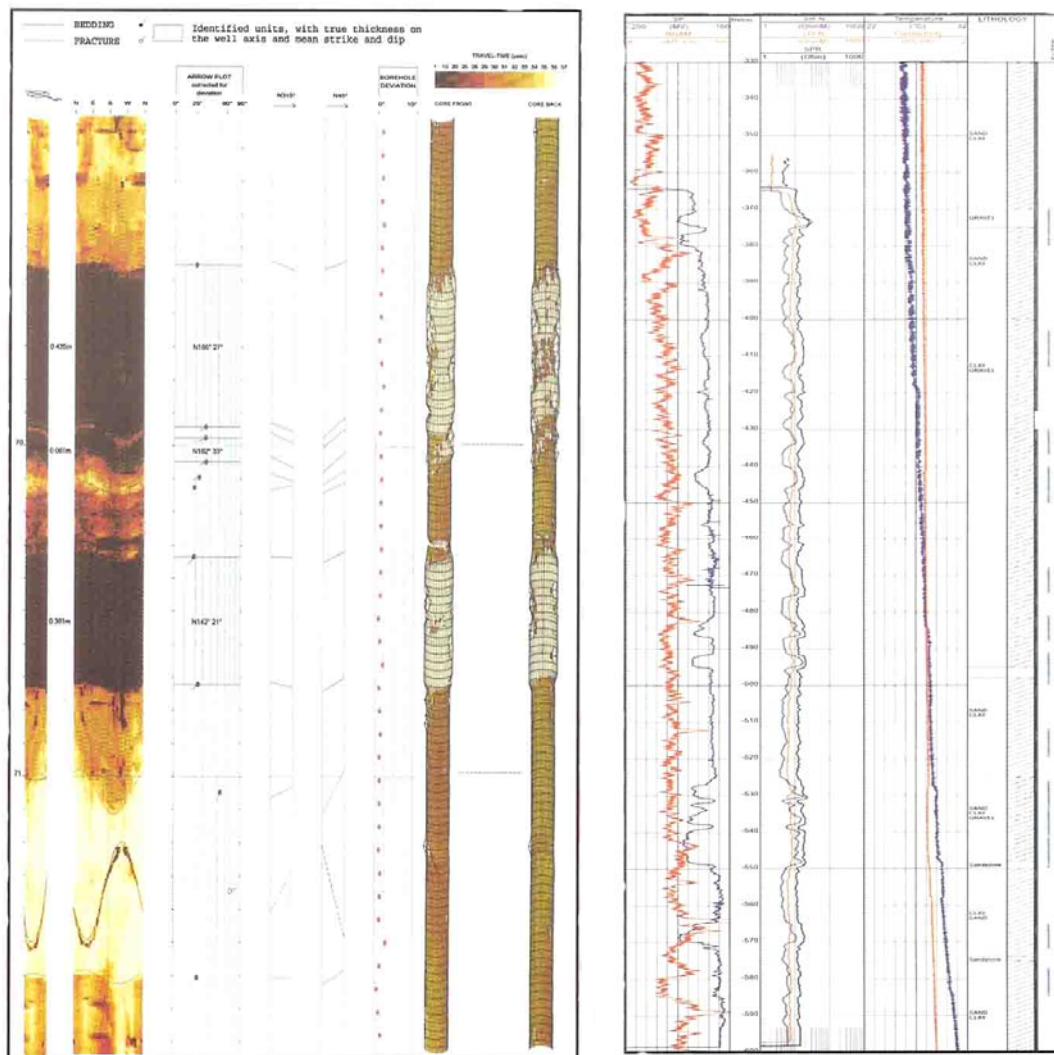


ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ-ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2006

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	3
1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Ορισμός των "διαγραφιών εντός γεωτρήσεων".....	4
1.2 Η σπουδαιότητα των διαγραφιών εντός γεωτρήσεων.....	4
2. Ταξινόμηση των διαγραφιών.....	7
2.1. Φυσικά φαινόμενα.....	7
2.2. Φυσικές ιδιότητες που μετριούνται με την πρόκληση αντίδρασης σε ένα σχηματισμό.....	8
2.3. Προβλήματα συγκεκριμένα με τις μετρήσεις διαγραφιών εντός γεωτρήσεων.....	9
2.3.1. Επίδραση της οπής της γεώτρησης, εισβολή.....	9
2.3.2. Επίδραση της γεωμετρίας των εργαλείων.....	11
3. Βασικές αρχές ακουστικών διαγραφιών.....	15
3.1. Ακουστικά σήματα.....	15
3.2. Ακουστικά κύματα.....	16
3.3. Ελαστικές ιδιότητες των πετρωμάτων.....	18
3.4. Ταχύτητες ηχητικών κυμάτων.....	19
3.5. Διάδοση ηχητικών κυμάτων, ανάκλαση και διάθλαση.....	19
3.6. Ακουστική αντίσταση.....	21
3.7. Συντελεστής ανάκλασης.....	21
3.8. Παρεμβολή κυμάτων.....	21
4. Μέτρηση της ταχύτητας του ήχου (ηχητική διαγραφή).....	22
4.1. Η οπή της γεώτρησης αντιστάθμισε το ηχητικό.....	26
4.2. Βάθος έρευνας.....	30
4.3. Μονάδες μέτρησης.....	31
4.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την μέτρηση.....	31
4.5. Ερμηνεία.....	36
4.6. Περιβαλλοντικά και άλλα αποτελέσματα.....	40
4.7. Προσαρμογή του χρόνου διάδοσης.....	46
4.8. Ηχητική διαγραφή με εκ νέου κλίμακα.....	47
4.9. Εφαρμογές.....	49
5. Μέτρηση της ηχητικής απόσβεσης και του πλάτους.....	52
5.1. Θεωρητικές αιτίες απόσβεσης.....	52
5.2. Αιτίες απόσβεσης των διαγραφιών εντός γεώτρησης.....	53
5.3. Μέτρηση της απόσβεσης.....	57
5.4. Μεταβλητή διαγραφή πυκνότητας.....	64
6. Μετρήσεις της διαμέτρου της οπής της γεώτρησης(caliper log).....	68
6.1. Εργαλεία.....	68
6.2. Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διάμετρο των οπών.....	70
6.3. Εφαρμογές.....	70
7. Μετρήσεις θερμοκρασίας(temperature log).....	72
7.1. Μέθοδοι μέτρησης θερμοκρασίας.....	73
7.2. Εφαρμογές.....	77
Βιβλιογραφία.....	80

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, Η' εξάμηνο στην κατεύθυνση Κοιτασματολογίας του Τομέα Ορυκτολογίας–Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας.

Σκοπός της εργασίας είναι η βιβλιογραφική παρουσίαση θεμάτων που αφορούν τις ακουστικές διαγραφίες και ειδικότερα την ταξινόμηση διαγραφιών, τις βασικές αρχές ακουστικών διαγραφιών, τη μέτρηση της ταχύτητας του ήχου, τη μέτρηση της ηχητικής απόσβεσης και του πλάτους, τη μέτρηση της διαμέτρου της οπής της γεώτρησης (caliper log) και τη μέτρηση της θερμοκρασίας (temperature log).

Επιβλέπων καθηγητής της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο κ. Α. Φιλιππίδης και τον οποίο ευχαριστώ για την καθοδήγησή του. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον καθηγητή κ. Α. Γεωργακόπουλο, στον Αναπληρωτή καθηγητή κ. Κ. Παπαζάχο και στον υποψήφιο Διδάκτορα κ. Ι. Δημητριάδη για τις πολύτιμες συμβουλές τους, τις παρατηρήσεις τους και τα σχόλια τους.

Θεσσαλονίκη 1-2-2006.
Κωνσταντίνα Ε. Αποστολάκη
(Α.Ε.Μ. 3529)

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Ο ορισμός των "διαγραφιών εντός γεωτρήσεων" (WELL-LOG)

Όταν μιλάμε για διαγραφή στη βιομηχανία πετρελαίου εννοούμε "μια καταγραφή έναντι κάποιου βάθους, οποιουδήποτε από τα χαρακτηριστικά των σχηματισμών του πετρώματος που διαπερνούνται κάθετα από μια μετρητική συσκευή στην οπή της γεώτρησης."

Οι διαγραφίες μερικές φορές αναφέρονται ως "wireline logs" ή "διαγραφίες εντός γεωτρήσεων", που είναι αποκτήματα μέσα από τον μετρητικό εξοπλισμό (εργαλεία διαγραφιών) με χαμηλωμένο καλώδιο (καλωδίωση) στην γεώτρηση. Οι μετρήσεις διαβιβάζονται επάνω με καλώδιο (που περιέχει έναν ή περισσότερους αγωγούς) σε μια εργαστηριακή μονάδα υπολογιστών. Η καταγραφή αυτών των πληροφοριών σε ταινία ή χαρτί αποτελεί τις διαγραφίες εντός γεωτρήσεων. Τα δεδομένα διαγραφιών μπορούν επίσης να καταγραφούν σε μαγνητική ταινία. Ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών διαγραφιών μπορεί να οργανωθεί κάθε καταγραφή καταγράφει μια διαφορετική ιδιότητα των πετρωμάτων που διαπερνούνται από τη γεώτρηση.

Οι διαγραφίες εντός γεωτρήσεων εκτελούνται μετά από διακοπή (ή λήξη) της δραστηριότητας διάτρησης, και διακρίνονται έτσι σε "drilling logs" (όπως ταχύτητα διάτρησης, απώλεια λάσπης, ροπή, κ.λ.π.) και "mud logs" (αλατότητα λάσπης γεωτρήσεων, pH, βάρος-λάσπης, κ.λ.π.) που συνέβησαν κατά τη διάρκεια των διαδικασιών διάτρησης.

1.2. Η σπουδαιότητα των διαγραφιών εντός γεωτρήσεων

Η Γεωλογία μελετά τα πετρώματα που υπάρχουν επάνω στο γήινο φλοιό. Ο τομέας της γεωλογίας που είναι περισσότερο σημαντικός στη βιομηχανία πετρελαίου είναι η ιζηματογένεση, από την οποία παίρνουμε ορισμένα ιζηματογενή περιβάλλοντα όπου οι υδρογονάνθρακες διαμορφώνονται. Συνεπώς, παίρνουμε μια ακριβή και λεπτομερή μελέτη της σύνθεσης, της υφής και της δομής των πετρωμάτων, το χρώμα των συστατικών του, και αναγνώριση οποιωνδήποτε ιχνών από οργανισμούς ζώων και φυτών. Αυτό καθιστά ικανό στον γεωλόγο: (α) να προσδιορίσει / αναγνωρίσει τις φυσικές, τις χημικές και βιολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά το χρόνο της απόθεσης και (β) να περιγράψει τις μετατροπές που η ιζηματογενής σειρά έχει υποστεί από την απόθεση. Πρέπει επίσης να εξετάσει την ακολουθία των διαφορετικών στρωμάτων σε σειρά, και την πιθανή παραμόρφωσή τους, από ρήγματα, πτυχές κ.ά.

Ο γεωλόγος εξαρτάται από τα δείγματα πετρωμάτων για αυτές τις βασικές πληροφορίες. Στην επιφάνεια, αυτά κόβονται από τις εμφανίσεις πετρωμάτων. Το σημείο προέλευσής τους είναι, προφανώς, ακριβώς γνωστό, και σε γενικές γραμμές ένα δείγμα οποιουδήποτε επιθυμητού μεγέθους μπορεί να ληφθεί, ή να επαναληφθεί.

Η δειγματοληψία από την υποεπιφάνεια είναι μάλλον περισσότερο προβληματική. Δείγματα πετρωμάτων λαμβάνονται ως πυρήνες ή θραύσματα.

Οι πυρήνες αποκτήθηκαν ενώ γινόταν γεώτρηση, σαν αποτέλεσμα του μεγέθους και της συνεχούς φύσης τους, επιτρέποντας μια λεπτομερή γεωλογική ανάλυση πέρα από ένα επιλεγμένο διάστημα. Δυστυχώς, για οικονομικούς και τεχνικούς λόγους, αυτή η μορφή πυρήνων δεν είναι κοινή πρακτική, και είναι περιορισμένη σε ορισμένες συνθήκες διάτρησης και τύπους σχηματισμών.

"Οι πλευρικοί -πυρήνες", αποσπώνται με ένα πυρηνολήπτη, δειγματολήπτη ή τον πυρηνοκόπτη, από τα τοιχώματα της οπής μετά από τη γεώτρηση και παρουσιάζουν

λιγότερες πρακτικές δυσκολίες. Είναι μικρότερα δείγματα, λαμβάνονται σε ξεχωριστά βάθη, και δεν παρέχουν συνεχείς πληροφορίες. Ωστόσο, συχνά αντικαθίσταται από την πυρηνοληψία, και είναι ανεκτίμητοι στις ζώνες της χαμένης κυκλοφορίας.

Τα θραύσματα (τα τεμάχια του πετρώματος που ξεπλένονται στην επιφάνεια κατά τη διάρκεια της διάτρησης) είναι η αρχική πηγή κάτω από την επιφάνεια δειγματοληψίας. Δυστυχώς, η αναδόμηση μιας λιθολογικής ακολουθίας όσον αφορά το πάχος και τη σύσταση, από τα θραύσματα, που έχουν υποβληθεί στη μίξη, διύλιση, και γενική μόλυνση, κατά τη διάρκεια της μεταφοράς τους από τη λάσπη της γεώτρησης στην επιφάνεια, δεν μπορεί πάντα να εκτελεσθεί με σιγουριά. Όπου η κυκλοφορία λάσπης χάνεται, η ανάλυση ολόκληρων των τμημάτων του σχηματισμού αποκλείεται με τη συνολική έλλειψη θραυσμάτων. Επιπλέον, το μικρό μέγεθος αυτού του είδους δείγματος πετρώματος δεν επιτρέπει όλες τις επιθυμητές δοκιμές να εκτελεστούν.

Ως αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών, είναι αρκετά πιθανό ο γεωλόγος, να βρεθεί με ανεπαρκή καλής ποιότητας αντιπροσωπευτικά δείγματα, ή με τίποτα από αυτά. Συνεπώς, είναι ανίκανος να απαντήσει με οποιαδήποτε σιγουριά σε θεμελιώδεις ερωτήσεις για την εξερεύνηση πετρελαίου:

- (α) Έχει βρεθεί μια πιθανή δεξαμενή;
- (β) Σε αυτή την περίπτωση είναι υδρογονάνθρακας;
- (γ) Μπορούμε να συμπεράνουμε την παρουσία μιας κοντινής δεξαμενής;

Μια εναλλακτική λύση, και πολύ αποτελεσματική προσέγγιση σε αυτό το πρόβλημα είναι να ληφθούν οι κανονικές μετρήσεις, με το τρέξιμο των διαγραφιών εντός γεωτρήσεων. Κατ' αυτό τον τρόπο, οι παράμετροι σχετικές με το πορώδες, τη λιθολογία, τους υδρογονάνθρακες, και άλλες ιδιότητες του πετρώματος, ενδιαφέρουσες στο γεωλόγο, μπορούν να ληφθούν.

Η πρώτη διαγραφή γεώτρησης, μια μέτρηση της ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης, εφευρέθηκε από τον Marcel και Conrad Schlumberger, που οργανώθηκε τον Σεπτέμβριο του 1927 στην Pechelbronn (Γαλλία) και ονομάστηκε "electrical coring". Από τότε οι επιστημονικές και τεχνολογικές προόδους έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη μιας απέραντης σειράς ιδιαίτερα περίπλοκων τεχνικών μέτρησης και εξοπλισμού, που συνοδεύεται από δύσκολες διαδικασίες ερμηνείας.

Οι μετρήσεις διαγραφιών εντός γεωτρήσεων έχουν σταθερά καθιερωθεί για τις εφαρμογές, στην εκτίμηση του πορώδους και του κορεσμού των δεξαμενών πετρωμάτων, και για το βάθος συσχέτισης.

Πιο πρόσφατα, ωστόσο, έχει υπάρξει μια αυξανόμενη εκτίμηση της αξίας των δεδομένων διαγραφίας ως πηγή γενικότερων γεωλογικών πληροφοριών. Μέσω της διαγραφίας μετράμε διάφορες φυσικές παραμέτρους που σχετίζονται και με τις γεωλογικές και πετροφυσικές ιδιότητες των στρωμάτων που έχουν διαπεραστεί οι ιδιότητες αυτές μελετώνται συμβατικά στο εργαστήριο από τα πετρώματα-δείγματα. Επιπλέον, οι διαγραφίες μας λένε για τα ρευστά στους πόρους των αποθηκευτικών πετρωμάτων.

Το μάλλον ειδικό είδος εικόνας που παρέχεται από τις διαγραφίες είναι μερικές φορές ελλιπές ή διαστρεβλωμένο, αλλά πάντα μόνιμο, συνεχές και αντικειμενικό. Είναι μια αντικειμενική μετάφραση μιας κατάστασης πραγμάτων που κάποιος δεν μπορεί να αλλάξει τη δήλωση (σε χαρτί) από ένα επιστημονικό γεγονός.

Τα δεδομένα διαγραφιών αποτελούν, επομένως, μια "υπογραφή" του πετρώματος: τα φυσικά χαρακτηριστικά που αντιπροσωπεύουν, είναι οι συνέπειες των φυσικών, χημικών και βιολογικών (ιδιαίτερα γεωγραφικών και κλιματολογικών) συνθηκών που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της απόθεσης και η εξέλιξή τους κατά τη διάρκεια της γεωλογικής ιστορίας.

Η ερμηνεία των διαγραφιών πρέπει να στοχεύει προς τους ίδιους στόχους όπως εκείνους των συμβατικών εργαστηριακών αναλύσεων πυρήνα. Προφανώς, αυτό είναι εφικτό μόνο εάν υπάρχει καθορισμένη με σαφήνεια συγγένεια μεταξύ αυτού που είναι μετρημένο από τις διαγραφίες, και της παραμέτρου του πετρώματος.

Οι περιγραφές των διάφορων τεχνικών διαγραφιών θα δείξουν ότι τέτοια συγγένεια πράγματι υπάρχει, και μπορούμε να υποθέσουμε ότι: (α) μια σημαντική αλλαγή σε οποιοδήποτε γεωλογικό χαρακτηριστικό θα φανερωθεί γενικά μέσω τουλάχιστον μιας φυσικής παραμέτρου που μπορεί να ανιχνευθεί από μία ή περισσότερες διαγραφίες και (β) οποιαδήποτε αλλαγή στην απόκριση των διαγραφιών δείχνει μια αλλαγή τουλάχιστον σε μια γεωλογική παράμετρο.

2. Ταξινόμηση διαγραφιών

Αυτή περιλαμβάνει και τις μετρήσεις ανοικτών οπών και σωληνωμένων πηγαδιών.

Ο πίνακας 1 παρουσιάζει αυτές τις μετρήσεις που ομαδοποιούνται σε δύο ευρείες κατηγορίες: εκείνες που προκύπτουν από τα φυσικά (ή αυθόρμητα) φαινόμενα, και εκείνες που προκύπτουν από προκλητά φαινόμενα. Η πρώτη ομάδα χρησιμοποιεί απλά έναν κατάλληλο ανιχνευτή για να λάβει τη μέτρηση· η δεύτερη ομάδα απαιτεί έναν κατάλληλο τύπο εκπομπού για "να διεγείρει" μια ιδιαίτερη απόκριση στο σχηματισμό, εκτός από ένα σύστημα ανίχνευσης.

<i>1. Natural or spontaneous phenomena</i>			
Basic equipment—Single detector (passive system)			
Spontaneous potential	SP	Temperature	T
Natural gamma-ray activity		Hole Diameter	CAL
Total	GR	Deviation	DEV
Spectrometry	NGS * (spectralog)		
<i>2. Physical properties measured by inducing a response from the formation</i>			
Basic equipment—source (or emitter) + detector (s).			
Resistivity:			
(a) Long-spacing devices:			
non-focused:		N(ormal), L(ateral), ES	
focused		LL *, SFL *	
(b) Micro-devices:			
non-focused		ML *	
focused		MLL *, PL *, MSFL *	
(c) Ultra long-spacing devices		ULSEL	
Conductivity		IL	
Dielectric constant (electromagnetic propagation)		EPT *	
Hydrogen index (using neutron bombardment)		N, NE, NT *, SN(P) *	
		CN(L) *	
Neutron capture cross-section, or thermal neutron decay time (neutron lifetime)		TDT *, NLL, GST *	
Photoelectric absorption cross-section		LDT *	
Electron density		FDC *, LDT *, D, CD	
Relaxation time of proton spin (nuclear magnetic resonance)		NML	
Elemental composition (induced gamma-ray spectroscopy)		IGT *, GST *, HRS *	
Acoustic velocity		SV, SL, LSS *, BHC *, WST *	
Formation dip		DM, CDM *, HDT *, SHDT *	
Mechanical properties (amplitude of acoustic waves)		A, VDL *	

Πίνακας 1. Ταξινόμηση της μέτρησης διαγραφιών.

2.1. Φυσικά φαινόμενα

(α) Φυσική ραδιενέργεια-γ, η οποία μπορεί να μετρηθεί: (1) ως ποσοστό της συνολικής ακτινοβολίας-γ, όπως στη διαγραφή ακτινοβολίας γ και (2) ως ποσοστό που αντιστοιχεί στις επιλεγμένες ενεργειακές ζώνες, όπως στη φυσική ακτινοβολία γ φασματομετρίας διαγραφιών (NGS ή Natural Gamma-ray Spectrometry).

(β) Φυσικό δυναμικό: διαγραφή φυσικού δυναμικού S.P.

(γ) Θερμοκρασία σχηματισμού: διαγραφή θερμοκρασίας.

(δ) Διάμετρος οπής: καταγραφή διαμέτρου της γεώτρησης (caliper log), το οποίο

είναι στην πραγματικότητα μια μέτρηση που σχετίζεται με τις μηχανικές ή χημικές ιδιότητες του πετρώματος.

(ε) Κλίση της οπής: η απόκλιση της διαγραφίας, η οποία μετρά και τη γωνία της οπής από την κατακόρυφο, και την κατεύθυνσή της (ή το αζιμούθιο).

2.2. Φυσικές ιδιότητες που μετριοούνται με την πρόκληση αντίδρασης σε ένα σχηματισμό

(Α) Ηλεκτρικές μετρήσεις, από την εκπομπή ενός ηλεκτρικού σήματος:

(1) Ειδική αντίσταση ή αγωγιμότητα:

(α) χρησιμοποιώντας ένα σύστημα ηλεκτροδίων: ηλεκτρική έρευνα (ES), laterolog (LL), μικρό-διαγραφία (ML), microlaterolog (MLL), σφαιρικές εστιασμένες διαγραφίες (SFL), μικρό-σφαιρικές εστιασμένες διαγραφίες (MSFL), υψηλή ανάλυση διαγραφιών μέτρησης κλίσεων (dipmeter) (HDT), (SDT).

(β) χρησιμοποίηση των επαγωγικών σπειρών: διαγραφία επαγωγής (IL).

(2) Διηλεκτρική σταθερά, που χρησιμοποιεί τις επαγωγικές σπείρες: ηλεκτρομαγνητικό όργανο διάδοσης (EPT).

(Β) Πυρηνικές μετρήσεις, από την ακτινοβολία του σχηματισμού με ακτίνες-γ ή νετρόνια:

(1) Πυκνότητα. Οι ακτίνες-γ εκπέμπονται από μια πηγή. Ο Compton διασκόρπισε τις ακτίνες-γ επιστρέφοντας από τον σχηματισμό που ανιχνεύονταν: πυκνότητα σχηματισμού ή διαγραφία ακτινοβολίας γ. (FDC *, D, CD, LDT *).

(2) Φωτο-ηλεκτρικός συντελεστής απορρόφησης (σχετικά με το μέσο ατομικό αριθμό). Αυτό είναι ένα φαινόμενο χαμηλής ενέργειας ακτινοβολίας γ, και μετρείται ανάλογα με την πυκνότητα και τη λιθολογική πυκνότητα των διαγραφιών (LDT ή lithodensity log).

(3) Δείκτης υδρογόνου. Ο σχηματισμός βομβαρδίζεται συνεχώς από τα υψηλά ενεργειακά νετρόνια, τα οποία επιβραδύνονται από τη διαδοχική ελαστική σύγκρουση με τους ατομικούς πυρήνες, ιδιαιτέρως εκείνους του υδρογόνου.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές σε χρήση, που περιλαμβάνει την ανίχνευση:

(α) Θερμικών νετρονίων, δηλ. εκείνων των νετρονίων που έχουν επιβραδυνθεί από τη θερμική ενέργεια: νετρόνιο-θερμική διαγραφία νετρονίων (CNL, NT).

(β) Οι ακτίνες-γ εξέπεμψαν όταν αυτά τα θερμικά νετρόνια συλλαμβάνονταν από τους ατομικούς πυρήνες: διαγραφία νετρονίου- ακτινοβολίας γ (N).

(γ) Επιθερμικά νετρόνια, δηλ. εκείνα τα νετρόνια που δεν έχουν επιβραδυνθεί ακόμα στη θερμική ενέργεια: νετρόνιο-επιθερμικό, διαγραφία νετρονίων NE, SNP, CNL.

(4) Το μακροσκοπικό θερμικό νετρόνιο που συλλαμβάνεται σε εγκάρσια τομή (Σ). Τα υψηλής ενέργειας νετρόνια εκπέμπονται σε σύντομες εκρήξεις. Το ποσοστό αποσύνθεσης του πληθυσμού θερμικών νετρονίων στο σχηματισμό μετρείται μεταξύ των εκρήξεων. Αυτό είναι ένα φαινόμενο σύλληψης νετρονίου: θερμικός χρόνος αποσύνθεσης νετρονίων (TDT) ή διαγραφία διάρκειας ζωής νετρονίων (NLL).

(5) Στοιχειώδης σύνθεση. Οι ακτίνες-γ που εκπέμπονται από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των υψηλών ενεργειακών νετρονίων και ορισμένων ατομικών πυρήνων

αναλύονται φασματοσκοπικά. Υπάρχουν τρεις τύποι αλληλεπιδράσεων σημαντικοί για την προκληθείσα φασματοσκοπία ακτίνων-γ:

(α) Γρήγορο νετρόνιο ή ανελαστικές αλληλεπιδράσεις: ανελαστική φασματομετρία ακτίνων-γ (IGT, GST), διαγραφία άνθρακα-οξυγόνου.

(β) Σύλληψη νετρονίου: συλλαμβάνει τη φασματομετρία ακτίνων-γ (GST, IGT), διαγραφία χλωρίου.

(γ) Ενεργοποίηση και επόμενη αποσύνθεση των ραδιοϊσοτόπων: διαγραφία ενεργοποίησης, υψηλή ανάλυση φασματομετρίας (HRS).

(6) Χρόνος χαλάρωσης περιστροφής πρωτονίων. Ένα παλλόμενο DC μαγνητικό πεδίο ευθυγραμμίζει κάθε στιγμή τις πυρηνικές μαγνητικές στιγμές των πρωτονίων. Μετά από τον παλμό, ο χρόνος που απαιτείται για τα πρωτόνια του σχηματισμού για να σταματήσουν στο γήινο μαγνητικό πεδίο, μετريέται. Αυτός ο χρόνος χαλάρωσης περιστροφής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αξιολογηθεί το υπόλοιπο πετρέλαιο. Διαγραφία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NML).

(Γ) Οι ακουστικές μετρήσεις - ένα ακουστικό σήμα στέλνεται στο σχηματισμό. Μπορούμε να μετρήσουμε:

(1) Την ταχύτητα ενός συμπίεστικού κύματος, από το χρόνο μετάβασης μεταξύ δύο δεκτών: ηχητική διαγραφία (SV, SL, BHC). Η ταχύτητα εγκαρσίων κυμάτων μπορεί επίσης να μετρηθεί.

(2) Το χρόνο μετάβασης από μια surface gun σε ένα γεώφωνο: σεισμική μέτρηση (WST).

(3) Το πλάτος μιας επιλεγμένης αιχμηρής κορυφής ή το βύθισμα σε μια σειρά ομοίων ακουστικών κυμάτων που φθάνει σε έναν δέκτη. Οι συμπίεστικές ή οι διατμητικές αφίξεις κυμάτων μπορούν να είναι ενδιαφέρουσες: διαγραφία πλάτους (A).

(4) Τα σχετικά πλάτη των ποικίλων συστατικών μιας σειράς ομοίων κυμάτων, η στερεοδιάταξη μιας σειράς ομοίων κυμάτων μεταβλητή διαγραφία πυκνότητας (VDL), ηχητική κυματομορφή φωτογραφίας, σεισμική γεώτρηση (WST), οπή της γεώτρησης televiewer (BHTV).

2.3. Προβλήματα συγκεκριμένα με τις μετρήσεις διαγραφιών εντός γεωτρήσεων

Αν και θα επιθυμούσαμε οι διαγραφίες να είναι άμεση μέτρηση του σχηματισμού, η ανταπόκριση των διαγραφιών επηρεάζεται αμετάβλητα από την παρουσία της οπής της γεώτρησης (well-bore) και από τη γεωμετρία του ίδιου του εργαλείου διαγραφιών. Τα λειτουργικά προβλήματα μπορούν να δημιουργηθούν από τη θερμοκρασία και την πίεση στη γεώτρηση.

2.3.1. Επίδραση της οπής της γεώτρησης, εισβολή

α) Λάσπη της γεώτρησης

Η επιρροή της λάσπης γεωτρήσεων σε μια απόκριση διαγραφιών εξαρτάται από διάφορους παράγοντες:

- Διάμετρος οπών: Όσο μεγαλύτερη η οπή, τόσο μεγαλύτερος ο όγκος του ρευστού γύρω από το εργαλείο διαγραφιών, και τόσο ισχυρότερη η επίδρασή του στην ανάγνωση διαγραφιών. Επάνω από ένα ορισμένο μέγεθος οπής, μπορεί να υπάρξει πολύ ελάχιστο ή κανένα σήμα από το σχηματισμό. Οι επιχειρήσεις διαγραφιών εντός γεωτρήσεων διευκρινίζουν πάντα ένα συνιστώμενο μέγιστο μέγεθος οπής, εκτός από το ελάχιστο μέγεθος, για την ασφαλή μετάβαση του εργαλείου.

- Τύπος λάσπης και πυκνότητα λάσπης: Εάν μια ορισμένη διαγραφή μπορεί ή όχι ή πρέπει να οργανωθεί, εξαρτάται από τον τύπο της λάσπης γεωτρήσεων στην οπή. Παραδείγματος χάριν, τα ακουστικά σήματα εκπέμπονται φτωχικά σε μια γεμισμένη με αέρα οπή το πετρέλαιο ή ο αέρας δεν θα άγουν το ρεύμα μια κορεσμένη λάσπη σε άλατα, εξαιτίας της υψηλής αγωγιμότητάς της, θα συμβάλει σε ένα σήμα μεγάλης οπής γεωτρήσεων στη διαγραφή επαγωγής (αφ' ετέρου, βελτιώνει την αγωγιμότητα μεταξύ των ηλεκτροδίων και του σχηματισμού, ο οποίος είναι επωφελής στο να εστιάζει στη συσκευή ειδικής αντίστασης). Η αλατότητα της λάσπης έχει επιπτώσεις στην αγωγιμότητα, στην ειδική αντίσταση, και στη μέτρηση του δείκτη υδρογόνου, μεταξύ των άλλων. Η πυκνότητα της λάσπης επηρεάζει την απορρόφηση των ακτίνων-γ. Τα διαγράμματα είναι διαθέσιμα να διορθώσουν αυτές τις επιδράσεις της οπής μιας γεώτρησης

β) Εισβολή

Οι λειτουργίες της λάσπης της γεώτρησης είναι:

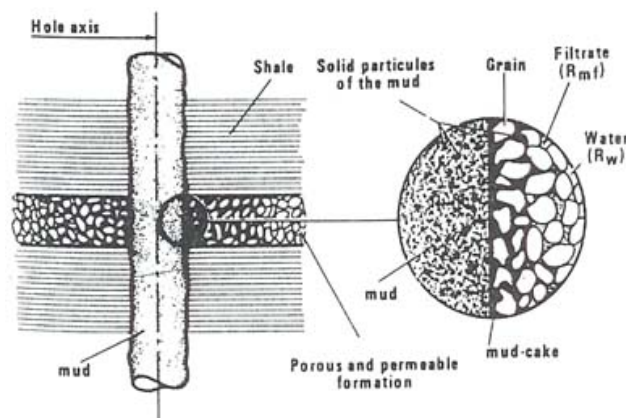
(α) ψύξη του κοπτικού άκρου.

(β) αποτροπή στην οπή από το να καταρρεύσει προς το εσωτερικό.

(γ) παρεμπόδιση της ροής των ρευστών σχηματισμού (μια ακραία περίπτωση της οποίας είναι η "έκρηξη" blow-out).

(δ) να φέρει τα θρύμματα μέχρι την επιφάνεια.

Σε γενικές γραμμές, η λάσπη κρατιέται σε μια ελαφρώς υψηλότερη πίεση από ότι οι πόροι-ρευστά του σχηματισμού, από τον προσεκτικό έλεγχο της πυκνότητας της λάσπης. Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης, υπάρχει μια τάση της λάσπης να διεισδύει στα πορώδη, διαπερατά στρώματα. Αυτό είναι γνωστό ως εισβολή. Τα στερεά μόρια στη λάσπη είναι συνήθως μεγαλύτερα από τους πόρους, και μόνο το υγρό περιεχόμενο μπορεί να εισβάλει στο σχηματισμό. Έτσι κατά τη διάρκεια της γεώτρησης, υπάρχει μια συγκέντρωση του mud-cake στα τοιχώματα της οπής οπουδήποτε η φιλτραρισμένη λάσπη διεισδύει. Τελικά το mud-cake σχηματίζει μια σχεδόν στεγανή μεμβράνη η οποία εμποδίζει μια περαιτέρω εισβολή (Σχ. 1).



Σχήμα 1. Ο σχηματισμός του mud-cake στα τοιχώματα της οπής (Από Serra, 1984).

Η φιλτραρισμένη λάσπη μετατοπίζει κάποιο από το ρευστό του σχηματισμού. Το βάθος της εισβολής εξαρτάται από το πορώδες και τη διαπερατότητα του πετρώματος, τον παράγοντα "απώλεια ύδατος" της λάσπης (η ποσότητα ύδατος που

ελευθερώνεται από τη λάσπη), και τη διαφορά πίεσης μεταξύ της οπής της γεώτρησης και του σχηματισμού.

Για έναν δεδομένο τύπο λάσπης, σε επαφή με έναν σχηματισμό μιας ορισμένης διαπερατότητας και διαβρεξιμότητας, κάτω από μια δεδομένη διαφορική πίεση, το βάθος της εισβολής είναι μεγαλύτερο όσο μικρότερο είναι το πορώδες - θεωρούμε τον όγκο του διηθήματος σταθερό για καθορισμένες συνθήκες. Ο συνολικός όγκος του πετρώματος είναι απαραίτητο να περιέχει αυτό το διήθημα αυξημένο καθώς το πορώδες του μειώνεται.

Το Σχήμα 2 είναι μια σχηματική αναπαράσταση του προφίλ εισβολής. Το πέτρωμα ταμιευτήρας, κοντά στην οπή δεν περιέχει τα ίδια ρευστά όπως πριν από την εισβολή. Οι αλλαγές έχουν εμφανιστεί και οι δύο στη φύση των ρευστών και των αναλογιών τους. Αφού τα εργαλεία διαγραφιών θα διαβάζουν πάντα τουλάχιστον κάποιο από το σήμα της ζώνης εισβολής, αυτές οι αλλαγές πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την προσπάθεια αξιολόγησης του κορεσμού σε ρευστά της ανεπηρέαστης ζώνης, η οποία αντιπροσωπεύει τη δεξαμενή κατά πολύ.

Δεν υπάρχει καμία τέλεια λύση σε αυτό το πρόβλημα. Μια ικανοποιητική προσέγγιση του μοντέλου κατανομής εισβολής ρευστών ως σχεδιάγραμμα παρουσιάζεται στο Σχήμα 3, μεταξύ της πλημμυρισμένης ζώνης ειδικής αντίστασης R_{xo} , και της ανεπηρέαστης δεξαμενής ειδικής αντίστασης R_t . Οι ειδικές αντιστάσεις που μετριοούνται από τα εργαλεία διαφορετικών βαθμών στην έρευνα, συνδυάζονται για να λύσουν τους κορεσμούς των δύο ζωνών (S_{xo} , S_w αντιστοίχως).

γ) Σωλήνωση και συγκολλητικό υλικό

Η παρουσία σωλήνωσης και συγκολλητικού υλικού, αποκλείει συγκεκριμένες μετρήσεις διαγραφιών (ειδική αντίσταση παραδείγματος χάριν). Γενικά, μόνο οι πυρηνικές (και κάποιες ακουστικές) μετρήσεις μπορούν να γίνουν μέσω της σωλήνωσης.

δ) Ρευστή κινητικότητα

Αν και είναι δύσκολο φαινόμενο η αξιολόγηση του ταμιευτήρα από μια άποψη, η εισβολή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένδειξη της κινητικότητας των αποθηκευτικών (reservoir) ρευστών. Κινητικότητα των υδρογονανθράκων είναι η ευκολία μετατόπισής τους.

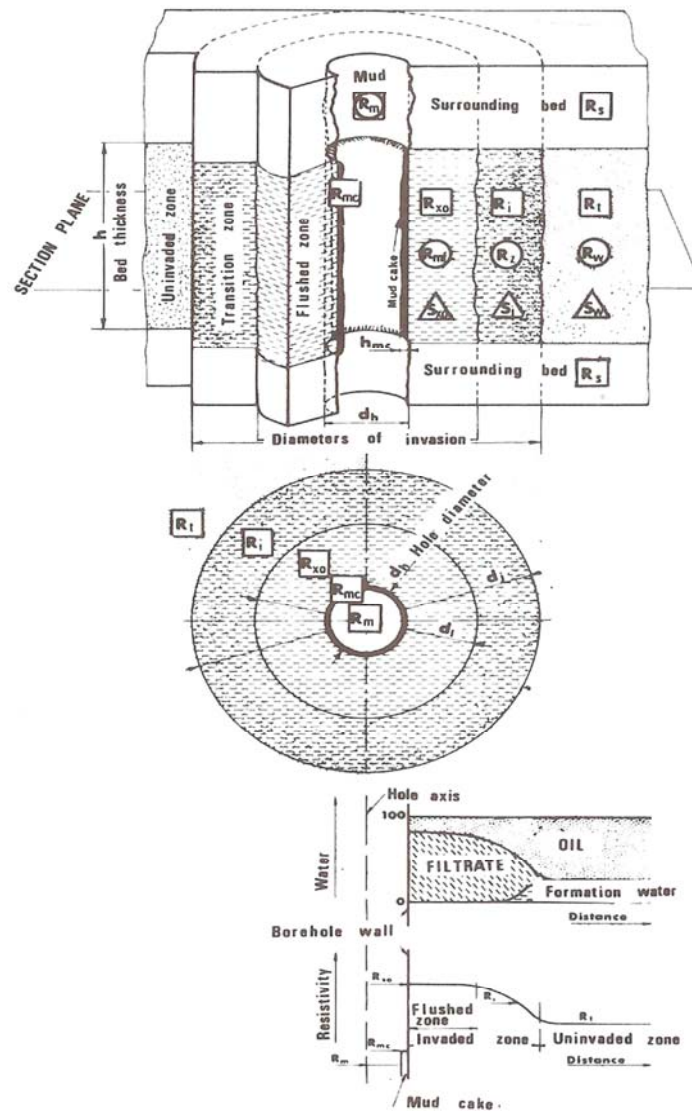
Η διαφορά μεταξύ των κορεσμών S_{xo} και S_w που υπολογίζεται στην εισβολή και τις ανεπηρέαστες ζώνες, είναι η ποσότητα υδρογονάνθρακα που μετατοπίζεται από το διήθημα.

2.3.2. Επίδραση της γεωμετρίας των εργαλείων

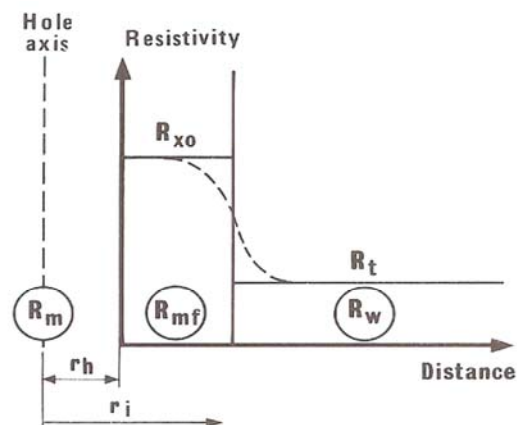
- Διάμετρος εργαλείων, έκκεντρα (excentralization)

Υπάρχει μια ελάχιστη διάμετρος οπών (ή εσωτερική διάμετρος σωλήνων) μέσω της οποίας ένα εργαλείο ενός ορισμένου μεγέθους μπορεί ακίνδυνα να περάσει. Για τις περισσότερες υπηρεσίες διαγραφιών, υπάρχει μια σειρά κατάλληλων διαμέτρων των εργαλείων για τα κοινά μεγέθη οπών, συμπεριλαμβανομένου του ειδικού εξοπλισμού "λεπτών οπών".

Το εργαλείο διαγραφιών μπορεί να υποστηρίξει οποιαδήποτε από τις τρεις θέσεις σχετικά με τον άξονα των οπών (Σχήμα 4) που συγκεντρώνεται, έκκεντρα (excentralized), απέναντι στα τοιχώματα ($\delta = 0$), και απορρίπτεται από τα τοιχώματα



Σχήμα 2. Η κατανομή των ρευστών και ειδικών αντιστάσεων κοντά στη γεώτρηση (Από Serra, 1984).



Σχήμα 3. Απλοποιημένο μοντέλο της κατανομής των ρευστών και ειδικών αντιστάσεων του σχήματος 2 (Από Serra, 1984) .

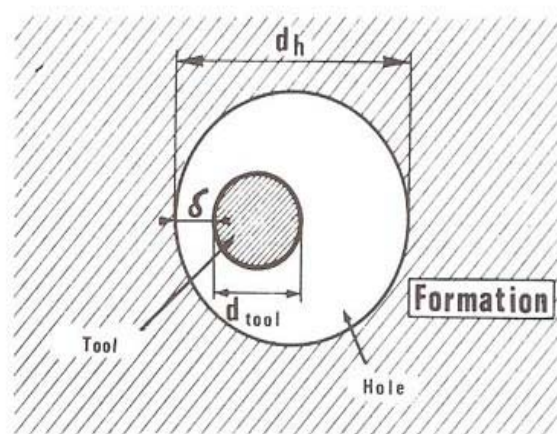
από μια μικρή ποσότητα (δ = σταθερή). Η σωστή θέση εργαλείων είναι υποχρεωτική για μερικές μετρήσεις, και εξασφαλίζεται με τα μηχανικά μέσα ένας ή περισσότεροι

πολυ-οπλισμένοι βραχίονες (BHC), ένας έκκεντρος βραχίονας (excentralizer) (CNL, FDC), λαστιχένια απόκρουση (διαγραφία επαγωγής). Αυτός ο εξοπλισμός γίνεται ακόμα σημαντικότερος στις αποκλίνουσες γεωτρήσεις, όπου το όργανο σεισμικής πηγής της διαγραφίας (sonde) ειδικά θα έπρεπε να βρεθεί κατά μήκος της χαμηλής πλευράς της οπής. (Στην πραγματικότητα, οι γεωτρήσεις είναι σπάνια τέλεια κάθετα.)

Ο συντελεστής του εκκεντρισμού (excentralization) ορίζεται ως:

$$\epsilon = 2\delta / (d_h - d_{\text{tool}})$$

το ϵ είναι 1,0 για ένα τέλεια κεντροθετημένο εργαλείο, και 0 όταν είναι απέναντι στα τοιχώματα των οπών.



Σχήμα 4. Θέση του εργαλείου στην οπή (Από Serra, 1984).

-Διάστημα των αισθητήρων ανίχνευσης, βάθος της έρευνας

Τα εργαλεία διαγραφιών δεν παίρνουν τις αναγνώσεις σημείων τα σήματα που μετρούν προέρχονται από έναν πεπερασμένο όγκο του σχηματισμού (και της οπής της γεώτρησης) που περιβάλλουν τον αισθητήρα.

Η συσκευή ενιαίου-ανιχνευτή (το S.P. ηλεκτρόδιο, ο φυσικός ανιχνευτής ακτίνας-γ, παραδείγματος χάριν) αποκρίνεται σε έναν όγκο, ο οποίος θα ήταν μια σφαίρα, που κεντροθετείται στον αισθητήρα ανίχνευσης, εάν το περιβάλλον μέσο ήταν ομογενές.

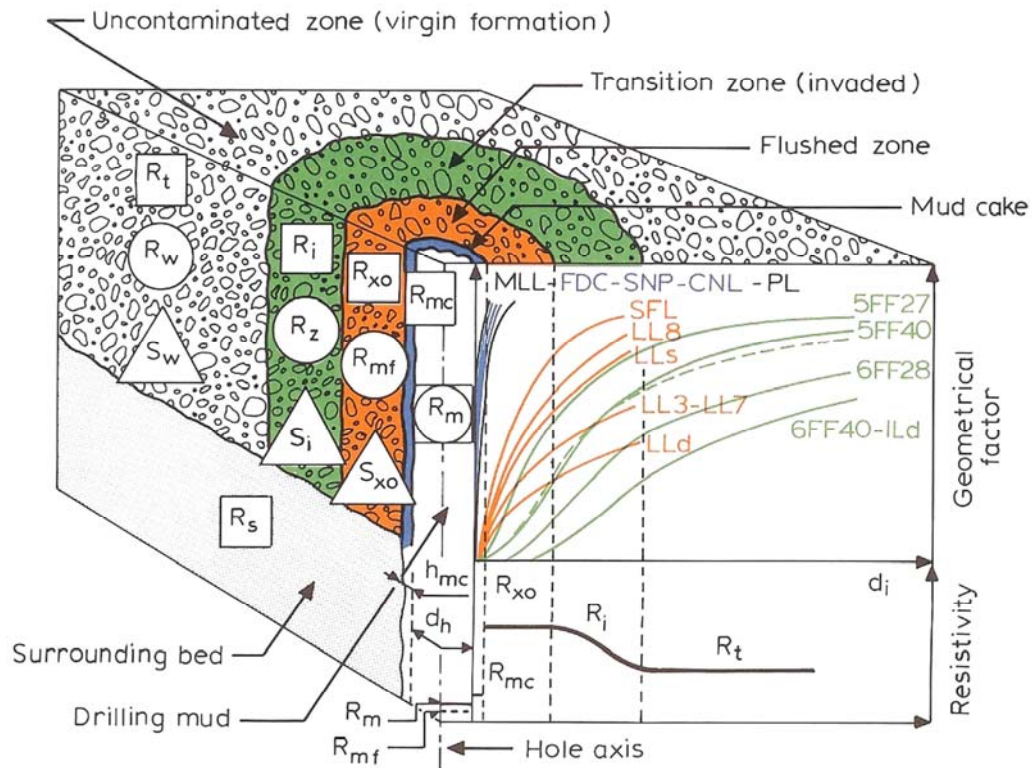
Τα εργαλεία διαγραφιών που χρησιμοποιούν μια πηγή ή έναν εκπομπό (ρεύμα διάταξης ηλεκτροδίων, σπείρες επαγωγής, πηγή νετρονίων, πομπός ακουστικών κυμάτων, κ.λ.π.) και έναν ανιχνευτή (που μετρά το ηλεκτρόδιο, τη σπείρα δεκτών, τον ανιχνευτή νετρονίου ή ακτίνων-γ, τον ακουστικό δέκτη, κ.λ.π.) λαμβάνουν ένα σήμα από τον όγκο του σχηματισμού του οποίου το ύψος είναι της ίδιας τάξης με το διάστημα πηγή-ανιχνευτών.

Όπου χρησιμοποιούνται δύο ανιχνευτές (π.χ. αντισταθμισμένο νετρόνιο ή ηχητικά εργαλεία), η διαφορά μεταξύ των λαμβανόμενων σημάτων είναι ένα μέτρο του σχηματισμού σε μια απόσταση σχεδόν ίση με τον ανιχνευτή διαστήματος.

Κατά συνέπεια οι μετρήσεις διαγραφιών είναι οι μέσες τιμές, που ενσωματώνουν τον όγκο του σχηματισμού, του οποίου οι διαστάσεις και το σχήμα εξαρτάται από τη γεωμετρία των εργαλείων, καθώς επίσης και τη φύση της μέτρησης.

Κατά γενικό κανόνα, το βάθος της έρευνας αυξάνεται με το διάστημα αισθητήρων ανίχνευσης, ενώ ο κάθετος προσδιορισμός επιδεινώνεται. Παραδείγματος χάριν, το

microlog παρέχει τη λεπτότερη κάθετη ανάλυση στρωμάτων, ενώ η βαθιά επαγωγή (ILD) και το laterolog (LLd) έχουν τα μεγαλύτερα βάθη έρευνας στις περισσότερες συνθήκες. Το Σχήμα 5 δείχνει πώς αυτοί οι παράγοντες ποικίλλουν με τη διαμόρφωση εργαλείων.



Σχήμα 5. Αξονικοί γεωμετρικοί παράγοντες των κύριων εργαλείων ειδικής αντίστασης, δείχνουν την κατανομή ρευστών και της ειδικής αντίστασης κοντά στην οπή της γεώτρησης (Από Serra, 1984).

3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ

Ως ακουστικές διαγραφίες μπορούμε να χαρακτηρίσουμε εκείνες που περιλαμβάνουν την καταγραφή μιας παραμέτρου που συνδέεται με την μεταφορά των ηχητικών κυμάτων στο σχηματισμό.

Αυτές οι παράμετροι είναι κυρίως:

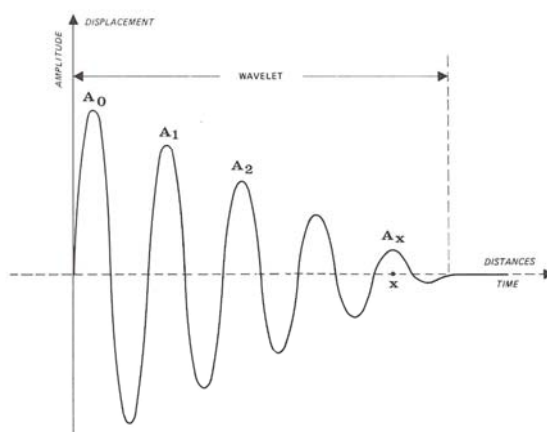
(α) Η ταχύτητα διάδοσης ενός κύματος σε ένα σχηματισμό, που υπολογίστηκε από το χρόνο που χρειάστηκε για να ταξιδέψει σε ένα σχηματισμό ορισμένου πάχους. Αυτή είναι η ηχητική διαγραφή.

(β) Το πλάτος στο δέκτη του πρώτου ή δεύτερου κύματος στο σήμα, είτε στην άφιξη του επιμήκους κύματος είτε του εγκάρσιου κύματος. Αυτό είναι η ηχητική διαγραφή πλάτους που έχει μια σημαντική εφαρμογή ως Διαγραφή Δεσμών Συγκολλητικού υλικού (Cement Bond Log, CBL).

(γ) Το πλάτος και η θέση των θετικών τμημάτων του λαμβανόμενου σήματος. Αυτό είναι η μεταβλητή διαγραφή πυκνότητας (variable density log, VDL).

3.1. Ακουστικά σήματα

Ακουστικό σήμα είναι το ηχητικό κύμα ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης της ακουστικής ενέργειας (Σχήμα 6).



Σχήμα 6. Παράδειγμα ακουστικού σήματος (Από Serra, 1984).

- Περίοδος, T (Σχ. 7)

Περίοδος του κύματος ορίζεται η διάρκεια ενός κύκλου, και μετριέται γενικά σε microseconds. Αντιστοιχεί στο χρόνο που χωρίζει δύο διαδοχικές θετικές αιχμηρές κορυφές κυμάτων (ή αρνητικές αιχμηρές κορυφές), μετρώντας την ίδια τιμή πλάτους στην ίδια κατεύθυνση κάθε φορά.

- Συχνότητα, f (Σχ. 7)

Αυτή αντιστοιχεί στον αριθμό πλήρων κύκλων ανά δευτερόλεπτο και μετριέται σε Hertz (Hz). 1 Hertz = 1 κύκλος /δευτερόλεπτο. Η συχνότητα είναι το αντίστροφο της περιόδου, ως εκ τούτου

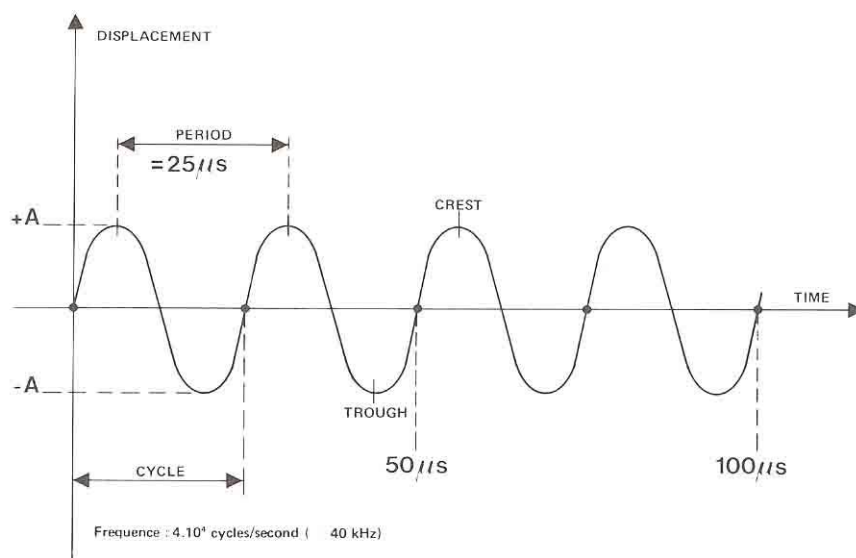
$$f = 1/T$$

- Μήκος κύματος, λ

Μήκος κύματος, λ, είναι η απόσταση που διανύεται σε έναν κύκλο από ένα

μέτωπο κυμάτων. Είναι ίσο με την αναλογία της ταχύτητας διάδοσης (v) και της συχνότητας (f):

$$\lambda = v/f$$



Σχήμα 7. Ορισμός των όρων που χρησιμοποιούνται στα ακουστικά κύματα (Από Serra, 1984).

3.2. Ακουστικά κύματα

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηχητικών κυμάτων, που καθένα χαρακτηρίζεται από ένα ειδικό είδος κίνησης μορίων.

- Επιμήκη ή διαμήκη κύματα (ή P κύματα)

Σε αυτό το κύμα τα μόρια κινούνται σε μια κατεύθυνση παράλληλη στην κατεύθυνση της διάδοσης (Σχ. 8). Η ταχύτητα της διάδοσης είναι μεγαλύτερη για αυτό το είδος κύματος έναντι άλλων και έτσι φθάνει πρώτο. Είναι το μόνο κύμα που διαδίδεται στα υγρά.

- Εγκάρσια κύματα (ή S κύματα)

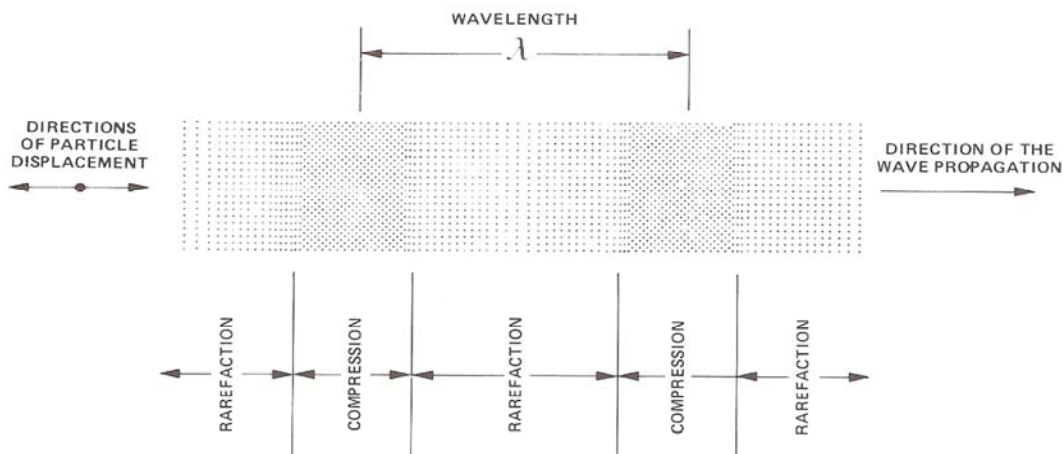
Η κίνηση μορίων είναι σε μια κατεύθυνση κάθετη στην κατεύθυνση των κυμάτων (Σχ. 9). Όπως αναφέρεται, η ταχύτητα της διάδοσης είναι μικρότερη από ότι στο P κύμα με μια αναλογία περίπου 1,6 έως 2. Κανένα εγκάρσιο κύμα δεν διαδίδεται στα υγρά.

Σε ένα σχηματισμό η ηχητική ενέργεια μεταδίδεται και από το επιμήκες και από το εγκάρσιο κύμα. Στη λάσπη, η ενέργεια μεταδίδεται απλώς από τα επιμήκη κύματα.

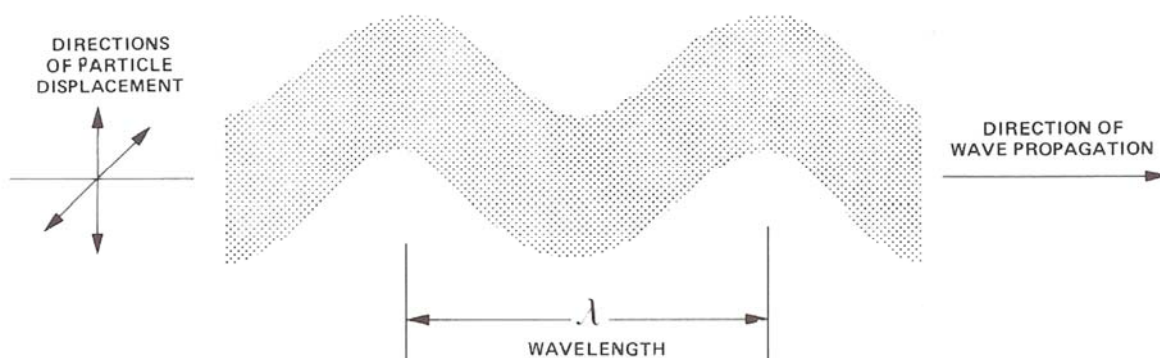
Η ενέργεια που μεταδίδεται από το πιο αργό εγκάρσιο κύμα είναι πολύ υψηλότερη από αυτή του επιμήκους κύματος το οποίο φτάνει πρώτο. Στο πρότυπο των λαμβανόμενων κυμάτων μπορούμε να προσδιορίσουμε το εγκάρσιο κύμα από αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα. Η αναλογία των πλατών είναι της τάξης μεταξύ 15 και 20 έως 1 (Σχ. 10). Δεδομένου ότι οι σχιστόλιθοι είναι λιγότερο άκαμπτοι δομικά, δεν διαβιβάζουν τα εγκάρσια κύματα πολύ καλά.

- Κύματα επιφάνειας

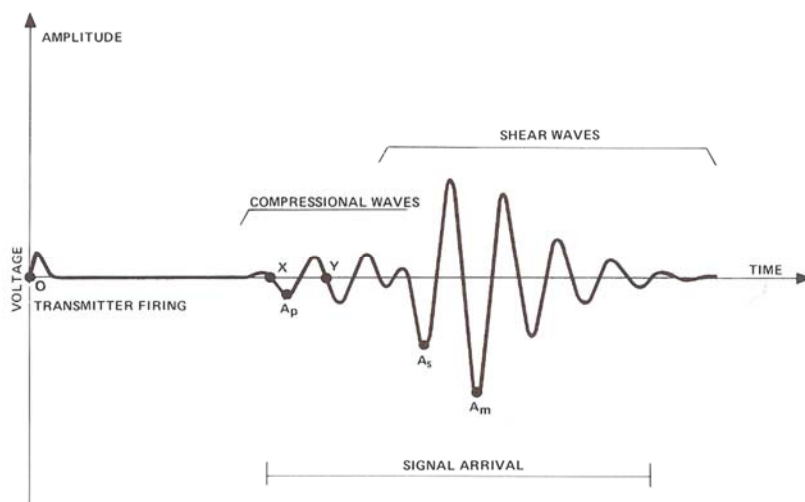
Αυτά είναι κύματα που μεταδίδονται στην επιφάνεια μέσα σε ένα στρώμα του



Σχήμα 8. Επίμηκες κύμα (Από Serra, 1984).



Σχήμα 9. Εγκάρσιο κύμα (Από Serra, 1984).



Σχήμα 10. Διαχωρισμός των επιμηκών και εγκαρσίων κυμάτων από τον χρόνο μετάβασης και το πλάτος τους (Από Serra, 1984).

οποίου το πάχος είναι περίπου ίσο με το μήκος κυμάτων. Διαιρούνται ως εξής:

(α) Κύματα Rayleigh, στα οποία τα υλικά σημεία διαγράφουν ελλείψεις κατά τη διάδοσή τους. Οι ελλείψεις αυτές έχουν το μέγιστο άξονα κατακόρυφο και τον ελάχιστο κατά τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Παπαζάχος, 1989). Κοντά στην επιφάνεια της Γης, η φορά κίνησης του υλικού σημείου πάνω στην ελλειπτική τροχιά

του είναι τέτοια ώστε αυτή να συμπίπτει με τη φορά διάδοσης του κύματος στο κατώτερο σημείο της τροχιάς. Αυτά τα κύματα δεν μεταδίδονται στα υγρά και η ταχύτητά τους είναι περίπου 90% αυτής των εγκάρσιων κυμάτων.

(β) Τα κύματα Love, στα οποία η κίνηση των υλικών σημείων είναι κάθετη στην κατεύθυνση της διάδοσης, αλλά χωρίς οποιαδήποτε κάθετη κίνηση. Είναι γρηγορότερα από τα κύματα Rayleigh.

(γ) Τα κύματα Coupled, στα οποία η κίνηση είναι διαγώνια. Αυτά είναι τα γρηγορότερα κύματα επιφάνειας.

(δ) Υδροδυναμικά κύματα, στα οποία η κίνηση είναι ελλειπτική αλλά συμμετρική στα κύματα Rayleigh.

(ε) Κύματα Stoneley, που είναι το όριο ακουστικών κυμάτων σε μια διαχωριστική επιφάνεια υγρού-στερεού ως αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης του επιμήκους κύματος στο υγρό και του εγκάρσιου κύματος στο στερεό. Εξ ορισμού, το κύμα Stoneley πρέπει να έχει ένα μήκος κύματος μικρότερο από τη διάμετρο της οπής της γεώτρησης. Η κίνηση των υλικών σημείων στο στερεό θα είναι ελλειπτική και παλινδρομική παρόμοια με ένα κύμα Rayleigh. Η ταχύτητα του κύματος Stoneley θα είναι μικρότερη από αυτή του επιμήκους κύματος στο ρευστό ή του εγκάρσιου κύματος στο στερεό.

Σημείωση: Τα ηχητικά κύματα μεταφέρουν την ενέργεια βαθμιαία από την κίνηση των υλικών σημείων κάτω από τις ελαστικές δυνάμεις.

3.3. Ελαστικές ιδιότητες των πετρωμάτων

Αυτές είναι οι ιδιότητες που καθορίζουν τη δυνατότητα ενός σώματος ή ενός πετρώματος να αντισταθούν στη μόνιμη παραμόρφωση όταν παραμορφώνονται ελαφρώς. Όλα τα στερεά, συμπεριλαμβανομένων των πετρωμάτων, ακολουθούν το νόμο του Hooke που δίνει την ανάλογη σχέση μεταξύ της τάσης και του περιορισμού (δύναμη).

(α) Η αναλογία του περιορισμού στην τάση σε μια απλή γραμμική συμπίεση ή μια διαστολή είναι γνωστή ως συντελεστής Young.

$$E = F/S / dL/L$$

όπου (F/S) είναι ο περιορισμός ή η δύναμη που εφαρμόζεται ανά περιοχή επιφάνειας και dL/L είναι ο εφελκυσμός ή η συμπίεση ανά μονάδα μήκους κάτω από την επίδραση της δύναμης.

(β) Η αναλογία της δύναμης στην τάση κάτω από την υδροστατική συμπίεση ή τη διαστολή αντίστοιχα, στον ελαστικό μαζικό συντελεστή.

$$k = F/S / dV/V$$

όπου (dV/V) είναι η μεταβολή ανά μονάδα όγκου κάτω από την επίδραση της δύναμης.

(γ) Η αναλογία της δύναμης στην τάση, κάτω από μια διατμητική δύναμη ή από μια εφαρμοσμένη εφαπτόμενη, στην επιφάνεια μετατόπισης, είναι γνωστή ως

συντελεστής διάτμησης, μ :

$$\mu = F/S / dL/L$$

όπου (F/S) είναι η δύναμη διάτμησης και το dL/L είναι η τάση διάτμησης ή η παραμόρφωση χωρίς αλλαγή στο συνολικό όγκο.

Σε αυτούς τους ελαστικούς συντελεστές πρέπει να προσθέσουμε:

(δ) Τη συμπίεστότητα, c , (ή β) που είναι το αντίστροφο του ελαστικού συντελεστή k .

(ε) Την αναλογία Poisson, σ , η οποία είναι ένα μέτρο της αλλαγής του σχήματος, ή η αναλογία της πλευρικής συστολής στην επιμήκη διαστολή.

$$\sigma = dl/l / dL/L$$

όπου (dl/l) είναι η εγκάρσια ή πλευρική αλλαγή.

(ζ) Η σχέση μεταξύ του διάφορου συντελεστή ελαστικότητας: οι ανωτέρω συντελεστές μπορούν όλοι να εκφραστούν σύμφωνα και με τους δύο. Εάν παραδείγματος χάριν χρησιμοποιήσουμε μ και k έχουμε:

$$E = 9k\mu / 3k + \mu$$

και

$$\sigma = 3k - 2\mu / 6k + 2\mu$$

3.4. Ταχύτητες ηχητικών κυμάτων

Η ταχύτητα του ήχου στα ελαστικά μέσα μπορεί να εκφραστεί χρησιμοποιώντας τους ελαστικούς συντελεστές. Η επιμήκης ταχύτητα κυμάτων, v_L δίνεται από:

$$v_L = (k + 4/3\mu / \rho_b)^{1/2} = (E/\rho_b \cdot 1 - \sigma/(1 + \sigma)(1 - 2\sigma))^{1/2}$$

και η εγκάρσια ταχύτητα, v_T από

$$v_T = (\mu/\rho_b)^{1/2} = (E/\rho_b \cdot 1/2(1 + \sigma))^{1/2}$$

3.5. Διάδοση ηχητικών κυμάτων, ανάκλαση και διάθλαση

Η αρχή των Huyghens, δηλώνει ότι κάθε σημείο που πλησιάζετε από μια ταλάντωση κυμάτων ενεργεί ως νέα πηγή ταλάντωσης ακτινοβολώντας τα σφαιρικά κύματα (Σχ. 11).

Η επιφάνεια που περιγράφεται από την in-phase ταλάντωση, σε οποιαδήποτε στιγμή είναι γνωστή ως μέτωπο κυμάτων. Η επιφάνεια διαχωρισμού μεταξύ του συνόλου των σημείων που είναι (ή ήταν) σε κίνηση και εκείνων που δεν είναι, καθιστά επάνω ένα ιδιαίτερο μέτωπο κυμάτων αποκαλούμενο ως επιφάνεια κυμάτων.

Τα ηχητικά κύματα ακολουθούν το νόμο του Descartes. Υποθέστε ότι έχουμε δύο ομοιογενή μέσα, ισοτροπικά και άπειρα με τις ταχύτητες v_{L1} , v_{T1} και v_{L2} , v_{T2} , που χωρίζονται από μια επίπεδη επιφάνεια.

Κάθε κύμα, L , ακόμα και εκείνα τα απολύτως επιμήκη ή εγκάρσια, προσπίπτουν σε ένα σημείο I που χωρίζει την επιφάνεια με μια γωνία i_1 και προκαλεί τέσσερα νέα κύματα. Δύο από αυτά είναι κύματα ανάκλασης, ένα επίμηκες L_r με μια γωνία r_1 , και ένα εγκάρσιο T_r με μια γωνία r_2 , και τα άλλα δύο είναι διαθλώμενα κύματα, ένα επίμηκες L_R με μια γωνία R_1 και το άλλο εγκάρσιο T_R με μια γωνία R_2 (Σχ. 12).

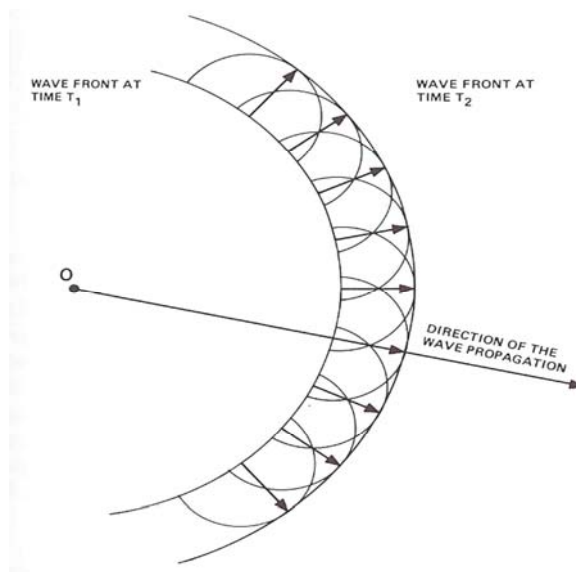
Άλλα ηχητικά κύματα μπορούν να εμφανιστούν οφειλόμενα στη διάθλαση ή τη διασπορά.

Εάν θεωρήσουμε μόνο τα επιμήκη κύματα ο νόμος ανάκλασης είναι:

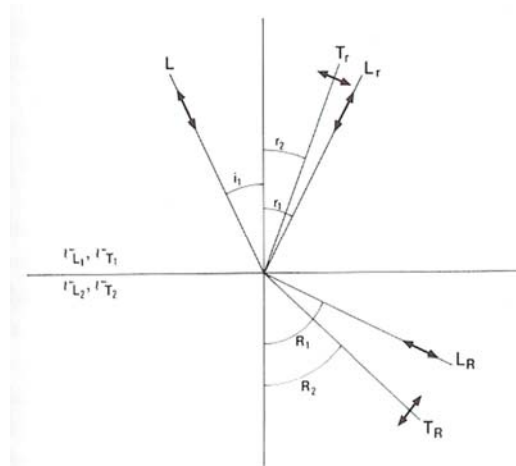
$$i_1 = r_1$$

και ο νόμος διάθλασης είναι:

$$\sin i_1/v_{L1} = \sin R_1/v_L$$



Σχήμα 11. Κύμα διάδοσης (Από Serra, 1984).



Σχήμα 12. Ανάκλαση και διάθλαση σε ένα ηχητικό κύμα (Από Serra, 1984).

Εάν $v_{L2} > v_{L1}$, η γωνία της συνολικής διάθλασης ή η κρίσιμη γωνία της πρόσπτωσης, I , ($R_1 = 90^\circ$) δίνεται από την εξίσωση:

$$\sin I = v_{L1}/v_{L2}$$

Μπορούμε να καθορίσουμε δύο κρίσιμες γωνίες πρόσπτωσης, μια για τα επιμήκη και μια για τα εγκάρσια κύματα.

Εάν εξετάζουμε τα ανακλώμενα και διαθλώμενα κύματα που δίνονται από ένα εγκάρσιο κύμα, έχουμε:

$$\sin i_1/v_{L1} = \sin r_2/v_{T1}$$

και

$$\sin i_1/v_{L1} = \sin R_2/v_{T2}$$

Σημείωση: Στην περίπτωση μιας γεώτρησης (wellbore) όπου το μέσο I είναι ένα ρευστό, το ανακλώμενο εγκάρσιο κύμα δεν υπάρχει.

3.6. Ακουστική αντίσταση

Αυτή δίνεται από το γινόμενο της πυκνότητας ενός μέσου με την ταχύτητα του ήχου στο μέσο:

$$r = v_1 \rho_1$$

3.7. Συντελεστής ανάκλασης

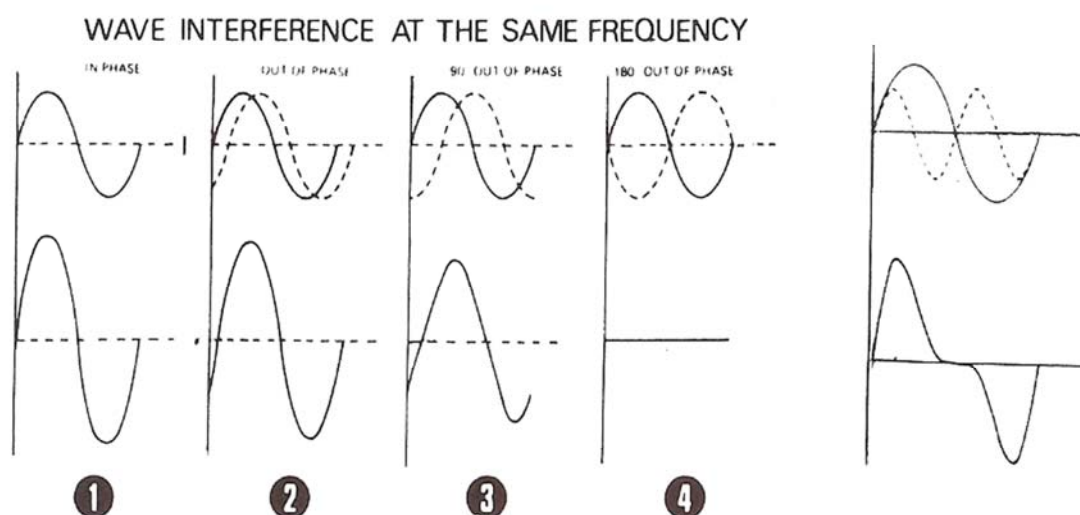
Στην περίπτωση ενός προσπίπτοντος κανονικού κύματος σε μια επιφάνεια, αυτός ο συντελεστής ανάκλασης, είναι η αναλογία της ανακλώμενης ενέργειας προς την προσπίπτουσα ενέργεια:

$$R_{1-2} = v_2 p_2 - v_1 p_1 / v_2 p_2 + v_1 p_1$$

Όταν η γωνία της πρόσπτωσης ποικίλλει, η αναλογία αλλάζει από το R_{1-2} και εξαρτάται από το i_1 , v_{T1} και v_{T2} .

3.8. Παρεμβολή κυμάτων

Οι παρεμβολές εμφανίζονται όταν φθάνουν κύματα της ίδιας συχνότητας στο ίδιο σημείο. Αυτή τη στιγμή τα μόρια υποβάλλονται σε δύο διαφορετικές δυνάμεις που μπορούν είτε να ενισχύσουν είτε να τείνουν να εξουδετερώσουν (τα κύματα) ανάλογα με τη διαφορά φάσης (Σχ. 13).

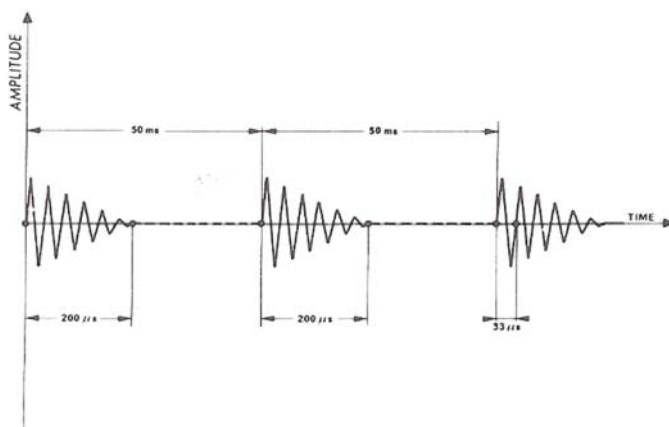


Σχήμα 13. Φαινόμενο παρεμβολής σε ακουστικά κύματα ίδιας συχνότητας 1, 2, 3 και 4 είναι του ίδιου μήκους κύματος (Από Serra, 1984).

Στην περίπτωση των ηχητικών, εκπεμπόμενων κυμάτων, αυτά ανακλώνται ή διαθλώνται στα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης. Εντούτοις, όπως αυτή δεν είναι τέλεια κυλινδρική και ο άξονας των εργαλείων είναι σπάνια στον άξονα των οπών, παρεμβολές κυμάτων μπορεί να εμφανίζονται.

4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΉΧΟΥ (ηχητική διαγραφή)

Μια διάταξη μετατροπής της μαγνήτισης (magnetostrictive transducer), που διεγείρεται από την επιφάνεια από ένα σήμα, εκπέμπει ένα ηχητικό κύμα (Σχ. 14), του οποίου η μέση συχνότητα είναι της τάξης των 20 έως 40 kHz. Η διάρκεια της εκπομπής είναι σύντομη αλλά επαναλαμβάνεται αρκετές φορές ανά δευτερόλεπτο (10 έως 60 φορές ανάλογα με το εργαλείο). Το κύμα διαδίδεται σε όλες τις κατευθύνσεις από τον πομπό, παράγοντας έτσι σφαιρικές κυματομορφές. Η κυματομορφή που περνά μέσω της λάσπης είναι προσπίπτουσα επάνω στα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης και αυξάνεται με το χρόνο και η γωνία πρόσπτωσης καθώς η απόσταση από τον πομπό αυξάνεται (Σχ. 15).



Σχήμα 14. Σχηματική αναπαράσταση του σήματος που εκπέμπεται από τη διάταξη μετατροπής (transducer) (Από Serra, 1984).

Μπορούμε να εξετάσουμε διάφορες περιπτώσεις:

(α) Εάν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη από την κρίσιμη γωνία κάθε προσπίπτων επίμηκες κύμα * προκαλεί:

(1) δύο επιμήκη κύματα, ένα ανακλώμενο, ένα διαθλώμενο και (2) ένα διαθλώμενο εγκάρσιο κύμα (το ανακλώμενο εγκάρσιο κύμα δεν μπορεί να διαδοθεί στη λάσπη).

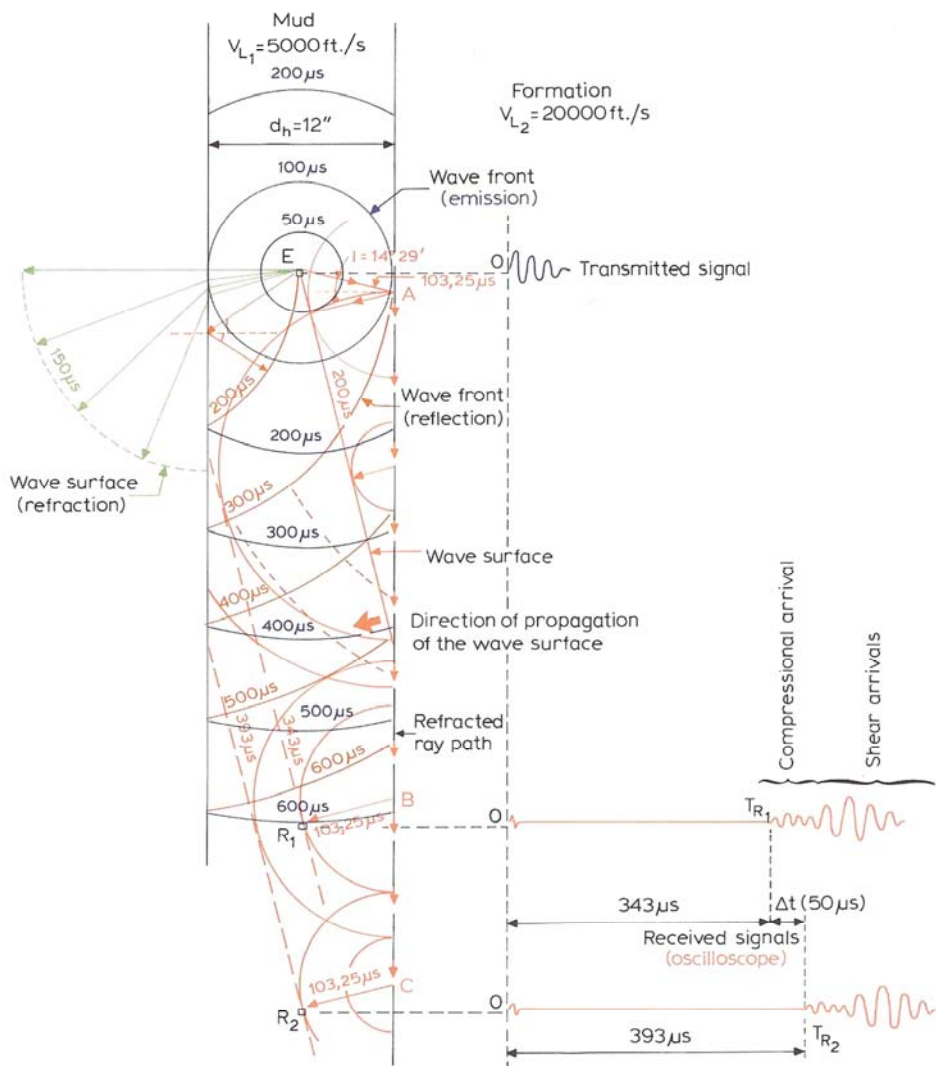
(β) Εάν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία το προσπίπτων επίμηκες κύμα παράγει ένα ενιαίο ανακλώμενο επίμηκες κύμα.

Τα προσπίπτων ή ανακλώμενα επιμήκη κύματα που ταξιδεύουν στη λάσπη είναι πιο αργά από τα διαθλώμενα επιμήκη κύματα που διαδίδονται στο σχηματισμό, δεδομένου ότι η ταχύτητα του ήχου στο έδαφος είναι μεγαλύτερη από αυτή στη λάσπη.

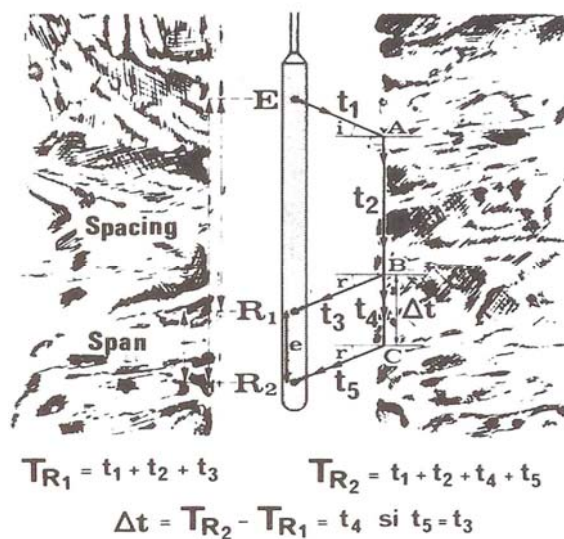
Μεταξύ των διαθλώμενων επιμηκών κυμάτων ενδιαφερόμαστε ιδιαίτερα για εκείνα τα κύματα που διαθλώνται στην κρίσιμη γωνία (Σχ. 16), δεδομένου ότι διαδίδονται κατά μήκος των τοιχωμάτων της οπής της γεώτρησης με μια ταχύτητα V_{L2} .

Κάθε σημείο που πλησιάζεται από αυτό το κύμα ενεργεί ως νέα πηγή που μεταδίδει τα κύματα, δημιουργώντας έτσι αποτελεσματικά τους κώνους των κυμάτων στη λάσπη που ταξιδεύουν με μια ταχύτητα V_{L1} .

* Δεν υπάρχει κανένα προσπίπτων εγκάρσιο κύμα καθώς αυτά δεν διαδίδονται στη λάσπη.



Σχήμα 15. Διάδοση των ακουστικών κυμάτων στο φρεάτιο. Αρχή για τη μέτρηση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης (εργαλείο με δύο δέκτες) (Από Serra, 1984).



Σχήμα 16. Σχηματικά η αρχή της μέτρησης του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης (εργαλείο με δύο δέκτες) (Από Serra, 1984).

Εάν τοποθετήσουμε δύο δέκτες, R_1 και R_2 σε ορισμένες αποστάσεις από τη συσκευή αποστολής σημάτων (πομπός) και κατά μήκος των αξόνων του εργαλείου και της οπής φτάνει (σε αυτούς τους δέκτες) το ηχητικό (κύμα) κατά περιόδους T_{R1} και T_{R2} , αντιστοίχως που δίνεται:

$$T_{R1} = EA/v_{L1} + AB/v_{L2} + BR_1/v_{L1}$$

$$T_{R2} = EA/v_{L1} + AB/v_{L2} + BC/v_{L2} + CR_2/v_{L1}$$

Μπορούμε έτσι:

(α) να μετρήσουμε το χρόνο T_{R1} (ή T_{R2}) που χρειάστηκε για το ηχητικό κύμα να φθάσει στο R_1 (ή R_2). Αυτή η μέθοδος είναι γνωστή ως χρόνος ενιαίων δεκτών. Εντούτοις, ο συνολικός χρόνος πρέπει να διορθωθεί από το χρόνο που ξοδεύτηκε περνώντας και διασχίζοντας τη λάσπη. Αυτό δίνει:

$$AB/v_{L2} = T_{R1} - EA/v_{L1} - BR_1/v_{L1}$$

Γνωρίζοντας το AB (που δεν είναι ίσο με το ER_2) μπορούμε, να συμπεράνουμε το v_{L2} . Εντούτοις, πρέπει να ξέρουμε τη διάμετρο της οπής, ενδεχομένως από μια διαγραφία διαμέτρου των οπών (caliper log).

ή

(β) να μετρήσουμε το χρόνο Δt που παρήλθε μεταξύ των κυμάτων άφιξης στο R_1 και R_2 . Αυτή είναι η μέθοδος των δύο δεκτών. Ο χρόνος Δt , γνωστός ως χρόνος μετάβασης, είναι άμεσα ανάλογος προς την ταχύτητα του ήχου στο σχηματισμό και την απόσταση μεταξύ των δύο δεκτών R_1 και R_2 .

Εάν το εργαλείο είναι στο κέντρο της οπής και η οπή είναι ομοιόμορφης διαμέτρου έχουμε, στην πραγματικότητα:

$$\Delta t = T_{R2} - T_{R1} = BC/v_{L2}$$

$$\text{καθώς } BR_1/v_{L1} = CR_2/v_{L1} \text{ και } BC = R_1R_2$$

Σημείωση 1: Εάν η απόσταση R_1R_2 είναι ένα πόδι η μέτρηση δίνει το χρόνο μετάβασης για ένα πόδι. Από αυτό το χρόνο παίρνουμε την ταχύτητα χρησιμοποιώντας:

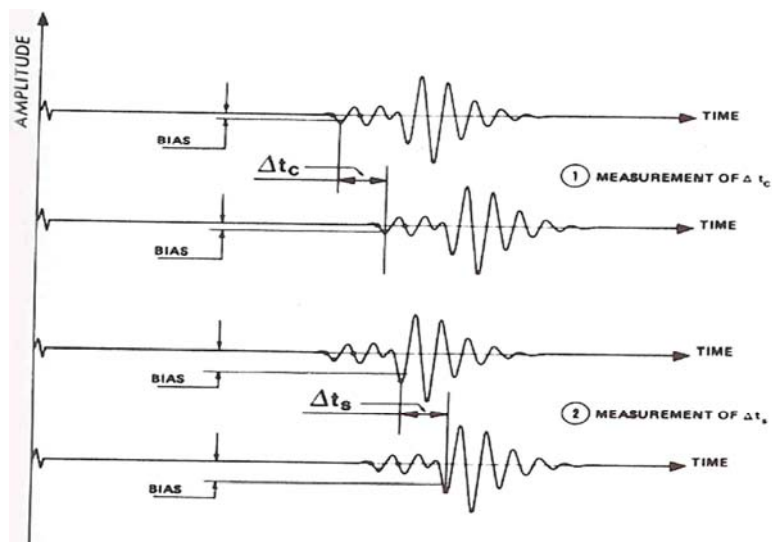
$$\Delta t_{(\mu s/ft)} = 10^6/v_{(ft/s)}$$

Η μέτρηση της πρώτης άφιξης κυμάτων, αφορά μόνο εκείνα τα κύματα που διαθλώνται στην κρίσιμη γωνία δεδομένου ότι αυτά είναι γρηγορότερα. Στην πραγματικότητα: (α) άλλα επιμήκη κύματα διαθλώνονται μέσα στο σχηματισμό που ταξιδεύουν με την ίδια ταχύτητα, όπως της πρώτης άφιξης, αλλά οφείλονται στο μήκος πορειών τους γενικά, που φθάνουν αργότερα (βλ. τα κύματα που παρουσιάζονται σε πράσινο στο Σχήμα 15) και (β) τα εγκάρσια κύματα διαθλώνονται μέσα στο σχηματισμό που ταξιδεύουν, πιο αργά από τα επιμήκη κύματα, και έτσι προκαλούν τα πιο πρόσφατα κύματα στο δέκτη. Εντούτοις, δεδομένου ότι η ενέργειά τους είναι υψηλότερη, φαίνονται εύκολα στον παλμογράφο και μπορούν να ανιχνευθούν.

Σημείωση 2: Ο συμπίεστικός ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης, προέρχεται από τη διαφορά μεταξύ των πρώτων συμπίεστικών χρόνων άφιξης (που βρίσκονται από την ανίχνευση κατώτατων ορίων) στους δύο δέκτες είναι εύλογα ακριβής, δεδομένου ότι η συμπίεστική άφιξη ανιχνεύεται εύκολα επειδή φθάνει πρώτα και επειδή στα χρησιμοποιούμενα διαστήματα γενικά, ξεχωρίζουν έναντι του παρασιτικού θορύβου που προηγείται.

Σε κάθε περίπτωση, η άφιξη του κύματος από μπροστά σχετικά με το διαθλώμενο εγκάρσιο κύμα, θα μπορούσε να εντοπιστεί με την αύξηση του ορίου ανίχνευσης κυμάτων σε ένα επίπεδο πλάτους κυμάτων πιο υψηλό, από αυτό που χρησιμοποιήθηκε για να ανιχνεύσει τις συμπίεστικές αφίξεις.

Πράγματι, οι αφίξεις των εγκαρσίων κυμάτων, έχουν γενικά υψηλότερη ενέργεια και έτσι μπορούν να διαχωριστούν από τα συμπίεστικά P κύματα. Αυτό επιτρέπει σε μας να μετρήσουμε τον ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης του εγκαρσίου κύματος (Σχ. 17).



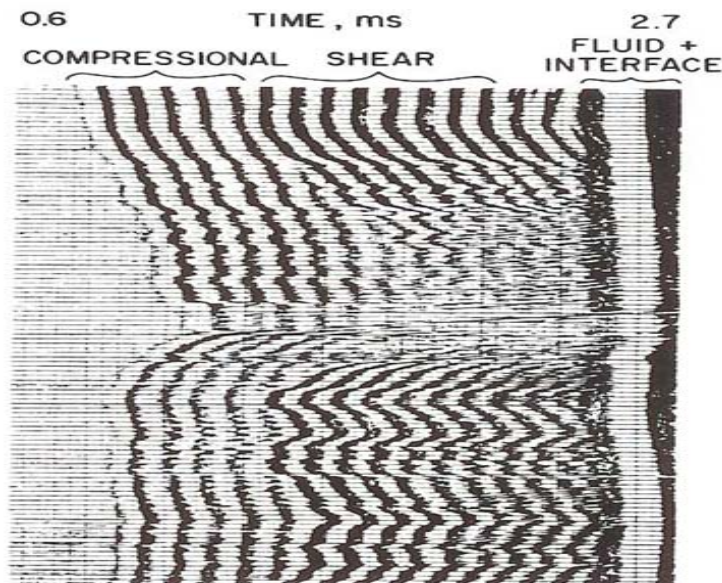
Σχήμα 17. Μέθοδος για τη μέτρηση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης του εγκαρσίου κύματος (Από Serra, 1984).

Αυτή η μέτρηση μπορεί να ληφθεί από μια μεταβλητή διαγραφή πυκνότητας (βλ. παρακάτω). Στο Σχήμα 18 κάποιος μπορεί να αναγνωρίσει τις συμπίεστικές αφίξεις που διαμορφώνουν το πρώτο σύνολο ζωνών και παρουσιάζουν επίσης τις σχεδόν ομοιόμορφες αποκλίσεις στο χρόνο καθυστέρησης με το μεταβαλλόμενο βάθος. Οι αφίξεις των εγκαρσίων κυμάτων μπορούν να διαλεχτούν ως το πιο πρόσφατο σύνολο ζωνών, οι οποίες γενικά είναι υψηλότερης ενέργειας (υψηλότερο πλάτος και επομένως σκοτεινότερο ίχνος). Παρουσιάζουν πάλι τις αποκλίσεις στο χρόνο καθυστέρησης με το βάθος, αλλά είναι διαφορετικές στη μορφή από εκείνες των συμπίεστικών ζωνών, λόγω της χαμηλότερης ταχύτητάς τους (η γωνία είναι υψηλότερη). Οι ρευστές αφίξεις μπορούν να προσδιοριστούν κατά παρόμοιο τρόπο. Επίσης χρήσιμο για τον προσδιορισμό, είναι η χρήση της διαγραφίας μεταβλητής πυκνότητας για την εκτίμηση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης των εγκαρσίων κυμάτων. Ωστόσο δεν είναι αξιόπιστη λόγω της έλλειψης χρονικής ανάλυσης στην οθόνη.

Ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης μπορεί αυτόματα να ληφθεί με τη χρησιμοποίηση του Schlumberger Long Spacing Sonic tool (Σχ.19). Τα πλεονεκτήματα αυτού του νέου εργαλείου είναι τα ακόλουθα:

(α) Καταγράφει ψηφιακά ολόκληρη την λαμβανόμενη κυματομορφή (όχι την πρώτη άφιξη) από την οποία οι συμπίεστικές, οι διατμητικές και οι ρευστές αφίξεις μπορούν να χωριστούν και να μελετηθούν.

(β) Το διάστημα μπορεί να ποικίλη μια αύξηση του διαστήματος μεταξύ του



Σχήμα 18. Χρήση της μεταβλητής διαγραφίας πυκνότητας για την ανίχνευση των αφίξεων (Κατά Aron et.al., 1978 από Serra, 1984).

πομπού και των δεκτών επιτρέπει τον επαρκή χρονικό διαχωρισμό μεταξύ των διάφορων αφίξεων, μια καλή αναλογία σήματος προς το θόρυβο και μια ελάχιστη διαστρέβλωση σημάτων.

(γ) Η συχνότητα που χρησιμοποιείται είναι χαμηλότερη (= 11 kHz αντί για 20 kHz).

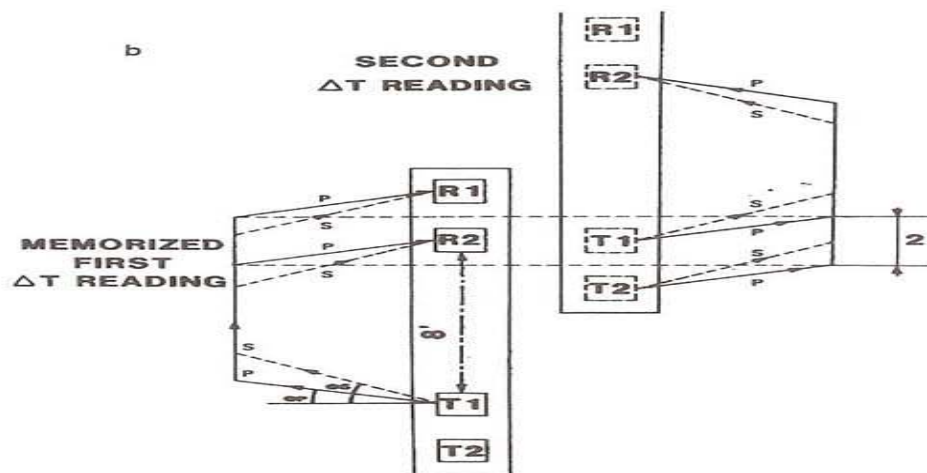
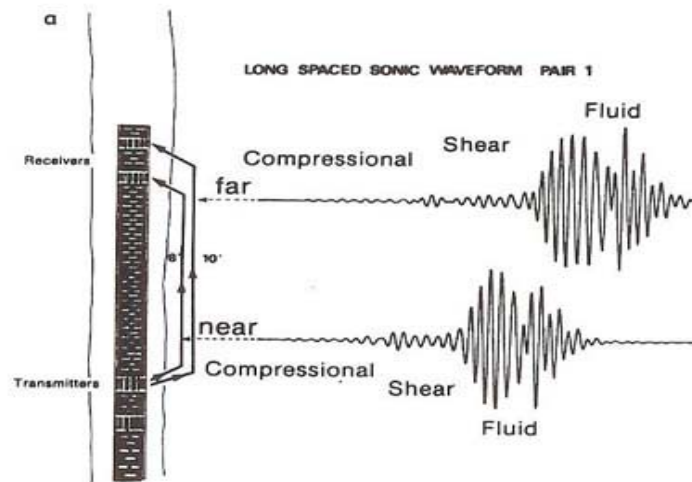
Αυτό επιτρέπει μια χαμηλότερη απόσβεση του σήματος.

Ενδιαφέρον για τη μέτρηση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης των εγκαρσίων κυμάτων, έχει παρουσιαστεί από τον Pickett (1963). Έχει καταδείξει ότι η αναλογία των συμπίεστικών ταχυτήτων προς αυτή των εγκαρσίων (v_L / v_T), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λιθολογικός δείκτης (Σχήματα 20 και 21). Περαιτέρω έρευνες φαίνεται να το επιβεβαιώνουν αλλά δείχνουν επίσης την επιρροή της υφής στη μέτρηση.

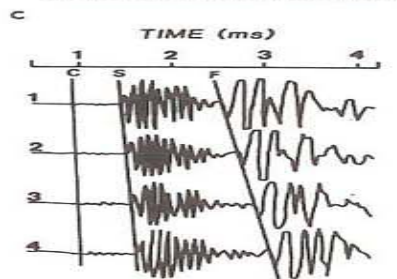
4.1. Η οπή της γεώτρησης αντιστάθμισε το ηχητικό

Εάν υπάρχουν έγκοιλα στα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης ή, όπου ο άξονας εργαλείων τείνει στον άξονα οπών, για κάποιους λόγους, ο χρόνος μετάβασης είναι λανθασμένος, δεδομένου ότι ο χρόνος διάδοσης της λάσπης δεν είναι ο ίδιος και για τους δύο δέκτες.

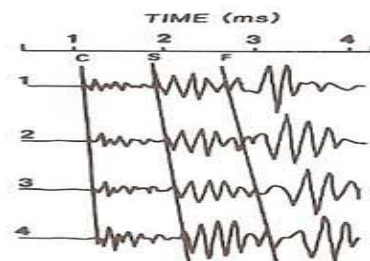
Ένας τρόπος για να αντιδράσει αυτό, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα εργαλείο που έχει δύο πομπούς και τέσσερις δέκτες που διευθετούνται ανά ζεύγη, δύο σε κάθε πομπό. Τα Σχήματα 22 και 23 δείχνουν πώς η επίδραση του έγκοιλου ή η κλίση των εργαλείων αντιστρέφεται για το δεύτερο ζευγάρι πομπού-δέκτη. Ο μέσος όρος δύο μετρήσεων, μια για κάθε δέκτη, πρέπει να εξαλείψει την επίδραση. Το εργαλείο αρχικά διαβιβάζεται από το E_1 χρησιμοποιώντας τους δέκτες R_1 και R'_1 και έπειτα από το E_2 χρησιμοποιώντας τους R_2 και το R'_2 . Ο μέσος όρος λαμβάνεται από δύο μετρήσεις. Αυτός ο μέσος όρος είναι που καταγράφεται (Σχ. 24).



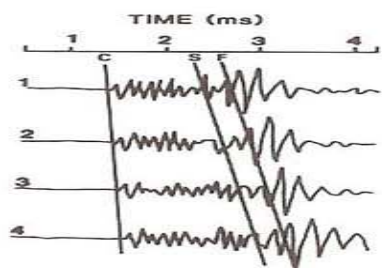
C and S indicate onset of compressional and shear
F_a indicates arrival time for DT = 189 μ sec / ft.



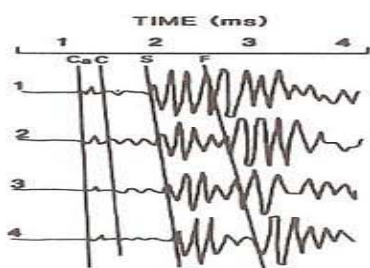
a) Fast Formation Uncased
 $\Delta T_C = 51 \mu\text{s/ft}$, $\Delta T_S = 85 \mu\text{s/ft}$



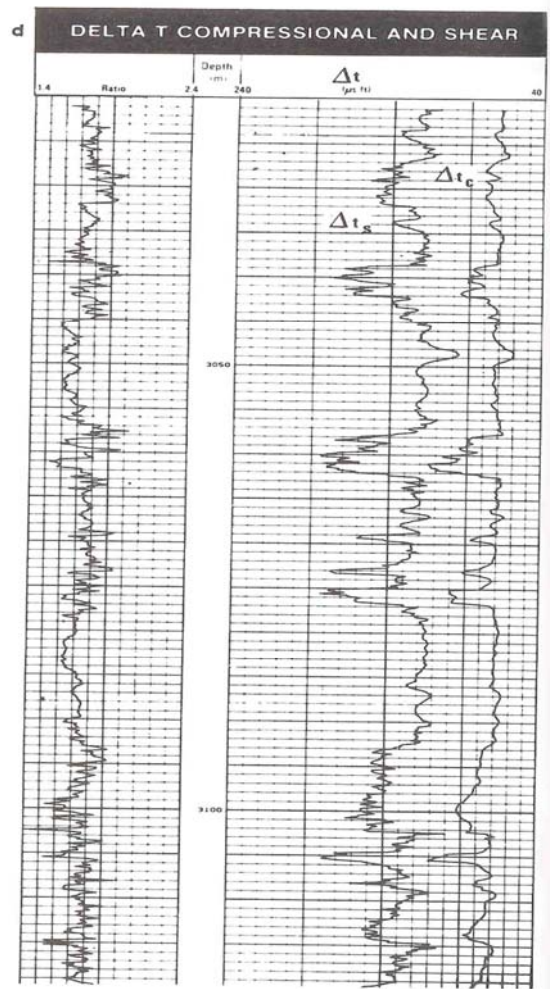
b) Intermediate Formation Uncased
 $\Delta T_C = 72 \mu\text{s/ft}$, $\Delta T_S = 130 \mu\text{s/ft}$



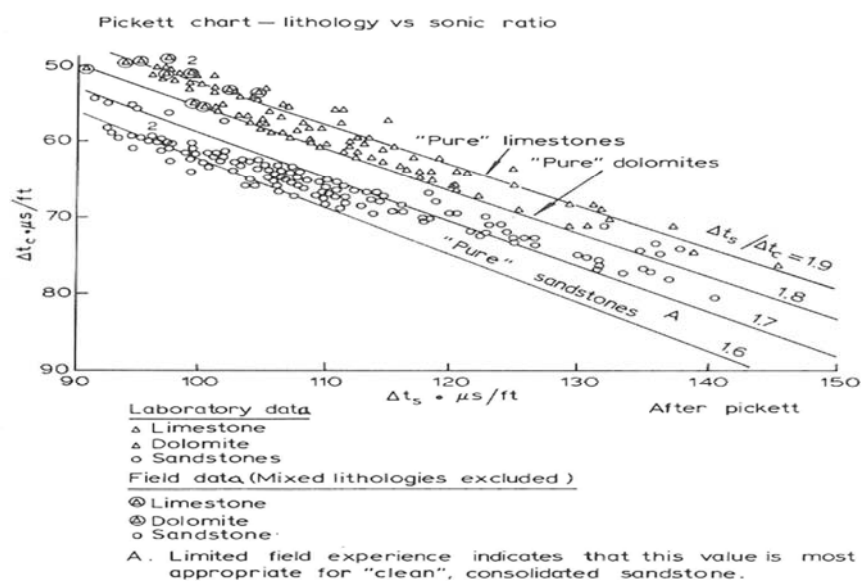
c) Slow Formation Uncased
 $\Delta T_C = 105 \mu\text{s/ft}$, $\Delta T_S = 183 \mu\text{s/ft}$



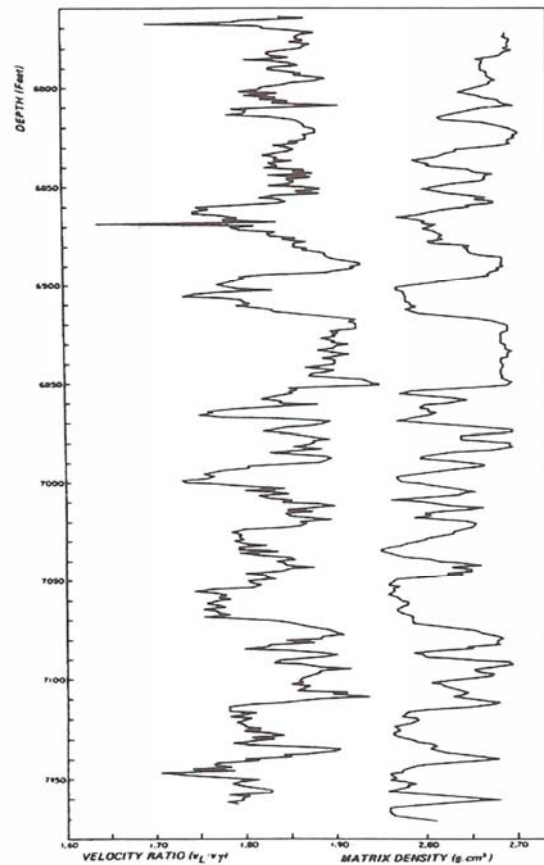
d) Cased Hole Poorly Bonded
 $\Delta T_C = 75 \mu\text{s/ft}$, $\Delta T_S = 125 \mu\text{s/ft}$



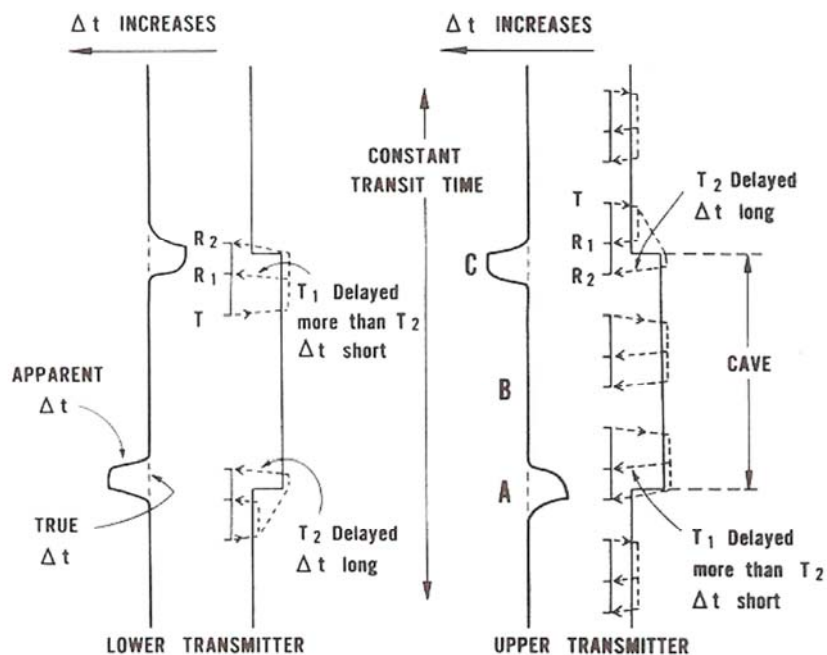
Σχήμα 19. a. Το Long Spacing Sonic tool του Schlumberger. b. Αρχή της μέτρησης. c. Χαρακτηριστικό ολόκληρου του σήματος όπως καταγράφεται από το Long Spacing Sonic tool. d. Παράδειγμα του Δt του συμπιεστικού και εγκάρσιου κύματος.



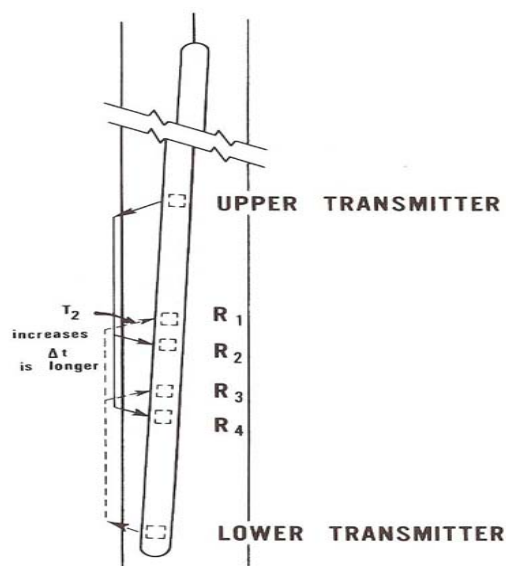
Σχήμα 20. Ορισμός της λιθολογίας από την αναλογία (v_L / v_T) (Κατά Pickett, 1963 από Serra, 1984).



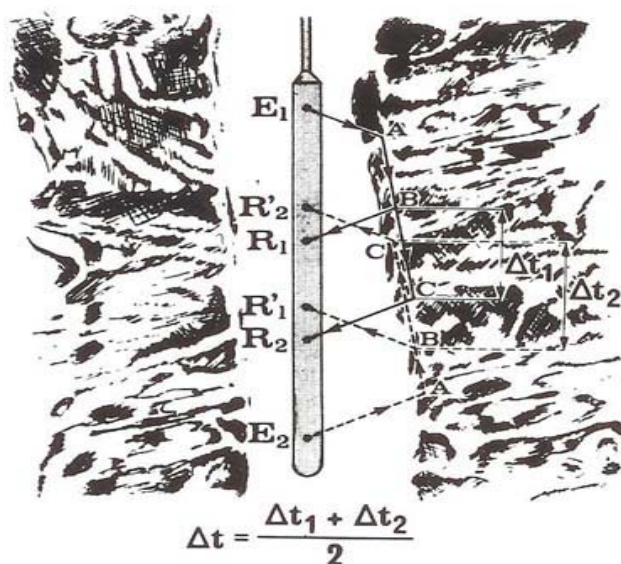
Σχήμα 21. Παράδειγμα διαγραφίας της αναλογίας (v_L / v_T) και σύγκριση με την πυκνότητα του υλικού πλήρωσης που μετρείται από τους πυρήνες (Κατά Pickett, 1963 από Serra, 1984).



Σχήμα 22. Επίδραση του έγκυλου στη μέτρηση Δt . α. Πομπός πάνω από δέκτες. β. Πομπός κάτω από δέκτες (Κατά Kokesh et. al., 1969 από Serra, 1984).



Σχήμα 23. Επίδραση της κλίσης του εργαλείου στη μέτρηση του Δt (Κατά Kokesh et. al., 1969 από Serra, 1984).



Σχήμα 24. Αρχή της οπής της γεώτρησης-αντιστάθμιση του ηχητικού (Από Serra, 1984)

4.2. Βάθος έρευνας

Στη BHC (αντισταθμιζόμενη ηχητική ανασκαφή), η πρώτη άφιξη ανιχνεύεται και είναι η γρηγορότερη και συνδέεται με τα επιμήκη κύματα που διαθλώνται στην κρίσιμη γωνία.

Διαισθητικά, σε αυτές τις συνθήκες, το βάθος έρευνας πρέπει να είναι της τάξης των μερικών εκατοστών. Εντούτοις, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη το μήκος κύματος λ . Τα εργαστηριακά πειράματα δείχνουν ότι ένα πάχος τουλάχιστον 3λ απαιτείται για να διαδώσει ένα κύμα πίεσης μέσω διάφορων ποδιών του σχηματισμού.

Ξέροντας τη συχνότητα f και ότι η v κυμαίνεται μεταξύ 5000 και 25.000 ft/s, το λ ποικίλλει μεταξύ 8 και 40cm (για f ίσο με 20 kHz) και από 4 έως 20 cm (για f ίσο με

40 kHz).

Ως εκ τούτου, το βάθος της έρευνας ποικίλλει, μεταξύ 12cm και 100cm. Πρέπει να είναι μια συνάρτηση της ταχύτητας του σχηματισμού. Στην πραγματικότητα, όταν η ζώνη εισβολής/ περιοχή έρευνας είναι βαθιά και πλήρης ενός ρευστού, του οποίου η ηχητική ταχύτητα είναι μικρότερη από αυτή του ρευστού στην ανεπηρέαστη ζώνη, ένα μικρό διάστημα θα δώσει την ταχύτητα του ήχου στη ζώνη εισβολής, και ένα μεγάλο διάστημα στον ανεπηρέαστο σχηματισμό.

Αυτό ισχύει επίσης στην περίπτωση των σχηματισμών μικροθραύσης που προκαλούνται με τη διάτρηση (σε μερικούς σχιστόλιθους), και ως εκ τούτου το ενδιαφέρον του μεγάλου διαστήματος των ηχητικών εργαλείων στους ογκώδεις σχιστόλιθους.

Παρατήρηση. Κάποιος πρέπει να λάβει υπόψη ότι μια αύξηση του διαστήματος συνεπάγεται μια μείωση του πλάτους του σήματος που λαμβάνεται στον ανιχνευτή. Εάν η απόσβεση είναι πάρα πολύ ισχυρή το πλάτος της πρώτης άφιξης μπορεί να είναι πάρα πολύ χαμηλό και συνεπώς η πρώτη άφιξη δεν ανιχνεύεται να δίνει μια λανθασμένη μέτρηση του ενδιαμέσου χρόνου μετάβασης. Έτσι το μεγάλο διάστημα, θα βελτιώσει τη μέτρηση Δt , μόνο εάν η απόσβεση του σήματος δεν είναι πολύ σημαντική.

Σε αντίθεση, εάν η ζώνη εισβολής είναι ενός βάθους 50cm και έχει μια ταχύτητα υψηλότερη από ότι ο ανεπηρέαστος σχηματισμός (παραδείγματος χάριν στις δεξαμενές αερίου), φαίνεται ότι το Δt θα είναι πάντα αυτό της ζώνης εισβολής.

4.3. Μονάδες μέτρησης

Η βιομηχανία πετρελαίου χρησιμοποιεί τα μικροδευτερόλεπτα ανά πόδι ως μονάδες για το χρόνο μετάβασης. Αφορά την ταχύτητα σε ft/s. Για να μετατραπούν τα ms/ft σε ms/m, πολλαπλασιάζεται με 3.28084 και για να μετατραπούν τα ft/s σε m/s, διαιρείται με 3.28084.

4.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την μέτρηση

● Υλικό πλήρωσης

Η ταχύτητα του ήχου στο σχηματισμό, εξαρτάται από το είδος των ορυκτών που αποτελούν ένα πέτρωμα. Η επίδραση των ορυκτών καθορίζεται από τις πυκνότητές τους και τις παραμέτρους ελαστικότητάς τους.

Αυτές οι παράμετροι δεν είναι πάντα ευρέως γνωστές. Εντούτοις, ο χρόνος μετάβασης έχει μετρηθεί για μερικά από τα κοινά ορυκτά (Πίνακας 2).

Στην περίπτωση των σύνθετων λιθολογιών η μεμονωμένη ορυκτή επίδραση, καθορίζεται από το μέρος του όγκου τους και τη μεμονωμένη ταχύτητα του ήχου τους. Ο τρόπος με τον οποίο τα ορυκτά είναι κατανεμημένα είναι επίσης σημαντικός: (α) ελασματοποίηση: σε αυτήν την περίπτωση ο χρόνος μετάβασης του πετρώματος δίνεται από:

$$\Delta t_{ma} = V_1 \Delta t_{ma1} + V_2 \Delta t_{ma2} + \dots + V_n \Delta t_{man}$$

(β) διασκορπισμένα: σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να φέρουμε την έννοια μιας συνεχούς φάσης.

● Πορώδες και ρευστά

Η ταχύτητα του ήχου εξαρτάται επίσης από το πορώδες και τα ρευστά στους πόρους:

	Δt ($\mu s/ft$)		v_L ($ft/s \cdot 10^3$)		Bulk modulus k
	Mean value	Extreme values	Mean value	Extreme values	
Hematite		42.9		23.295	
Dolomite	44.0	(40.0– 45.0)	22.797	(22.222–25.000)	82
Calcite	46.5	(45.5– 47.5)	21.505	(21.053–22.000)	67
Aluminium		48.7		20.539	
Anhydrite		50.0		20.000	54
Granite	50.8	(46.8– 53.5)	19.685	(18.691–21.367)	
Steel		50.8		19.686	
Tight limestone	52.0	(47.7– 53.0)	19.231	(18.750–21.000)	
Langbeinite		52.0		19.231	
Iron		51.1		19.199	
Gypsum	53.0	(52.5– 53.0)	19.047	(18.868–19.047)	40
Quartzite	55.0	(52.5– 57.5)	18.182	(17.390–19.030)	
Quartz	55.1	(54.7– 55.5)	18.149	(18.000–18.275)	38
Sandstone	57.0	(53.8–100.0)	17.544	(10.000–19.500)	
Casing (steel)		57.1		17.500	
Basalt		57.5		17.391	
Polyhalite		57.5		17.391	
Shale		(60.0–170.0)		(5.882–16.667)	
Aluminium tubing		60.9		16.400	
Trona		65.0		15.400	
Halite		66.7		15.000	23
Sylvite		74.0		13.500	
Carnalite		83.3		12.000	
Concrete	95.0	(83.3– 95.1)	10.526	(10.526–12.000)	
Anthracite	105.0	(90.0–120.0)	9.524	(8.333–11.111)	
Bituminous coal	120.0	(100.0–140.0)	8.333	(5.906–10.000)	
Sulphur		122.0		8.200	
Lignite	160.0	(140.0–180.0)	6.250	(3.281–7.143)	
Lead		141.1		7.087	
Water, 200,000 ppm NaCl, 15 psi		180.5		5.540	
Water, 150,000 ppm NaCl, 15 psi		186.0		5.375	
Water, 100,000 ppm NaCl, 15 psi, 25°C		192.3		5.200	2.752
Water, pure (25°C)		207.0		4.830	2.239
Ice		87.1		11.480	
Neoprene		190.5		5.248	
Kerosene, 15 psi		214.5		4.659	
Oil		238.0		4.200	
Methane, 15 psi		626.0		1.600	
Air, 15 psi		910.00		1.100	

Πίνακας 2: Ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης και η ταχύτητα των συμπιεστικών κυμάτων στα πιο διαδεδομένα ορυκτά και πετρώματα (Από Serra, 1984).

(α) Όσο υψηλότερο πορώδες τόσο χαμηλότερη ταχύτητα.

(β) Γενικά εάν για ένα σταθερό πορώδες και υλικό πλήρωσης, αντικαθιστούμε το ύδωρ με πετρέλαιο ή το πετρέλαιο με αέριο, η ταχύτητα πηγαίνει κάτω, τουλάχιστον κάτω από ένα ορισμένο βάθος.

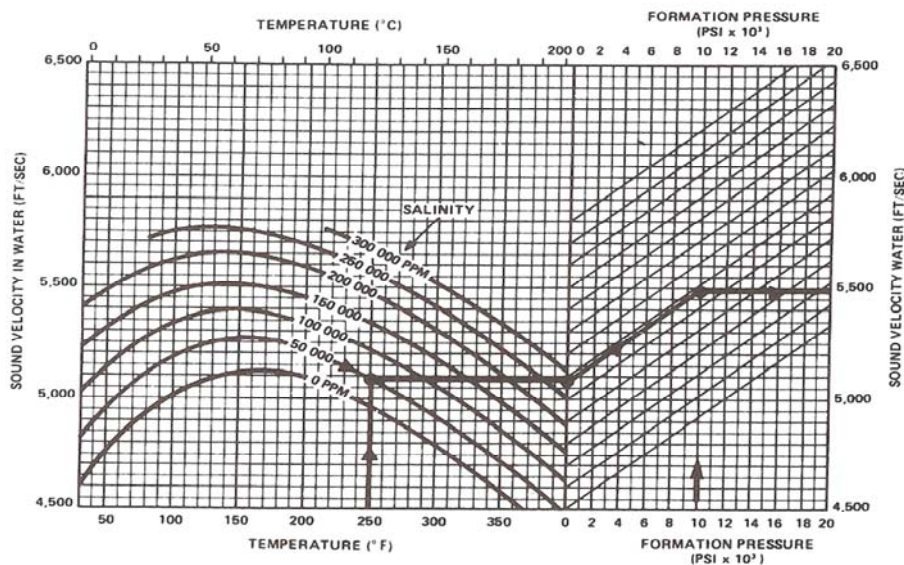
(γ) Η ταχύτητα του ήχου στο ύδωρ εξαρτάται από την αλατότητα: όσο υψηλότερη η αλατότητα τόσο υψηλότερη η ταχύτητα. Το διάγραμμα του Σχήματος 25 δίνει την ταχύτητα του ήχου στο ύδωρ σε συνάρτηση με τις διάφορες αλατότητες και επίσης ως συνάρτηση της πίεσης και της θερμοκρασίας. Η μεταβολή της ταχύτητας φαίνεται να εξαρτάται πάνω από όλα από την μεταβολή της συμπιεστότητας, όπως το Σχήμα 26 καταδεικνύει.

Σημείωση: Για ένα ύδωρ σταθερής αλατότητας επάνω από 150°F η αλλαγή στην ταχύτητα λόγω μιας αύξησης στη θερμοκρασία αντισταθμίζεται από την επίδραση της πίεσης. Η ταχύτητα ανεβαίνει καθώς η αλατότητα αυξάνεται. Αυτό είναι πράγματι, με κάποιο τρόπο η επίδραση των αλλαγών της πυκνότητας, δεδομένου, ότι αύξηση της αλατότητας συνεπάγεται μια αύξηση της πυκνότητας.

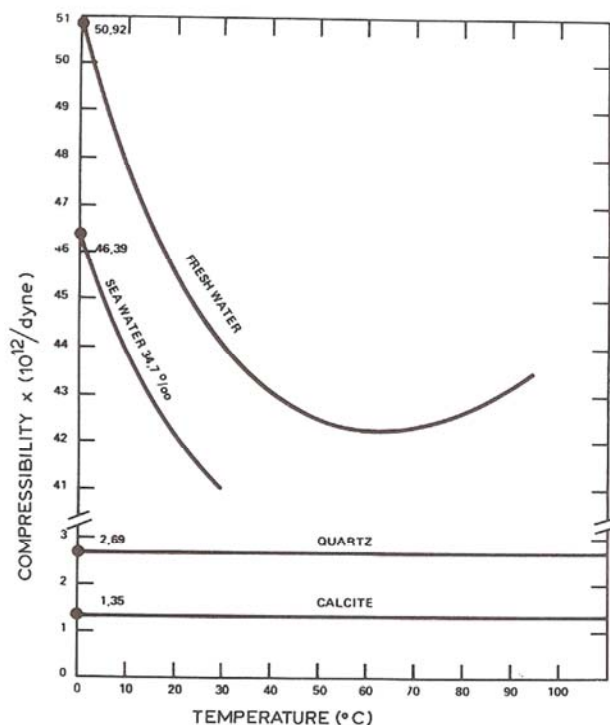
• Θερμοκρασία και πίεση

Όπως έχουμε δει αυτές έχουν μια επίδραση στο αλμυρό ύδωρ. Αυτό ισχύει εξίσου στο αέριο ή το πετρέλαιο και επίσης στο ίδιο το υλικό πλήρωσης, όπως φαίνεται να παρουσιάζουν τα πειράματα στο Γαλλικό Ίδρυμα Πετρελαίου (I.F.P.) (βλ. τα Σχήματα 27 και 28). Η εξέταση του Σχήματος 28 δείχνει ότι η ταχύτητα τείνει προς ένα όριο, γνωστό ως τελική ταχύτητα, καθώς η πίεση αυξάνεται.

Αφ' ετέρου, στη σταθερή εξωτερική πίεση, η ταχύτητα του ήχου, είναι μια συνάρτηση μονοτονικής αύξησης της διαφοράς της πίεσης ΔP (Σχ. 29) μεταξύ των εσωτερικών και εξωτερικών πιέσεων.

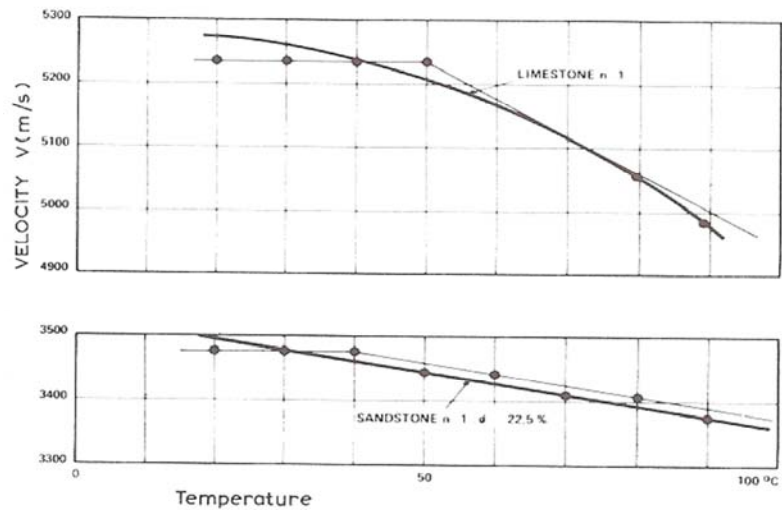


Σχήμα 25. Η ταχύτητα του ήχου στο ύδωρ ως συνάρτηση της αλατότητας, της θερμοκρασίας και της πίεσης (Από Serra, 1984).

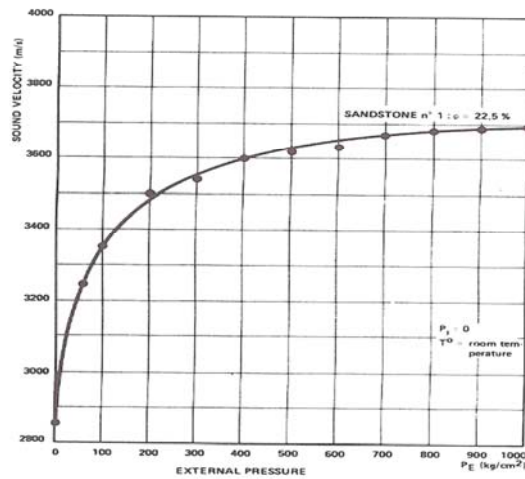


Σχήμα 26. Ποικιλία της συμπεστότητας με τη θερμοκρασία (Κατά Shumway, 1958 από Serra, 1984).

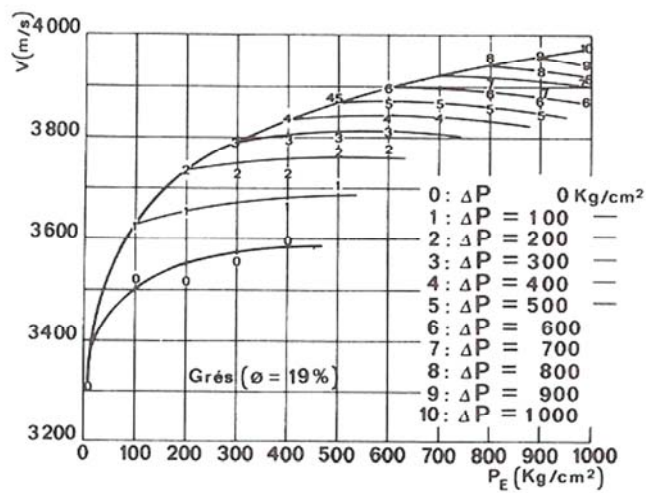
Σημείωση: Από τα διάφορα πειράματα δεν μπορούμε να καταλήξουμε σε κανένα συμπέρασμα σχετικά με την επιρροή της πίεσης και της θερμοκρασίας στην ταχύτητα του ήχου στο υλικό πλήρωσης, δεδομένου ότι οι μεταβολές στην ταχύτητα που έχουν παρατηρηθεί μπορούν να εξηγηθούν από τις επιρροές αυτών των παραγόντων στο ρευστό μόνο. Σε κάθε περίπτωση φαίνεται ότι η ταχύτητα του υλικού πλήρωσης επηρεάζεται από την πίεση και τη θερμοκρασία, εάν αναφερόμαστε στις απαραίτητες τροποποιήσεις στο Δt_{ma} για μια άμμο, έναν ασβεστόλιθο και έναν δολομίτη για να πάρουμε τις ηχητικές τιμές πορώδους, συμβατές με τα στοιχεία πυρήνων και τις δευτερεύουσες μεταβολές στη συμπεστότητα.



Σχήμα 27. Η ταχύτητα του ήχου στα πετρώματα ως συνάρτηση της θερμοκρασίας (Από Institut Francaise du Petrole).



Σχήμα 28. Η ταχύτητα του ήχου στον ψαμμίτη ως συνάρτηση της εξωτερικής πίεσης (Από Institut Francaise du Petrole).



Σχήμα 29. Επίδραση του ΔP στην ταχύτητα του ήχου στον ψαμμίτη (Από Institut Francaise du Petrole).

- Υφή

Ο τρόπος με τον οποίο οι κόκκοι και το πορώδες ενός σχηματισμού είναι τακτοποιημένα έχουν μια επιρροή στην ταχύτητα του ήχου.

Ο Sarmiento (1961) έχει δείξει ότι, ο τύπος, το μέγεθος και η κατανομή του πόρου (διακοκκώδης, vugs και θραύσεις) έχουν μια επίδραση στην ταχύτητα: "Κάτω από ένα ορισμένο μέγεθος οι πόροι συμπεριλαμβάνονται πιθανώς στον ελαστικό χαρακτήρα των πετρωμάτων, αλλά για τους μεγάλους πόρους, ή vugs, είναι πιθανό ότι η ηχητική δόνηση ακολουθεί την πιο σύντομη πορεία στο υλικό πλήρωσης, συνεπώς γύρω από τους πόρους παρά δια μέσου αυτών. Το κρίσιμο μέγεθος των πόρων συσχετίζεται άμεσα με το μήκος κύματος ".

Μπορούμε επίσης να δούμε ότι για το ίδιο πορώδες, η ταχύτητα θα εξαρτηθεί από το είδος της διακοκκώδους επαφής. Αυτή μπορεί να είναι μέχρι ενός σημείου (η περίπτωση τακτοποίησης των σφαιρών), γραμμή (σφαιροειδή) ή τύπος επιφάνειας (πολύεδρα: κύβος, δωδεκάεδρα, ή flakes).

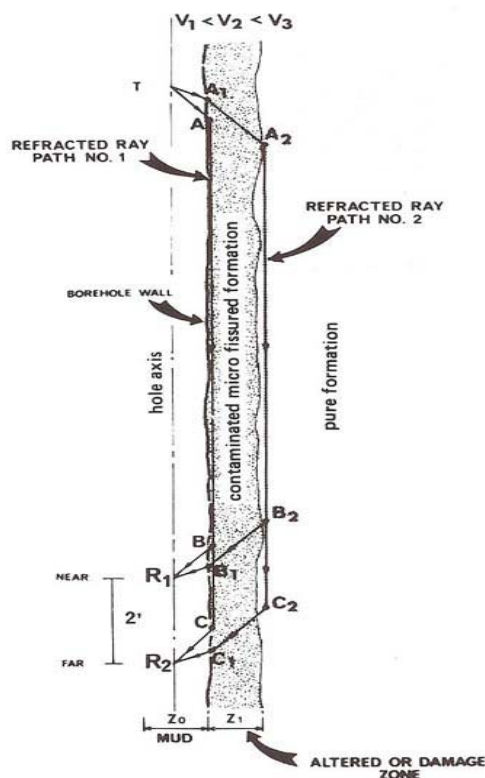
Αυτό οδηγεί στην ιδέα της ανισοτροπίας στην ταχύτητα του ήχου, δηλαδή δεν είναι το ίδιο εάν είναι μετρημένη παράλληλα ή κάθετα στους κόκκους. Από αυτό βλέπουμε την επιρροή της κλίσης των στρωμάτων στη μέτρηση της ταχύτητας και μας φέρνει επίσης την έννοια μιας συνεχούς φάσης.

(α) Στους σχηματισμούς με χαμηλό πορώδες, δηλαδή με τους πόρους πολύ ή λίγο απομονωμένους και τυχαία κατανεμημένους, το υλικό πλήρωσης αποτελεί τη συνεχή φάση και φαίνεται λογικό ότι το πρώτο κύμα άφιξης, και έτσι το γρηγορότερο, ταξιδεύει σε αυτήν την φάση και αποφεύγει τους πόρους. Συνεπώς, έως ότου το πορώδες φτάσει σε μια ορισμένη τιμή (5-10%) ο χρόνος μετάβασης δεν διαφοροποιείται σημαντικά από το Δt_{ma} . Γι αυτό η ηχητική διαγραφή θεωρείται ως "μη θέα" του δευτερογενούς πορώδους ενός τύπου vug/σπηλαιώσεων.

(β) Αντιθέτως, εάν ο κόκκος είναι σε αιώρηση στο ρευστό, όπως στην περίπτωση των σειρών σχιστόλιθου χαμηλής συμπίεσης και άμμων επιφάνειας με το υψηλό πορώδες (υψηλότερο από 48-50%), η συνεχής φάση είναι το ρευστό, και αυτό που μετριέται είναι ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης του ήχου στο ρευστό. Αυτό επιβεβαιώθηκε από τις μετρήσεις που έγιναν στους ρηχούς σχιστόλιθους που υπόκεινται παγωμένου εδάφους.

Σε αυτήν την περίπτωση ο χρόνος μετάβασης του ήχου στον πάγο μετριέται. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος μετάβασης στο ρευστό, φτάνει μόλις το πορώδες είναι υψηλότερο από 50%. Συνεπώς σε αυτήν την περίπτωση, είναι αδύνατο να μετρηθεί ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης στο σχηματισμό και η πρώτη άφιξη είναι αυτή που ταξιδεύει στη λάσπη. Αυτή η ανάλυση φαίνεται επιβεβαιωμένη από τις έρευνες που έγιναν από τον Raymer et al. το 1980.

Εκτός αυτού, η ύπαρξη των μικροσχισμών, είτε φυσικών είτε προκαλούμενων από τη διάτρηση, θα μειώσει εξίσου την ταχύτητα του ήχου από την παραγωγή μικροπορώδους υπό μορφή επιπέδων που τα κύματα πρέπει να διασχίσουν. Γι' αυτό σε μερικά είδη σχηματισμού, συνήθως σχιστόλιθων και ανθρακικών ορυκτών αλλά σπάνια άμμων, υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ των σεισμικών και έτσι ακουστικών ταχυτήτων διαγραφιών. Προτείνεται να μετρηθούν οι ενδιάμεσοι χρόνοι μετάβασης με τη χρησιμοποίηση μεγάλου διαστήματος ηχητικών εργαλείων, που αποφεύγουν την περιοχή του ραγισμένου, αλλαγμένου σχηματισμού (Σχ. 30).



Σχήμα 30. Δύο διαθλώμενες πορείες για ένα βήμα μεταβολής. Η χρήση των μεγάλων διαστημάτων ηχητικών μας επιτρέπει να μετρήσουμε τον ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης του αδιατάρακτου σχηματισμού (Από Serra, 1984).

4.5. Ερμηνεία

Από τους παράγοντες που επηρεάζουν τη μέτρηση, μπορούμε να δούμε ότι η ηχητική διαγραφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της λιθολογίας και του πορώδους, των διακοκκώδων και ενδοκρυσταλλικών.

Για οποιοδήποτε δοθείσα λιθολογία, με τη ζώνη έρευνας του εργαλείου, κυρίως στη ζώνη εισβολής που περιέχει το διήθημα λάσπης, η ταχύτητα του ήχου (ή ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης Δt) είναι μια συνάρτηση του πορώδους.

Στην πραγματικότητα, για τα πετρώματα που συμπιέζονται αρκετά μπορούμε, σε μια πρώτη προσέγγιση, να δεχτούμε ότι η μεταβολή της ταχύτητας του ήχου με το βάθος (θερμοκρασία και πίεση) του ρευστού και του υλικού πλήρωσης είναι αμελητέα και ότι μια τελική ταχύτητα επιτυγχάνεται.

Ο Wyllie et al. (1956) είχε προτείνει μια εμπειρική εξίσωση, βασισμένη στα πολυάριθμα εργαστηριακά πειράματα σε καθαρούς σχηματισμούς. Αυτό συνδέει τον ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης άμεσα με το πορώδες, παίρνοντας το συνολικό ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης ως ίσο με το ποσό των ενδιάμεσων χρόνων μετάβασης στους κόκκους του υλικού πλήρωσης και στους πόρους (Σχ. 31):

$$\Delta t = t/L = \Sigma(L_f/L) / v_f + \Sigma(L_{ma}/L) / v_{ma}$$

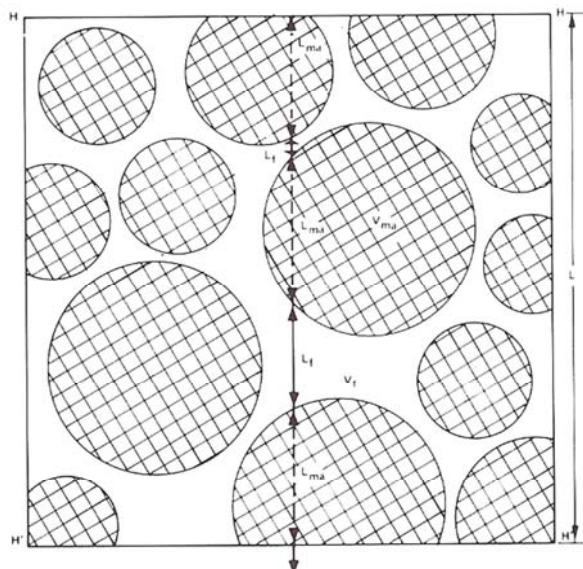
ο οποίος μπορεί να γραφτεί ως:

$$\Delta t = \phi \Delta t_f + (1-\phi) \Delta t_{ma}$$

όπου υποθέτουμε μια σχέση μεταξύ L_f και ϕ . Από αυτή την εξίσωση ακολουθεί ότι:

$$\phi_s = \Delta t - \Delta t_{ma} / \Delta t_f - \Delta t_{ma} \quad (\text{εξίσωση Willie})$$

Σημείωση: Η εξίσωση Wyllie καθιερώνει μια γραμμική σχέση μεταξύ του Δt και του ϕ που δεν είναι πραγματικά σε συμφωνία με τις προηγούμενες παρατηρήσεις στην υφή του πετρώματος. Σε κάθε περίπτωση είναι περίπου σωστή η σειρά των συνηθισμένων πορώδων που συναντώνται, η οποία είναι 5 ως 25%, και στην περίπτωση διευθέτησης σχεδόν σφαιρικών κόκκων. Η δυσκολία επιλογής του Δt_{ma} και του Δt_f παραμένει για το υλικό πλήρωσης και το ρευστό.



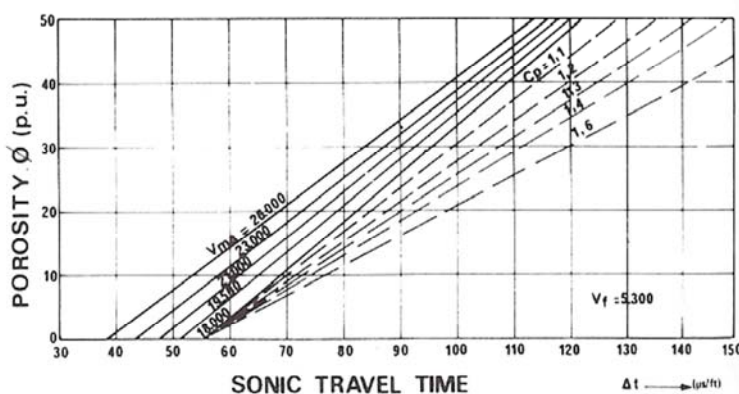
Σχήμα 31. Τροχιά του συμπίεστικού κύματος σε κορεσμένη με ύδωρ άμμο (Κατά Wyllie et. al., 1956 από Serra, 1984).

Η εξίσωση Willie αντιπροσωπεύεται από το διάγραμμα στο Σχήμα 32.

Στους αποσυμπιεσμένους σχηματισμούς, η εξίσωση Wyllie, δίνει τα πορώδη που είναι πάρα πολύ υψηλά. Δεν εφαρμόζεται επομένως άμεσα. Ένας παράγοντας διορθώσεων που απαιτείται, για να λάβει υπόψη τα αποτελέσματα της θερμοκρασίας και της πίεσης, ή με άλλα λόγια την τελική ταχύτητα του ήχου δεν επιτυγχάνεται. Η εξίσωση Willie γράφεται έπειτα:

$$(\phi_s)_c = \Delta t - \Delta t_{ma} / \Delta t_f - \Delta t_{ma} 100 / c \Delta t_{sh}$$

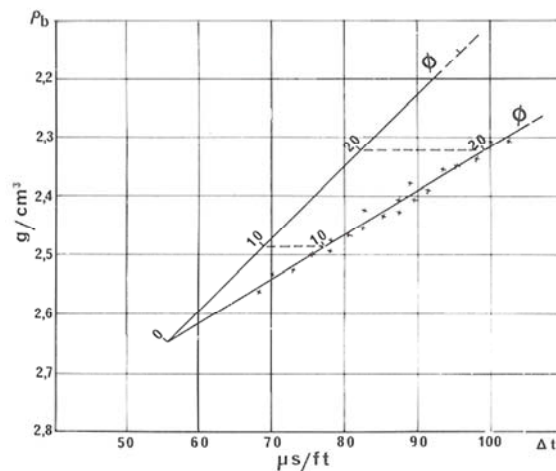
και δίνεται από το διάγραμμα στο Σχήμα 32. Ο καλύτερος τρόπος για να υπολογιστεί το $c \Delta t_{sh}$ είναι να συγκριθούν τα υπολογισμένα ηχητικά πορώδη με το αληθινό πορώδες από μια άλλη πηγή.



Σχήμα 32. Η σχέση μεταξύ του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης, Δt , και του πορώδους, ϕ , από τον Willie, 1956 (εξίσωση Willie).

Όπου αυτό είναι δυνατό διάφορες προσεγγίσεις μπορούν να δοκιμαστούν:

(α) p_b - Δt μέθοδος σύγκρισης γραφημάτων (Σχ. 33). Το p_b και το Δt σχεδιάζονται στο γραμμικό άξονα για τους καθαρούς σχηματισμούς της ζώνης υδροφορίας (water-bearing) κοντά στη ζώνη ενδιαφέροντος. Από αυτό μια καθαρή γραμμή σχηματισμού καθιερώθηκε ότι μπορεί να έχει κλίμακα στις μονάδες πορώδους χρησιμοποιώντας τη διαγραφία πυκνότητας. Ομοίως, μια θεωρητική γραμμή πορώδους που χρησιμοποιεί την εξίσωση Willie μπορεί να σχεδιαστεί. Για οποιαδήποτε τιμή του πορώδους μια αντίστοιχη τιμή Δt μπορεί να βρεθεί. Χρησιμοποιώντας την πραγματική τιμή του Δt και αυτή την νέα τιμή στο διάγραμμα του Σχήματος 32 το $c\Delta t_{sh}$ μπορεί να καθοριστεί.

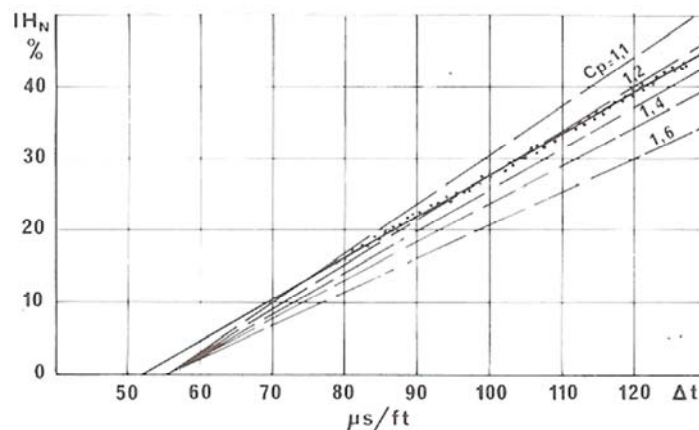


Σχήμα 33. Το p_b με Δt , σύγκριση γραφημάτων για να καθοριστεί το $c\Delta t_{sh}$ (Από Serra, 1984).

(β) Μέθοδος νετρονίων (SNP ή CNL). Το πορώδες εξασφαλίζεται από το νετρόνιο της water-bearing άμμου. Αυτή η τιμή πρέπει να είναι περίπου ίση με το πραγματικό πορώδες. Ως εκ τούτου έχουμε:

$$c\Delta t_{sh} = 100 \phi_N / \phi_N$$

Σημείωση: Μπορούμε επίσης να σχεδιάσουμε τις τιμές ϕ και Δt (Σχ. 34) για να κάνουμε μια στατιστική αξιολόγηση $c\Delta t_{sh}$. Αυτό μπορεί επίσης να δώσει την τιμή Δt_{ma} .



Σχήμα 34. Το ϕ_N προς Δt , σύγκριση γραφημάτων για να καθοριστεί το $c\Delta t_{sh}$ (Από Serra, 1984).

(γ) Μέθοδος R_0 . Στις καθαρές water-bearing άμμους μπορούμε να εκτιμήσουμε το ϕ από το R_{IL} , γνωρίζοντας το R_w :

$$F_R = R_{IL} / R_w = a / \phi^m_R$$

κατόπιν δίνοντας $c\Delta t_{sh}$ χρησιμοποιώντας το ϕ_R :

$$c\Delta t_{sh} = 100\phi_S / \phi_R$$

Από τις μελέτες του Geerstma (1961) προτάθηκε η ακόλουθη εξίσωση:

$$v_L = [(M + (1 - \beta)^2 / (1 - \phi - \beta)c_{ma} + \phi c_f) / p_b]^2 \quad (\text{εξίσωση Geerstma})$$

όπου:

M = ελαστικός συντελεστής (ή διαστημικός συντελεστής)

$$M = k + 4/3\mu = 3/c_b (1 - \sigma) / (1 + \sigma)$$

$$M = \beta/c_{ma} + 4/3\mu$$

σ = Συντελεστής Poisson (αναλογία)

$$\beta = c_{ma}/c_b$$

ϕ = πορώδες

c_{ma} = συμπιεστότητα του υλικού πλήρωσης ($c_{quartz} = 25 \times 10^{-13} \text{ baryes}^{-1}$);

c_b = συμπιεστότητα του άδειου υλικού πλήρωσης

c_f = συμπιεστότητα των ρευστών

$$c_f = c_w S_w + (1 - S_w) c_h$$

c_h = συμπιεστότητα των υδρογονανθράκων

c_w = συμπιεστότητα του ύδατος ($c_w = 42 \times 10^{-12} \text{ baryes}^{-1}$);

p_b = ολική πυκνότητα

$$p_b = \phi p_w S_w + \phi p_h (1 - S_w) + (1 - \phi) p_{ma}$$

S_w = κορεσμός ύδατος

p_w = πυκνότητα ύδατος

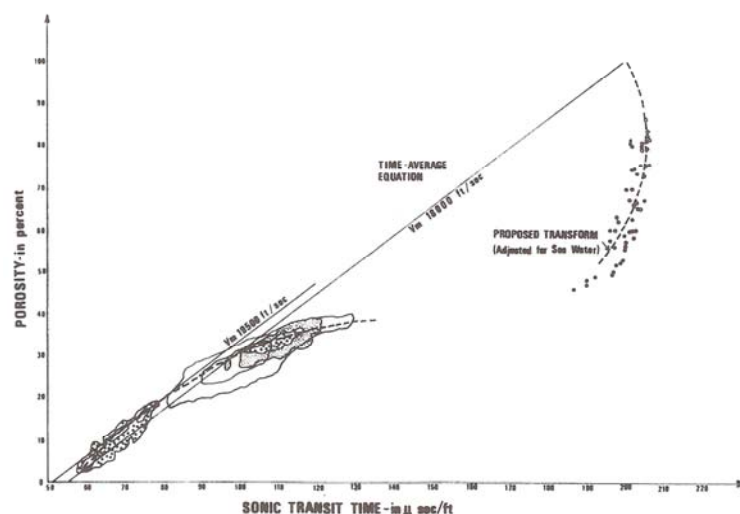
p_h = πυκνότητα υδρογονανθράκων

p_{ma} = πυκνότητα υλικού πλήρωσης.

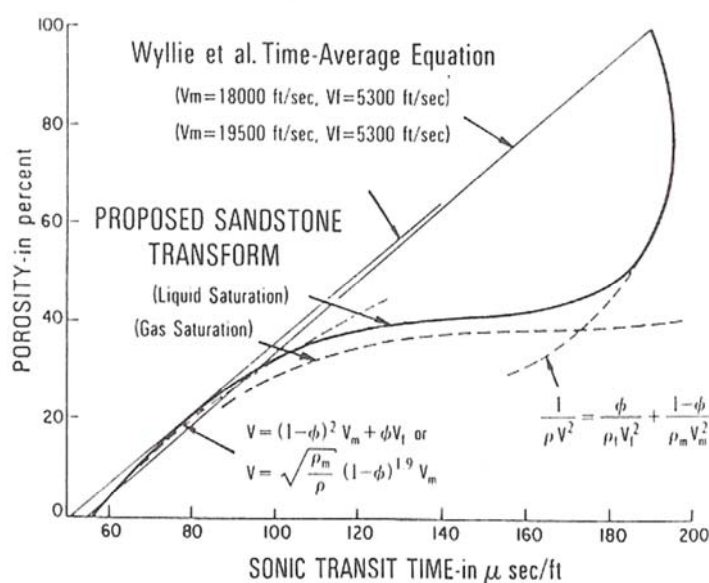
Η εξίσωση Geerstma, που αντιστοιχεί σε ένα άπειρο μέσο ρευστού και υλικού πλήρωσης, μπορεί να φανεί περίπλοκη. Έχει το πλεονέκτημα ότι συμπεριλαμβάνει όλους τους διαφορετικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ήχου σύμφωνα με τις κλασσικές θεωρίες. Εκτός αυτού, όταν είναι γνωστές οι περισσότερες παράμετροι πρέπει να είναι δυνατό να υπολογιστεί το πορώδες ξέροντας τον κορεσμό, ή αντίστροφα.

Πιο πρόσφατα, οι Raymer et al. (1980), πρότειναν έναν άλλο χρόνο μετάβασης προς το μετασηματισμένο πορώδες. Αυτό φαίνεται περισσότερο σύμφωνο με τις παρατηρήσεις που γίνονται. Επεξηγείται στα Σχήματα 35 και 36 και παρέχει τον ανώτερο συσχετισμό χρόνου μετάβασης - πορώδους πέρα από το εύρος ολόκληρου του πορώδους. Προτείνονται πιο σύμφωνες ταχύτητες του υλικού πλήρωσης για τη δεδομένη λιθολογία του πετρώματος, και επιτρέπεται ο προσδιορισμός του πορώδους

στις μη σταθεροποιημένες άμμους χαμηλής ταχύτητας χωρίς την ανάγκη να καθοριστεί μια "έλλειψη σύνθεσης", ή παρόμοιος παράγοντας διορθώσεων.



Σχήμα 35. Σύγκριση του ηχητικού χρόνου μετάβασης με τον πυρήνα πορώδους από δημοσιευμένα δεδομένα (Κατά Raymer et al., (1980) από Serra, 1984).



Σχήμα 36. Ο προτεινόμενος ηχητικός χρόνος μετάβασης προς το μετασχηματισμένο πορώδες, δείχνοντας τη σύγκριση με το μέσο χρόνο της εξίσωσης του Willie και προτείνοντας αλγόριθμους (Κατά Raymer et al., 1980 από Serra, 1984).

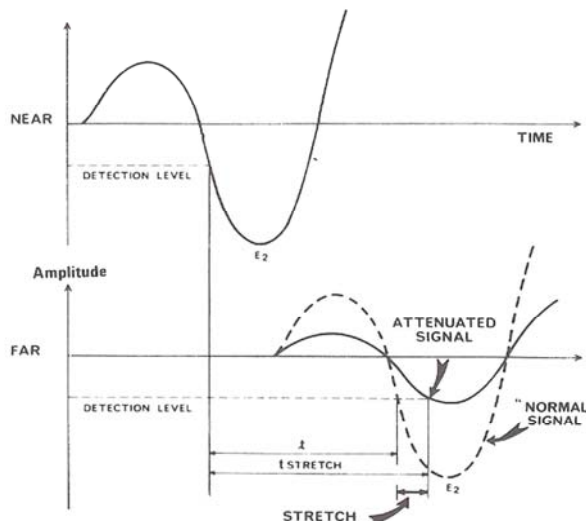
4.6. Περιβαλλοντικά και άλλα αποτελέσματα

- Αύξηση χρόνου μετάβασης

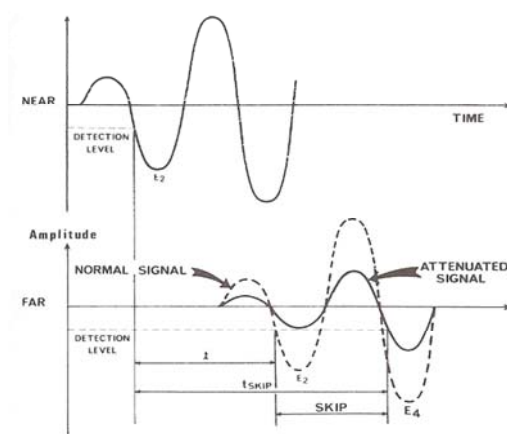
Δεδομένου ότι ο ήχος που φθάνει στο δεύτερο δέκτη έχει μια μακρύτερη πορεία, το σήμα είναι γενικά πιο αδύνατο. Καθώς το όριο των ανιχνευτών είναι το ίδιο και για τους δύο δέκτες, η ανίχνευση μπορεί να εμφανιστεί έπειτα από τον επόμενο δέκτη. Αυτό δίνει ένα Δt που είναι πάρα πολύ μεγάλο (Σχ.37).

- Απώλεια κύκλου σημάτων

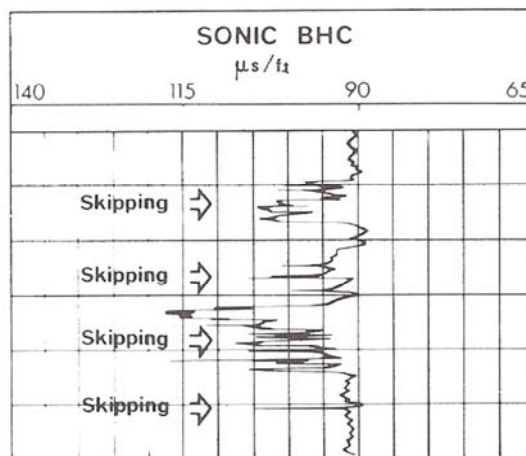
Σε μερικές περιπτώσεις το σήμα που φθάνει στο δεύτερο δέκτη είναι πάρα πολύ αδύνατο για να προκαλέσει την ανίχνευση της πρώτης άφιξης. Η ανίχνευση εμφανίζεται έπειτα στο δεύτερο ή τον τρίτο κύκλο άφιξης (Σχ. 38). Επομένως έχουμε χάσει ή έχουμε απώλεια κύκλων σημάτων. Αυτό παρουσιάζεται ως ξαφνικές και απότομες αυξήσεις στον ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης (Σχ. 39).



Σχήμα 37. Σχηματική εξήγηση της αύξησης του χρόνου μετάβασης (Από Serra, 1984).



Σχήμα 38. Σχηματική εξήγηση της απώλειας κύκλου σημάτων (Από Serra, 1984).



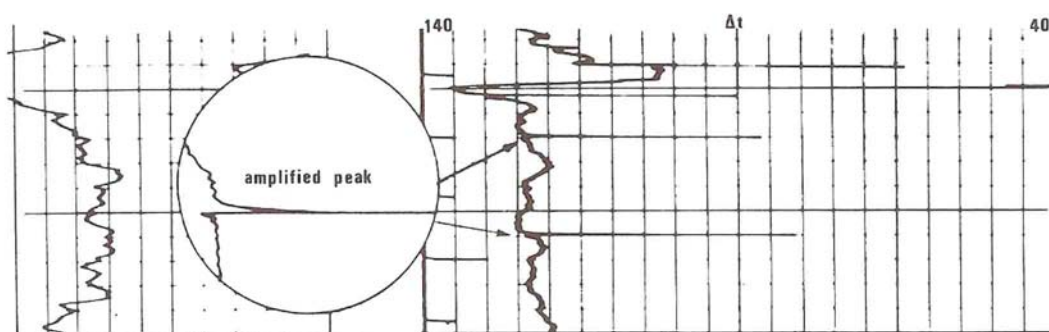
Σχήμα 39. Παράδειγμα της απώλειας κύκλου σημάτων (Από Serra, 1984).

Εάν η απώλεια κύκλου σημάτων εμφανίζεται μόνο σε έναν από τους μακρινούς ανιχνευτές, οι αυξήσεις Δt είναι μεταξύ 10 και 12.5 $\mu\text{s}/\text{ft}$ για το δεύτερο κύκλο και 20 ως 25 $\mu\text{s}/\text{ft}$ για το τρίτο. Εάν η απώλεια κύκλου σημάτων εμφανίζεται και στους δύο μακρινούς δέκτες, το λάθος στο Δt είναι μεταξύ 20 και 25 $\mu\text{s}/\text{ft}$ για έναν κύκλο που λείπει και 30 ως 37.5 $\mu\text{s}/\text{ft}$ για δύο.

Αυτό το ξαφνικό άλμα στο Δt συνδέεται συχνά με την παρουσία αερίου και μερικές φορές πετρελαίου. Μπορεί επίσης να συμβεί στις σπασμένες ζώνες. Αυτό οφείλεται σε μια ισχυρή απόσβεση του σήματος.

- Χτύπημα μικρότερο του Δt

Αυτό συμβαίνει όταν το σήμα, στον πρώτο δέκτη είναι πιο αδύνατο από αυτό που φθάνει στο δεύτερο ή, όπου το Δt μικραίνει ξαφνικά από την ανίχνευση, και πηδά προς τα εμπρός από τη συνηθισμένη ηχητική άφιξη που ανιχνεύει το θόρυβο, που εμφανίζεται πριν από το πραγματικό ηχητικό σήμα (Σχ.40).



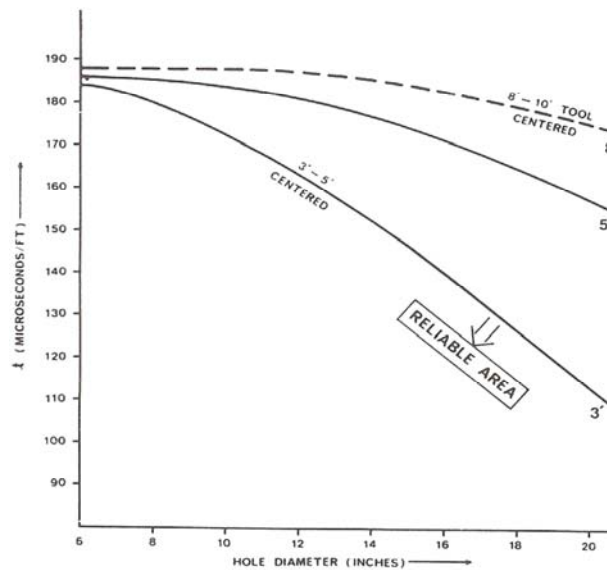
Σχήμα 40. Παράδειγμα των χτυπημάτων του μικρότερου Δt (Από Serra, 1984).

- Η οπή της γεώτρησης

Μέγεθος οπών. Αυτό τίθεται σε ισχύ μόνο όταν το ποσό των χρόνων μετάβασης από τον εκπομπό στα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης, και στα τοιχώματα στο δέκτη, είναι μεγαλύτερο από την απόσταση του πομπού στο δέκτη κατευθείαν. Σε αυτήν την περίπτωση η πρώτη άφιξη είναι ευθεία μέσω της λάσπης. Αυτό συμβαίνει μόνο στις οπές μεγαλύτερες περίπου από 24 ίντσες για τα κοινά πετρώματα (Σχ. 41). Για να εξαλείψει αυτήν την επίδραση το ηχητικό εργαλείο θέτει σε λειτουργία / "τρέχει" την εκκεντρότητα (excentralized).

Για την οπή της γεώτρησης, η αντισταθμιζόμενη ηχητική σπηλαίωση (BHC) έχει λίγη επίδραση, εκτός από όπου η σπηλαίωση είναι πολύ μεγάλη.

Λάσπη γεωτρήσεων. Εάν η οπή της γεώτρησης είναι γεμισμένη με αέρα ή εάν η λάσπη είναι gas-cut, η απόσβεση του ηχητικού σήματος είναι πάρα πολύ υψηλή για να επιτρέψει την ανίχνευση της πρώτης άφιξης. Αυτό το πρόβλημα μπορεί να προκύψει μπροστά από τις ζώνες που παράγουν αέριο στη λάσπη (Σχ. 39).

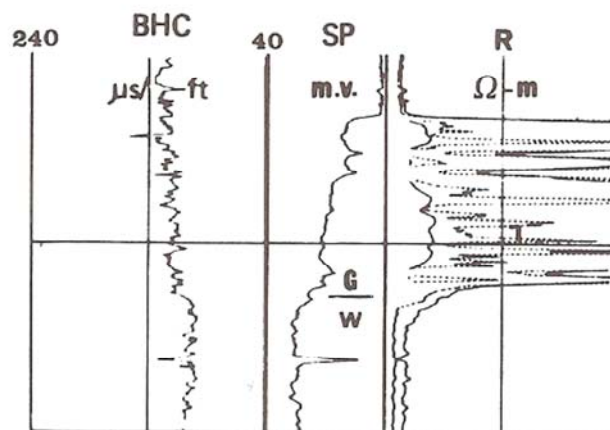


Σχήμα 41. Επίδραση του μεγάλου μεγέθους της οπής. Για ένα δεδομένο ηχητικό εργαλείο, το μέγιστο Δt είναι ανιχνεύσιμο και διαβάζεται από μια δεδομένη διάμετρο οπής από την καμπύλη αναγνώρισης του πομπού-κοντά στο διάστημα δέκτη (Κατά Goetz et al., 1979 από Serra, 1984).

• Εισβολή

Υπάρχει λίγη επίδραση εισβολής στις water-bearing ζώνες. Εντούτοις, στις ζώνες αερίου ή πετρελαίου, ακόμη και με υψηλούς κορεσμούς ύδατος, ο ενδιαμέσος χρόνος μετάβασης στη ζώνη εισβολής μπορεί να είναι πολύ διαφορετικός σε σχέση με αυτόν στην ανεπηρέαστη ζώνη. Μπορούμε να εξετάσουμε διάφορες περιπτώσεις.

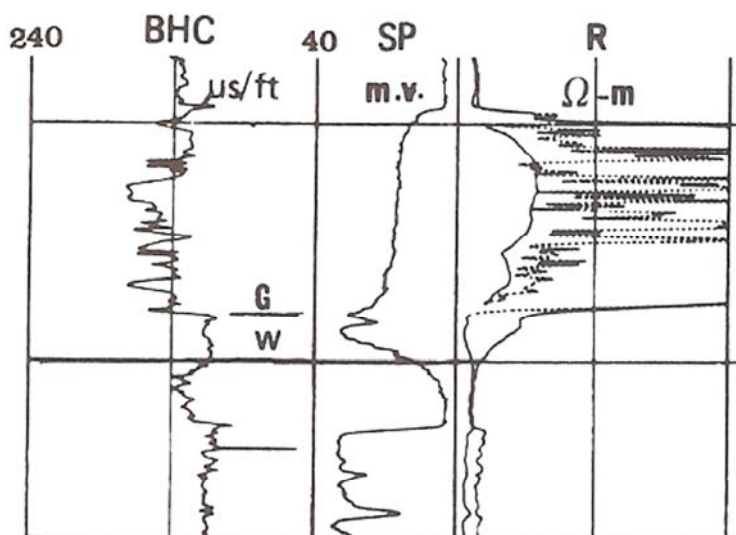
(α) Βαθιά εισβολή: το ηχητικό διαβάζει μόνο την πλημμυρισμένη ζώνη (flushed zone) και δεν βλέπει το αέριο ή το πετρέλαιο καθόλου (Σχ. 42). Δεν υπάρχει κανένα πρόβλημα να υπολογίσει το πορώδες σε αυτήν την περίπτωση. Η ανάγνωση μπορεί να χρειαστεί διόρθωση χρησιμοποιώντας την εξίσωση Geerstma πριν από τη σύγκριση ή τη χρήση στη σεισμική εργασία.



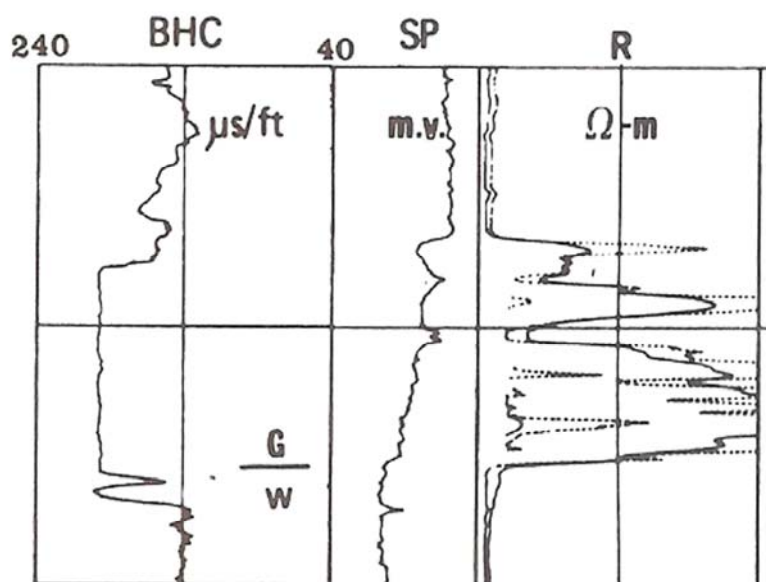
Σχήμα 42. Παράδειγμα που δείχνει την ηχητική ανάγνωση στην πλημμυρισμένη ζώνη (Από Serra, 1984).

(β) Ελάχιστη ή καμία εισβολή: το αέριο ή το ελαφρύ πετρέλαιο έχει επιπτώσεις στη μέτρηση. Εάν ο ενδιαμέσος χρόνος μετάβασης είναι λιγότερος στο σχηματισμό υδρογονανθράκων απ' ό,τι μέσω της λάσπης, η ανάγνωση είναι αντιπροσωπευτική του ανεπηρέαστου σχηματισμού (Σχ. 43).

Εντούτοις αυτός ο χρόνος μετάβασης χρειάζεται προσεκτική εξήγηση από την άποψη του πορώδους. Εάν ο χρόνος μετάβασης στο σχηματισμό είναι μακρύτερος από αυτόν στη λάσπη (παραδείγματος χάριν πολλούς πόρους, ρηχά βάθη), τότε φυσικά το ηχητικό δίνει ακριβώς το χρόνο μετάβασης της λάσπης (Σχ. 44). Ο χρόνος μετάβασης στον ανεπηρέαστο σχηματισμό δεν μπορεί να είναι λιγότερος. Για να τον καθορίσουμε, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση Geerstma, αλλά κανένας προσδιορισμός του πορώδους δεν είναι δυνατός.



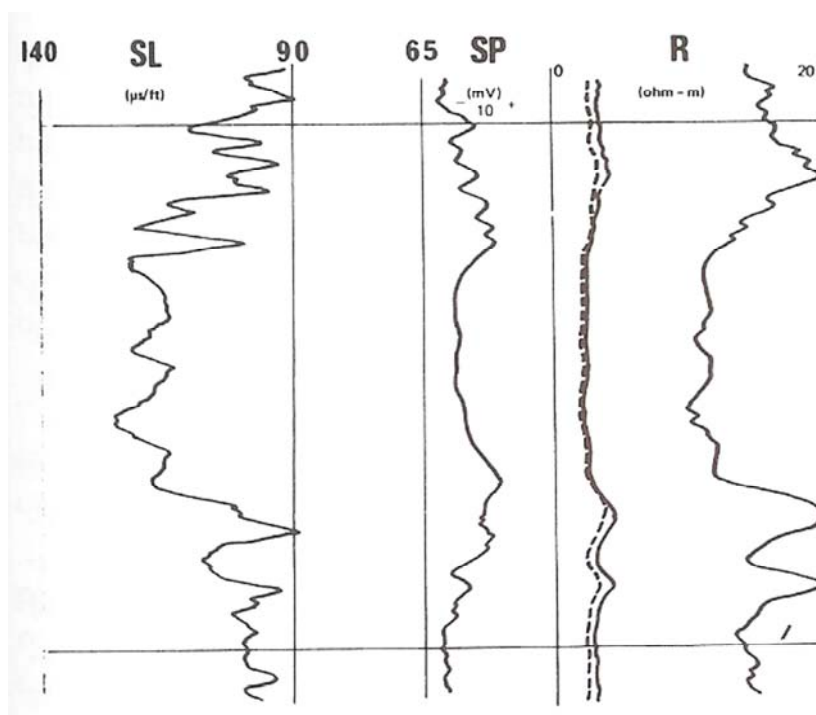
Σχήμα 43. Παράδειγμα που δείχνει την ηχητική ανάγνωση στην ανεπηρέαστη ζώνη (χωρίς εισβολή). Παρατηρείστε την απόσβεση της SP παρεκτροπής μπροστά από την αέρια water-bearing zone (Από Serra, 1984).



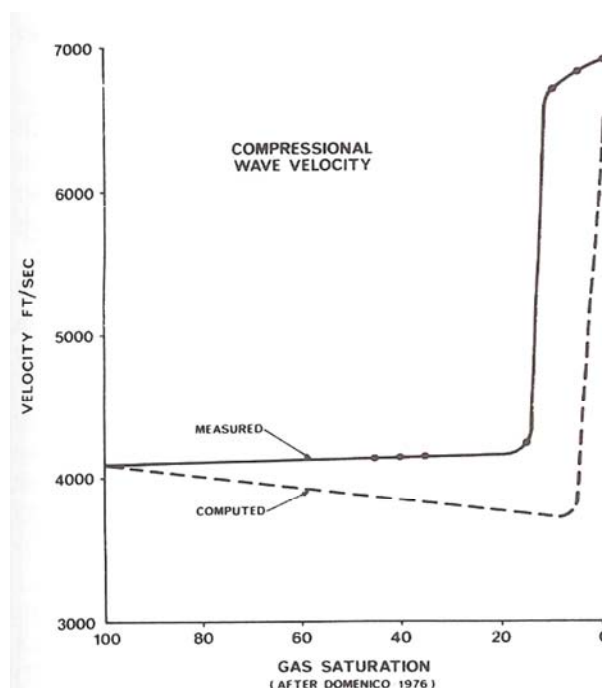
Σχήμα 44. Παράδειγμα που δείχνει την ηχητική ανάγνωση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης στη λάσπη (Από Serra, 1984).

(γ) Καμία εισβολή και μικρή παραγωγή: σε αυτήν την περίπτωση εμφανίζεται φουσαλίδα στη λάσπη και η απώλεια κύκλου σημάτων εμφανίζεται λόγω της ισχυρής απόσβεσης (Σχ. 39).

Είναι δυνατό, μερικές φορές να φανούν πολύ χαμηλές ηχητικές ταχύτητες ή υψηλοί χρόνοι μετάβασης σε σχηματισμούς που είναι προφανώς στις ζώνες υδροφορίας (water-bearing) από άλλες διαγραφίες (Σχ. 45). Αυτό οφείλεται γενικά σε ένα πολύ μικρό ποσοστό αερίου υπό μορφή μικροφουσαλίδων στο ύδωρ, που οδηγεί σε μια ισχυρή απόσβεση του ηχητικού κύματος. Όπως παρουσιάζεται από τον Domenico (1976), ένας κορεσμός αερίου 15%, μειώνει δραστικά την ταχύτητα όσον αφορά έναν διαποτισμένο σχηματισμό με ύδωρ (Σχ. 46).



Σχήμα 45. Παράδειγμα της επίδρασης μικρού κορεσμού αερίου στον ενδιάμεσο χρόνο μετάβασης. Οι διαγραφίες ειδικής αντίστασης δείχνουν τη ζώνη υδροφορίας στην άμμο (Από Serra, 1984).

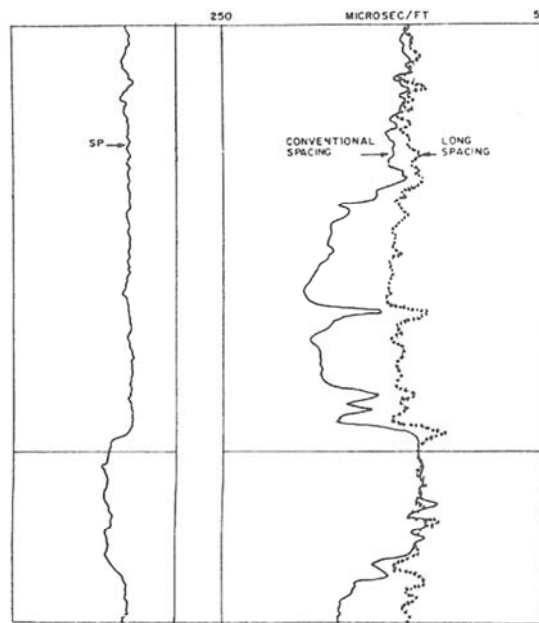


Σχήμα 46. Επίδραση του κορεσμού αερίου στην ταχύτητα ρηχού ψαμμίτη (Κατά Domenico, 1976 από Serra, 1984).

- Ακτινικές διαρρήξεις (Radial cracking effects)

Έχουμε ήδη δει ότι οι μικροθραύσεις στο πέτρωμα συνδέονται με τις ακτινικές διαρρήξεις, που προκαλούνται με τη διάτρηση των μολύβδων με μια αύξηση του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης.

Πετρώματα υποκείμενα σε αυτό το φαινόμενο (σχιστόλιθοι, σχιστώδης ασβεστόλιθος, κ.λ.π.) – τα οποία είναι επίσης εκτεθειμένα στην δημιουργία σπηλαιώσεων που προκαλείται από την πτώση των μορίων κάτω από το θραύσμα ή το σπάσιμο - θα παρουσιάσουν ένα ηχητικό Δt πάρα πολύ μεγάλο, ή μια ταχύτητα που είναι πάρα πολύ χαμηλή. Για να λάβει μια μέτρηση στο μη-σπασμένο σχηματισμό απαιτείται να διαβάζει πέρα από την "κατεστραμμένη" ζώνη για ένα μεγάλο ηχητικό διάστημα (Σχ. 47).



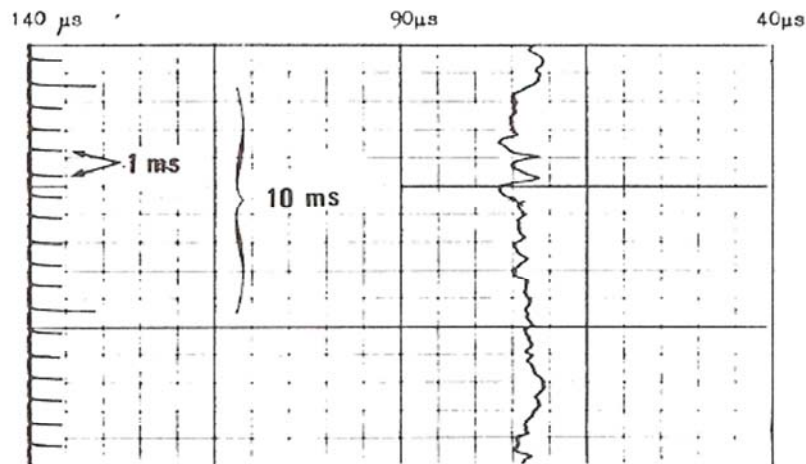
Σχήμα 47. Παράδειγμα που δείχνει την επίδραση της ακτινικής διάρρηξης (μετατροπή) σε ηχητική μέτρηση μικρού διαστήματος του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης σε μη αλλαγμένους σχηματισμούς (Από Serra, 1984).

4.7. Προσαρμογή του χρόνου διάδοσης

Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το ηχητικό στη σεισμική εργασία παρέχεται η προσαρμογή του χρόνου διάδοσης στον εξοπλισμό της διαγραφίας. Ο προσαρμοσμένος χρόνος παρουσιάζεται από μια σειρά μεσοδιαστημάτων (rips), συνήθως αριστερά της ηχητικής διαδρομής (Σχ. 48). Τα μικρά μεσοδιαστήματα δείχνουν μια αύξηση του προσαρμοσμένου χρόνου ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου, ενώ τα μεγάλα μεσοδιαστήματα είναι για δέκα χιλιοστά του δευτερολέπτου. Ο μέσος χρόνος διάδοσης μεταξύ δύο βαθών μπορεί, επομένως, να βρεθεί απλά με το μέτρημα των μεσοδιαστημάτων.

Φυσικά η προσαρμογή ισχύει εφ' όσον δεν υπάρχει καμία απώλεια κύκλου σημάτων ή δεν πηδά η διαγραφία. Με έναν άλλο τρόπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσει τη βαθμονόμηση, παραδείγματος χάριν σε μια ομοιογενή ζώνη, με τον υπολογισμό του αριθμού αιχμών/κορυφών σε μια ζώνη και τη σύγκριση του προϊόντος του ηχητικού (Δt) και το μήκος του διαστήματος (h):

$$\Delta t (\mu s/ft) \times h(ft) = t(\mu s)$$



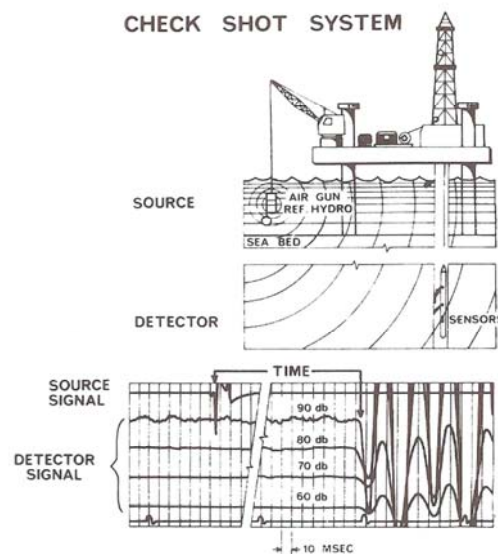
Σχήμα 48. Παράδειγμα μέτρησης του ενδιάμεσου χρόνου μετάβασης που δείχνει στα αριστερά την ενσωμάτωση των μεσοδιαστημάτων (Από Serra, 1984).

4.8. Ηχητική διαγραφή με εκ νέου κλίμακα (RESCALING)

Η ηχητική διαγραφή είναι η βάση για τη βαθμονόμηση των σεισμικών στοιχείων επιφάνειας και σε ευνοϊκές περιπτώσεις για τη λεπτομερή σεισμική ερμηνεία.

Για τις αξιόπιστες λεπτομερείς μελέτες, η ρύθμιση της ηχητικής διαγραφίας είναι σημαντική. Τα διάφορα προηγούμενα σχόλια στους παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στην ηχητική μέτρηση δείχνουν ότι τα ηχητικά στοιχεία πρέπει να ελεγχθούν προσεκτικά και, εάν είναι απαραίτητο, ο προσαρμοσμένος χρόνος διάδοσης του ήχου να ρυθμιστεί στο σεισμικό χρόνο, που προέρχεται από τους χρόνους έλεγχου (check shot time). Οι χρόνοι ελέγχου είναι γνωστοί ως Διαγραφή Έρευνας Ταχύτητας (Well Velocity Survey).

Η βασική αρχή αυτής της τεχνικής, είναι να μετρηθεί ο χρόνος που απαιτείται για έναν σφυγμό πίεσης, που δημιουργείται στην επιφάνεια, για να φθάσει σε έναν δέκτη που δένεται σε ένα επιλεγμένο βάθος στην οπή της γεώτρησης (Σχ. 49).



Σχήμα 49. Σύστημα χρόνου ελέγχου (Κατά Goetz et al., 1979 από Serra, 1984).

Ο εξοπλισμός αποτελείται από: (α) μια σεισμική πηγή που δημιουργεί έναν σφυγμό πίεσης (γενικά ένα air gun) (β) έναν δέκτη στο downhole εργαλείο, που

δένεται σε επιλεγμένα βάθη και (γ) έναν εξοπλισμό επιφάνειας που καταγράφει το σήμα επιφάνειας από έναν ανιχνευτή κοντά στην πηγή, και ένα downhole σήμα από το δέκτη. Και τα δύο σήματα καταγράφονται σε μια χρονική βάση που παρέχεται από ένα ρολόι χαλαζία.

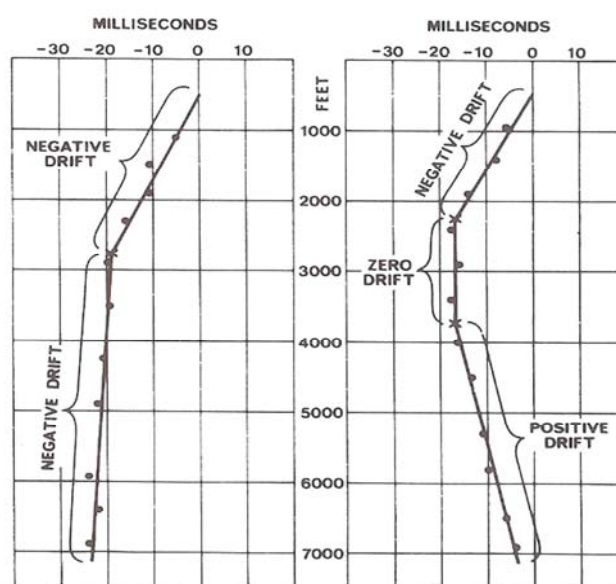
Ο χρόνος ελέγχου αντιστοιχεί στο χρόνο που έχει διανυθεί μεταξύ των αφίξεων της επιφάνειας και των downhole σημάτων. Αυτός ο χρόνος πρέπει να διορθωθεί σε έναν κάθετο χρόνο και να αναφερθεί στο Σεισμικό Επίπεδο Στοιχείων Αναφοράς, το οποίο είναι ο χρόνος γένεσης για τα σεισμικά στοιχεία επιφάνειας.

Αυτή η υπόθεση, είναι ότι οι χρόνοι ελέγχου μπορούν να θεωρηθούν ως μέτρηση των σχετικά κάθετων πορειών ευθείας. Αυτό ισχύει βασικά, εάν συνολικά οι γεωτρήσεις είναι κάθετες, η απόκλιση της πηγής είναι μικρή στη γεώτρηση, και ο σχηματισμός δεν παρουσιάζει σημαντική κλίση. Σε εκείνη την περίπτωση ο χρόνος ελέγχου αντιστοιχεί στο σεισμικό χρόνο.

Η διαφορά μεταξύ του σεισμικού χρόνου και του προσαρμοσμένου χρόνου μετάβασης του ηχητικού TTI είναι γνωστή ως μετατόπιση.

μετατόπιση = σεισμικός χρόνος - TTI

Σε κάθε βάθος χρόνο ελέγχου, η μετατόπιση μπορεί να υπολογιστεί, και η διαδοχική διασταύρωση τιμών με το βάθος δημιουργεί ένα διάγραμμα μετατόπισης (Σχ. 50).



Σχήμα 50. Παράδειγμα διαγράμματος μετατόπισης (Από Serra, 1984).

Μεταξύ δύο επιπέδων, η διαφορά μεταξύ της μετατόπισης των βαθύτερων και πιο ρηχών επιπέδων, ισοδυναμεί με τη διόρθωση του χρόνου που εφαρμόζεται στον ηχητικό χρόνο. Αυτή η πρακτική δεν συστήνεται επειδή, όπως εξηγείται από το Goetz et al. (1979), μπορεί να έχει δυσμενή συνέπεια. Είναι καλύτερο να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα μετατόπισης για να απεικονιστούν οι καμπύλες μετατόπισης.

Η διαδικασία αποτελείται από την επιλογή των ζωνών, στις οποίες ο χαρακτήρας της ηχητικής διαγραφίας είναι περίπου σταθερός. Σε κάθε ζώνη, τα σημεία μετατόπισης εγκαθίστανται από το τμήμα μιας ευθείας γραμμής. Από τη μια ζώνη στην επόμενη, αυτά τα τμήματα ενώνονται με συνδέσμους, τα οποία διαμορφώνουν τις κοινές ζώνες μεταξύ των ορίων. Η κλίση αυτών των τμημάτων της ευθείας

γραμμής που ενώνει δύο διαδοχικούς συνδέσμους, είναι η κλίση της μετατόπισης. Αυτή η κλίση είναι η μέση διόρθωση που εφαρμόζεται στους ηχητικούς χρόνους μετάβασης μεταξύ των δύο συνδέσμων.

Όταν η κλίση είναι αρνητική, λέμε ότι έχουμε μια "αρνητική" μετατόπιση. Σημαίνει ότι ο ηχητικός χρόνος, είναι μακρύτερος από τους σεισμικούς χρόνους μεταξύ των εξεταζόμενων συνδέσμων.

Όταν η κλίση είναι μηδέν, εάν τα σχεδιασμένα σημεία εμπίπτουν στην αρνητική ή θετική περιοχή του διαγράμματος μετατόπισης, ο ηχητικός χρόνος και ο σεισμικός χρόνος είναι ίσοι.

Όταν η κλίση είναι θετική, λέμε ότι έχουμε μια "θετική" μετατόπιση. Σε αυτή την περίπτωση ο ηχητικός χρόνος είναι πιο σύντομος από το σεισμικό χρόνο.

Πολύ συχνά παρατηρούμε μια αρνητική μετατόπιση. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί εύκολα και αφορά ένα από τα φαινόμενα που αναλύθηκαν προηγουμένως: επέκταση, απώλεια κύκλου σημάτων, αλλαγή σχηματισμού, μεγάλες συνθήκες οπών, θόρυβος... αλλά οι θετικές μετατοπίσεις εμφανίζονται όπως εξηγούνται από τον Goetz et al, (1979). Μπορούν να αφορούν μια από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

(α) Θόρυβος, ο οποίος μπορεί να προκαλέσει το μακρινό δέκτη πριν από το πραγματικό σήμα. Πρέπει να εμφανιστεί μόνο ως ακίδες στις διαγραφίες (Σχ. 40).

(β) Αρνητική επέκταση και απώλεια κύκλου σημάτων, όταν το σήμα στον κοντινό δέκτη είναι πιο αδύνατο από αυτό που φθάνει στο μακρινό.

(γ) Σχηματισμός με έναν πιο μακρύ χρόνο μετάβασης από ότι της λάσπης. Αυτό εμφανίζεται στους σχηματισμούς όπως οι gas-bearing σχιστόλιθοι ή στους ρηχούς ταμιευτήρες αερίου, ή σε μερικούς σχηματισμούς κοντά στην επιφάνεια.

(δ) Η ταχύτητα εισβολής κοντά στην οπή της γεώτρησης, η οποία βρίσκεται όταν η ζώνη εισβολής ή κατεστραμμένη ζώνη είναι κοντά στα τοιχώματα της οπής της γεώτρησης, είναι γρηγορότερη από ότι στον αδιατάρακτο σχηματισμό, ενώ και οι δύο ταχύτητες είναι γρηγορότερες από ότι στη λάσπη. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα δίνεται στους gas-bearing ταμιευτήρες που εισβάλλουν από το διήθημα λάσπης.

(ε) Υψηλές κλίσεις σχετίζονται με τις διαγραφίες εντός γεωτρήσεων. Σε αυτήν την περίπτωση, το ηχητικό σήμα μπορεί να ταξιδέψει κατά μήκος των διαθλασμένων πορειών περισσότερο απ' ό,τι κατά μήκος της γεώτρησης, που οδηγεί σε έναν πιο σύντομο χρόνο μετάβασης.

(ζ) Συχνότητα- εξαρτημένες ταχύτητες. Οι ακουστικές ταχύτητες εξαρτώνται από τη συχνότητα του σήματος. Έτσι, οι ηχητικές ταχύτητες πρέπει να είναι γρηγορότερες από ότι οι ταχύτητες ελέγχου. Η συχνότητα που χρησιμοποιείται στο ηχητικό εργαλείο είναι ίση με 20 kHz έναντι των κατά προσέγγιση 50 Hz του air gun ή του vibrosis.

4.9. Εφαρμογές

Ο ηχητικός χρόνος μετάβασης μετριέται κυρίως για να καθορίσει το πορώδες σε έναν ταμιευτήρα. Πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι εν μέρει μέσω της δυσκολίας της ερμηνείας και των παραγόντων που έχουν επιπτώσεις στη μέτρηση και εν μέρει λόγω των νέων πυρηνικών συσκευών εισαγωγής για την μέτρηση πορώδους, αυτό δεν είναι πλέον τόσο σημαντικό όσο πριν. Αν και χρησιμοποιούνται και οι δύο ως προστασία στον προσδιορισμό του πορώδους, ειδικά όταν η μέτρηση δεν είναι πολύ ευαίσθητη

στο μέγεθος της οπής των γεωτρήσεων, και για να υπολογίσει το δευτερογενές πορώδες στους ταμιευτήρες ανθρακικών ορυκτών.

Η ηχητική διαγραφή είναι επίσης μια ενίσχυση στον προσδιορισμό λιθολογίας, ειδικά με το δείκτη υδρογόνου (διαγραφή νετρονίων) ή την πυκνότητα (FDC). Το διάγραμμα M και N ή η μέθοδος Mid-plot μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτόν τον σκοπό. Δεδομένου ότι η μέτρηση, πρακτικά δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές του μεγέθους των οπών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη της συμπίεση στις ακολουθίες αμμώδους σχιστόλιθου ή μέσω του υπολογισμού της διάτμησης στην αναλογία του χρόνου μετάβασης συμπιεστικών κυμάτων.

Δεδομένου ότι ο χρόνος μετάβασης συνδέεται άμεσα με την ταχύτητα του ήχου στο σχηματισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με την πυκνότητα για να καθιερώσει μια ακουστική διαγραφή αντίστασης ($r = \nu\rho$) και για να υπολογίσει ένα συντελεστή ανάκλασης

$$R_{1-2} = \nu_2\rho_2 - \nu_1\rho_1 / \nu_2\rho_2 + \nu_1\rho_1$$

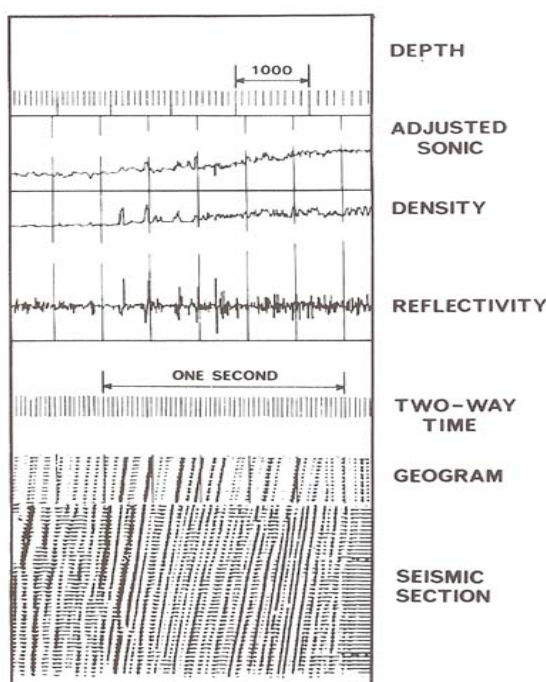
ο οποίος οδηγεί στην πραγματοποίηση μιας διαγραφίας ώθησης και μιας συνθετικής καμπύλης, που βοηθά στην ερμηνεία των κάθετων σεισμικών σχεδιαγραμμάτων από την άποψη των σεισμοφάσεων, και γίνεται προσδιορισμός του ρευστού πορώδους (Σχ. 51).

Ο σχηματισμός του ρευστού μπορεί να προσδιοριστεί από τις συγκρίσεις ηχητικών τιμών με άλλες διαγραφίες (νετρόνιο, πυκνότητα, ειδική αντίσταση).

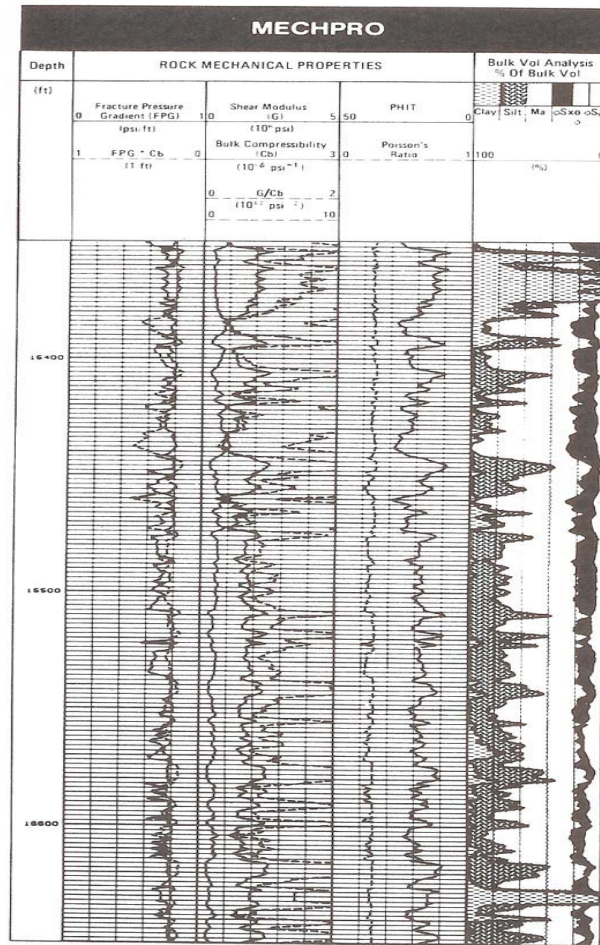
Όπως με άλλες διαγραφίες, ο ενδιάμεσος χρόνος μετάβασης χρησιμοποιείται σε συνάρτηση και με τις μελέτες ιζηματολογίας (καθορισμός ηλεκτροφάσεων).

Με μια σχετικά καλή κάθετη ανάλυση (περίπου 60cm) η ηχητική διαγραφή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθορίσει το πάχος των στρωμάτων.

Η γνώση των συμπιεστικών ταχυτήτων και ταχυτήτων διάτμησης, μας επιτρέπει να καθορίσουμε τις μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων (Σχ. 52).



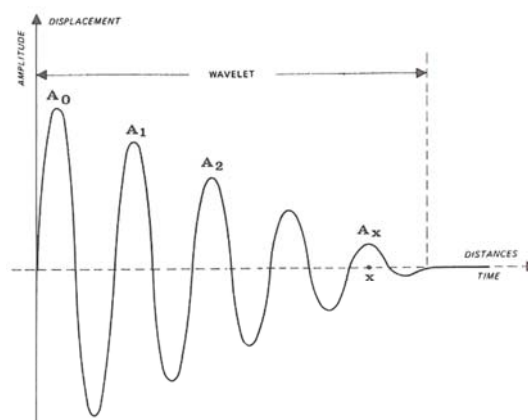
Σχήμα 51. Παράδειγμα από το Geogram για διαγραφή ανακλαστικότητας (Κατά Schlumberger).



Σχήμα 52. Παράδειγμα των μηχανικών ιδιοτήτων των διαγραφιών(Κατά Schlumberger).

5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΗΧΗΤΙΚΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ

Το πλάτος ενός ακουστικού κύματος μειώνεται καθώς διαδίδεται μέσω ενός μέσου. Αυτή η μείωση είναι γνωστή ως απόσβεση (Σχ. 53).



Σχήμα 53. Απόσβεση του πλάτους του ακουστικού κύματος με την απόσταση (Από Serra, 1984).

Η απόσβεση καθώς το κύμα κινείται μέσω του σχηματισμού εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, κυρίως:

- (α) Το μήκος κύματος του κύματος και τον τύπο του (επίμηκες ή εγκάρσιο).
- (β) Την υφή του πετρώματος (πόρος και μέγεθος κόκκου, τύπος επαφής κόκκου, ταξινόμηση), καθώς επίσης και το πορώδες, τη διαπερατότητα και τη συγκεκριμένη επιφάνεια των πόρων του πετρώματος.
- (γ) Τον τύπο ρευστού στους πόρους και ειδικότερα το ιξώδες του.
- (δ) Σπασίματα ή σχισμές πετρώματος.

Αυτό σημαίνει ότι η μέτρηση της απόσβεσης μπορεί να είναι πραγματικά χρήσιμη στην ανάλυση των σχηματισμών.

Στα σωληνωμένα πηγάδια, η απόσβεση εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα του συγκολλητικού υλικού γύρω από τη σωλήνωση. Αυτή μπορεί να είναι έμμεσα μετρήσιμη με την καταγραφή του ηχητικού πλάτους. Αυτή η εφαρμογή είναι γνωστή ως διαγραφία συγκολλητικού υλικού (ή Cement Bond Log, CBL).

5.1. Θεωρητικές αιτίες απόσβεσης

Αυτές είναι βασικά δύο τύπων.

- Απώλεια ενέργειας μέσω της απώλειας θερμότητας : Αυτή η απώλεια ενέργειας μπορεί να έχει διάφορες αιτίες. α) Στερεή- προς στερεή τριβή (αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται κυρίως μέσα στο σχηματισμό), β) Στερεή- προς ρευστή τριβή (αυτό εμφανίζεται στους πορώδεις σχηματισμούς και επίσης στις λάσπες που περιέχουν στερεά μόρια), γ) Ρευστή- προς ρευστή τριβή (αυτό εμφανίζεται στους πορώδεις σχηματισμούς που περιέχουν ύδωρ και υδρογονάνθρακες)

- Ανακατανομή της ενέργειας : Αυτό μπορεί να εμφανιστεί με διάφορους τρόπους.

α) Μεταφορές κατά μήκος των ορίων ενός μέσου, β) Μετατοπίσεις κατά μήκος των ορίων του μέσου (αυτό το φαινόμενο παράγεται είτε στο όριο του σχηματισμού και της λάσπης, είτε μεταξύ των στρωμάτων διαφορετικών λιθολογιών ή στα επίπεδα σπασίματος, όταν τα σπασίματα είναι πληρωμένα με ρευστά ή συγκολλητικό υλικό. Στα σωληνωμένα πηγάδια εμφανίζεται στα όρια της σωλήνωσης-συγκολλητικού υλικού του σχηματισμού όταν το συγκολλητικό υλικό είναι καλό), γ) Διασπορά (όταν το ηχητικό κύμα αντιμετωπίζει τα μόρια, των οποίων οι διαστάσεις είναι μικρότερες από το μήκος κύματος, η ηχητική ενέργεια είναι διασκορπισμένη σε όλες τις κατευθύνσεις, οποιαδήποτε και αν είναι η μορφή της επιφάνειας ανάκλασης).

5.2. Αιτίες απόσβεσης των διαγραφιών εντός γεώτρησης

Πρέπει να διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

• Ανοικτή οπή

Από αυτό που έχουμε πει οι κύριες αιτίες της απόσβεσης είναι:

- *Απόσβεση στη λάσπη*

Αυτό οφείλεται στις ακουστικές απώλειες, από την απώλεια τριβής στερεού στο ρευστό, και τις απώλειες διασποράς στα μόρια αποβολής της λάσπης.

Σε ένα καθαρό υγρό αυτή η απόσβεση ακολουθεί μια εκθετική συνάρτηση τουλάχιστον για μια μοναδική συχνότητα:

$$\delta_m = e^{mx}$$

όπου m είναι ο παράγοντας απόσβεσης στο υγρό, αναλόγως προς την πηγή της συχνότητας, και x είναι η απόσταση πέρα από την οποία η απόσβεση μετριέται.

Για το γλυκό ύδωρ και τις τυποποιημένες συνθήκες της θερμοκρασίας και της πίεσης, για μια συχνότητα 20 kHz, ο παράγοντας απόσβεσης είναι της τάξης 3×10^{-5} db/ft. Είναι υψηλότερο για το αλμυρό ύδωρ και το πετρέλαιο. Μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης.

Για τις κανονικές λάσπες της γεώτρησης που περιέχουν στερεά σωματίδια πρέπει να προσθέσουμε την επίδραση της διασποράς. Υπολογίζεται ότι η συνολική διασπορά είναι της τάξης 0.03 db/ft για μια συχνότητα 20 kHz.

Σε λάσπες που έχουν αέριο (gas cut muds) η απόσβεση που προκαλείται από τη διασπορά είναι πολύ μεγάλη, καθιστώντας έτσι όλες τις ηχητικές μετρήσεις αδύνατες.

- *Απόσβεση από τη μετάδοση ενέργειας πέρα από το όριο λάσπης-σχηματισμού, για τα κύματα που φθάνουν με γωνία πρόσπτωσης μικρότερη της κρίσιμης*

Ο συντελεστής μετάδοσης, εξαρτάται από τις σχετικές ακουστικές αντιστάσεις του πετρώματος και της λάσπης. Δεδομένου ότι η ακουστική αντίσταση της λάσπης είναι περίπου σταθερή και υπάρχει μικρή μεταβολή στην πυκνότητα του πετρώματος, η αναλογία των ακουστικών αντιστάσεων είναι αποτελεσματικά ανάλογες προς την ταχύτητα του ήχου στο πέτρωμα.

- *Απόσβεση στο πέτρωμα*

Διάφοροι παράγοντες είναι σημαντικοί:

(α) Ενεργειακή απώλεια τριβής

Στο μη-σπασμένο πέτρωμα η απόσβεση των επιμηκών και εγκάρσιων κυμάτων είναι μια εκθετική συνάρτηση της μορφής:

$$\delta_i = e^{a l}$$

όπου a είναι ο συνολικός παράγοντας απόσβεσης λόγω των διαφορετικών ειδών τριβής: στερεό προς στερεό (a'), ρευστό προς στερεό (a'') και ρευστό προς ρευστό (a'''):

$$a = a' + a'' + a'''$$

και το l είναι η απόσταση που διανύεται από το κύμα. Δίνεται από την εξίσωση:

$$l = L - (d_h - d_{tool}) \tan i_c$$

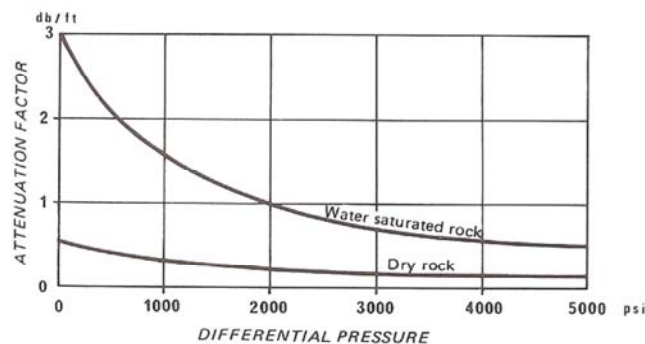
όπου L είναι το διάστημα, d_h και d_{tool} είναι οι διάμετροι της οπής και του εργαλείου, i_c είναι η κρίσιμη γωνία της πρόσπτωσης, η οποία πηγαίνει κάτω καθώς η ταχύτητα στο σχηματισμό αυξάνεται.

Όταν το πέτρωμα δεν είναι πορώδες, οι παράγοντες a'' και a''' είναι μηδέν. Όταν το πέτρωμα είναι κορεσμένο σε ύδωρ, $a''' = 0$.

Στα πορώδη πετρώματα, ο παράγοντας απόσβεσης a'' εξαρτάται από το τετράγωνο της συχνότητας, ενώ οι παράγοντες a' και a''' είναι ανάλογοι προς τη συχνότητα.

Ο παράγοντας a'' εξαρτάται εξίσου από το πορώδες και τη διαπερατότητα. Αυτός αυξάνεται καθώς το πορώδες και η διαπερατότητα αυξάνονται.

Οι παράγοντες απόσβεσης a' και a'' , μειώνονται καθώς η διαφορική πίεση ΔP (γεωστατική πίεση - εσωτερική πίεση των διάμεσων ρευστών) αυξάνεται. Το Σχήμα 54 από τον Gardner et al., (1964), δίνει τη σχέση για το ξηρό πέτρωμα - τις ενεργειακές απώλειες που οφείλονται στη στερεή προς στερεή τριβή (a')-και για ένα κορεσμένο σε ύδωρ πέτρωμα - η διαφορά στην απόσβεση (χάσμα μεταξύ των καμπυλών) οφείλεται στη ρευστή προς στερεή τριβή (a'').



Σχήμα 54. Επίδραση της διαφορικής πίεσης στην απόσβεση (Κατά Gardner et al., 1964 από Serra, 1984).

Όταν το πέτρωμα περιέχει υδρογονάνθρακες, μια μεγαλύτερη απόσβεση του επιμήκους κύματος παρατηρείται στην περίπτωση του αερίου από ό,τι για το πετρέλαιο (ο παράγοντας a''' δεν είναι μηδέν). Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το ιξώδες του ρευστού έχει μια επίδραση στον παράγοντα απόσβεσης a''' .

Ως εκ τούτου, εάν ανακεφαλαιώσουμε όλες τις διαφορετικές παραμέτρους που ενεργούν στην απόσβεση, μπορούμε να γράψουμε για ένα δεδομένο εργαλείο ότι:

$$a = f(f, v, \phi, k, S, \mu, \Delta P, p)$$

με:

f = συχνότητα

v = ταχύτητα του ήχου

ϕ = πορώδες

k = διαπερατότητα

S = κορεσμός

μ = ιξώδες των ρευστών

ΔP = διαφορική πίεση

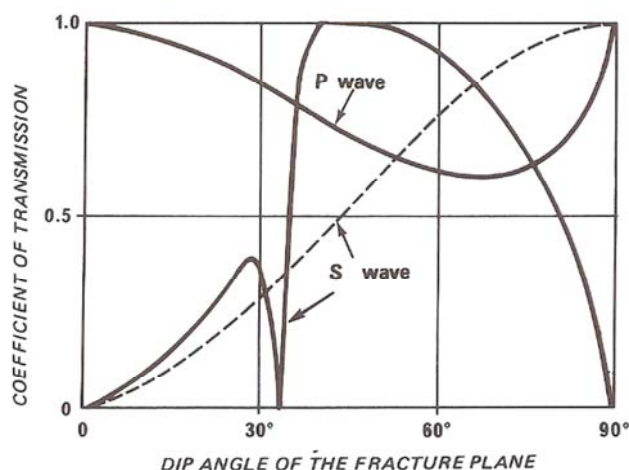
p = πυκνότητα του σχηματισμού.

(β) Απώλεια ενέργειας μέσω της διασποράς και της περίθλασης: αυτή εμφανίζεται κυρίως στα πετρώματα με σπηλαιώσεις (vugs).

(γ) Μετάδοση στα όρια ενός μέσου.

Όταν ένας σχηματισμός αποτελείται από ελασματοποιηθείς λεπτών στρωμάτων διαφορετικής λιθολογίας τότε σε κάθε όριο, μερική ή όλη η ενέργεια, θα ανακλαστεί σύμφωνα με τη γωνία της πρόσπτωσης. Αυτή η γωνία εξαρτάται από την προφανή βύθιση των στρωμάτων, που σχετίζεται με την κατεύθυνση των ηχητικών κυμάτων.

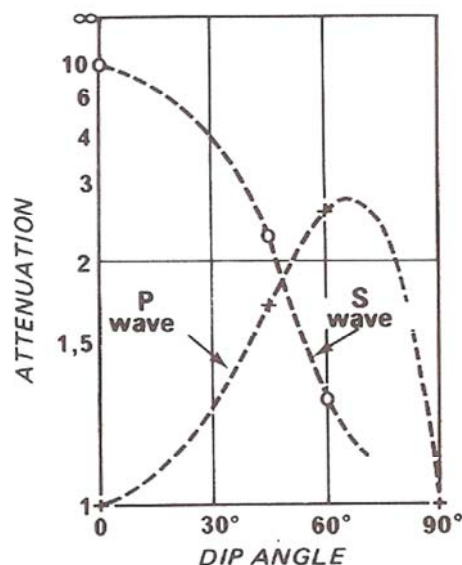
Στην περίπτωση σπασμένων πετρωμάτων το ίδιο είδος επίδρασης εμφανίζεται με τον συντελεστή της μετάδοσης, ως συνάρτηση της γωνίας βύθισης του σπασίματος, όσον αφορά την κατεύθυνση διάδοσης. Το διάγραμμα που δίνεται στο Σχήμα 55 ισχύει μόνο στην περίπτωση των λεπτών σπασμάτων που είναι ανοικτά. Δεν περιλαμβάνει τις ακουστικές απώλειες λόγω της τριβής στο σπάσιμο.



Σχήμα 55. Μεταβολές των συντελεστών μετάδοσης ως συνάρτηση της προφανούς γωνίας βύθισης ενός επιπέδου σπασίματος, όσον αφορά την κατεύθυνση διάδοσης (στερεές γραμμές από Knopoff et al., 1957, διακεκομμένες γραμμές από Morris et al., 1964).

Το Σχήμα 56 προκύπτει από το Σχήμα 55, αλλά ισχύει για τα πειραματικά στοιχεία.

Από αυτά τα δύο σχήματα μπορούμε να συνάγουμε τα ακόλουθα συμπεράσματα: (α) τα P κύματα, είναι μόνο ελαφρώς αποσβέσιμα όταν διασχίζουν ένα οριζόντιο ή κάθετο σπάσιμο. Η απόσβεση είναι μεγάλη, όταν η γωνία του επιπέδου σπασίματος είναι μεταξύ 25 και 85 βαθμών και (β) τα S κύματα, αποσβένονται έντονα όταν διασχίζουν ένα σπάσιμο με μικρή γωνία. Η απόσβεση μειώνεται καθώς η βύθιση αυξάνεται.



Σχήμα 56. Απόσβεση πέρα από ένα σπασίμο ως συνάρτηση της προφανούς γωνίας βύθισης ενός επίπεδου σπασίματος, όσον αφορά την κατεύθυνση διάδοσης (Κατά Morris et al., 1964 από Serra, 1984).

- Μεταφορά της ενέργειας κατά μήκος των τοιχωμάτων της οπής της γεώτρησης

Αυτό το φαινόμενο, αναφέρθηκε και προηγουμένως, οδηγεί σε μια απόσβεση του σήματος στο δέκτη. Μπορούμε γενικά να καταλήξουμε στο συμπέρασμα, ότι η απόσβεση που συνδέεται με αυτό είναι μια συνάρτηση του πομπού στην απόσταση του δέκτη, της διαμέτρου της οπής, και της συχνότητας και της ταχύτητας των P και S κυμάτων.

• Σωληνωμένα πηγάδια

Η απόσβεση επηρεάζεται από τη σωλήνωση, την ποιότητα του συγκολλητικού υλικού και τη λάσπη. Εάν η σωλήνωση είναι ελεύθερη και περιβάλλεται από λάσπη, μπορεί να δονηθεί ελεύθερα. Σε αυτήν την περίπτωση, ο παράγοντας της ενέργειας στο σχηματισμό είναι χαμηλός και το σήμα στο δέκτη είναι υψηλό.

Παρατηρήσεις: Σε μερικές περιπτώσεις, ακόμα και όταν η σωλήνωση είναι ελεύθερη μπορούμε να δούμε τις αφίξεις σχηματισμού (στο VDL). Αυτό μπορεί να συμβεί, εάν η απόσταση μεταξύ της σωλήνωσης και του σχηματισμού είναι μικρή (πλησιέστερα από ένα ή δύο μήκη κυμάτων), ή όταν η σωλήνωση ωθείται προς τη μια πλευρά της γεώτρησης αλλά είναι ελεύθερη προς την άλλη. Η μετάδοση στο σχηματισμό ενισχύεται με την χρήση κατευθυντικών πομπών και δεκτών ευρείας συχνότητας σχετικά με την ανταπόκριση.

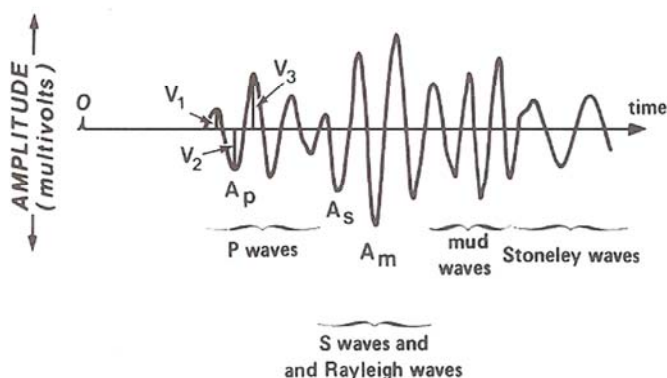
Εάν η σωλήνωση είναι μέσα σε μια θήκη συγκολλητικού υλικού που είναι αρκετά κανονική και παχιά (μια ίντσα τουλάχιστον), και το συγκολλητικό υλικό συνδέεται καλά με το σχηματισμό της σωλήνωσης, δεν είναι πλέον ελεύθερο να δονηθεί. Το πλάτος των δονήσεων των σωληνώσεων, είναι πολύ μικρότερο από όταν η σωλήνωση είναι ελεύθερη, και ο παράγοντας μεταφοράς στο σχηματισμό είναι πολύ υψηλότερος. Ακριβώς πόση ενέργεια μεταφέρεται στο σχηματισμό, εξαρτάται από το πάχος του συγκολλητικού υλικού και της σωλήνωσης. Καθώς η ενέργεια μεταφέρεται στο σχηματισμό, το σήμα δεκτών είναι, φυσικά, μικρότερο. Μεταξύ των δύο άκρων (σωληνωμένη γεώτρηση, ελεύθερος σωλήνας) το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται και ως εκ τούτου το σήμα δεκτών θα ποικίλει.

5.3. Μέτρηση της απόσβεσης

Αυτή δεν είναι πιθανά άμεση, έτσι μια έμμεση μέτρηση του πλάτους χρησιμοποιείται.

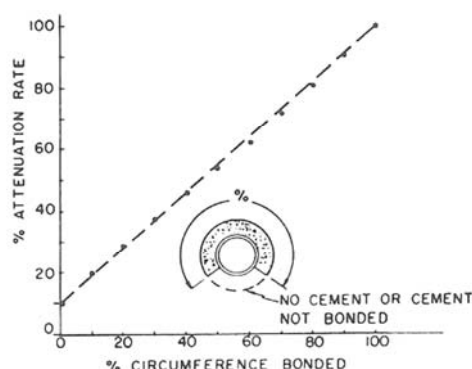
- Διαγραφία δεσμών συγκολλητικού υλικού

Στην περίπτωση μιας διαγραφίας δεσμών συγκολλητικού υλικού (Cement Bond Log, CBL), η γενική μέθοδος, είναι να μετρηθεί το πλάτος της πρώτης άφιξης του επιμήκους κύματος στο δέκτη(ες) (Σχ. 57).



Σχήμα 57. Πλήρες θεωρητικό ακουστικό σήμα που παραλαμβάνεται από το σχηματισμό που παρουσιάζει τις ανίξεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μέτρηση πλάτους. A_p : πλάτος του επιμήκους κύματος (P), A_s : πλάτος του εγκάρσιου κύματος (S). A_m : μέγιστο πλάτος (Από Serra, 1984).

Αυτές οι αφίξεις έχουν μια συχνότητα μεταξύ 20 και 25 kHz. Το πλάτος της πρώτης άφιξης, είναι μια συνάρτηση εν μέρει του τύπου του εργαλείου (ιδιαίτερα του εργαλείου απόστασης-διαστήματος) και της ποιότητας της συμπαγοποίησης: η φύση του συγκολλητικού υλικού και το ποσοστό της περιφέρειας της σωλήνωσης που δεσμεύεται σωστά στο σχηματισμό (Σχ. 58).

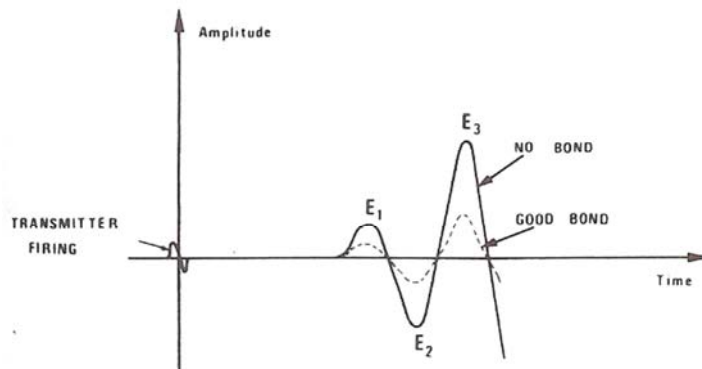


Σχήμα 58. Ποσοστό της απόσβεσης με το ποσοστό της συμπαγούς περιφέρειας (Κατά Schlumberger).

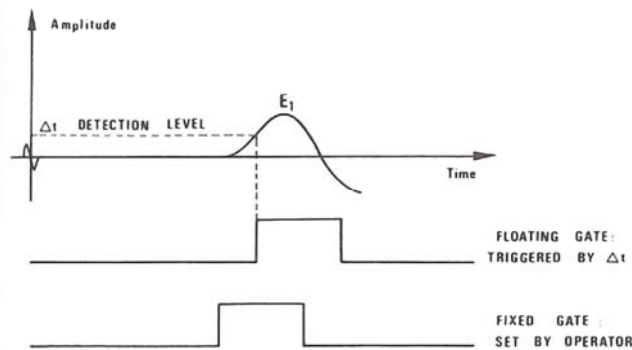
Όπως έχουμε δει το πλάτος είναι ένα ελάχιστο, και ως εκ τούτου η απόσβεση είναι ένα μέγιστο, όταν το εργαλείο είναι σε μια ζώνη, όπου η σωλήνωση κρατιέται σε έναν αρκετά παχύ δακτύλιο του συγκολλητικού υλικού (μια ίντσα τουλάχιστον). Το πλάτος είναι μεγαλύτερο όταν η σωλήνωση είναι ελεύθερη (Σχ. 59).

Το πλάτος μετριέται χρησιμοποιώντας μια ηλεκτρονική πύλη (ή παράθυρο) που ανοίγει για ένα σύντομο χρόνο και μετρά τη μέγιστη τιμή που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια εκείνου του χρόνου.

Στο Schlumberger CBL (Σχ. 60) υπάρχει μια επιλογή δύο συστημάτων για το άνοιγμα της πύλης:



Σχήμα 59. Σχηματική δέκτης απόδοση σήματος με μη-συμπαγή σωλήνωση και με συμπαγή σωλήνωση (Κατά Schlumberger).



Σχήμα 60. Συστήματα πυλών (Κατά Schlumberger).

(α) Μετακινούμενη πύλη: η πύλη ανοίγει στο ίδιο σημείο στο κύμα, καθώς η Δt ανίχνευση, εμφανίζεται και παραμένει ανοικτή για έναν χρόνο που τίθεται από το χειριστή, επαρκής για να καλύψει τον πρώτο μισό κύκλο. Το μέγιστο πλάτος κατά τη διάρκεια του ανοικτού χρόνου, λαμβάνεται καθώς λαμβάνεται η μέτρηση πλάτους.

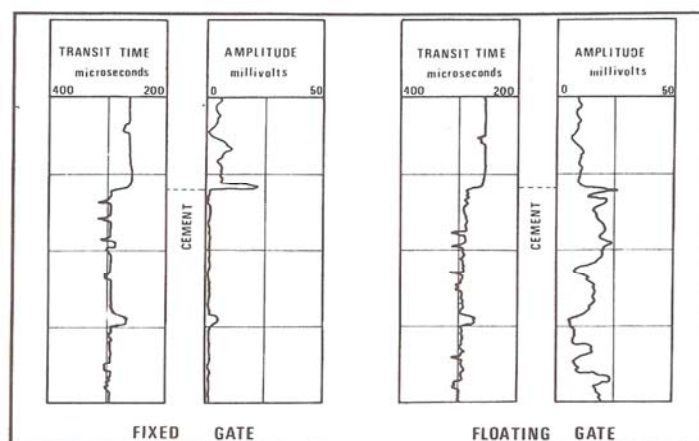
(β) Σταθερή πύλη: ο χρόνος στον οποίο η πύλη ανοίγει, επιλέγεται από το χειριστή και το πλάτος μετριέται ως μέγιστο σήμα κατά τη διάρκεια της περιόδου πυλών. Η σταθερή μέτρηση πυλών είναι επομένως ανεξάρτητη από το Δt .

Στην περίπτωση της σταθερής πύλης, η προσοχή πρέπει να ληφθεί για να ακολουθήσει τη θέση της E_1 άφιξης, εάν για οποιοδήποτε λόγο το πραγματικό Δt ποικίλλει, όπως, παραδείγματος χάριν, όταν το ρευστό μέσα στη σωλήνωση αλλάζει. Κανονικά εντούτοις, όταν το Δt ανιχνεύεται σωστά στο E_1 , τα δύο συστήματα δίνουν το ίδιο αποτέλεσμα. Εάν το E_1 είναι πάρα πολύ μικρό, τότε η Δt ανίχνευση σε απώλεια κύκλου σημάτων θα επαναληφθεί στο E_3 (η περίπτωση όπου η σωλήνωση είναι καλά συμπαγοποιημένη). Τα δύο συστήματα έπειτα δίνουν: (α) σταθερή πύλη: το E_1 μετριέται ακόμα και είναι μικρό και (β) μετακινούμενη πύλη: το E_1 μετριέται και είναι συνήθως μεγάλο (Σχ. 61).

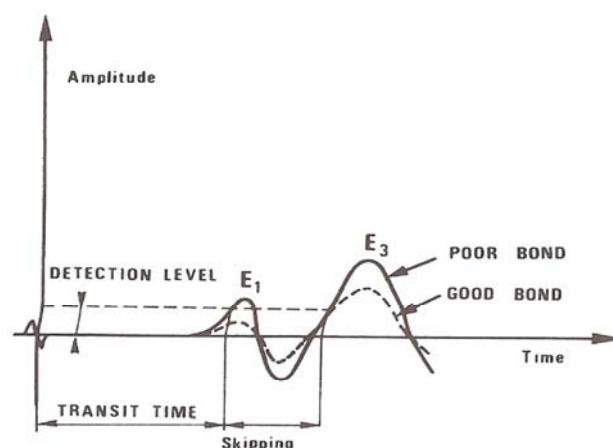
Η μέτρηση και η καταγραφή του χρόνου μετάβασης ταυτόχρονα με το πλάτος επιτρέπουν την απώλεια κύκλου σημάτων να ανιχνευθεί (Σχ. 62).

Η εκκεντρότητα (excentralization) του εργαλείου μπορεί να προκαλέσει μια πτώση στο χρόνο μετάβασης (Σχήμα 63 και 64): το κύμα που έχει την πιο σύντομη πορεία μέσω της λάσπης, φθάνει πριν από το θεωρητικό κύμα που προέρχεται από

κεντρικό όργανο σεισμικής πηγής, και προκαλεί τη μέτρηση του Δt , ακόμα κι αν το πλάτος αποσβένει (Σχήμα 63-b).



Σχήμα 61. Παράδειγμα των καταγεγραμμένων διαγραφιών με σταθερή πύλη και μετακινούμενη πύλη, που δείχνουν την επίδραση στη μέτρηση του συστήματος πυλών (Κατά Schlumberger).

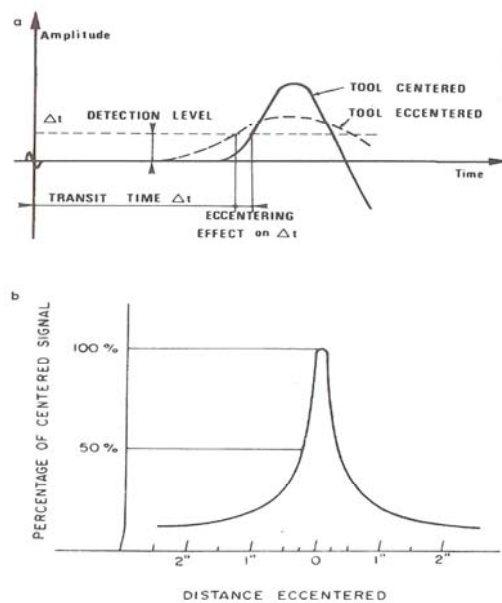


Σχήμα 62. Απώλεια κύκλου σημάτων σε σύστημα μετακινούμενης πύλης που καταγράφεται στην περίπτωση καλής συμπαγοποίησης (Κατά Schlumberger).

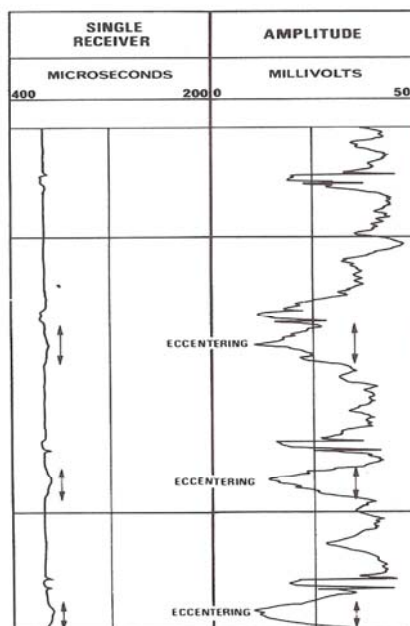
Η μετατροπή της απόσβεσης από την μέτρηση του πλάτους με ένα εργαλείο CBL σε millivolts, εξαρτάται κυρίως από το διάστημα των λαμβανόμενων πομπών (Σχήμα 65). Μπορούμε να καθορίσουμε ότι τα μικρότερα διαστήματα (3 πόδια) πάντα δίνουν καλύτερη ανάλυση από ένα μεγάλο διάστημα. Το Σχήμα 66 είναι ένα παράδειγμα μιας διαγραφίας CBL.

Η ερμηνεία του CBL αποτελείται από τον προσδιορισμό του δείκτη συγκράτησης με τσιμέντο (bond index) που ορίζεται ως η αναλογία απόσβεσης στις ζώνες ενδιαφέροντος μέγιστης απόσβεσης σε μια καλά συμπαγοποιημένη ζώνη. Ένας δείκτης συγκράτησης με τσιμέντο ίσος με 1 επομένως, δείχνει μια τέλεια συγκράτηση της σωλήνωσης που συμπαγοποιεί το σχηματισμό.

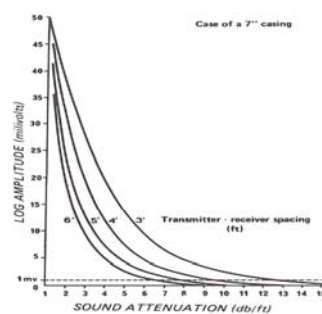
Όπου ο δείκτης συγκράτησης με τσιμέντο είναι μικρότερος από 1, αυτό δείχνει μια λιγότερο τέλεια συμπαγοποιημένη σωλήνωση. Ωστόσο, η σύνδεση μπορεί ακόμα να είναι επαρκής για να απομονώσει τις ζώνες μεταξύ τους και έτσι να είναι ακόμα αποδεκτή. Γενικά κάποιο χαμηλότερο όριο τίθεται στο δείκτη συγκράτησης με τσιμέντο, επάνω από τον οποίο η συμπαγοποίηση θεωρείται αποδεκτή (Σχ. 67). Η ερμηνεία του δείκτη συγκράτησης με τσιμέντο ενισχύεται με την χρήση της Μεταβλητής Διαγραφίας Πυκνότητας ή VDL.



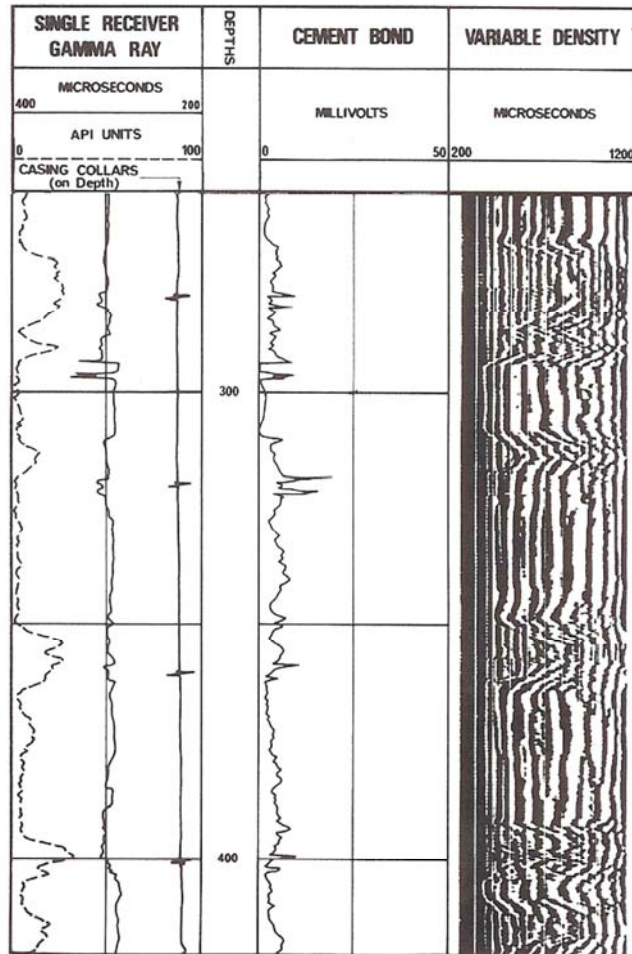
Σχήμα 63. α. Φαινόμενο μείωσης της Δt λόγω της εκκεντρότητας του εργαλείου. β. Συμπιεστική άφιξη πλάτους με την απόσταση, από την οποία ένα εργαλείο είναι έκκεντρο στην ανοικτή οπή (Κατά Morris et al., 1963 από Serra, 1984).



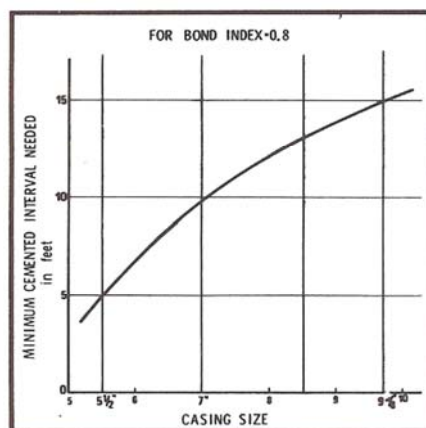
Σχήμα 64. Παράδειγμα της επίδρασης της εκκεντρότητας στο Δt και πλάτος καταγραφής με CBL (Κατά Schlumberger).



Σχήμα 65. Η σχέση μεταξύ του πλάτους και της απόσβεσης για διαφορετικά διαστήματα (Κατά Brown et al., 1971 από Serra, 1984).

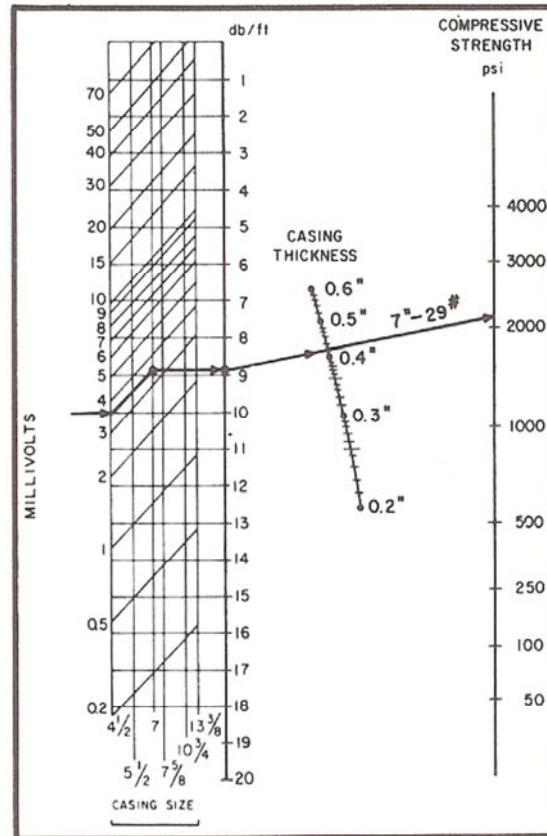


Σχήμα 66. Παράδειγμα της CBL καταγραφής με VDL. Περίπτωση γεώτρησης συμπαγούς σωλήνωσης (Κατά Schlumberger).



Σχήμα 67. Μήκος του ενδιάμεσου συγκολλητικού υλικού που χρειάζεται για τη ζώνη απομόνωσης (Bond Index=0.8)

Η απόσβεση μπορεί να υπολογιστεί από το πλάτος με τη χρησιμοποίηση του διαγράμματος που παρουσιάζεται στο Σχήμα 68, το οποίο επιτρέπει επίσης τον προσδιορισμό της συμπιεστικής δύναμης του συγκολλητικού υλικού. Μερικές επιχειρήσεις προσφέρουν αυτόν τον υπολογισμό άμεσα από τον ίδιο τον εξοπλισμό (π.χ. το Schlumberger CSU).



Σχήμα 68. Ερμηνεία CBL για έκκεντρο εργαλείο μόνο και 3 πόδια διάστημα (Κατά Schlumberger).

- Δείκτης απόσβεσης

Σε χρήση του σε ανοικτά πηγάδια ο Lebreton et al.(1977) πρότεινε έναν υπολογισμό του δείκτη I_c που ορίστηκε από τη σχέση:

$$I_c = (V_2 + V_3)/V_1$$

όπου V_1 , V_2 and V_3 είναι το πλάτος των τριών πρώτων ημικύκλιων του επιμήκους κύματος. Σύμφωνα με αυτούς αυτός ο δείκτης πρέπει να είναι μια συνάρτηση της διαπερατότητας:

$$I_c = a \log (k_v/\mu) + \beta$$

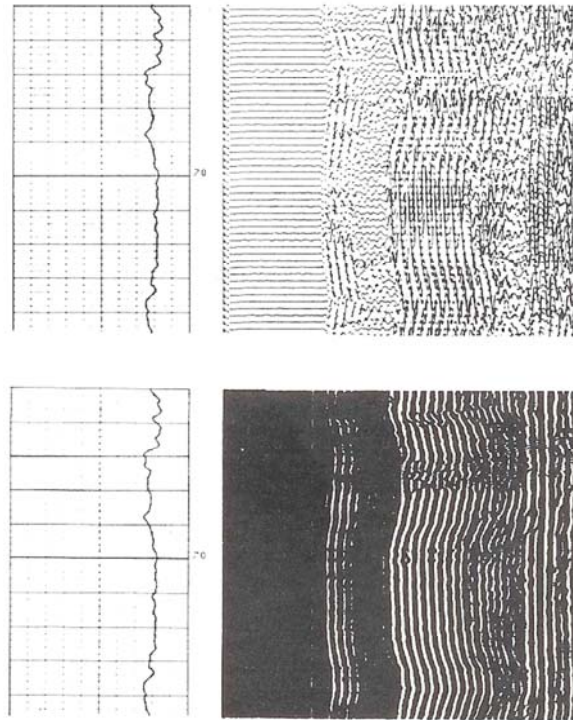
όπου:

k_v = διαπερατότητα που μετρείται κατά μήκος του άξονα του πυρήνα

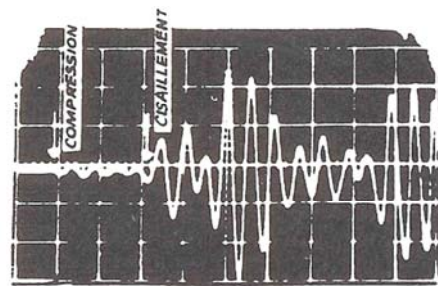
μ = ιξώδες των διαβρέξιμων ρευστών στο πέτρωμα

a και β είναι σταθερές για ένα δεδομένο εργαλείο και μια γεώτρηση.

Εντούτοις, πρέπει να λάβουμε υπόψη το γεγονός, ότι δεν είναι δυνατό να καταγραφεί ολόκληρο το κύμα που χρησιμοποιεί το CBL, εκτός εάν χρησιμοποιούμε μεγάλο ηχητικό διάστημα. Σε εκείνη την περίπτωση, μπορούμε να καταγράψουμε ολόκληρο το σήμα όπως παρουσιάζεται από το Σχήμα 69 και να το επεξεργαστούμε φυσικά. Στις άλλες περιπτώσεις, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα φωτογραφικό σύστημα στην οθόνη ενός παλμογράφου (Σχ. 70) ή να χρησιμοποιηθεί ψηφιοποίηση της ακολουθίας κυμάτων που μπορεί αργότερα να παιχτεί πίσω στην ταινία.

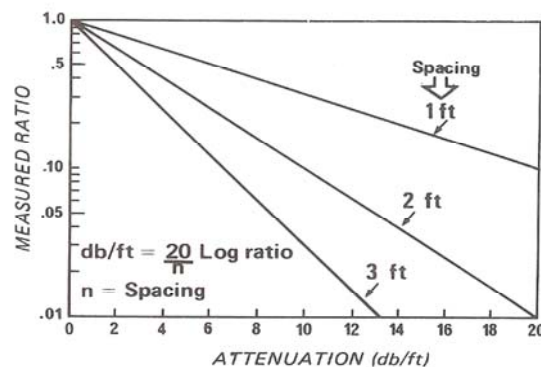


Σχήμα 69. Ψηφιακή καταγραφή της ακολουθίας κύματος (α) απεικόνιση πλάτους-χρόνου ή κυματοειδής καταγραφή. (b) απεικόνιση έντασης πλάτους-χρόνου (VDL) (Από Serra, 1984).



Σχήμα 70. Φωτογραφία λαμβανόμενων σημάτων σε παλμογράφο (Από Serra, 1984).

Μπορούμε εξίσου, όπως προτείνεται από τον Welex, να μετρήσουμε το πλάτος του ίδιου ημικύματος του σήματος σε δύο διαφορετικούς δέκτες, και να υπολογίσουμε την αναλογία, η οποία πρέπει να είναι μόνο μια συνάρτηση της ακουστικής μετάδοσης παράγοντα του σχηματισμού. Η αναλογία μετατρέπεται σε απόσβεση με τη χρησιμοποίηση ενός διαγράμματος (Σχ. 71).

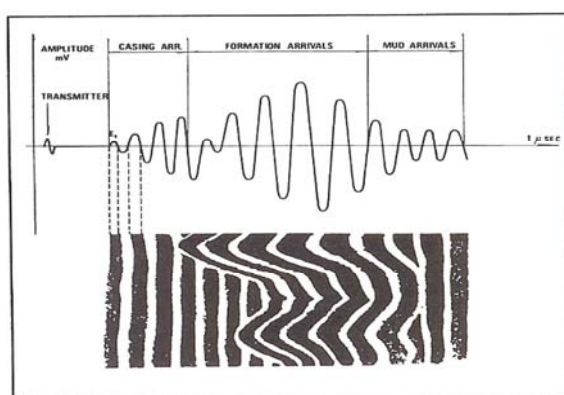


Σχήμα 71. Διάγραμμα που δείχνει την αναλογία πλάτους με την απόσβεση (Κατά Anderson και Riddle, 1963 από Serra, 1984).

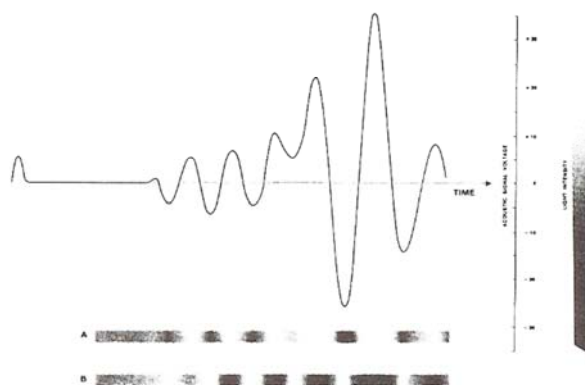
Πρέπει να θυμηθούμε, εντούτοις, ότι οι συντελεστές μετάδοσης σε ανοικτά πηγάδια, είναι πολύ ευαίσθητοι στο μέγεθος των οπών και την τραχύτητα των τοιχωμάτων, η οποία επιδρά στην επαγωγή, και ότι η απόσβεση όπως μετριέται στα ανοικτά πηγάδια, δεν μπορεί κανονικά να χρησιμοποιηθεί.

5.4. Μεταβλητή διαγραφή πυκνότητας (VDL)

Η αρχή παρουσιάζεται στα Σχήματα 72 και 74. Μια καταγραφή αποτελείται από το σήμα που μεταδίδεται κατά μήκος του καλωδίου διαγραφιών κατά τη διάρκεια μιας περιόδου 1000μs χρησιμοποιώντας μια ειδική φωτογραφική μηχανή. Μπορούμε έπειτα είτε να αναπαραγάγουμε το ίχνος (Σχήμα 69-a) με τη χρησιμοποίηση μιας απεικόνισης πλάτους-χρόνου, στην οποία η ακολουθία κυμάτων παρουσιάζεται ως κυματοειδής καταγραφή (wiggle trace) ή μεταφράζεται σε μια μεταβλητή επιφάνεια με σκοτεινή περιοχή, εξαρτώμενη από το ύψος των θετικών ημικυμάτων του ηχητικού σήματος (Σχήμα 69-b). Αυτή η τελευταία μέθοδος είναι γνωστή ως απεικόνιση της έντασης πλάτους-χρόνου.



Σχήμα 72. Αρχή της λειτουργίας της Μεταβλητής Διαγραφίας Πυκνότητα (Variable Density Log) (Κατά Schlumberger).

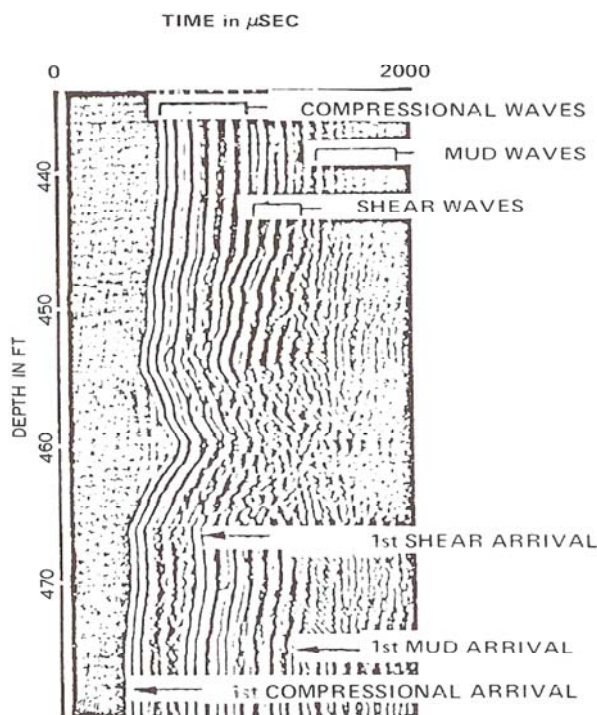


Σχήμα 73. Σχηματική εξήγηση της μετατροπής του πλάτους σε μαύρο και άσπρο (Κατά Guyod και Shane, 1969 από Serra, 1984).

Οι διαφορετικές αφίξεις μπορούν να προσδιοριστούν στις VDL διαγραφίες. Οι αφίξεις που οφείλονται στη σωλήνωση, εμφανίζονται ως κανονικές ζώνες-μπάντες, ενώ οι αφίξεις του σχηματισμού είναι συνήθως ανώμαλες. Μερικές φορές είναι δυνατό να διακριθούν οι διαφορές μεταξύ των αφίξεων, μεταξύ εκείνων που συνδέονται με τα επιμήκη κύματα και εκείνων με τα εγκάρσια κύματα, από το γεγονός ότι τα τελευταία φθάνουν αργότερα και ότι είναι σε μια αιχμηρότερη γωνία-κορυφή (Σχ. 74). Είναι συχνά υψηλότερης ενέργειας (υψηλότερο πλάτος και επομένως ένα σκοτεινότερο ίχνος).

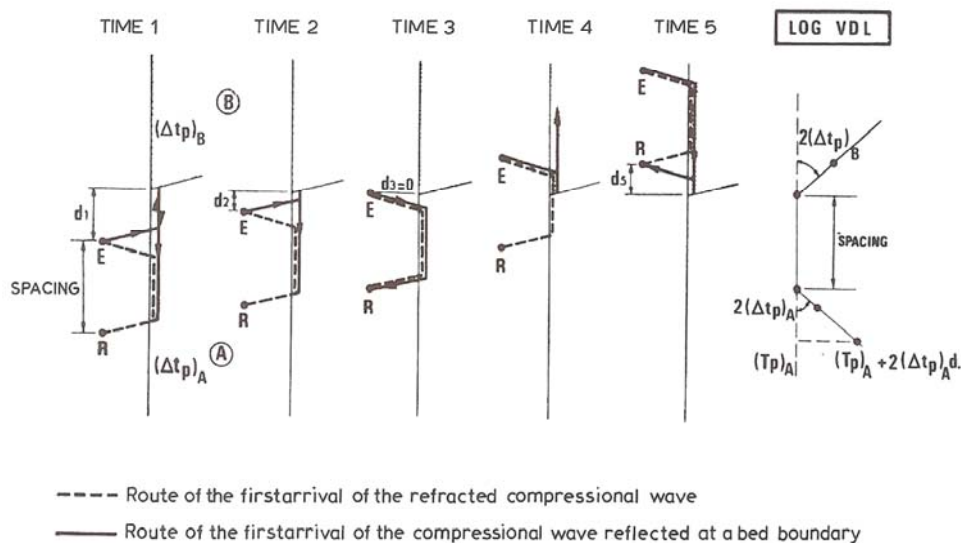
Στην περίπτωση του Schlumberger η VDL διαγραφή, χρησιμοποιεί το δέκτη πέντε ποδιών προκειμένου να βελτιωθεί ο διαχωρισμός μεταξύ των κυμάτων.

Η VDL διαγραφή καταγράφει συχνά τα ευδιάκριτα γωνιώδη διαγράμματα (chevron patterns). Αυτά συσχετίζονται με τις δευτερογενείς αφίξεις, που προκαλούνται από τις ανακλάσεις και τη μετατροπή των αρχικών κυμάτων στα όρια των μέσων με διαφορετικά ακουστικά χαρακτηριστικά, ίσως σχετικά με: (α) τα όρια των στρωμάτων (β) τα σπασίματα (γ) τις μεταβολές μεγέθους των οπών και (δ) τους συνδέσμους της σωλήνωσης. Τα γωνιώδη σχήματα (chevron) εμφανίζονται στα επιμήκη καθώς επίσης και στα εγκάρσια κύματα.



Σχήμα 74. Καταγραφή VDL που δείχνει πώς τα P κύματα μπορούν να διαχωριστούν από τα S κύματα χρησιμοποιώντας το χρόνο και τη γωνία (Κατά Schlumberger).

Η εμφάνιση αυτού του φαινομένου εξηγείται από το Σχήμα 75.



Σχήμα 75. Σχηματική εξήγηση του γωνιώδους σχηματισμού (Κατά Schlumberger).

Στο χρόνο 1, όταν το κύμα αφήνει τον πομπό E, μέρος του κύματος διαθλάται προς τα κάτω μέχρι το δέκτη P. Ο χρόνος διαδρομής του είναι T_p . Ένα άλλο μέρος του κύματος διαθλάται προς τα πάνω, ανακλάται στο όριο των στρωμάτων και πηγαίνει κάτω στο δέκτη. Ο χρόνος μετάβασης του είναι:

$$T_1 = (T_p)_A + 2d_1 (\Delta t_p)_A$$

Στο χρόνο 2, το εργαλείο έχει κινηθεί επάνω, d μειώσεις (d_2) και T_2 επίσης.

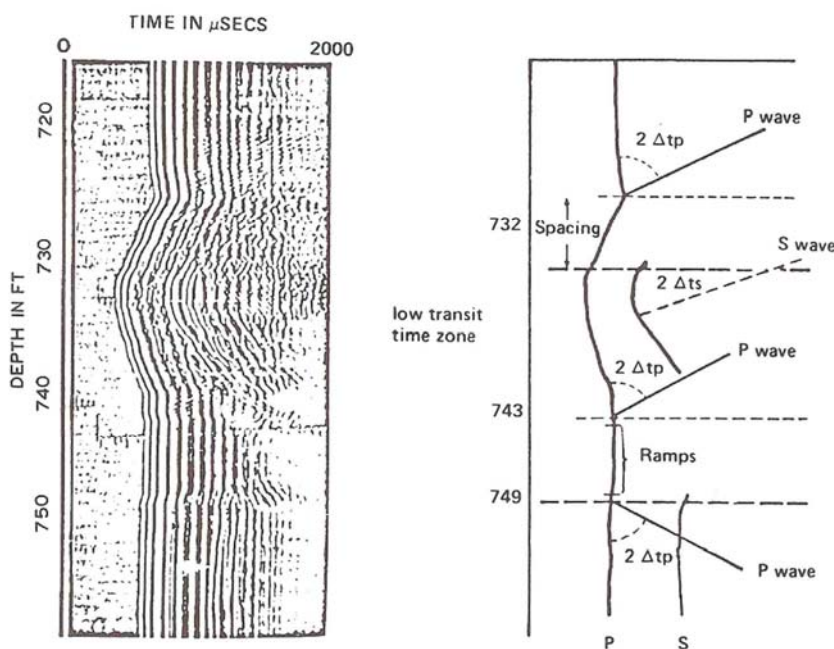
Στο χρόνο 3, το d_3 είναι μηδέν και $T_3 = (T_p)_A$

Μόλις ο πομπός είναι επάνω από το όριο των στρωμάτων (χρόνος 4), το κύμα ανακλάται προς τα πάνω και έτσι δεν φθάνει στο δέκτη. Αυτό συνεχίζει εφ' όσον ο πομπός και ο δέκτης είναι στις διαφορετικές πλευρές του ορίου.

Όταν ο ίδιος ο δέκτης, περνά στην άλλη πλευρά του ορίου (χρόνος 5), αυτό ανιχνεύει, για άλλη μια φορά, μια άφιξη που απεικονίζεται από το όριο και σε έναν χρόνο μετάβασης ίσο με:

$$T_5 = (T_p)_B + 2d_5 (t_p)_B$$

Ένα παράδειγμα των γωνιωδών σχημάτων δίνεται στο Σχήμα 76.



Σχήμα 76. Παράδειγμα της VDL διαγραφίας που δείχνει τα γωνιώδη σχέδια στα P και S κύματα (Κατά Schlumberger).

Οι κύριες εφαρμογές μιας μελέτης των γωνιωδών διαγραμμάτων είναι:

(Α) Ανίχνευση σπασίματος

Ανάλογα με τη γωνία που τα επίπεδα σπασίματος κάνουν με την οπή, πρέπει να εξετάσουμε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις:

(α) σπασίματα των οποίων η γωνία κλίσης είναι μικρότερη από 35° . Το πλάτος του επιμήκους κύματος μειώνεται δύσκολα. Μπορούμε να αναμένουμε μόνο ένα μικρό ποσό ανάκλασης. Η VDL διαγραφία θα έχει το ακόλουθα χαρακτηριστικά: (1) Ισχυρό πλάτος του επιμήκους κύματος (E_1 ή E_2), (2) αδύνατο ή κανένα P-γωνιώδη σχήμα, (3) χαμηλό πλάτος των εγκάρσιων κυμάτων και (4) καλά καθορισμένο S-γωνιώδη σχήμα.

(β) Σπασίματα με μια γωνία κλίσης μεταξύ 35° και 85°. Το πλάτος του P κύματος μειώνεται. Το πλάτος του S κύματος ανεβαίνει και η VDL διαγραφή έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (1) χαμηλό πλάτος του P κύματος (E_1 και E_2), (2) ελάχιστα ή κανένα S-γωνιώδη σχήμα και (3) μερικά P-γωνιώδη σχήματα.

(γ) Σπασίματα με μια γωνία κλίσης άνω των 85°. Αυτά είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευθούν με τις ακουστικές μεθόδους.

(B) Ο υπολογισμός του Δt_s

Αυτό μπορεί να γίνει εάν υπάρχουν S γωνιώδη σχήματα. Σε αυτήν την περίπτωση, το Δt_s δίνεται από την μεταβολή (Σχήμα 74). Έχουμε στην πραγματικότητα:

$$\Delta t_s = 1/2 d/t$$

Μπορούμε επίσης να το υπολογίσουμε με μια μέθοδο ανάλυσης ολόκληρης της ακολουθίας κύματος. Οι αλλαγές στο Δt_s είναι μεγαλύτερες από εκείνες στο Δt_p , που εξηγεί γιατί, οι αφίξεις S κυμάτων δεν είναι παράλληλες στις αφίξεις P κυμάτων. Η διαφορά στο χρόνο αφίξεως μεταξύ των P και των S κυμάτων μπορεί να προσεγγιστεί από την εξίσωση:

$T_s - T_p = (\text{spacing}) (\Delta t_s - \Delta t_p)$ το οποίο το λύνουμε για το Δt_s :

$$\Delta t_s = \Delta t_p + T_s - T_p / \text{spacing}$$

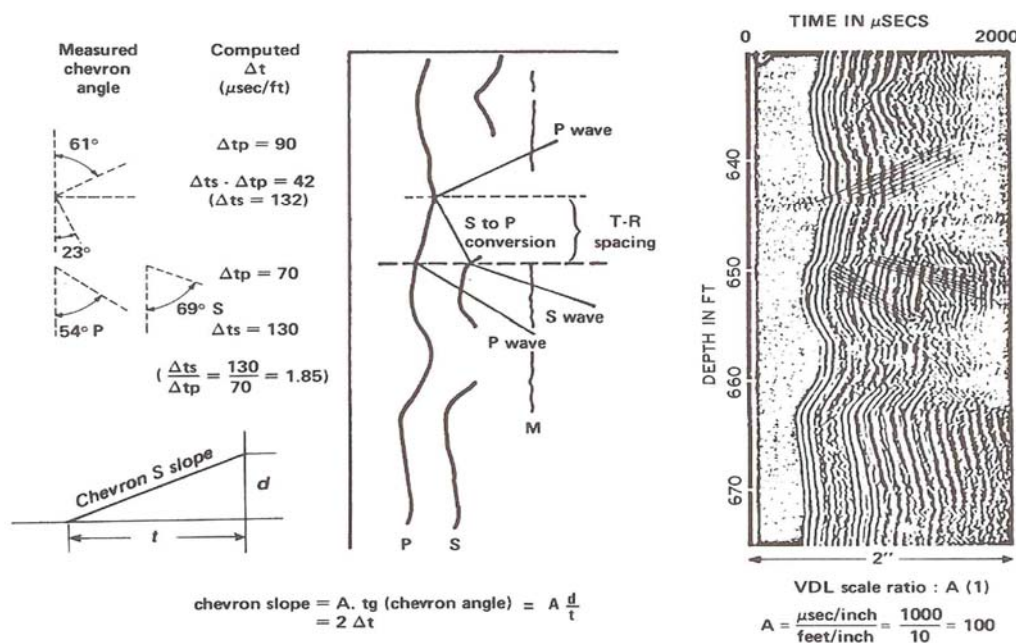
Κατά συνέπεια, στο παράδειγμα του Σχήματος 73 μεταξύ 4277 και 4281 η VDL διαγραφή, της οποίας το διάστημα είναι πέντε πόδια, δίνει:

$$T_s - T_p = 200 \mu s$$

Το Δt_s διαβάζεται από το μη αντισταθμισμένο εργαλείο που είναι περίπου 45 $\mu s/ft$ από το οποίο έχουμε:

$$\Delta t_s = 40 + 45 = 85 \mu s/ft$$

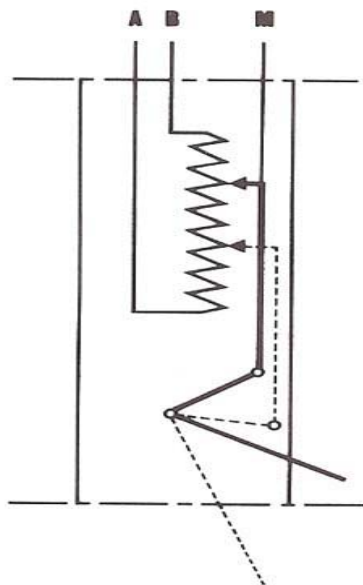
Παρατηρήσεις: Μια άλλη μέθοδος για να βρεθεί το Δt_s είναι να καταγραφούν δύο VDL διαγραφές, μια με 3ft και η άλλη με 5ft διάστημα



Σχήμα 77. Υπολογισμός του Δt_s από την κλίση των γωνιωδών διαγραμμάτων (Από Serra, 1984).

6. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΤΗΣ ΟΠΗΣ ΤΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ (caliper log)

Η μέτρηση της διαμέτρου της οπής της γεώτρησης γίνεται χρησιμοποιώντας δύο οπλές, που τοποθετούνται συμμετρικά σε κάθε πλευρά ενός εργαλείου διαγραφιών. Οι οπλές συνδέονται με το δρομέα ενός ποτενσιόμετρου (Σχ.78).



Σχήμα 78. Σχηματική αναπαράσταση που εξηγεί τη μέτρηση της διαμέτρου. Ο δρομέας ενός ποτενσιόμετρου συνδέεται με το βραχίονα (Από Serra, 1984).

Οι μεταβολές στη διάμετρο των οπών προκαλούν κλείσιμο ή άνοιγμα στις οπλές και η μετακίνηση απεικονίζεται στις αλλαγές της αντίστασης στο ποτενσιόμετρο.

Μια απλή βαθμονόμηση επιτρέπει αλλαγές στην αντίσταση για να κλιμακωθούν οι αλλαγές στη διάμετρο.

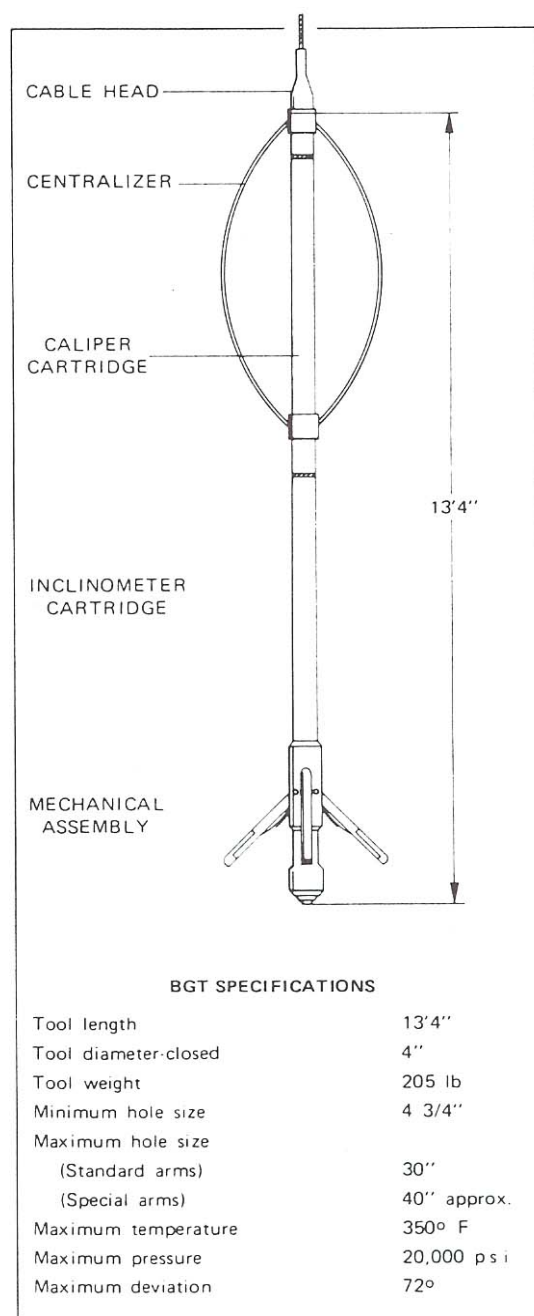
6.1. Εργαλεία

Η πλειοψηφία των συνδυασμών εργαλείων περιλαμβάνει ένα εργαλείο διαμέτρου (caliper tool), που δίνει μια διαγραφή της διαμέτρου των οπών. Αυτό μπορεί να είναι ένα χωριστό εργαλείο ή συμπεριλαμβανόμενο σε ένα άλλο εργαλείο (παραδείγματος χάριν στο FDC).

Δεδομένου ότι οι οπλές του caliper ανέρχονται γεμισμένες, το εργαλείο ανοίγει κατά προτίμηση στη μέγιστη διάμετρο οπών, σε μια έλλειψη κατά μήκος του μεγαλύτερου άξονα. Μπορεί, επομένως, να είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί ένα εργαλείο που έχει τέσσερις οπλές, προκειμένου να αποκτηθεί μια ακριβέστερη ιδέα της μορφής των οπών και του όγκου των οπών.

Ο Schlumberger προτείνει το εργαλείο γεωμετρίας των οπών των γεωτρήσεων (ή BGT, Σχήμα 79) που περιλαμβάνει:

(α) Τέσσερις οπλές που συνδέονται ανά ζεύγη, με κάθε άνοιγμα να έχει μέγιστη διάμετρο οπών 30 ίντσες. Αν είναι απαραίτητο, προστίθενται επεκτάσεις βραχιόνων για να τις αυξήσουν σε 40 ίντσες. Το BGT δίνει ένα μέτρο της οπής διαμέτρου σε δύο κάθετα επίπεδα.



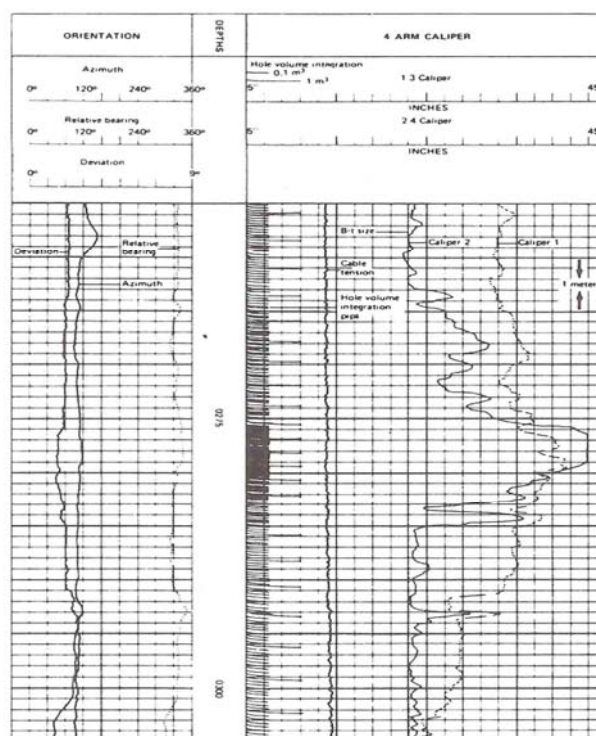
Σχήμα 79. Εργαλείο γεωμετρίας των οπών των γεωτρήσεων (Borehole Geometry Tool) (Κατά Schlumberger).

(β) Ένα προσαρμοστή όγκου της οπής.

(γ) Ένα κλισιόμετρο που επιτρέπει μια συνεχόμενη μέτρηση της γωνίας και του αζιμούθιου απόκλισης των οπών και μετρά επίσης τον προσανατολισμό του εργαλείου σε σχέση με το μαγνητικό Βορρά. Καθώς το όργανο σεισμικής πηγής (sonde) τροφοδοτείται με ενέργεια το εργαλείο μπορεί να ανοίξει και να κλείσει σε περίπτωση ανάγκης και ενώ είναι σε downhole.

Τα στοιχεία από μια BGT διαγραφή μπορούν να καταγραφούν σε ταινία ή μαγνητική ταινία. Το εργαλείο είναι συνδεδεμένο με μια ακτίνα-γ.

Ένα παράδειγμα μιας διαγραφής δίνεται στο Σχήμα 80.



Σχήμα 80. Παράδειγμα BGT διαγραφίας (Από Serra, 1984).

6.2. Γεωλογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τη διάμετρο των οπών

Η διάμετρος της οπής εξαρτάται κυρίως από:

(α) Τη λιθολογία, δεδομένου ότι ορισμένα πετρώματα μπορεί:

(1) παραδείγματος χάριν να είναι διαλυτά στο άλας της λάσπης διατρήσεων

(2) να αποσυντίθενται και να καταρρέουν (παραδείγματος χάριν άμμοι, αμμοχάλικο, σχιστόλιθοι), οπότε σε αυτή την περίπτωση θα εμφανιστούν έγκοιλα στις οπές

(3) να ρέουν, όπως στην περίπτωση των διογκωμένων σχιστόλιθων ή των χαμηλής συμπίεσης σχιστόλιθων, όταν η οπή θα κλείσει.

(4) να είναι αποσαθρωμένα, οπότε σε αυτή την περίπτωση η οπή θα είναι μετρήσιμη.

(β) Την υφή και τη δομή του πετρώματος. Αυτά επηρεάζουν το πορώδες και τη διαπερατότητα του πετρώματος και ως εκ τούτου καθορίζεται εάν το πάχος ενός mud cake θα αυξηθεί, οδηγώντας φυσικά σε μια μείωση της διαμέτρου των οπών. Σημειώστε εδώ, ότι ενώ μερικά caliper εργαλεία κόβουν μέσω του mud cake και ως εκ τούτου μετρούν στα τοιχώματα των οπών των γεωτρήσεων, άλλα οδηγούν στο mud cake. Η υφή και η δομή του σχηματισμού θα καθορίσουν επίσης την στρωμάτωση, την κατανομή του σχιστόλιθου, καθώς και την πιθανότητα μικρορωγμών που επιφέρονται με τη διάτρηση και την ακτινωτή διάρρηξη μακριά από τη γεώτρηση (όπως με τους αποσαθρωμένους σχιστόλιθους και τα ελάσματα ανθρακικού άλατος). Το σπάσιμο που συνδέεται με τις τεκτονικές αλλαγές μπορεί επίσης να αναφερθεί εδώ.

6.3. Εφαρμογές

Οι μετρήσεις της διαμέτρου της οπής χρησιμοποιούνται για:

(α) Την ανίχνευση των πορωδών και διαπερατών ζωνών (παρουσία mud cake) και τον προσδιορισμό του πάχους του mud cake (Σχ. 81): $h_{mc} = (d_{bit} - d_h)/2$

(β) Την μέτρηση του όγκου των οπών προκειμένου να ληφθεί μια εκτίμηση του όγκου του συγκολλητικού υλικού.

όγκος οπών: $V_h = d_h^2 / 2 + 1.2\%$ (σε l/m)

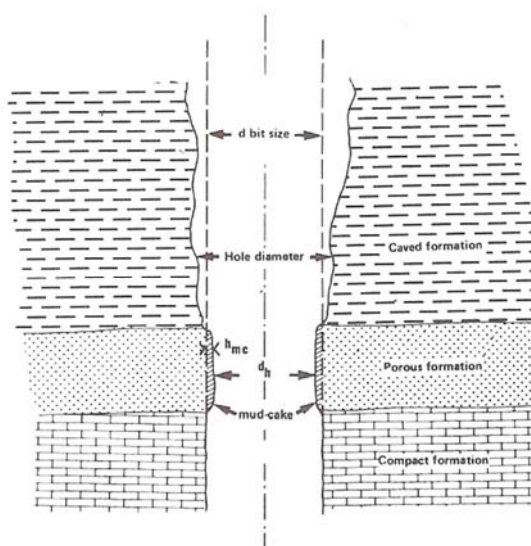
όγκος του συγκολλητικού υλικού: $V_{cement} = 1/2(d_h^2 - d_{casing}^2) + 1\%$ (σε l/m)

d_h και d_{casing} σε μονάδες ίντσας.

(γ) Την ανίχνευση της συγκέντρωσης και των μετρήσιμων τμημάτων της κλίμακας των συσκευαστών για την εξέταση της γεώτρησης

(δ) Την διόρθωση διάφορων τύπων διαγραφιών από την επίδραση της γεώτρησης και του mud cake προκειμένου να ληφθεί μια ακριβέστερη ερμηνεία

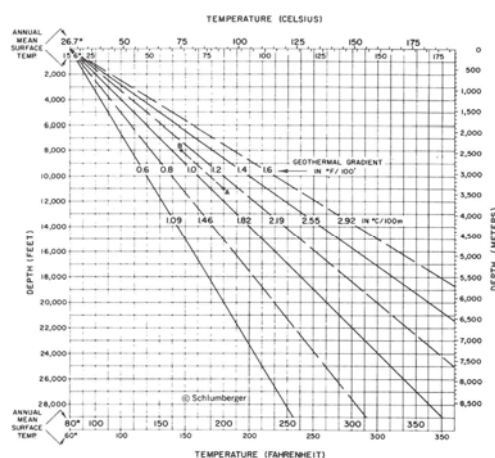
(ε) Οδηγός για τη λιθολογία.



Εικόνα 81. Υπολογισμός του πάχους mud cake, $h_{mc} = (d_{bit} - d_h)/2$ (Από Serra, 1984).

7. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ (ΔΙΑΓΡΑΦΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ)

Γενικά οι αυξήσεις θερμοκρασίας με το βάθος και τις αδιατάρακτες συνθήκες έχουν ένα ποσοστό αύξησης με το βάθος γνωστό ως γεωθερμική βαθμίδα (Σχ. 82).



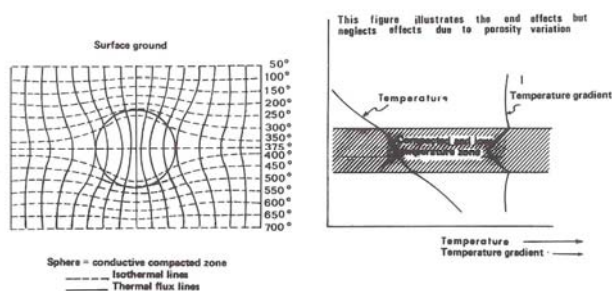
Σχήμα 82. Εξέλιξη της θερμοκρασίας με το βάθος και τη γεωθερμική βαθμίδα (Schlumberger).

Αυτή η βαθμίδα ποικίλλει σύμφωνα με τη γεωγραφική θέση και τη θερμική αγωγιμότητα του σχηματισμού. Η βαθμίδα (Σχήματα 83 και 84) είναι γενικά χαμηλή στους σχηματισμούς υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (άλας ή ανυδρίτης παραδείγματος χάριν) και υψηλή στην αντίθετη περίπτωση (π.χ. σχιστόλιθοι).

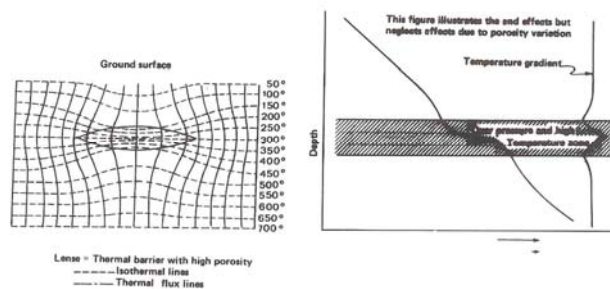
Η ολική θερμοκρασία σε μια γεώτρηση θα εξαρτηθεί από τη γεωθερμική βαθμίδα, εκτός από το ότι οι αλλαγές θερμοκρασίας θα εμφανιστούν λόγω της κυκλοφορίας των λασπών διάτρησης που δροσίζουν το σχηματισμό καθώς γίνεται η διάτρηση. Η μεταφορά της θερμότητας στην επαφή λάσπης-πετρώματος γίνεται με μεταφορά, ενώ στον ίδιο το σχηματισμό με αγωγιμότητα.

Η επίδραση ψύξης της λάσπης στο κατώτατο σημείο της οπής και η επίδραση της θέρμανσής της προς την έξοδο της οπής, θα αλλάξει την κατανομή της θερμοκρασίας και ως εκ τούτου τη θερμική βαθμίδα. Αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 85. Η θερμοκρασία στο κατώτατο σημείο της οπής, πλησιάζει την αρχική επίγεια θερμοκρασία, αν και υπάρχει ακόμα μια διαφορά μεταξύ 10 και 20°C (η κυκλοφορία έχει σταματήσει σε αυτήν την περίπτωση).

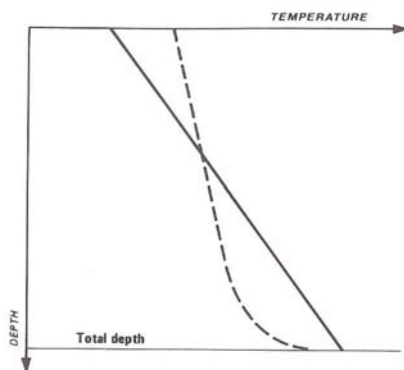
Μόλις σταματήσει η κυκλοφορία-η ανταλλαγή θερμότητας από πέτρωμα σε πέτρωμα, θα υπάρξει μια βαθμιαία θέρμανση του πετρώματος στην αρχική σταθερή θερμοκρασία του. Αυτό θα εξαρτηθεί από τη θερμική αγωγιμότητα του πετρώματος αλλά θα πάρει γενικά κάποιο χρόνο.



Σχήμα. 83. Κατανομή της θερμικής ροής και θερμοκρασίας στην περίπτωση ενός πετρώματος υψηλής θερμικής αγωγιμότητας (Κατά Lewis και Rose, 1970 από Serra, 1984).



Σχήμα. 84. Κατανομή της θερμικής ροής και θερμοκρασίας στην περίπτωση ενός πετρώματος χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας (Κατά Lewis και Rose, 1970 από Serra, 1984)



Σχήμα. 85. Κατανομή της θερμοκρασίας σε μια γεώτρηση (Από Serra, 1984).

7.1. Μέθοδοι μέτρησης θερμοκρασίας

• Μετρήσεις σημείου

Γενικά κάθε εργαλείο διαγραφιών που "τρέχει" στην οπή, έχει συνδεθεί με ένα μέγιστο θερμόμετρο ανάγνωσης, το οποίο δίνει μια ανάγνωση της θερμοκρασίας στο κατώτατο σημείο της οπής. Εάν για κάθε εργαλείο που "τρέχει" τη θερμοκρασία μετρηθεί μια αύξηση της θερμοκρασίας τότε αυτή είναι ανάλογη με το χρόνο. Αυτή είναι η τάση για να αποκατασταθεί ισορροπία και για το έδαφος να επιστρέψει στην αρχική θερμοκρασία του. Από αυτές τις μετρήσεις είναι δυνατό να συναχθεί η αρχική θερμοκρασία του εδάφους στο κατώτατο σημείο της οπής, χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του Horner της θερμοκρασίας.

- Αρχή

Το 1959, ο Lachenbruch και ο Brewer πρότειναν έναν τύπο που επέτρεψε την μεταβολή της θερμοκρασίας με το χρόνο, για να συναχθεί η σταθεροποιημένη θερμοκρασία (T_{∞}), που προσδιορίστηκε ως η αρχική θερμοκρασία εδάφους.

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον τύπο είναι:

(α) ο χρόνος ψύξης στο κατώτατο σημείο της οπής (γεώτρηση + χρόνος κυκλοφορίας): t_k

(β) ο χρόνος "ζεστάματος" t_i , που αντιστοιχεί στο χρόνο στον οποίο το πρώτο εργαλείο διαγραφιών φθάνει στο κατώτατο σημείο και κάνει μια μέτρηση της θερμοκρασίας. Η t_i μετριέται με το τέλος της κυκλοφορίας

(γ) η θερμοκρασία που μετριέται στο χρόνο t_i είναι T_i :

(δ) και γενικά, οι θερμοκρασίες είναι T_i μετρημένες κατά περιόδους t_i , για κάθε διαδοχικό τρέξιμο εργαλείων. Ο τύπος ήταν:

$$T = K \log(1 + t_k / \Delta t) + T(\infty)$$

ο οποίος είναι μια γραμμική συνάρτηση $\log[(\Delta t + t_k)/\Delta t]$ που είναι του τύπου:

$$y = ax + b$$

με

$$y = T \quad x = \log(\Delta t + t_k / \Delta t)$$

$$a = K \quad b = T(\infty)$$

Η γνώση δύο ζευγών σημείων (x,y) γράφεται ως:

$$[T_1, \log(\Delta t_1 + t_k / \Delta t_1)] \text{ και } [T_2, \log(\Delta t_2 + t_k / \Delta t_2)]$$

και μπορούμε να κατασκευάσουμε τη σωστή ευθεία γραμμή. Το $T(\infty)$ είναι η τεταγμένη της διατομής αυτής της γραμμής με τον Y-άξονα όπου:

$$\log(\Delta t + t_k / \Delta t) = 0$$

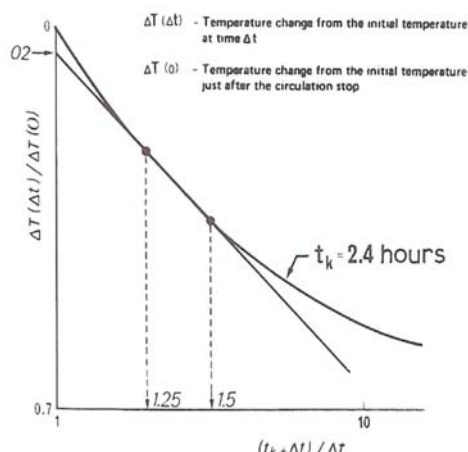
(είναι $x = 0$) ή όπου:

$$\Delta t + t_k / \Delta t = 1$$

Αυτό υπονοεί ένα t_k αμελητέο σε σύγκριση με το Δt .

- Θεωρητική και πειραματική κριτική

Αυτή η τεχνική της εκτίμησης της αρχικής θερμοκρασίας του εδάφους έχει ληφθεί και κωδικοποιηθεί από Timko και Fertl το 1972. Έχουν συστήσει τη χρήση ενός διαγράμματος του Horner (Horner plot) όπως φαίνεται στο Σχήμα 86.

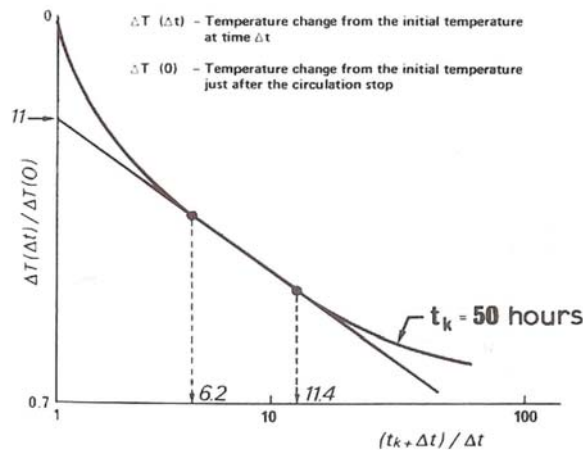


Σχήμα. 86. Διάγραμμα Horner (Horner plot) των θερμοκρασιών σε μια γεώτρηση με έναν χρόνο κυκλοφορίας 2,4 ωρών (Από Serra, 1984).

Οι Evans και Coleman (1974) έχουν χρησιμοποιήσει αυτήν την μέθοδο για να ερμηνεύσουν τα στοιχεία που δίνονται από το BP, UK, CONOCO, UK AMOCO, UK για τη νότια Βόρεια Θάλασσα και έχουν πετύχει έναν χάρτη θερμοκρασιακών βαθμίδων που είναι προφανώς πολύ σύμφωνος.

Πιο πρόσφατα, το 1975, οι Dowdle και Cobb είχαν δημοσιεύσει μια θεωρητική και πειραματική κριτική της μεθόδου. Έχουν δείξει ότι το διάγραμμα Horner οδηγεί σε μια άριστη εκτίμηση της θερμοκρασίας, όταν ο χρόνος ψύξης t_k , δεν είναι μεγαλύτερος από μερικές ώρες (υποθετικά λιγότερο από 5 ώρες) (Σχήμα 86). Εντούτοις, η εκτίμηση γίνεται πολύ φτωχή, όταν το t_k είναι μεγάλο (μεγαλύτερο από, για παράδειγμα, 10 ώρες) (Σχήμα 87).

Σε οποιαδήποτε περίπτωση, το διάγραμμα Horner των μετρήσεων θερμοκρασίας έγινε όταν οι διαγραφίες "έτρεχαν", με μόνο τρόπο να πάρουν την αρχική θερμοκρασία, και στις περισσότερες πρακτικές περιπτώσεις, αυτή η εκτίμηση, θα είναι αρκετά καλή εφ' όσον καταγράφονται σωστά οι θερμοκρασίες και ο χρόνος μέτρησης.



Σχήμα. 87. Διάγραμμα Horner των θερμοκρασιών σε μια γεώτρηση με έναν χρόνο κυκλοφορίας 50 ωρών (Από Serra, 1984).

- Συστάσεις

Από αυτό που έχει ειπωθεί, φαίνεται ότι μπορούμε να υπολογίσουμε την αρχική θερμοκρασία του σχηματισμού, στην περίπτωση όπου έχουμε τουλάχιστον δύο ζεύγη των θερμοκρασία-χρόνος μέτρησης, που λαμβάνονται σε ευνοϊκές συνθήκες. Αυτό υπονοεί: (α) την καταγραφή της μέγιστης ανάγνωσης θερμοκρασίας κάθε φορά που "τρέχει" ένα εργαλείο διαγραφιών στην οπή (β) τον ελάχιστο πιθανό χρόνο να είναι συμβατός με την ασφάλεια και να είναι σε θέση να πάει κάτω με τα εργαλεία διαγραφιών. Αυτό συμβαίνει ώστε να μη δροσιστεί ο σχηματισμός πάρα πολύ προτού μετρηθεί η θερμοκρασία (έτσι ελαχιστοποιείται το t_k), και (γ) τη συλλογή αρκετών στοιχείων για να πάρει έναν καλό καθορισμό του Δt και t_k .

- Χρήση της μεθόδου Horner

Αυτή υποθέτει:

(Α) Τη συλλογή των ακόλουθων στοιχείων

(1) πριν καταγραφούν οι διαγραφίες

- κατώτατο βάθος πηγαδιού

- χρόνος στον οποίο η διάτρηση έπαψε (ημέρα, ώρα, λεπτό)

- χρόνος κυκλοφορίας που σταμάτησε (ημέρα, ώρα, λεπτό)

- ποσοστό διείσδυσης του τρυπανιού κατά τη διάρκεια των τελευταίων δέκα μέτρων που γίνεται η διάτρηση

- χρόνος που χρειάζεται για να διατρήσει το τελευταίο μέτρο (t_{k1}) σε λεπτά

- χρόνος κυκλοφορίας (t_{k2}) σε λεπτά,

$$t_k = t_{k1} + t_{k2}$$

(2) όταν κάθε διαγραφή "τρέχει":

- τύπος εργαλείων διαγραφιών,

- μέγιστο βάθος που επιτυγχάνεται,

- χρόνος τον οποίο κατέγραψε η διαγραφή την αρχική εμφάνιση (ημέρα, ώρα, λεπτό),

- χρόνος μεταξύ της διαγραφίας που άρχισε και της κυκλοφορία που σταμάτησε, Δt ,
- καταγραφή μέγιστης θερμοκρασίας.

Παρατήρηση: αν και δύο σημεία χρόνων θερμοκρασίας είναι επαρκή για να σχεδιαστεί η γραμμή:

$$T = k \log (\Delta t + t_k / \Delta t) + T(\infty)$$

είναι προτιμότερο να υπάρξουν τουλάχιστον τρία ή τέσσερα σημεία. Γι' αυτό χρησιμοποιείται το θερμόμετρο με κάθε εργαλείο.

(B) Το ίδιο το διάγραμμα Horner.

Αυτό δεν παρουσιάζει καμία ιδιαίτερη δυσκολία. Χρησιμοποιεί ένα ημιλογαριθμικό χαρτί.

Η τετμημένη (x-άξονας) $(\Delta t + t_k) / \Delta t$ σχεδιάζεται στη λογαριθμική κλίμακα.

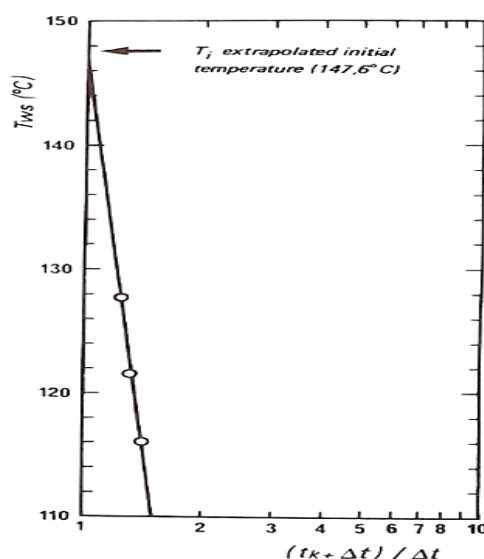
Στην τεταγμένη (y-άξονας) η θερμοκρασία σχεδιάζεται στη γραμμική κλίμακα.

Τα σχεδιασμένα σημεία (Σχ. 88) επιτρέπουν να σχεδιαστεί μια γραμμή. Το T , ή η αρχική θερμοκρασία σχηματισμού, είναι η τομή της γραμμής με τον y-άξονα, για $x = 1$, το οποίο είναι για $(\Delta t + t_k) / \Delta t = 1$. Στην πραγματικότητα, σε αυτήν την περίπτωση, η εξίσωση:

$$T = K \log (\Delta t + t_k / \Delta t) + T(\infty)$$

μειώνεται σε

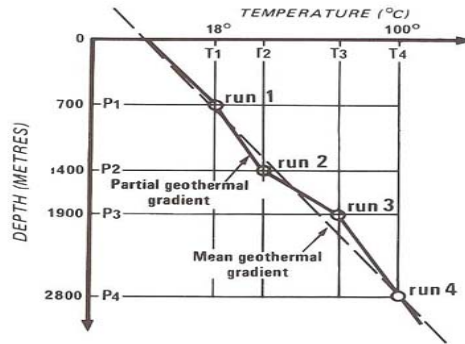
$$T = T(\infty)$$



Σχήμα 88. Παράδειγμα της πλοκής Horner σε μια γεώτρηση της ακτής του Περσικού Κόλπου (Από Serra, 1984).

- Επαλήθευση της κατανομής της θερμοκρασίας μιας γεώτρησης

Η θερμοκρασία που υπολογίζεται με τη μέθοδο Horner, σχεδιάζεται με το βάθος μετά από κάθε σύνολο διαγραφιών (Σχ. 89). Μπορούμε έπειτα να καθορίσουμε μια γεωθερμική κατανομή για το φρεάτιο και από αυτό μια μέση γεωθερμική βαθμίδα (σε βαθμούς ανά εκατό μέτρα ή πόδια).



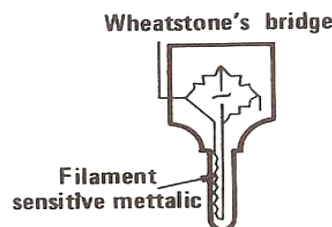
Σχήμα. 89. Κατασκευή της γεωθερμικής κατανομής σε μια γεώτρηση (Από Serra, 1984).

- Συνεχείς μετρήσεις θερμοκρασίας

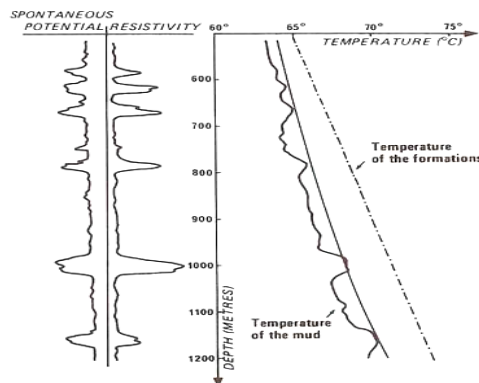
Αυτές γίνονται χρησιμοποιώντας ένα θερμόμετρο, που αποτελείται από ένα ευαίσθητο αντιστάτη μετάλλων θερμοκρασίας, του οποίου η ειδική αντίσταση αλλάζει με τη θερμοκρασία. Το μέταλλο είναι ένα κράμα, απόδειξης διάβρωσης, που έχει μια γραμμική απόκριση στην κανονική σειρά θερμοκρασίας (0 σε 350°F), μια χαμηλή χρονική σταθερά και μια χαμηλή επίδραση σε joule (ή την επίδραση θέρμανσης) που οφείλεται στο ρεύμα μέτρησης.

Το στοιχείο αποτελεί τον τέταρτο βραχίονα μιας γέφυρας μέτρησης αντιστάσεων (Wheat-stone bridge) (Σχήμα 90) που ελέγχει τη συχνότητα ενός ταλαντωτή που βρίσκεται στην κεφαλή των εργαλείων.

Η καταγραφή της θερμοκρασίας γίνεται συνήθως πηγαίνοντας κάτω στην οπή, για να μην διαταραχθεί η θερμική ισορροπία με ανακάτωση της λάσπης με τη μετακίνηση του sonde και του καλωδίου (Σχ. 91).



Σχήμα 90. Αρχή του υψηλής ευκρίνειας θερμομέτρου (Κατά Schlumberger).



Σχήμα 91. Παράδειγμα διαγραφίας θερμοκρασίας (Κατά Guyod, 1946 από Serra, 1984).

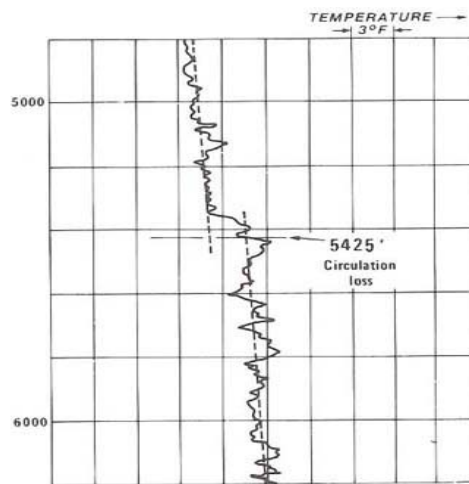
7.2. Εφαρμογές

- Ανοικτή οπή

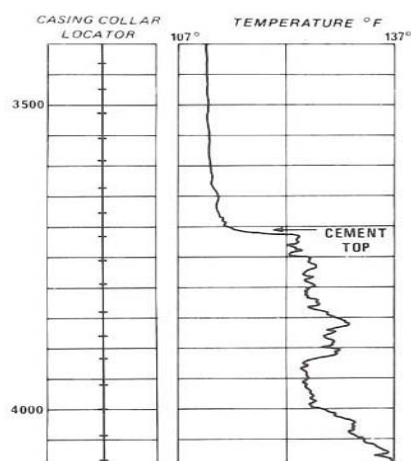
Οι μετρήσεις θερμοκρασίας επιτρέπουν τον καθορισμό των αλλαγών στη γεωθερμική ισορροπία (γεωθερμική ενέργεια, θερμική ροή, ωριμασμένη οργανική ουσία, κ.λπ.). Μπορούμε έπειτα να καθορίσουμε τη μέση γεωθερμική δραστηριότητα μιας γεώτρησης ή μιας ζώνης.

Η θερμική ισορροπία που καταστρέφεται από τη διάτρηση, επαναφέρεται λίγο ή πολύ γρήγορα, σύμφωνα με τη θερμική αγωγιμότητα του πετρώματος. Οι μεταβολές στη θερμοκρασία μπορούν έπειτα να δώσουν κάποια ένδειξη της λιθολογίας. Αυτό είναι ένας τρόπος ανίχνευσης των χαμηλών συμπιεσμένων σχιστόλιθων (η θερμοκρασία ανεβαίνει γρηγορότερα, οι γεωθερμικές βαθμίδες αυξάνονται).

Μπορούμε να εντοπίσουμε τις χαμένες ζώνες κυκλοφορίας (Σχ. 92) ή τη ρευστή ροή στη γεώτρηση, και ειδικότερα, στο αέριο, το οποίο ανιχνεύεται από την επίδραση ψύξης που επέρχεται από την επέκταση αερίου.



Σχήμα. 92. Παράδειγμα του εντοπισμού μιας χαμένης ζώνης κυκλοφορίας από την έρευνα θερμοκρασίας (Κατά Schlumberger).



Σχήμα. 93. Ανίχνευση του ύψους του συγκολλητικού υλικού πίσω από τη σωλήνωση από μια έρευνα θερμοκρασίας (Κατά Schlumberger).

- Σωληνωμένη οπή

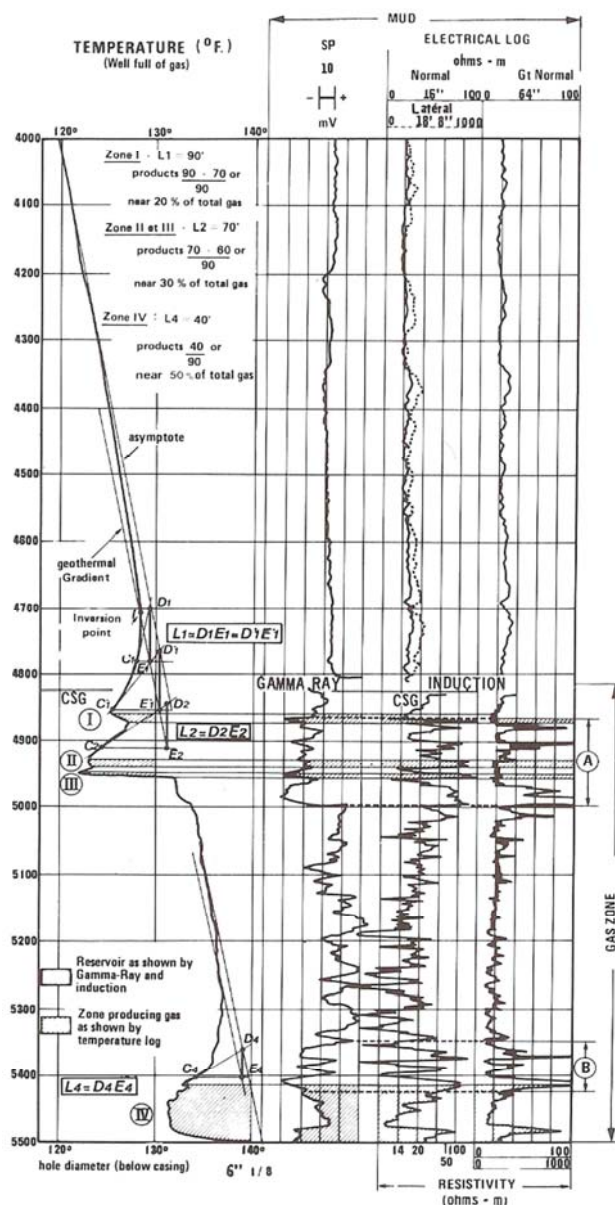
Οι κύριες εφαρμογές των διαγραφιών θερμοκρασίας, είναι στις σωληνωμένες οπές και ειδικότερα στην διαγραφή παραγωγής:

(α) ανίχνευση του ύψους του συγκολλητικού υλικού πίσω από τις ζώνες σωλήνωσης (Σχήμα 93) και διοχέτευσης (ρευστή κυκλοφορία πίσω από το σωλήνα)

(β) ανίχνευση των ζωνών παραγωγής (Σχήμα 94)

(γ) προσδιορισμός του βάθους του σημείου φυσαλίδων

(δ) ανίχνευση των ζωνών της ρευστής εισόδου εγχύσεων.



Σχήμα. 94. Παράδειγμα της ανίχνευσης του αερίου στις ζώνες παραγωγής από μια έρευνα θερμοκρασίας (Κατά Kunz και Tixier, 1955 από Serra, 1984).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson, W.L. and Riddle, G.A., 1963. Acoustic amplitude ratio logging. Soc. Petr. Eng. AIME, 38th Annu. Fall Meeting, New Orleans, Paper 722.
- Aron, J., Murray, J. and Seeman, B., 1978. Formation compressional and shear interval transit time logging by means of long spacings and digital techniques. SPE of AIME, paper No. SPE 7446.
- Brown, H.D., Grijalva, V.E. and Raymer, L.L., 1971. New developments in sonic wave train display and analysis in cased holes. Log Analyst, 12 (1).
- Domenico, S.N., 1976. Effect of brine gas mixture on velocity in an unconsolidated sand reservoir. Geophysics, 41 (5).
- Dowdle, W.L. and Cobb, W.M., 1975. Static formation temperature from well logs. An empirical method. J. Pet. Technol., 27 (11).
- Evans, T.R. and Coleman, N.C., 1974. North Sea geothermal gradients. Nature, 247 (January 4, 1974).
- Gardner, G.H.F., Wyllie, M.R.J. and Droschak, D.M., 1964. Effect of pressure and fluid saturation on attenuation of the elastic waves in sands. J. Pet. Technol., 16 (2).
- Geerstma, K., 1961. Velocity log interpretation: the effect of rock-bulk compressibility. J. Soc. Pet. Eng., 1.
- Goetz, J.F., Dupal, L. and Bowler, J., 1979. An investigation into discrepancies between sonic log and seismic check shot velocities.
- Guyod, H. and Shane, L.E., 1969. Geophysical Well Logging, Vol. 1. Guyod, Houston.
- Knopoff, L. et al., 1957. 2nd Annual Report, Seismic Scattering Project. Inst. Geophysics, UCLA.
- Kokesh, F.P., Schwartz, R.J., Wall, W.B. and Morris, R.L., 1969. A new approach to sonic logging and other acoustic measurements. Soc. Petrol. Eng., Paper No. SPE 991. J. Pet. Technol., 12 (3).
- Kunz, K.S. and Tixier, M.P., 1955. Temperature surveys in gas producing wells. J. Pet. Technol.
- Labreton, F.P., Sarda, J.P., Trocqueme, F. and Morlier, P., 1977. Essais par diagraphie des milieux poreux pour evaluer l' influence de leur permeabilite sur des impulsions acoustiques. 5th Europ. Log. Symp. SAID (oct. 1977, Paris).
- Lachenbruch, A.H. and Brewer, M.C., 1959. U.S. Geol. Surv. Bull., 1083 c, 78.
- Morris, R.L., Grine, D.R., Arkfeld, T.E., 1963. the use of compressional and shear acoustic amplitudes for the location of fractures. Soc. Pet. Eng. AIME, 38th Annu. Fall Meeting, New Orleans, Paper 723.
- Morris, R.L. et al., 1964. Using compressional and shear acoustic amplitudes for the location of fractures. J. Pet. Technol., 16 (6).
- Παπαζάχος Β. . (1989). Εισαγωγή στη Σεισμολογία. Εκδόσεις Ζήτη. σελ.382.
- Pickett, G.R., 1963. Acoustic character logs and their applications in formation evaluation. J. Pet. Technol., 15(6).
- Raymer, L.L. Hunt, E.R. and Gardner, J.S., 1980. An improved sonic transit to porosity transform. SPWLA, 21st Annu. Log. Symp. Trans., Paper P.
- Sarmiento, R., 1961. Geological factors influencing porosity estimates from velocity logs. Bul. Am. Assoc. Pet. Geol., 45 (4).
- Serra, O., (1984). Fundamentals of well-log interpretation. 1. The acquisition of logging data. Elsevier. p. 1-50, 213-250, 261-268.
- Shumway, G., 1958. Sound velocity vs temperature in water-saturated sediments. Geophysics, 23 (3).
- Timko, D.J. and Fertl, W.H., 1972. How Downhole Temperature Pressures Affect Drilling. World Oil, October 1972.
- Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R. and Gardner, L.W., 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. Geophysics, 21 (1)
- <http://www.geotechonline.gr>