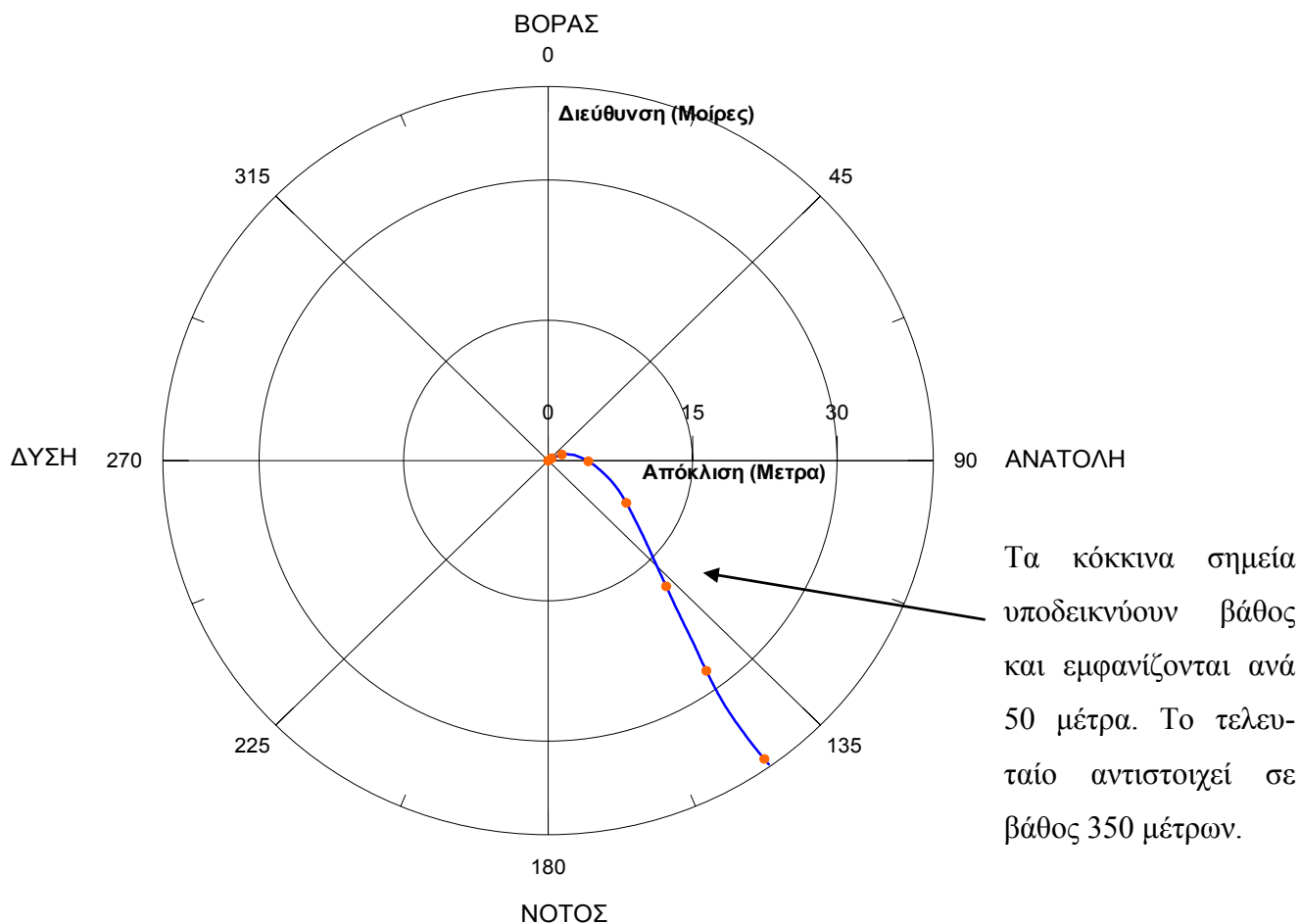
Η διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης αποτελεί αναντικατάστατο εργαλείο σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ο έλεγχος της γεώτρησης προκειμένου να εξασφαλιστεί η κάθοδος και η λειτουργία του αντλητικού συστήματος, καθώς επίσης και στις περιπτώσεις όπου πρέπει να επιβεβαιωθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες εξοπλισμού που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση της συγκεκριμένης διαγραφής: ο μαγνητικός και ο γυροσκοπικός με τον πρώτο να βρίσκει εφαρμογή σε ασωλήνωτες γεωτρήσεις λόγω της επίδρασης των χαλύβδινων σωλήνων στο μαγνητόμετρο, ενώ ο γυροσκοπικός σε σωληνωμένες. Το μετρούμενο μέγεθος συναρτήσει του βάθους είναι η κατεύθυνση του άκρου του φωρατή σε σχέση με την κορυφή του καθώς επίσης και η απόκλιση της γεώτρησης. Για το σκοπό αυτό ο φωρατής φέρει μαγνητόμετρο για τον προσδιορισμό της κατεύθυνσης του σε σχέση με τον μαγνητικό βορρά (αζιμούθιο) και τρεις επιταχυνσιογράφους για τον υπολογισμό της απόκλισης της γεώτρησης από την κατακόρυφο.

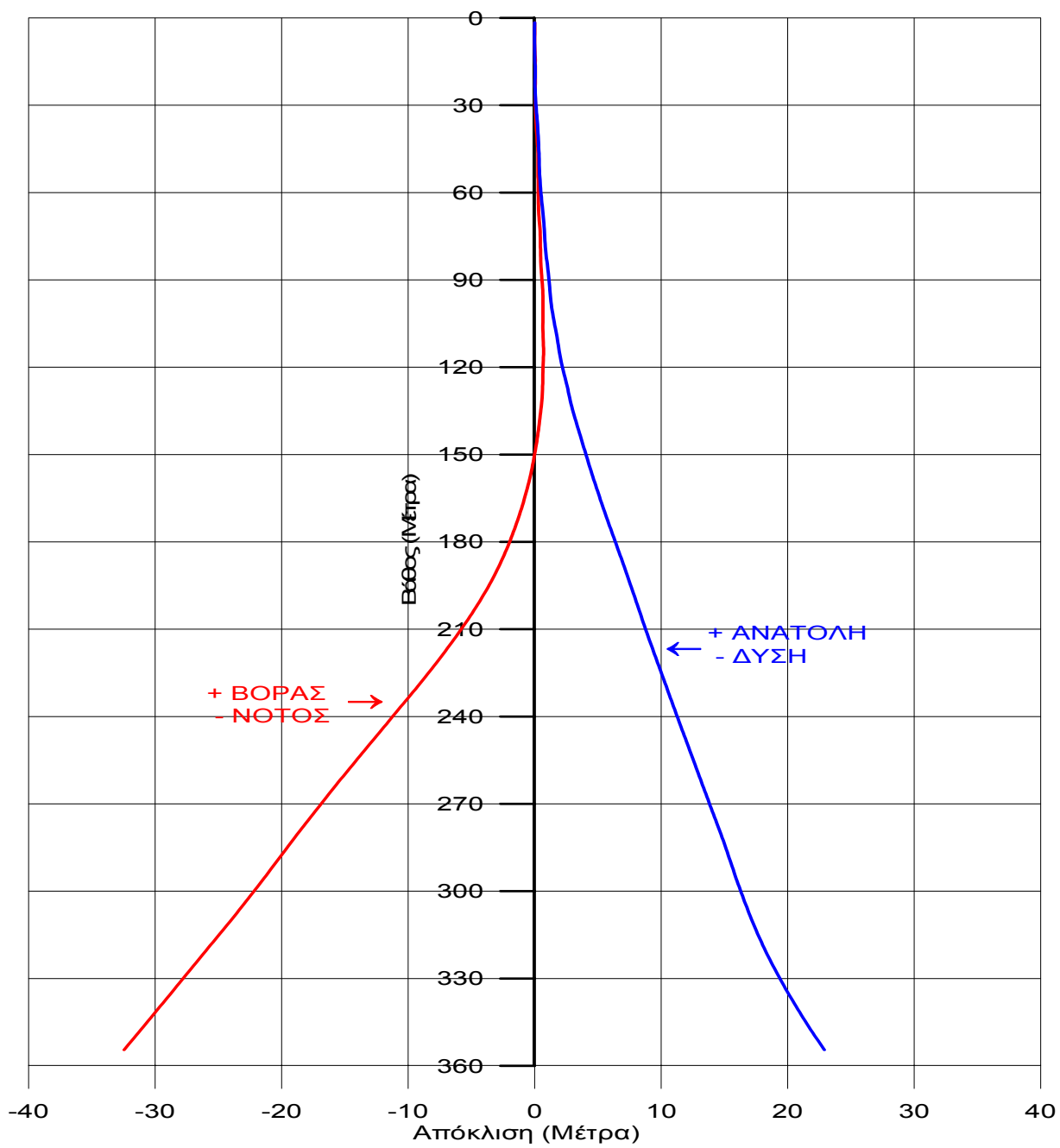
Η χρήση του φωρατή γυροσκοπικής καθετότητας και αζιμουθίου δίνει την δυνατότητα προσανατολισμένων μετρήσεων εντός σωληνωμένων γεωτρήσεων. Ο φωρατής περιέχει ένα γυροσκόπιο και δύο επιταχυνσιογράφους. Πριν την είσοδο του στην γεώτρηση και καθώς αυτός αιωρείται από πάνω της με την βοήθεια ενός τρίποδα, ο φωρατής προσανατολίζεται προς τον μαγνητικό Βορρά χρησιμοποιώντας μία συμβατική πυξίδα. Μετά την είσοδο του στη γεώτρηση, το γυροσκόπιο του φωρατή διατηρεί την αρχική του κατεύθυνση, άσχετα με την περιστροφή του φωρατή εντός της γεώτρησης. Η συνεχής μέτρηση της γω-

νίας και του διανύσματος απόκλισης δίνουν μία ολοκληρωμένη εικόνα της καθετότητας της γεώτρησης καθώς και την δυνατότητα μελέτης των προβληματικών τμημάτων της.

Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων, μετά την επεξεργασία τους από μικροϋπολογιστή που περιέχεται στον φωρατή, αποτελείται από δύο κυρίως διαγράμματα. Στο πρώτο απεικονίζεται η οριζόντια μετατόπιση ενός σημείου από το επόμενο σε σχέση με την κατεύθυνση Ανατολής-Δύσης συναρτήσει της οριζόντιας μετατόπισης των αντίστοιχων σημείων σε σχέση με την κατεύθυνση Βορρά-Νότου και στην ουσία αποτελεί μία κάτοψη της γεώτρησης (Σχήμα 3.13). Στο δεύτερο διάγραμμα, το οποίο μπορεί να θεωρηθεί μία κατακόρυφη τομή και αποτελείται από δύο επιμέρους διαγράμματα εκ των οποίων το ένα έχει στραφεί κατά ενενήντα μοίρες, απεικονίζεται η πορεία της γεώτρησης μέσω της προβολής σε δύο κατακόρυφα επίπεδα (B-N και A-Δ), συναρτήσει του βάθους (Σχήμα 3.14).



Σχήμα 3.13: Ανάλυση διαγραφίας καθετότητας σε κάτοψη.



Σχήμα 3.14: Ανάλυση διαγραφίας καθετότητας σε πλάγια όψη.

ΒΑΘΟΣ	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ	ΚΛΙΣΗ	ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΚΑΘΕΤΟ ΒΑΘΟΣ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ +ΒΟΡΑΣ - ΝΟΤΟΣ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ +ΑΝΑΤΟΛΗ -ΔΥΣΗ	ΑΠΟΚΛΙΣΗ ΣΕ ΜΕΤΡΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΚΑΘΕΤΟ ΑΞΟΝΑ	ΑΖΙΜΟΥΘΙΟ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ
1,58	304,85	0,57	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00
11,58	28,05	0,76	11,57	0,03	0,00	0,03	8,52
21,58	257,89	0,26	21,58	0,05	0,03	0,06	30,60
31,58	68,17	1,16	31,58	0,07	0,13	0,15	60,80
41,58	29,83	1,08	41,57	0,20	0,29	0,35	55,91
51,58	106,71	0,56	51,57	0,26	0,37	0,45	54,62
61,58	80,99	1,44	61,56	0,29	0,53	0,60	61,30
71,58	53,63	1,55	71,56	0,40	0,75	0,85	61,59
81,58	78,55	1,59	81,56	0,47	0,91	1,03	62,68
91,58	50,55	1,43	91,56	0,61	1,17	1,32	62,50
101,58	90,65	2,25	101,56	0,65	1,43	1,57	65,45
111,58	80,61	2,04	111,55	0,69	1,84	1,97	69,37
121,58	101,21	3,32	121,54	0,65	2,28	2,37	74,12
131,58	112,11	3,28	131,52	0,57	2,82	2,88	78,54
141,58	115,58	4,14	141,50	0,30	3,47	3,48	85,06
151,58	121,12	4,84	151,46	-0,07	4,17	4,17	90,91
161,58	128,99	5,43	161,42	-0,58	4,90	4,93	96,73
171,58	136,15	6,16	171,37	-1,27	5,68	5,82	102,58
181,58	137,77	7,13	181,30	-2,12	6,50	6,84	108,08
191,58	145,48	8,30	191,21	-3,19	7,32	7,98	113,52
201,58	150,79	9,49	201,09	-4,51	8,11	9,28	119,07
211,58	154,62	10,18	210,94	-6,05	8,89	10,76	124,24
221,58	154,07	11,41	220,76	-7,77	9,72	12,44	128,61
231,58	156,80	12,11	230,55	-9,61	10,56	14,28	132,31
241,58	155,99	12,03	240,33	-11,52	11,40	16,21	135,31
251,58	156,81	11,87	250,11	-13,43	12,25	18,18	137,62
261,58	156,07	11,94	259,89	-15,33	13,10	20,17	139,47
271,58	155,11	11,63	269,68	-17,16	13,96	22,12	140,87
281,58	154,87	11,20	279,47	-18,96	14,82	24,06	141,99
291,58	155,85	11,03	289,29	-20,69	15,61	25,92	142,97
301,58	154,17	11,29	299,10	-22,46	16,42	27,83	143,83
311,58	152,66	12,19	308,89	-24,30	17,32	29,84	144,51
321,58	149,59	12,65	318,65	-26,20	18,36	31,99	144,97
331,58	144,05	13,62	328,40	-28,08	19,58	34,23	145,10
341,58	142,39	13,67	338,13	-29,97	20,94	36,57	145,06
351,58	140,17	14,30	347,82	-31,88	22,44	38,99	144,86
354,58	139,20	14,05	350,73	-32,45	22,91	39,72	144,78

Πίνακας 3.2: Τιμές απόκλισης από την κατακόρυφο ανά 10 μέτρα της γεώτρησης.

Από την μελέτη των Σχημάτων 3.13 και 3.14 καθώς και του Πίνακα 3.2 προκύπτει ότι το πέρας της γεώτρησης, αποκλίνει 40 μέτρα από την κατακόρυφο με κατεύθυνση 145 μοιρών NNA. Η κλίση της γεώτρησης σαφώς υπερβαίνει την νομικά μέγιστη επιτρεπόμενη που είναι μία μοίρα ανά 100 μέτρα.

Η διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης εκτελείται με φορά από την κορυφή προς το πέρας της γεώτρησης με ταχύτητα ανόδου του φωρατή 10 m/min.

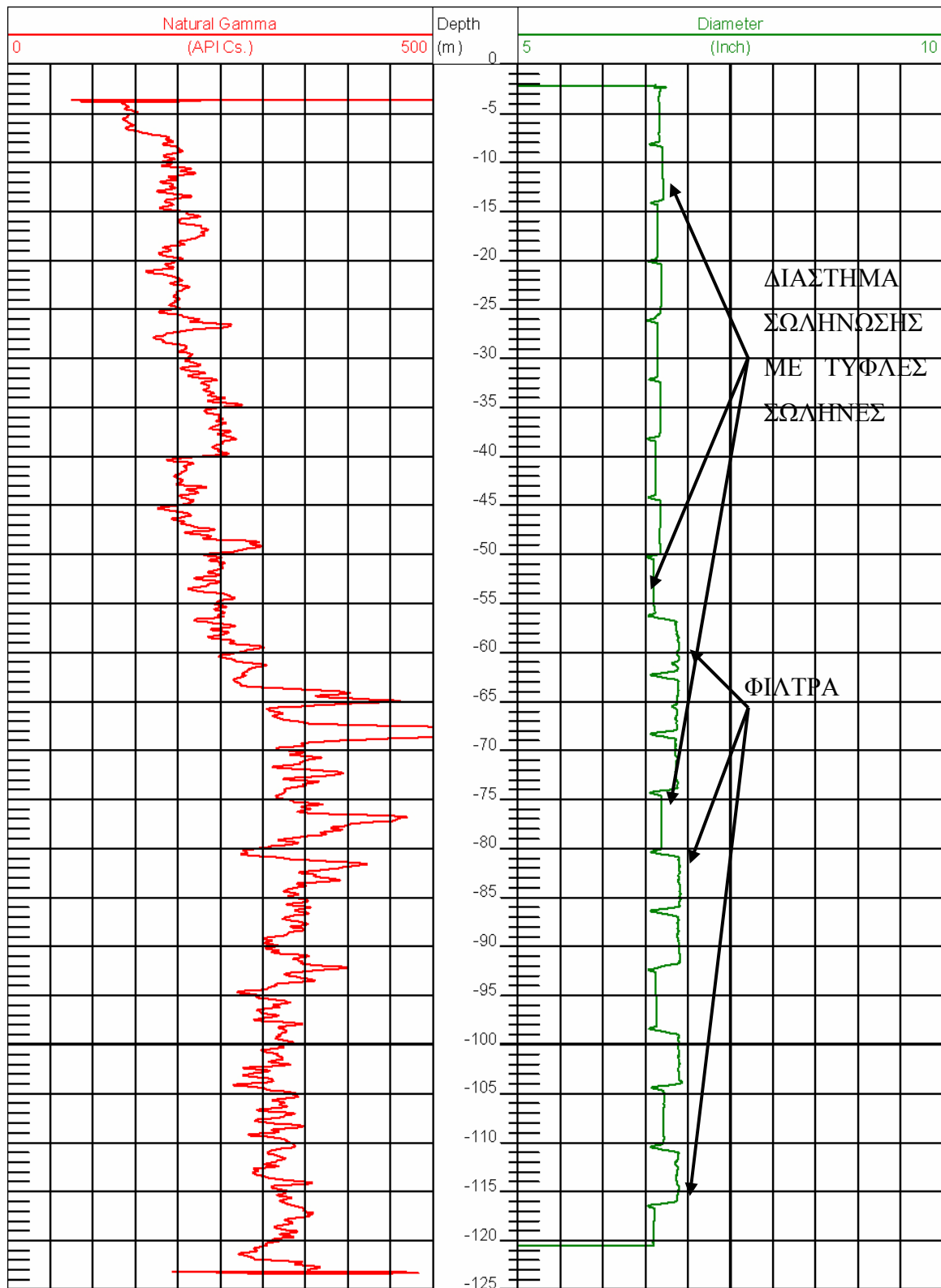
3.7 Διαγραφή μέτρησης διαμέτρου-τριών βραχιόνων (Three Arm Caliper Log)

Η διαγραφή διαμέτρου-τριών βραχιόνων βρίσκει πολλές εφαρμογές τόσο σε ασωλήνωτες όσο και σε σωληνωμένες γεωτρήσεις.

Η διάμετρος της γεώτρησης μετρίεται από τον φωρατή, ο οποίος αποτελείται από τρεις βραχίονες που έρχονται σε επαφή με τα τοιχώματα της γεώτρησης και που συνδέονται μηχανικά με ένα ποντεσιόμετρο που περιέχεται στον φωρατή. Μεταβολές στην διάμετρο της γεώτρησης μετατρέπονται σε παλμούς που εκπέμπονται στην επιφάνεια για καταγραφή. Το άνοιγμα και το κλείσιμο των βραχιόνων γίνεται από το κέντρο ελέγχου στην επιφάνεια. Με τον τρόπο αυτό ο φωρατής κατέρχεται με τους βραχίονες κλειστούς και φθάνοντας το πέρας της γεώτρησης, αυτοί ανοίγουν. Η καταγραφή εκτελείται με φορά από κάτω προς την επιφάνεια.

Μία εξαιρετικά χρήσιμη εφαρμογή της διαγραφίας διαμέτρου-τριών βραχιόνων αποτελεί ο καθορισμός με ακρίβεια της ποσότητας του χαλικιού που χρειάζεται, προκειμένου αυτό να πληρώσει το χώρο μεταξύ των τοιχωμάτων της γεώτρησης και της σωλήνωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της διαγραφίας πριν την σωλήνωση, όπου προσδιορίζεται ακριβώς η διάμετρος της διευρυμένης πλέον γεώτρησης. Ταυτόχρονα, γνωρίζοντας την διάμετρο των φιλτροσωλήνων και «τυφλών», όπως και το βάθος υπολογίζονται οι δύο όγκοι, από την αφαίρεση των οποίων προκύπτει ο όγκος του χαλικοφίλτρου. Η τοποθέτηση αυτού ακολουθείται τις περισσότερες φορές και βελτιστοποιεί την παραγωγικότητα μίας γεώτρησης.

Η κύρια εφαρμογή της διαγραφίας στις σωληνωμένες γεωτρήσεις είναι ο εντοπισμός των φιλτροσωλήνων (Σχήμα 3.15). Η καταγραφή των τελευταίων είναι χαρακτηριστική, όπως επίσης και τα σημεία σύνδεσης αυτών ή των «τυφλών». Με τον τρόπο αυτό επιβεβαιώνεται η τοποθέτηση των φιλτροσωλήνων απέναντι από τους υδροφόρους σχηματισμούς ή η τοποθέτηση «τυφλών» απέναντι από σχηματισμούς με μη αποδεκτή ποιότητα νερού. Η διάμετρος των φιλτροσωλήνων του Σχήματος 3.16 καταγράφεται κατά έξι χιλιοστά μεγαλύτερη από την διάμετρο των «τυφλών», γεγονός που οφείλεται στις οπές των πρώτων.



Σχήμα 3.15: Διαγραφή μέτρησης διαμέτρου στο δεξιό χωρίο, ενώ αριστερά η διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα που πραγματοποιήθηκε σε σωληνωμένη γεώτρηση.

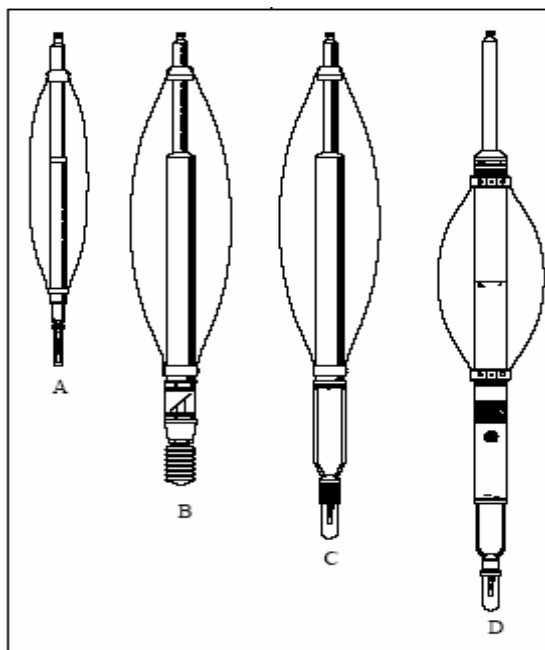
3.8 Σύστημα οπτικού ελέγχου υδρογεωτρήσεων

Η μετατροπή μίας συμβατικής μηχανής λήψεως διαδοχικών εικόνων και η προσαρμογή της στο εσωτερικό ενός φωρατή, τον κατέστησε ένα πολύτιμο εργαλείο, δεδομένου ότι πολλές φορές «μία εικόνα αξίζει χίλιες λέξεις».

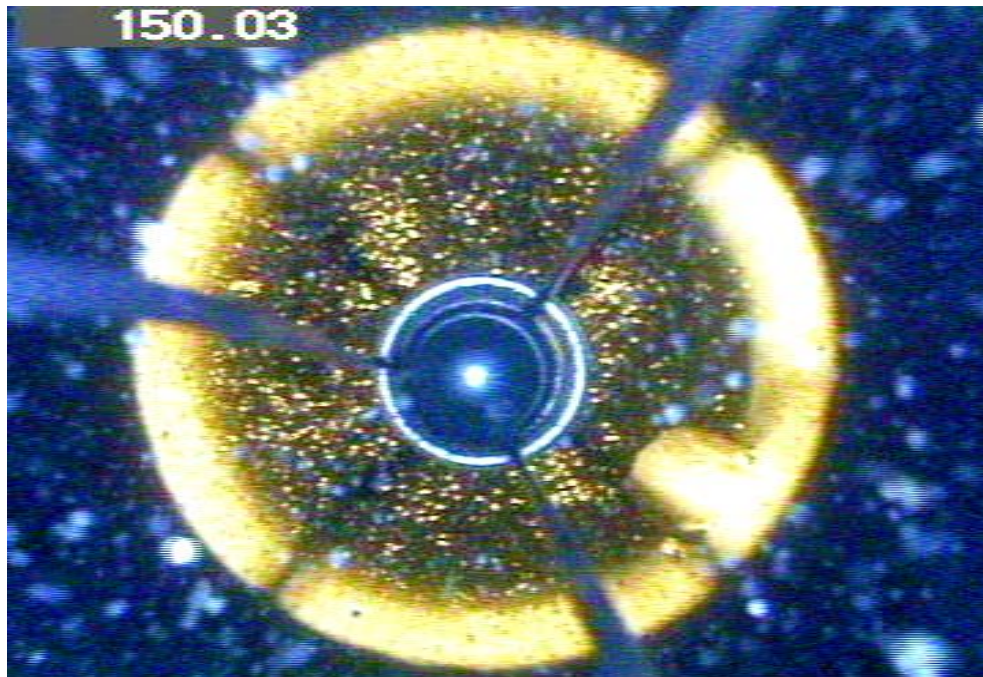
Ο φωρατής φέρει καταγραφικό μηχανισμό και ενσωματωμένο εξωτερικό φωτισμό που καθιστά δυνατή την καταγραφή, καθώς οι συνθήκες φωτισμού που επικρατούν μέσα σε κάθε γεώτρηση καθιστούν σε διαφορετική περίπτωση αδύνατη την οποιαδήποτε λήψη εικόνας. Το εξωτερικό περίβλημα του φωρατή (Σχήμα 3.16) φέρει τρία μεταλλικά ελάσματα (centralizer) που του επιτρέπουν να παραμένει όσο το δυνατόν στο κέντρο της γεώτρησης.

Η καταγραφή δεν περιορίζεται μόνο στην απεικόνιση προβλημάτων, αλλά παρέχει λεπτομερή εικόνα της κατάστασης των φιλτροσωλήνων (σκουριασμένοι), της οπτικής επιβεβαίωσης της ενεργοποίησης αυτών (Εικόνα 3.5), της αλλαγής διαμέτρου των χαλυβδοσωλήνων αλλά και της πιστοποίησης της αρτιότητας ή όχι της κατασκευής του έργου (Εικόνα 3.6-3.7).

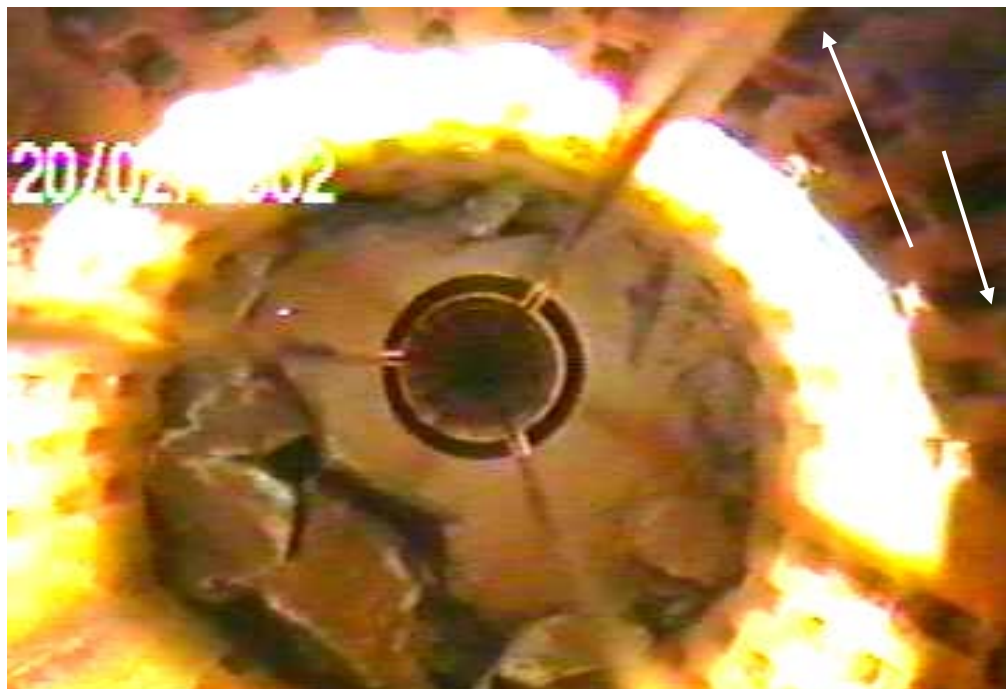
Η καταγραφή εκτελείται με φορά από την κορυφή προς το πέρας της γεώτρησης με ταχύτητα καθόδου 10 m/min.



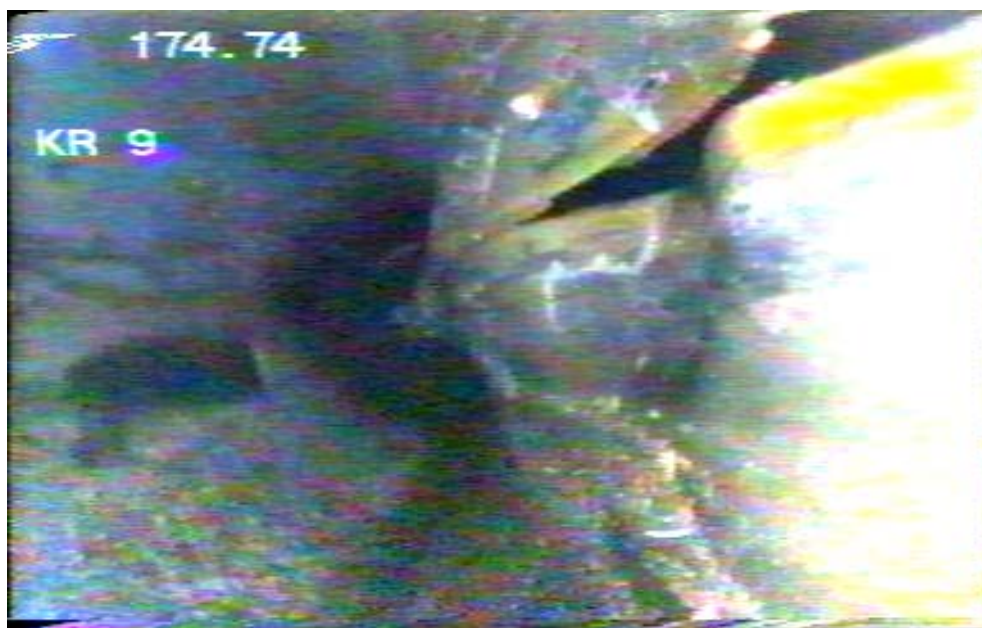
Σχήμα 3.16 A-D: Τέσσερις διαφορετικοί φωρατές οπτικού ελέγχου.



Εικόνα 3.5: Λήψη εικόνας από το εσωτερικό υδρογεώτρησης στην οποία έχουν ενεργοποιηθεί οι φιλτροσωλήνες και εισρέει νερό σε αυτήν με ταυτόχρονη παρουσία φυσαλίδων.



Εικόνα 3.6: Μπάζωμα υδρογεώτρησης. Διακρίνεται καθαρά ο φιλτροσωλήνας ενώ τα βέλη προσδιορίζουν δύο από τις πολλές οπές που φέρει περιμετρικά.



Εικόνα 3.7: Αστοχία τμήματος της σωλήνωσης της υδρογεώτρησης.

Κεφάλαιο 4

Εφαρμογή, ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών

Στο κεφάλαιο αυτό προσδιορίζεται το είδος των διαγραφιών που χρησιμοποιούνται σε κάθε φάση μίας υδρογεώτρησης καθώς και στα πλαίσια του τεχνικού ελέγχου. Παρακάτω παρατίθενται και ερμηνεύονται οι διαγραφίες που εκτελέστηκαν και τέλος αξιολογούνται οι αντίστοιχες γεωτρήσεις.

4.1 Εφαρμογή διαγραφιών στις υδρογεωτρήσεις

Οι διαγραφίες δύναται να εκτελεστούν τόσο σε ασωλήνωτη υδρογεώτρηση, όσο και σε σωληνωμένη. Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης της παραγωγικότητας μίας υδρογεώτρησης, η σειρά με την οποία οι διαγραφίες θα εκτελεστούν καθορίζεται από τις εκάστοτε συνθήκες που επικρατούν.

4.1.1 Διαγραφίες ασωλήνωτων υδρογεωτρήσεων

Οι διαγραφίες που πραγματοποιούνται σε ασωλήνωτη υδρογεώτρηση εκτελούνται αμέσως μετά το πέρας της διάτρησης, προκειμένου να εξασφαλισθεί η ανεμπόδιστη κάθοδος του φωρατή, όπως και η αμεσότητα των μετρήσεων, δεδομένου ότι με την παρέλευση κάποιου χρονικού διαστήματος λαμβάνουν χώρα φαινόμενα, όπως η διείσδυση του ρευστού της γεώτρησης στο σχηματισμό που καθιστούν τις τελευταίες λιγότερο αντιπροσωπευτικές των αντίστοιχων σχηματισμών. Οι διαγραφίες αυτές συνεισφέρουν στην αναγνώριση των υδροφόρων σχηματισμών, προσδιορίζουν το βάθος που βρίσκονται καθώς και την ποιότητα του νερού που περιέχεται σε αυτούς. Οριοθετούν τους περατούς σχηματισμούς, όπως και τους αργιλικούς, ενώ απεικονίζουν ακόμα και τις αργιλικές προσμίξεις. Οι διαγραφίες που εφαρμόζονται στην συγκεκριμένη φάση είναι του φυσικού δυναμικού, της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, των ηλεκτρικών αντιστάσεων, η διαγραφή εστιασμένης αντίστασης, της επαγωγής και οι διαγραφίες της θερμοκρασίας-αγωγιμότητας και κατά περίπτωση της μέτρησης διαμέτρου και καθετότητας.

Με την εφαρμογή των παραπάνω διαγραφιών τα συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι της συνήθους γεωλογικής έρευνας στους υδάτινους πόρους είναι τα ακόλουθα:

- Οι διαγραφίες φυσικού δυναμικού και ακτινοβολίας γάμμα συνεισφέρουν στην πλήρης και συνεχή καταγραφή των διατηρηθέντων γεωλογικών σχηματισμών σε αντίθεση με την δύσκολα συνεχή δειγματοληψία των επιστροφών ή την επιλεκτική, στην καλύτερη περίπτωση πυρηνοληψία και την επιτόπια μελέτη τους.
- Οι ηλεκτρικές διαγραφίες επιτυγχάνουν συλλογή πλήθους δεδομένων και πληροφοριών σε σύντομο χρονικό διάστημα και πολύ λιγότερο κόστος σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη γεωφυσική μέθοδο με ταυτόχρονη δυνατότητα προέκτασης αυτών των δεδομένων σε οριζόντια κατεύθυνση στην περίπτωση συσχετισμού γειτονικών γεωτρήσεων.
- Η ερμηνεία της διαγραφίας θερμοκρασίας-αγωγιμότητας συμβάλλει στην αξιολόγηση της καταλληλότητας του ρευστού της γεώτρησης και στην μεγιστοποίηση της αποδεκτής αντλούμενης ποσότητας νερού.
- Δίνεται η δυνατότητα επανερμηνείας των προαναφερόμενων διαγραφιών μετά από οποιοδήποτε χρονικό διάστημα που σε συνδυασμό με νέα υδρογεωλογικά δεδομένα μειώνει την πιθανότητα εσφαλμένων ενεργειών.
- Η δυνατότητα ερμηνείας των διαγραφιών στο εργοτάξιο που παρέχει στον μηχανικό την ευχέρεια για άμεση λήψη αποφάσεων.

4.1.2 Διαγραφίες σωληνωμένων υδρογεωτρήσεων

Οι διαγραφίες εντός σωληνωμένων γεωτρήσεων έχουν ως κύριο στόχο τον τεχνικό έλεγχο της γεώτρησης είτε στα πλαίσια της πιστοποίησης της κατασκευής, είτε για να εντοπιστούν και να δοθούν λύσεις σε προβλήματα που παρουσιάζονται κατά την λειτουργία της γεώτρησης.

Με τις διαγραφίες σωληνωμένων γεωτρήσεων τα προβλήματα αυτά δύναται να προσδιοριστούν και να εντοπισθούν χωρικά. Οι διαγραφίες αυτές που χρησιμοποιούνται στον τεχνικό έλεγχο είναι αυτή της θερμοκρασίας-αγωγιμότητας, της μέτρησης διαμέτρου-τριών

βραχιόνων, της κατακορυφότητας-διεύθυνσης όπως και η διαγραφία οπτικού ελέγχου που αναλύθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Κατά την διάρκεια της ανόρυξης αλλά κυρίως μετά την ολοκλήρωση μιας υδρογεώτρησης απαιτείται η διερεύνηση της σωστής κατασκευής της μέσω διαγραφιών ώστε να πιστοποιηθεί ότι η γεώτρηση (νομικά και ουσιαστικά) πληρεί τις προϋποθέσεις εκείνες που εξασφαλίζουν την λειτουργικότητά της. Κατά κύριο λόγο εξετάζονται:

- Η κατακορυφότητα της στήλης με χρήση της διαγραφίας κατακορυφότητας-διεύθυνσης.
- Η διάμετρος, η μηχανική κατάσταση, η σωστή συνδεσμολογία, και οι σωστές θέσεις φιλτροσωλήνων και «τυφλών» στη στήλη με την βοήθεια της διαγραφίας διαμέτρου-τριών βραχιόνων.
- Η ενεργοποίηση των φιλτροσωλήνων μέσω της αναμενόμενης εισροής ύδατος ανά υδροφόρο σχηματισμό με την εκτέλεση της διαγραφίας θερμοκρασίας-αγωγιμότητας.
- Ο έλεγχος της ποιότητας του εισερχόμενου ύδατος ανά φιλτροσωλήνα με την χρήση της προαναφερόμενης διαγραφίας.

Τα πιο συχνά προβλήματα που εμφανίζουν οι υδρογεωτρήσεις, και που δύναται να εντοπισθούν με τις διαγραφίες σωληνωμένων γεωτρήσεων, μετά από κάποια χρόνια συνεχούς λειτουργίας είναι τα παρακάτω:

- η υφαλμύριση ορισμένων υδροφόρων σχηματισμών που τροφοδοτούν την γεώτρηση και υποβαθμίζουν ποιοτικά το παραγόμενο νερό με χρήση της διαγραφίας κατακορυφότητας-διεύθυνσης.
- η διάβρωση της σωλήνωσης με την βοήθεια της διαγραφίας οπτικού ελέγχου
- η παραγωγή άμμου ή αργίλου (θολό μη πόσιμο νερό, προβληματική λειτουργία γεώτρησης) με την χρήση της προαναφερόμενης διαγραφίας.
- η αδύνατη περαιτέρω κάθοδος του αντλητικού συγκροτήματος σε μεγαλύτερο βάθος, εξαιτίας ενδεχόμενης αντικατάστασης του, που καθιστά μη λειτουργική την γεώτρηση με την εκτέλεση της διαγραφίας κατακορυφότητας-διεύθυνσης.
- η απώλεια του αντλητικού εντός της γεώτρησης.

- η πτώση της παραγωγής.

4.3 Ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών

Στο σημείο αυτό παρατίθενται τρεις ομάδες διαγραφιών από ισάριθμες αναθέσεις έργου εκτέλεσης διαγραφιών από την ΓΕΩΤΕΚ ΕΠΕ, κατά τις οποίες ο συγγραφέας ήταν παρών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι για την πληρέστερη αξιολόγηση των διαγραφιών θεωρείται πλεονέκτημα η ύπαρξη προγενέστερων διαγραφιών σε παρακείμενες υδρογεωτρήσεις ή οποιοδήποτε άλλων δεδομένων που μπορούν να προκύψουν μεταξύ άλλων από μία πυρηνοληψία, προκειμένου να γίνουν συγκρίσεις, γεγονός που στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν συνέβαινε. Επίσης η ερμηνεία και αξιολόγηση των διαγραφιών που επιχειρείται παρακάτω, πραγματοποιήθηκε χωρίς να είναι διαθέσιμα μεγέθη όπως η αντίσταση της γεωτρητικής λάσπης και η θερμοκρασία της.

4.3.1 Ερμηνεία ηλεκτρικών διαγραφιών και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα

Στις δύο πρώτες ασωλήνωτες υδρογεωτρήσεις εκτελέστηκαν δέκα διαγραφίες συνολικά πραγματοποιώντας μία κάθοδο σε κάθε μία με τον φωρατή των ηλεκτρικών αντιστάσεων και της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα (Σχήμα 4.1 και 4.1B). Στο δεξιό μέρος καταγράφηκαν οι διαγραφίες ηλεκτρικών αντιστάσεων, ήτοι του μονού σημείου (SPR), η βραχεία κανονική (SN) και η μακρά κανονική (LN), ενώ στο αριστερό μέρος καταγράφηκαν η διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και η διαγραφή φυσικού δυναμικού.

Η σπουδαιότητα των συγκεκριμένων υδρογεωτρήσεων για την περιοχή είναι μεγάλη καθώς η εκτιμώμενη παροχή ύδατος για κάθε μία γεώτρηση ανέρχεται στα 100 κυβικά μέτρα ανά ώρα.

Η πρώτη υδρογεώτρηση είχε βάθος 295 μέτρα και πραγματοποιήθηκε σε υψόμετρο 450 μέτρων. Αντίστοιχα η δεύτερη είχε βάθος 267 μέτρα και υψόμετρο 400 μέτρων. Η διάμετρος των δύο υδρογεωτρήσεων ήταν 15 ίντσες και η μεταξύ τους απόσταση ήταν 1750 μέτρα. Η απόσταση της δεύτερης γεώτρησης με την τρίτη, η οποία ήταν και σωληνωμένη με διάμετρο 10 ιντσών, ήταν 400 μέτρα. Χρήζει αναφοράς ότι και οι τρεις υδρογεωτρήσεις

διάτρησαν ασβεστόλιθους Τριπόλεως, γεγονός που επαληθεύεται και από την συνδρομή της στρωματογραφικής στήλης του γεωλογικού χάρτη της περιοχής. Αυτό διαπιστώνεται αμέσως και από τις υψηλές τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων που καθιστούν αναγκαία την χρήση λογαριθμικής κλίμακας.

Η καταγραφή των παραπάνω διαγραφιών για την πρώτη υδρογεώτρηση (Σχήμα 4.1) αρχίζει από τα 168 μέτρα βάθος και έχει μία χαρακτηριστική, μη ερμηνεύσιμη μορφή -εκτός αυτής της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα- δεδομένου ότι ο φωρατής βρίσκεται εντός της στήλης, αλλά εκτός της στάθμης. Στα 180 μέτρα βάθος, ο φωρατής εισέρχεται εντός ρευστού και όπως παρατηρείται οι καταγραφές αλλάζουν μορφή, εκτός αυτή της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα η οποία παρέχει πληροφορίες ήδη από τα 168 μέτρα. Η ένδειξη της στάθμης καταγράφεται στο πρώτο χωρίο (header) και σε βάθος 180 μέτρων.

Για το βάθος 180 έως 185 μέτρων παρατηρείται μία αυξημένη φυσική ακτινοβολία γάμμα, που συνοδεύεται με σαφή παρουσία αργιλικών προσμίξεων, ενώ για το επόμενο πέντε μέτρα αυτή μειώνεται αισθητά όπως και οι τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων. Παράλληλα το φυσικό δυναμικό παραμένει σχεδόν αμετάβλητο. Στο διάστημα 180 έως 190 μέτρων θεωρείται η ύπαρξη ενός υδροφόρου στρώματος, του οποίου η δυναμικότητα είναι περιορισμένη, γεγονός που καταγράφεται στις μικρές μεταβολές της διαγραφίας φυσικού δυναμικού.

Η κατάσταση δεν αλλάζει για τα επόμενα δέκα μέτρα, όπου οι ηλεκτρικές αντιστάσεις αυξομειώνονται, η φυσική ακτινοβολία γάμμα μειώνεται και το φυσικό δυναμικό μεταβάλλεται. Οι ενδείξεις της υδροφορίας και της δυναμικότητας του παραπάνω στρώματος δεν είναι αρκετές, προκειμένου να προταθεί η σωλήνωση του με φίλτρα.

Από τα 200 έως τα 265 μέτρα βάθος και δεδομένης της μικρής μείωσης της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, αλλάζει η λιθολογία του σχηματισμού σε ασβεστόλιθο Τριπόλεως με λιγότερες αργιλικές προσμίξεις. Η υδροφορία απαντάται στα 225 μέτρα χωρίς αλλαγή της λιθολογίας, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο σχηματισμός είναι κορεσμένος σε νερό, από το συγκεκριμένο βάθος και κάτω.

Η μετάβαση σε ένα πολύ ενδιαφέρον διάστημα λαμβάνει χώρα στα επόμενα είκοσι πέντε μέτρα και συγκεκριμένα από το βάθος 225 έως 250 μέτρων. Για το παραπάνω διάστημα

και οι τρεις ηλεκτρικές αντιστάσεις αυξάνονται εξαιτίας της έντονης παρουσίας του ρευστού του σχηματισμού, φθάνοντας όλες τις μέγιστες τους τιμές αντίστοιχα. Η φυσική ακτινοβολία παραμένει στα ίδια επίπεδα ενώ το φυσικό δυναμικό μεταβάλλεται έντονα για να φθάσει την μέγιστη τιμή του στα 239 μέτρα βάθος. Στο διάστημα αυτό παρουσιάζεται η κύρια υδροφορία της γεώτρησης και για το λόγο αυτό προτείνεται η σωλήνωση με φίλτρα καθ' όλο το μήκος του.

Από τα 250 μέτρα έως τα 265 παρατηρούνται ακριβώς οι ίδιες συνθήκες αλλά σε μικρότερη κλίμακα, γεγονός που φανερώνει και εδώ μία υδροφορία. Δεν συμβαίνει το ίδιο για τα επόμενα πέντε μέτρα, από τα 265 μέτρα έως τα 270 μέτρα, όπου οι ηλεκτρικές αντιστάσεις μειώνονται, η φυσική ακτινοβολία γάμμα αυξάνεται, γεγονός που ερμηνεύεται σαν αυξημένη παρουσία αργιλικών προσμίξεων και το φυσικό δυναμικό παραμένει αμετάβλητο. Σε αυτό το διάστημα κρίνεται επιβεβλημένη η σωλήνωση της γεώτρησης με «τυφλούς» χαλυβδοσωλήνες, δεδομένου της μικρής διαπερατότητας των αργιλικών προσμίξεων που περιέχονται στο σχηματισμό στο συγκεκριμένο βάθος και της σταθερότητας των τιμών της διαγραφίας φυσικού δυναμικού που υποδεικνύει απουσία ύδατος.

Για το βάθος των 270 μέτρων έως τα 280 επαναλαμβάνεται ο ίδιος συνδυασμός προϋποθέσεων για μία ικανοποιητική υδροφορία: αύξηση των ηλεκτρικών αντιστάσεων, μείωση της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα και έντονη μεταβλητότητα του φυσικού δυναμικού. Δεν ισχύουν τα ίδια για τα τελευταία δεκαπέντε μέτρα, όπου οι ηλεκτρικές αντιστάσεις μειώνονται οι αργιλικές εμφανίσεις κάνουν την παρουσία τους πιο έντονη, παρ' όλη την μεταβολή του φυσικού δυναμικού.

Για την δεύτερη υδρογεώτρηση (Σχήμα 4.1B), της οποίας η στάθμη καταγράφεται στα 130 μέτρα, παρατηρούνται τα παρακάτω:

Από το βάθος των 130 μέτρων έως και το βάθος των 161 μέτρων η φυσική ακτινοβολία γάμμα δεν παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, ενώ το ίδιο ισχύει και για την διαγραφία του φυσικού δυναμικού. Σε βάθος 162 μέτρων η πρώτη παρουσιάζει μία έντονη αύξηση, που υποδηλώνει μείωση της περατότητας του σχηματισμού. Παρόμοια μεταβολή καταγράφεται σε βάθος 187 μέτρων, όπως και σε βάθος 209 μέτρων. Σε όλα τα παραπάνω βάθη οι τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων μειώνονται.

Από το βάθος των 187 μέτρων και μέχρι τα 267 μέτρα καταγράφεται μία αυξητική τάση των τιμών του φυσικού δυναμικού που ερμηνεύεται ως πιθανή υδροφορία. Ταυτόχρονα οι διαγραφίες των ηλεκτρικών αντιστάσεων διατηρούν την παραλληλία τους.

Μελετώντας τις παραπάνω διαγραφίες των Σχημάτων 4.1 και 4.1B και λαμβάνοντας υπόψη τα υψόμετρα των γεωτρήσεων επιχειρείται ένα συσχετισμός μεταξύ τους:

Οι δύο υδρογεωτρήσεις διάτρησαν ασβεστολιθικούς σχηματισμούς που περιείχαν αργιλικές προσμίξεις. Αυτό προκύπτει από την σύγκριση των δύο διαγραφιών φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, όπου σε ίδια βάθη καταγράφονται παρόμοιες αυξήσεις. Ενδεικτικά αναφέρονται τα βάθη των 209 μέτρων, των 241 μέτρων, των 245 μέτρων του Σχήματος 4.1, στα οποία καταγράφεται αύξηση της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα, όπως ακριβώς συμβαίνει στα βάθη των 159 μέτρων, των 191 μέτρων, των 195 μέτρων αντίστοιχα του Σχήματος 4.1B.

Η μεταβολή του φυσικού δυναμικού διαφοροποιείται στις δύο υδρογεωτρήσεις. Στο Σχήμα 4.1 η απότομη αύξηση που καταγράφεται σε βάθος 239 μέτρων αποδεικνύεται ότι οφείλεται σε διαφορετικό μηχανισμό από αυτόν του φυσικού δυναμικού του Σχήματος 4.1B. Συγκεκριμένα η απότομη αύξηση του φυσικού δυναμικού του Σχήματος 4.1 σε βάθος 239 μέτρων και 275 μέτρων θα μπορούσε να εξηγηθεί μόνο από την αλματώδη μεταβολή της αντίστασης του ρευστού του σχηματισμού. Ένα ενδεχόμενο που δεν εξετάζεται, δεδομένου της τοποθεσίας της υδρογεώτρησης, αλλά και των τιμών της αγωγιμότητας του ρευστού της τρίτης και παρακείμενης γεώτρησης που κυμαίνονται σε χαμηλά επίπεδα. Συνεπώς η προέλευση του φυσικού δυναμικού είναι ηλεκτροκινητικής φύσεως, όπου σε αυτή την περίπτωση η κίνηση του νερού του σχηματισμού, και κατ'έκταση των ιόντων του, συνεισφέρει στην καταγραφή αυξημένων τιμών.

Επομένως πρόκειται για υδροφορία που απαντάται σε ένα πάχος 25 μέτρων του σχηματισμού και είναι σαφώς μεγαλύτερη εν συγκρίσει με αυτή που δίνεται από το υπερκείμενο και το υποκείμενο τμήμα του σχηματισμού.

Για την μεταβολή του φυσικού δυναμικού του Σχήματος 4.1B δεν ισχύουν τα παραπάνω. Η γεώτρηση παρουσιάζει μία ικανοποιητική υδροφορία που εντοπίζεται σε ένα μεγαλύτερο τμήμα του σχηματισμού, συνολικού πάχους 80 μέτρων.

Οι διαφορές που παρατηρούνται στις τιμές των ηλεκτρικών αντιστάσεων μεταξύ των δύο υδρογεωτρήσεων και συγκεκριμένα οι μικρότερες που καταγράφονται στο Σχήμα 4.1B, οφείλονται στο γεγονός ότι ο σχηματισμός έχει πολλές ρηγματώσεις, οι οποίες από το βάθος των 185 μέτρων πληρούνται με νερό, με αποτέλεσμα την πτώση των τιμών των αντιστάσεων.

4.3.2 Προσδιορισμός πορώδους

Το πορώδες ενός σχηματισμού δύναται να υπολογιστεί με την βοήθεια των ηλεκτρικών διαγραφιών.

Στο σημείο αυτό γίνεται λόγος για τον βαθμό κορεσμού σε νερό ενός σχηματισμού S_w που δίνεται από την Εξίσωση (4.1):

$$S_w^n = \frac{FR_w}{R_t} \quad (4.1)$$

όπου n ο συντελεστής κορεσμού που στην περίπτωση ερμηνείας των διαγραφιών ισούται με 2, F ο παράγοντας σχηματισμού, R_w η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού και R_t η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού. Η Εξίσωση (4.1) με την βοήθεια της Εξίσωσης (2.2) δύναται να διατυπωθεί ως εξής:

$$\phi S_w = \sqrt{\frac{R_w}{R_{64}}} \quad (4.2)$$

Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού R_t στην παραπάνω σχέση έχει αντικατασταθεί από την τιμή της μακράς κανονικής ηλεκτρικής αντίστασης (LN), έτσι όπως αυτή προκύπτει από την αντίστοιχη διαγραφή και με την προϋπόθεση ότι το πάχος του υπό μελέτη σχηματισμού είναι μεγαλύτερο από επτά μέτρα. Για την εύρεση του πορώδους απαιτείται η γνώση του βαθμού κορεσμού και στην περίπτωση του Σχήματος 4.1, όπου η κύρια υδροφορία εντοπίζεται σε βάθος 225 μέτρων έως 265 μέτρων ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν ενδείξεις ότι στο συγκεκριμένο βάθος ο σχηματισμός είναι κορεσμένος σε νερό, αυτός ισούται με την μονάδα.

Ενδεικτικά υπολογίζεται το πορώδες του σχηματισμού του Σχήματος 4.1 σε βάθος 225 μέτρων με $R_w = 25 \Omega \cdot m$ (βλέπε §4.5.1), $R_{64} = 3000 \Omega \cdot m$, $S_w = 1$ και είναι $\varphi = 9\%$. Ομοίως σε βάθος 235 μέτρων του ίδιου Σχήματος με $R_w = 25 \Omega \cdot m$, $R_{64} = 14000 \Omega \cdot m$, $S_w = 1$ το πορώδες φ ισούται με 4,2%.

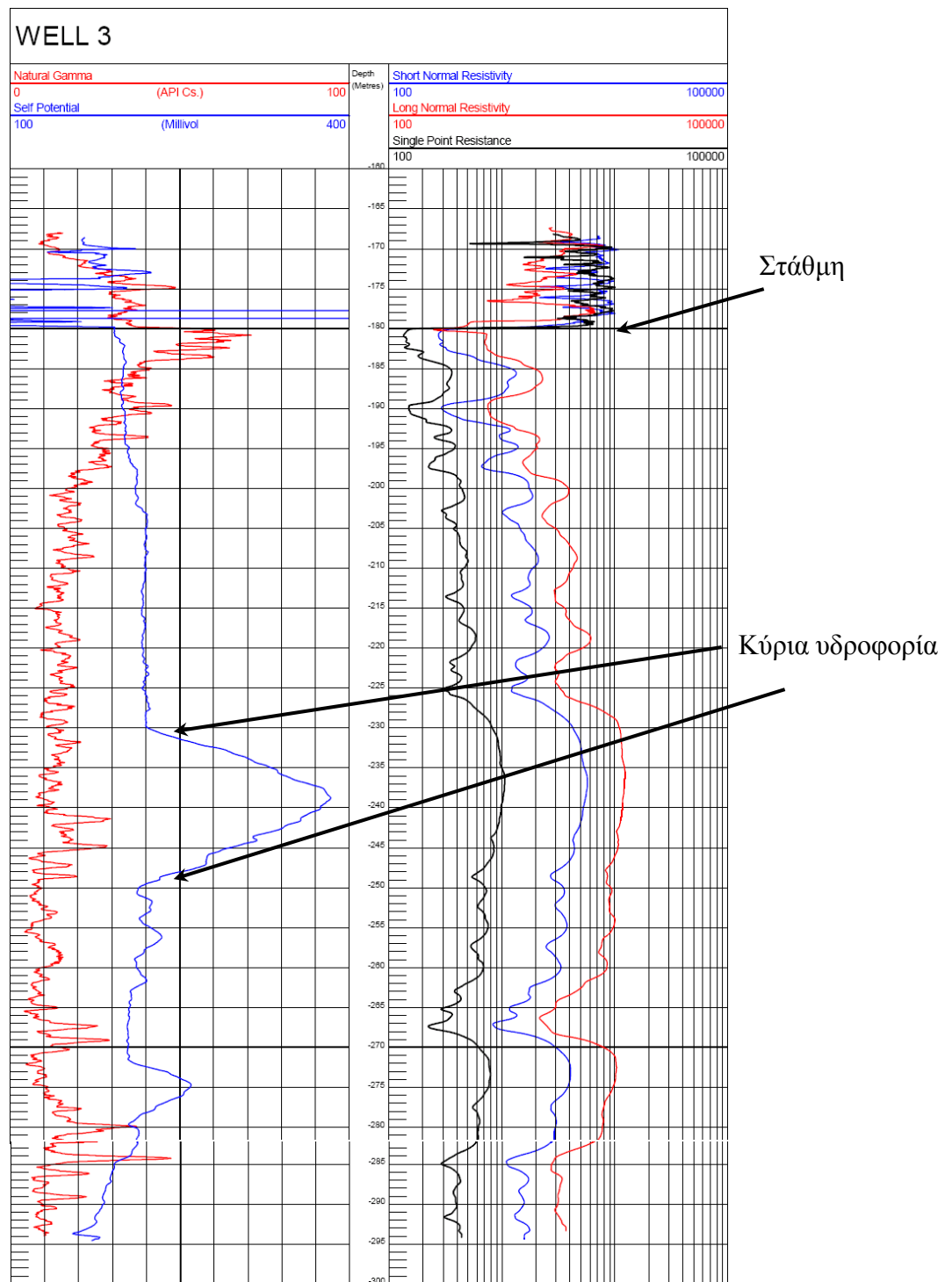
Οι παραπάνω τιμές του πορώδους μπορούν να ελεγχθούν ως προς την ακρίβεια τους εκτελώντας την διαγραφή πορώδους, πράγμα το οποίο την δεδομένη στιγμή της εκτέλεσης των διαγραφιών της συγκεκριμένης υδρογεώτρησης δεν άπτονταν του ενδιαφέροντος του φορέα διαχείρισης της.

4.4 Αξιολόγηση ηλεκτρικών διαγραφιών και φυσικής ακτινοβολίας γάμμα

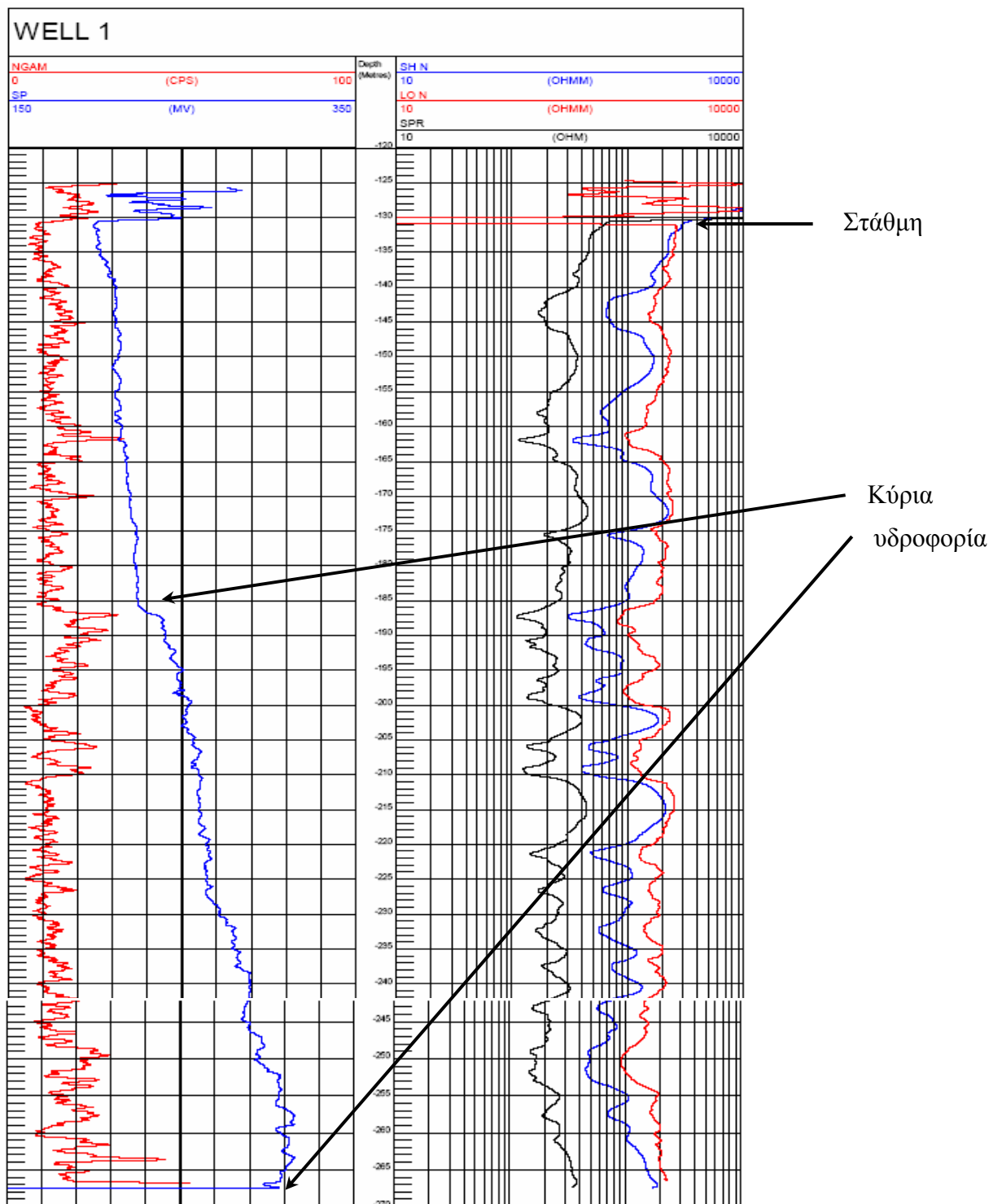
Με βάση όσα έχουν αναφερθεί, οι ασωλήνωτες υδρογεωτρήσεις (Σχήμα 4.1 και 4.1B) παρουσιάζουν μία δυναμικότητα στην υδροφορία που τις καθιστά εκμεταλλεύσιμες. Συνοψίζοντας αναφέρονται οι παρακάτω ιδιαιτερότητες τους:

- Από τις διαγραφίες της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα προκύπτει ότι δεν παρεμβάλλεται κάποιος αμιγώς αργλικός σχηματισμός αλλά μόνο αργλικές προσμίξεις με ακαθόριστη συχνότητα και ένταση εμφάνισης. Προφανώς λοιπόν, οι διαγραφίες που εκτελέστηκαν και στις δύο υδρογεωτρήσεις εκτελέστηκαν εντός του ίδιου σχηματισμού.
- Αντίστοιχα από τις διαγραφίες του φυσικού δυναμικού, επιβεβαιώνεται η ύπαρξη υδροφόρων σχηματισμών με ικανοποιητική δυναμικότητα. Άξιο αναφοράς είναι δε το γεγονός ότι στις περιπτώσεις της διαγραφίας του φυσικού δυναμικού, αυτό που ενδιαφέρει τον μηχανικό, αξιολογητή είναι η μεταβολή του φυσικού δυναμικού. Η μεταβολή αυτή, στην συγκεκριμένη διαγραφή είναι πάντοτε της ίδιας φοράς, πράγμα που σημαίνει ότι η αντίσταση του νερού του σχηματισμού είναι μεγαλύτερη της αντίστασης της γεωτρητικής λάσπης.
- Παρατηρείται μία παραλληλία στις διαγραφίες των τριών ηλεκτρικών αντιστάσεων. Αυτό σημαίνει ότι καθ' όλο το μήκος της γεώτρησης απαντάται ο ίδιος σχημα-

τισμός, γεγονός που επιβεβαιώθηκε και από την εξέταση των δειγμάτων που συλλέχθηκαν κατά την διάτρηση αλλά και από την στρωματογραφική στήλη. Τα δείγματα ήσαν ασβεστολιθικά που περιείχαν αργιλικές προσμίξεις. Στους συγκεκριμένους σχηματισμούς που παρουσιάζουν υδροφορία, το καταγεγραμμένο πάχος τους είναι μεγαλύτερο από επτά μέτρα (Schlumberger, 1987) και κατά συνέπεια η μακρά κανονική ηλεκτρική αντίσταση καταγράφει την πραγματική ηλεκτρική αντίσταση του σχηματισμού.



Σχήμα 4.1: Οι διαγραφίες που εκτελέστηκαν στα πλαίσια εντοπισμού της υδροφορίας της γεώτρησης.



Σχήμα 4.1B: Οι διαγραφίες που εκτελέστηκαν στα πλαίσια του εντοπισμού της υδροφορίας της γεώτρησης

4.5 Ερμηνεία και αξιολόγηση διαγραφιών τεχνικού ελέγχου

Η δεύτερη ομάδα διαγραφιών που έλαβαν χώρα σε γεώτρηση πολύ κοντά στην δεύτερη, έγιναν στα πλαίσια του τεχνικού ελέγχου. Το βάθος της γεώτρησης είναι 280 μέτρα, τα οποία και σωληνώθηκαν με χαλυβδοσωλήνες διαμέτρου 10 ιντσών, ενώ βρίσκεται σε υψόμετρο 350 μέτρων. Ο τεχνικός έλεγχος περιλαμβάνει την διαγραφή θερμοκρασίας-αγωγιμότητας, την διαγραφή διαμέτρου-τριών βραχιόνων - κατά την οποία ο φωρατής έχει την δυνατότητα καταγραφής και της φυσικής ακτινοβολίας - και την διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης (Σχήμα 4.2).

4.5.1 Διαγραφή θερμοκρασίας - αγωγιμότητας

Η καταγραφή αρχίζει από τα τέσσερα μέτρα βάθος και ενώ αυτή της αγωγιμότητας παραμένει σταθερή, αυτή της θερμοκρασίας αυξάνεται κατά 1,3 βαθμούς °C μέχρι την είσοδο του φωρατή στην στάθμη της γεώτρησης που βρίσκεται στα 58,5 μέτρα. Σε αυτό το σημείο οι δύο διαγραφίες κάνουν ένα χαρακτηριστικό «γόνατο» και συνεχίζουν πάλι σταθερά. Σε βάθος 110 μέτρων όπως και 133 μέτρων παρατηρείται μία μεταβολή στις δύο καταγραφές που αξιολογείται σαν εισροή ύδατος από την υπερκείμενη σύνδεση, εξαιτίας κακής συνένωσης των χαλυβδοσωλήνων δεδομένου ότι ο πρώτος φιλτροσωλήνας βρίσκεται σε βάθος 174 μέτρων. Ενδεικτικά υπολογίζεται η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού σε βάθος 70 μέτρων και είναι ίση με 25 Ω·m γνωρίζοντας ότι η αγωγιμότητα στο αντίστοιχο σημείο είναι 400 μS/cm και η θερμοκρασία 15 °C. Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον υπολογισμό του πορώδους κάνοντας την παραδοχή ότι πρόκειται για τον ίδιο υδροφόρο σχηματισμό, αφού οι δύο γεωτρήσεις γειτνιάζουν.

4.5.2 Διαγραφή τριών βραχιόνων

Στην διαγραφή μέτρησης της διαμέτρου, τα ίχνη που καταγράφονται με φορά τα αριστερά αποτελούν τις συνδέσεις με σπείρωμα των σωλήνων και οι οποίες είναι χωρίς οπές. Το μήκος των σωλήνων είναι έξι μέτρα. Η καταγραφή αλλάζει μορφή στα 174 μέτρα βάθος, όπου εκεί βρίσκεται ο πρώτος φιλτροσωλήνας.

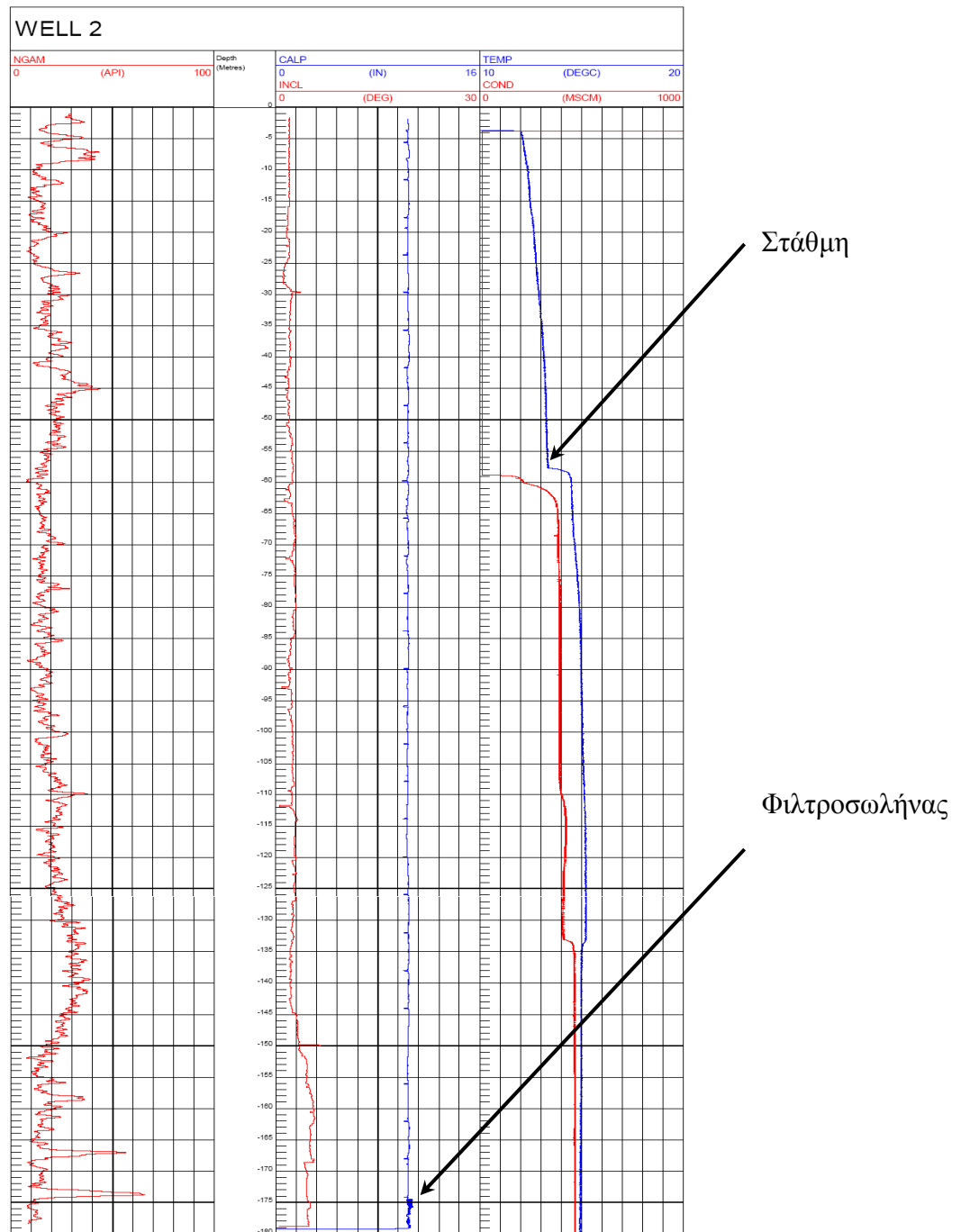
4.5.3 Διαγραφή φυσικής ακτινοβολίας γάμμα

Αν και η μέτρηση της φυσικής ακτινοβολίας γάμμα πραγματοποιήθηκε σε σωληνωμένη γεώτρηση, η καταγραφή θεωρείται αξιόπιστη. Ο σχηματισμός καθ'όλο το βάθος της γεώτρησης είναι ασβεστόλιθος που περιέχει λίγες αργλικές προσμίξεις, το ποσοστό των οπίων αυξάνεται από τα 130 έως τα 145 μέτρα.

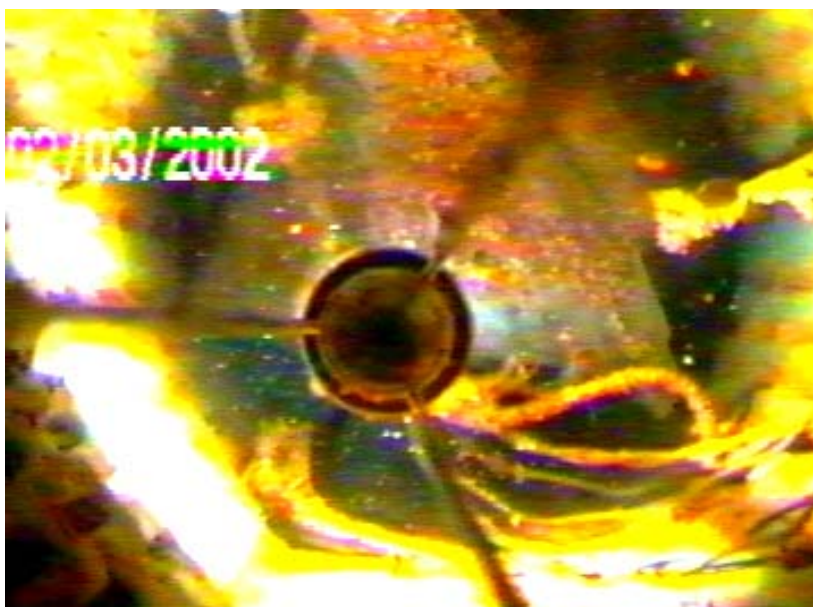
4.5.4 Διαγραφή κατακορυφότητας και διεύθυνσης της γεώτρησης

Παρά την σωλήνωση της γεώτρησης δεν χρησιμοποιήθηκε φωρατής γυροσκοπικής καθετότητας και για τον λόγο αυτό καταγράφηκε μόνο η γωνία απόκλισης και όχι το διάνυσμα. Η στήλη μετά τα 145 μέτρα παρουσιάζει μεγάλες αποκλίσεις που φθάνουν έως και τις 6 μοίρες, με σαφή υπέρβαση των νομικά επιτρεπόμενων ορίων που είναι 1 μοίρα απόκλιση ανά 100 μέτρα βάθος.

Η καταγραφή τερματίζει στα 180 μέτρα εξαιτίας κάποιου εμποδίου που καθιστά την δίοδο του φωρατή αδύνατη. Το γεγονός αυτό όπως και η σημασία της συγκεκριμένης υδρογεώτρησης για την περιοχή εξαιτίας της δυναμικότητάς της, κατέστησε επιτακτική την χρήση του συστήματος οπτικού ελέγχου. Η κατάσταση της υδρογεώτρησης καταγράφηκε στην Εικόνα (4.1). Όπως φαίνεται η απόρριψη μεταλλικών αντικειμένων εντός της υδρογεώτρησης κατέστησαν την εκμετάλλευσή της ανέφικτη. Με δεδομένη την υψηλή παραγωγικότητά της, έγινε προσπάθεια ανάσχυσης των αντικειμένων με την βοήθεια κατάλληλου εξοπλισμού με άγνωστη έκβαση.



Σχήμα 4.2: Οι διαγραφίες που εκτελέστηκαν στα πλαίσια του τεχνικού ελέγχου.



Εικόνα 4.1: Οπτικός εντοπισμός αντικειμένου που καθιστά αδύνατη τη περαιτέρω κάθοδο του φωρατή στην συγκεκριμένη γεώτρηση.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα

Είναι γεγονός ότι η βέλτιστη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού των γεωτρήσεων, ενόψει των ολοένα αυξημένων απαιτήσεων, κρίνεται πλέον επιτακτική. Η συγκεκριμένη εργασία προσπαθεί να κάνει αντιληπτή τη σημασία των διαγραφιών στις υδρογεωτρήσεις και τον τρόπο με τον οποίο η εφαρμογή τους συμβάλει στην βελτιστοποίηση αυτού και κατ'επέκταση στην μεγιστοποίηση της αντλούμενης ποσότητας του νερού καθώς και στον τεχνικό έλεγχο των υδρογεωτρήσεων αυτών.

Ο μεγάλος αριθμός των διαγραφιών που δύναται να εκτελεστούν σε ασωλήνωτες γεωτρήσεις παρέχει *insitu* στον μηχανικό αξιόπιστες ενδείξεις για την εκμεταλλευσιμότητα της ή όχι. Αυτό μεταφράζεται σε συνεχή έλεγχο της εκάστοτε φάσης της γεώτρησης και σε δραστικό περιορισμό του κόστους στην περίπτωση που το περιεχόμενο των υδροφόρων σχηματισμών κριθεί ανεπαρκές ή μη αποδεκτής ποιότητας, δεδομένου του κόστους που συνεπάγεται η πλήρης σωλήνωση μίας υδρογεώτρησης και η εκ των υστέρων απόρριψη της. Παράλληλα το κόστος ενός συνδυασμού διαγραφιών που εξασφαλίζουν τις πιο σημαντικές πληροφορίες στον φορέα διαχείρισης κυμαίνεται στο 1/10 της συνολικής δαπάνης μίας υδρογεώτρησης βάθους 150 μέτρων , καθιστώντας την εφαρμογή των διαγραφιών οικονομικά πραγματοποιήσιμη λαμβάνοντας υπόψη τον παραπάνω συσχετισμό.

Οι διαγραφίες που λαμβάνουν χώρα σε σωληνωμένες υδρογεωτρήσεις εκτελούνται στα πλαίσια του τεχνικού ελέγχου, πιστοποιώντας την αρτιότητα της υδρογεώτρησης αν αυτή είναι νέα ή αξιολογώντας την κατάσταση της αν πρόκειται για υφιστάμενη. Οι διαγραφίες αυτές εντοπίζουν τα ενδεχόμενα προβλήματα και συνεισφέρουν στην αντιμετώπισή τους, καθώς οι δυνατότητες που διαθέτουν είναι μεγάλες.

Το γεγονός ότι οι διαγραφίες εφαρμόζονται κατά κόρον στις γεωτρήσεις πετρελαίου, όπου οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας αλλά και τα βάθη είναι άλλης τάξης μεγέθους, αποδείχνουν την αποδοχή τους, την χρησιμότητα και την αξιοπιστία τους. Τα παραπάνω λοιπόν είναι εύλογο, ότι απορρέουν και από την εφαρμογή των διαγραφιών στις υδρογεωτρήσεις όπου το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι η εύρεση και άντληση της βέλτιστης ποιότητας και ποσότητας του νερού, ίσως του πιο πολύτιμου και στο άμεσο μέλλον δυσεύρετου αγαθού.

Βιβλιογραφία

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Βαφείδης, Α., (1994), Αξιολόγηση Σχηματισμών με Γεωφυσικές Μεθόδους, Σημειώσεις Μαθήματος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.
2. Σούλιος, Χ.Γ., (1996), Γενική Υδρογεωλογία – Πρώτος Τόμος, Εκδόσεις University Studio Press, Θεσσαλονίκη.

Διεθνής βιβλιογραφία

1. Welenco, Inc., (2002), Water and Environmental Geophysical Well Logs, Last reviewed: Oct. 5, 2001, [http:// www.welenco.com](http://www.welenco.com).
2. Schlumberger, (1987), Log Interpretation Principles / Applications, 2nd edition, Educational Services, Houston, Texas.