



# Τεχνική Γεωτρήσεων *Διαγραφίες*

Κ. Βουδούρης

Βασίλης Μαρίνος

*Τμήμα Γεωλογίας, Εργαστήριο Τεχνικής  
Γεωλογίας ΑΠΘ*

# Διαγραφίες - Logging

---

- Οι *διαγραφίες* ή *καταγραφές* (well logging) στις γεωτρήσεις συνίστανται στο κατέβασμα ευαίσθητων διατάξεων (δέκτες) σε ασωλήνωτη γεώτρηση και στη συνεχή καταγραφή διαφόρων παραμέτρων και αποσκοπούν στη συλλογή χρήσιμων πληροφοριών.

# Διαγραφίες

## Συλλογή χρήσιμων πληροφοριών

---

- θέση των υδροφόρων στρωμάτων (άρα βοηθούν στη σωστή τοποθέτηση των φιλτροσωλήνων)
- αλατότητα και η θερμοκρασία του νερού
- πορώδες, ο βαθμός κορεσμού και η διαπερατότητα
- ζώνες υδροφορίας
- ζώνες ρηγμάτων ή έντονης αλλαγής ποιότητας γεωυλικών
- κενά εδάφους
- βάθος τους βραχώδους υποβάθρου
- στρωματογραφία - δομή λόγω κακής δειγματοληψίας
- τεχνική κατάσταση της γεώτρησης

# Διαγραφίες

## Συλλογή χρήσιμων πληροφοριών

### Εξοπλισμός

- Ο δέκτης, ο οποίος περιέχεται σε μια οβίδα (probe) που κρεμιέται από καλώδιο που κατεβαίνει στην ασωλήνωτη γεώτρηση.
- Ο μετατροπέας σήματος
- Ο καταγραφέας
- Ο κινητήρας για να κατεβαίνει η οβίδα και ο μετρητής βάθους

### Δέκτες

- Ηλεκτρόδια για τη μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού και της αντίστασης
- Θερμικοί δέκτες
- Μαγνητικοί
- Ακουστικοί
- Ραδιενεργοί
- Οπτικοί
- Μηχανικοί

# Μέθοδοι Διαγραφιών

---

- ◉ Υπάρχουν πολλές μέθοδοι διαγραφιών, οι οποίες μπορεί να διαχωρισθούν σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:
  1. ηλεκτρικές
  2. ακτινοβολίας
  3. ακουστικές

# Είδη διαγραφιών και η διεθνής ονομασία

A/A	Είδος Διαγραφίας	Διεθνής Ονομασία
1	Φυσική Ακτινοβολία Γ	Natural Gamma spectroscopy
2	Ηλεκτρική Διαγραφή	Electric Log
3	Ηλεκτρική – Φυσική ακτινοβολία Γ	Electric Log- Natural Gamma spectroscopy
4	Εστιασμένη Ηλεκτρική Αντίσταση	Focused Electric Log/Guard Log
5	Ποιότητα Υδροφορίας	Water Quality Log
6	Θερμοκρασία - Αγωγιμότητα	Temperature-Conductivity Log
7	Υποβρύχια Κάμερα	Submersible Camera Log
8	Πορώδες	Porosity Log
9	Ροόμετρο	Impeller Flowmeter Log
10	Αζιμουθιακή Καθετότητα	Gyroscopic verticality Log
11	Σεισμικά Πλήρους Κυματομορφής	Sonic Log
12	Πυκνότητα	Density Log
13	Ακουστική Απεικόνιση	Acoustic Televiwer Log
14	Οπτική Απεικόνιση	Optical Televiwer Log
15	Διάμετρος Γεώτρησης	3 Arm Caliber Log

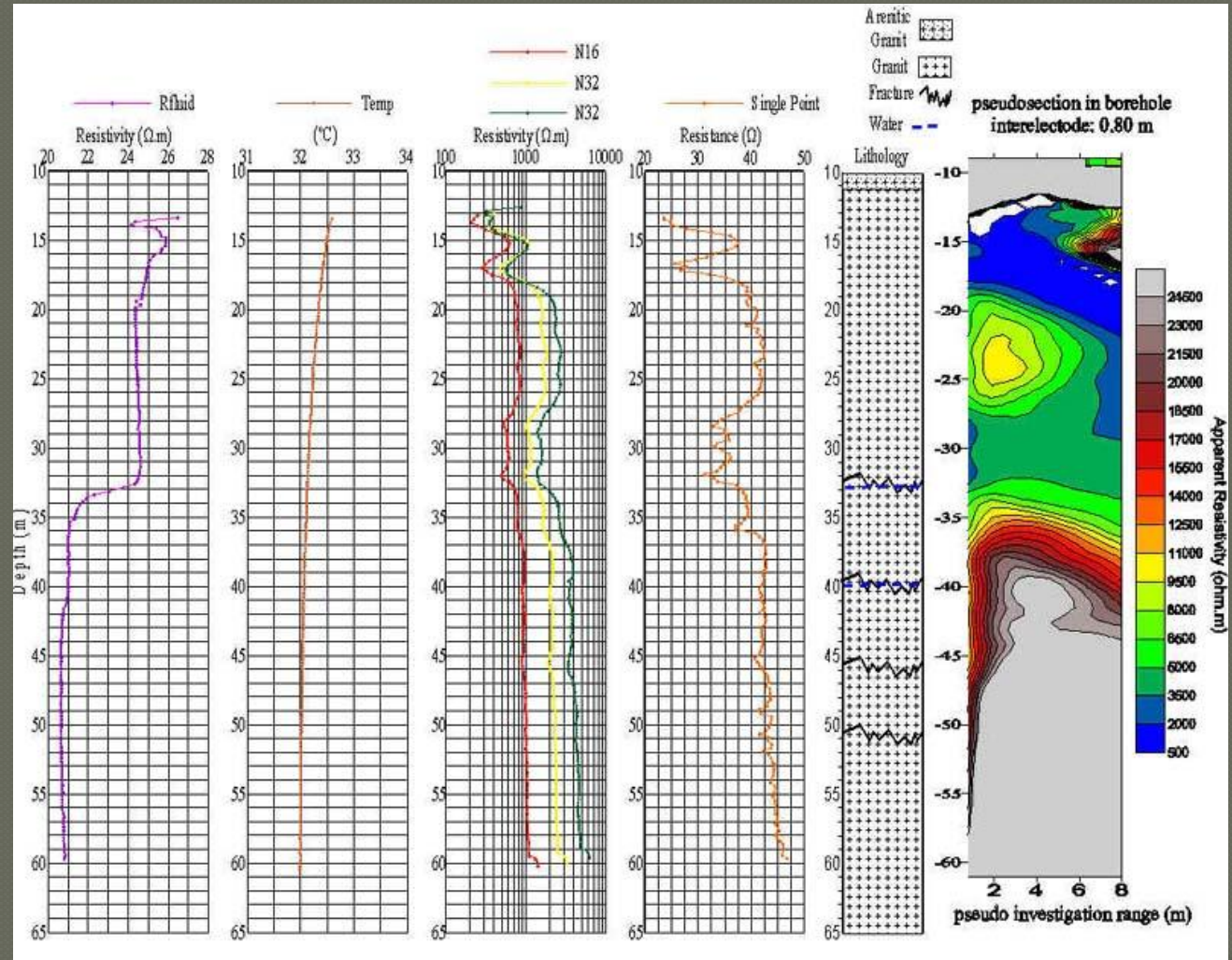
## Συλλογή χρήσιμων πληροφοριών

---

- Το βάθος έρευνας φθάνει μέχρι ένα μέτρο από το τοίχωμα της γεώτρησης.

# Καταγραφές ηλεκτρικής αντίστασης

Αποτελεί μια από τις παλαιότερες μεθόδους διαγραφιών και συνίσταται στη συνεχή καταγραφή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης (resistivity log) των πετρωμάτων.





# Καταγραφές ηλεκτρικής αντίστασης

---

- Η ειδική αντίσταση είναι το αντίστροφο της αγωγιμότητας (στερεά υλικά πετρωμάτων έχουν μικρή αγωγιμότητα και η παρουσία νερού αυξάνει την αγωγιμότητα).
- Η ικανότητα μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος σε ένα γεωλογικό σχηματισμό σχετίζεται με την παρουσία νερού μέσα σε αυτόν.
- Η αντίσταση των πετρωμάτων σχετίζεται με το πορώδες, τη διάταξη των κόκκων, τη θερμοκρασία, την περιεκτικότητα του νερού σε άλατα.

# Καταγραφές ηλεκτρικής αντίστασης

- Οι υδρογονάνθρακες, τα γλυκά νερά και τα σκληρά πετρώματα (ασβεστόλιθοι, συμπαγείς ψαμμίτες) εμφανίζουν μεγάλη ειδική ηλεκτρική αντίσταση, ενώ οι άργιλοι και η άμμος με αλμυρό νερό εμφανίζουν χαμηλές τιμές ειδικής αντίστασης.
- Η ανωτέρω μέθοδος χρησιμοποιείται και για:
  - τον εντοπισμό υδρογονανθράκων (όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε υδρογονάνθρακες ενός σχηματισμού, τόσο αυξάνει και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση),
  - τον εντοπισμό υδροπερατών γεωλογικών σχηματισμών,
  - την εκτίμηση του πορώδους ενός πετρώματος.

# Καταγραφές νετρονίων (neutron log)

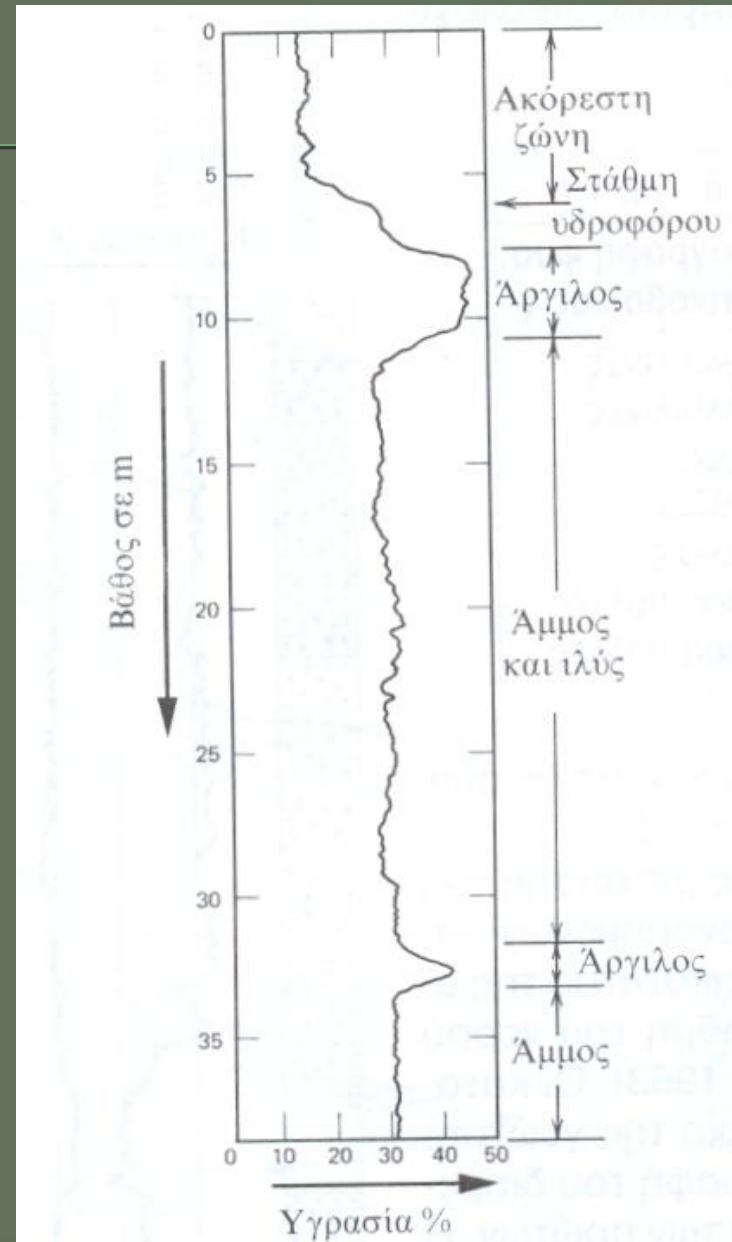
---

- Η μέθοδος στηρίζεται στην εκπομπή νετρονίων από μια ραδιενεργή πηγή και την καταγραφή αυτών που επιστρέφουν στον δέκτη. Νετρόνια που κινούνται με μεγάλες ταχύτητες, όταν συγκρουσθούν με άτομα υδρογόνου ( $H_2$ ) επιβραδύνονται και απορροφώνται από αυτά με ταυτόχρονη εκπομπή ακτινών  $\gamma$ .

# Καταγραφές νετρονίων (neutron log)

Η απορρόφηση είναι πιο μεγάλη στα κορεσμένα σε νερό πετρώματα, απ' ότι στα ακόρεστα. Αυτό οφείλεται στην αφθονία ατόμων  $H_2$  στα κορεσμένα πετρώματα, λόγω της παρουσίας νερού.

Μέθοδος διαγραφίας με εκπομπή νετρονίων σε αλλουβιακούς σχηματισμούς.



# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

---

- Η μέθοδος συνίσταται στη συνεχή μέτρηση του ακτινοβολίας που εκπέμπεται, λόγω της παρουσίας ασταθών ισοτόπων  $^{40}\text{K}$  (κάλιο),  $^{258}\text{U}$  (ουράνιο) και  $^{232}\text{Th}$  (θόριο). Η ανίχνευση γίνεται με τη βοήθεια ενός απαριθμητή κρούσεων που ενεργοποιείται από την ακτινοβολία γάμμα. Ο απαριθμητής αποτελείται από ένα ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα και ένα ενισχυτή.

# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

---

- Η φυσική ακτινοβολία  $\gamma$  είναι μεγαλύτερη στους αργιλικούς σχηματισμούς από εκείνη των ανθρακικών πετρωμάτων και άμμων. Υψηλές τιμές της ακτινοβολίας μπορεί να καταγραφούν και σε ψαμμίτες ή άμμους με μεγάλη περιεκτικότητα σε καλιούχους άστριους, μαρμαρυγίες, ραδιενεργά νερά κ.λπ. Αιτία είναι η μεγαλύτερη συγκέντρωση ραδιενεργών στοιχείων στα αργιλικά ορυκτά.

# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

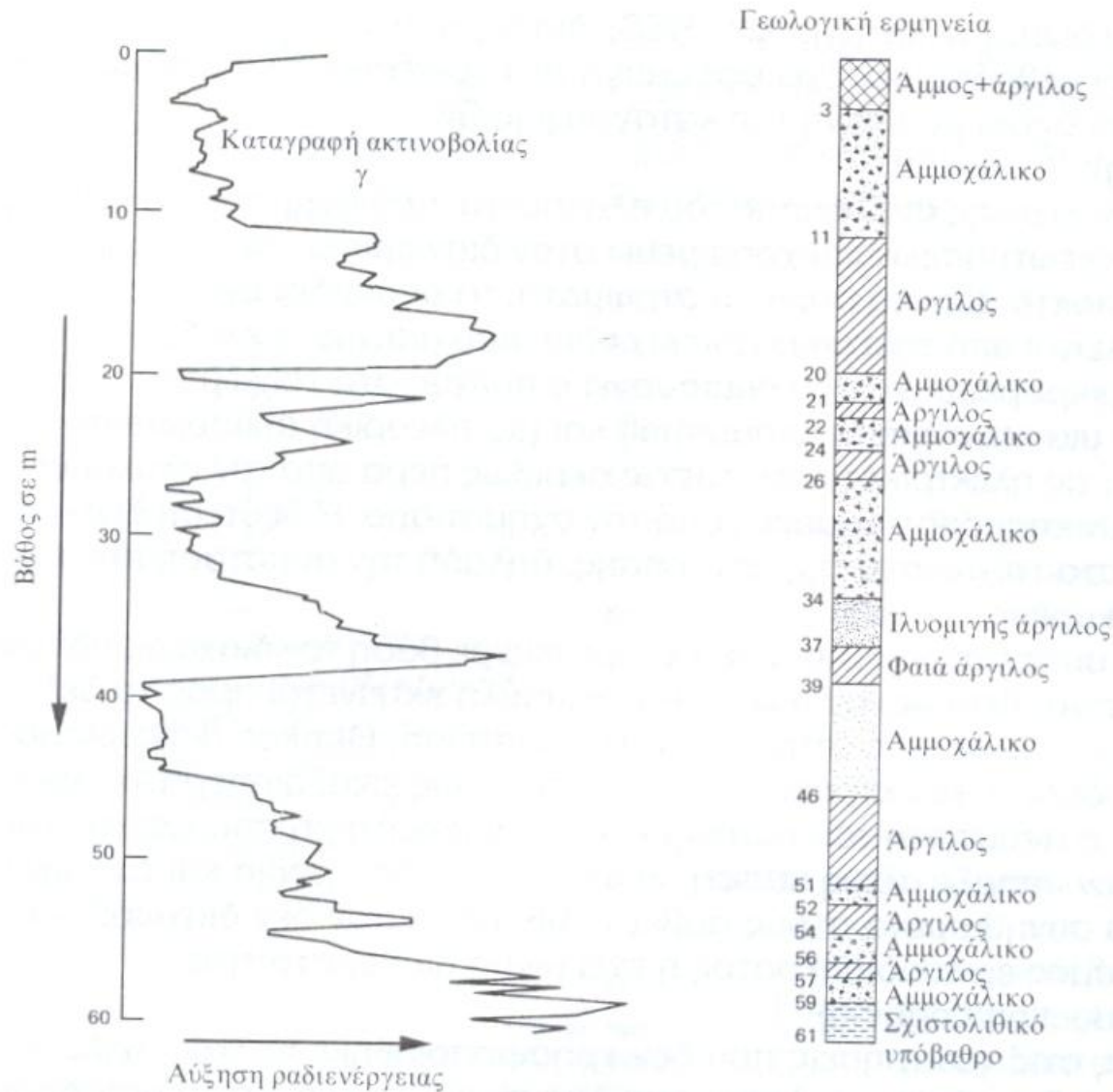
- Η μέθοδος δίνει πληροφορίες για τη λιθολογία και εφαρμόζεται για:
  - τον διαχωρισμό στρωμάτων άμμου και αργίλων
  - τον προσδιορισμό λιγνίτη, ανυδρίτη και άλλων σχηματισμών με ραδιενεργά ορυκτά
  - την ανίχνευση ανθρακικών ορυκτών

(Παπαδόπουλος, 2010)

Σχηματισμός	Καταγραφή Νετρονίων (κρούσεις ανά min)	Καταγραφή φυσικής ακτινοβολίας (κρούσεις ανά min)
Άργιλος	Πάρα πολλές	Πολύ λίγες
Σχιστόλιθος	Πάρα πολλές	Πολύ λίγες
Λεπτόκοκκος άμμος	Πολλές	Λίγες
Χονδρόκοκκος άμμος	Λίγες	Πολλές
Ψαμμίτης	Λίγες	Πολλές
Χάλικες	Πολύ λίγες	Πάρα πολλές
Ασβεστόλιθοι	Πολύ λίγες	Πάρα πολλές

# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

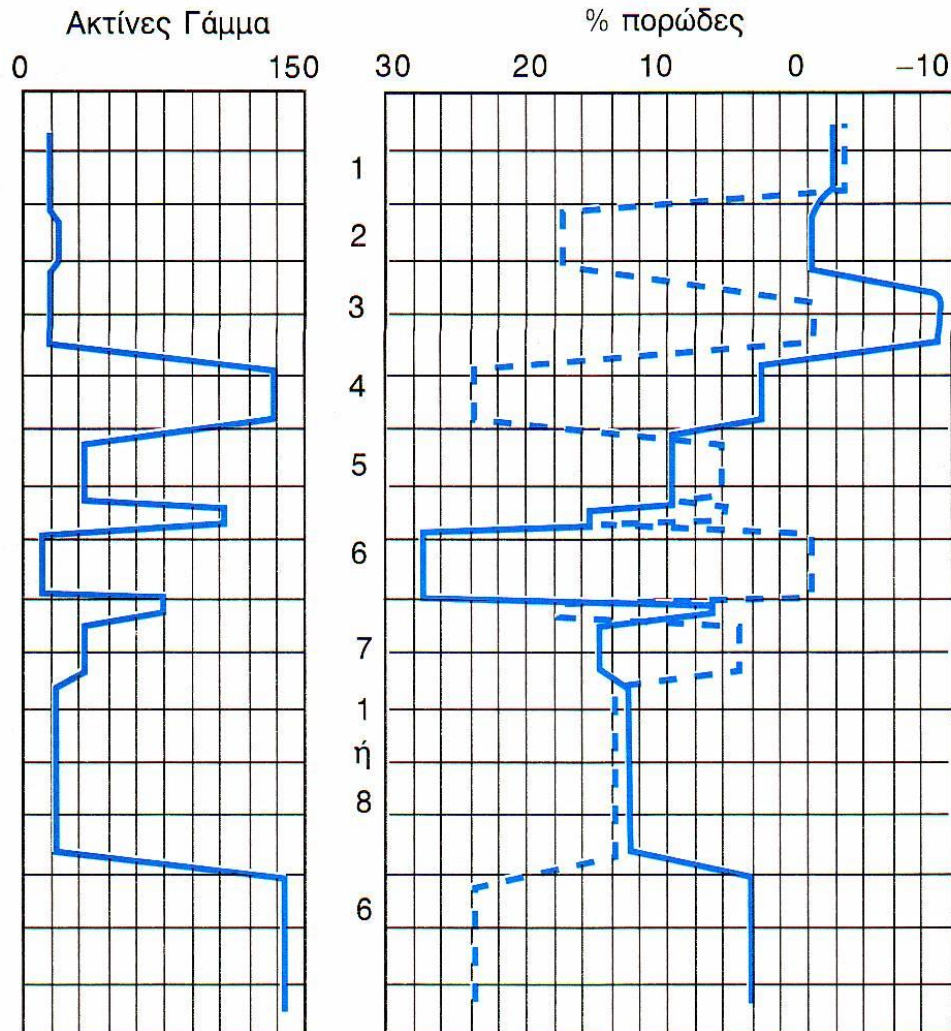
Διαγραφή με τη μέθοδο φυσικής ακτινοβολίας και σύγκριση με τη λιθολογική τομή της γεώτρησης.





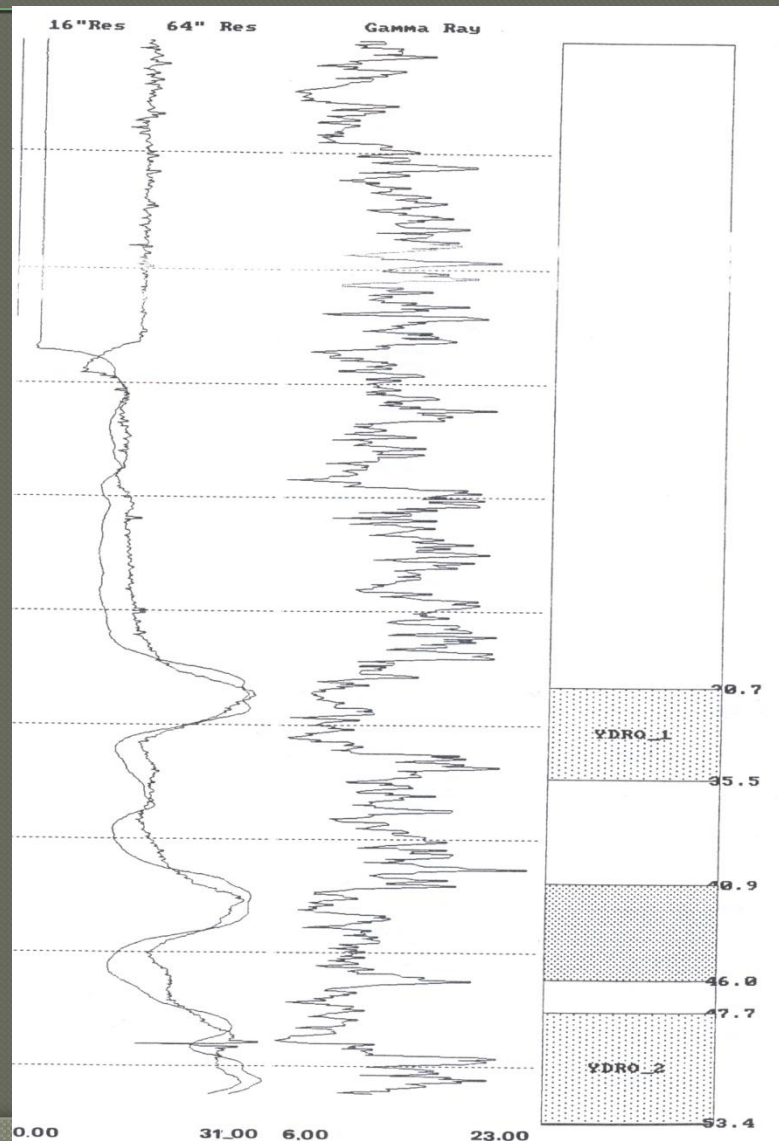
# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

Διαγραφή με τη μέθοδο φυσικής ακτινοβολίας και σύγκριση με τη λιθολογική τομή της γεώτρησης.



# Καταγραφές ακτινοβολίας $\gamma$ (gamma ray log)

Διαγραφή με  
τη μέθοδο  
ακτινοβολίας  $\gamma$   
και σύγκριση  
με την  
παρουσία  
υδροφόρων  
στρωμάτων  
(Δεδομένα Κ.  
Βουδούρη).



# Καταγραφές ίδιου δυναμικού (SP log)

- Η εφαρμογή της μεθόδου του ίδιου δυναμικού (αναφέρεται ως καταγραφή SP) απαιτεί τη συνεχή μέτρηση του φυσικού ηλεκτρικού δυναμικού. Εντοπίζονται υδροπερατές ζώνες, όρια στεγανών (άργιλοι) και περατών σχηματισμών (άμμοι), καθώς και η παρουσία υδρογονανθράκων.
- Η ανάγνωση των καμπυλών SP γίνεται ανάλογα με τις θετικές ή αρνητικές αποκλίσεις από μια αυθαίρετη βασική τιμή (γραμμή) που συνδέεται με ένα στεγανό σχηματισμό. Η μορφή τους συνδέεται με το λόγο αλατότητας (ή της αντίστασης) του πολτού κυκλοφορίας της γεώτρησης προς εκείνη του νερού της γεώτρησης. Το δεξιό όριο μιας καταγραφής SP, υποδηλώνει αδιαπέρατα πετρώματα (άργιλος, σχιστόλιθος, κ.ά.), ενώ το αριστερό όριο υποδηλώνει υδροπερατά στρώματα (άμμος, καρστικοποιημένος ασβεστόλιθος κ.ά.).

# Ακουστική διαγραφή (sonic log)

---

- Η μέθοδος στηρίζεται στη συνεχή μέτρηση της ταχύτητας υπερήχων.
- Ο χρόνος διέλευσης των υπερήχων μέσα σε ένα γεωλογικό σχηματισμό εξαρτάται από τη λιθολογία και το πορώδες και την παραμορφωσιμότητα του σχηματισμού.
- Ο χρόνος αυξάνει με την παρουσία υδρογονανθράκων.
- Δίνει πληροφορίες για τη μηχανική κατάσταση της βραχομάζας και το πεδίο τάσεων σε μια περιοχή.
- Χρησιμοποιείται επίσης η μέθοδος για τον εντοπισμό διαρρήξεων, διακλάσεων και εγκοίλων, ιδίως σε ανθρακικά πετρώματα.

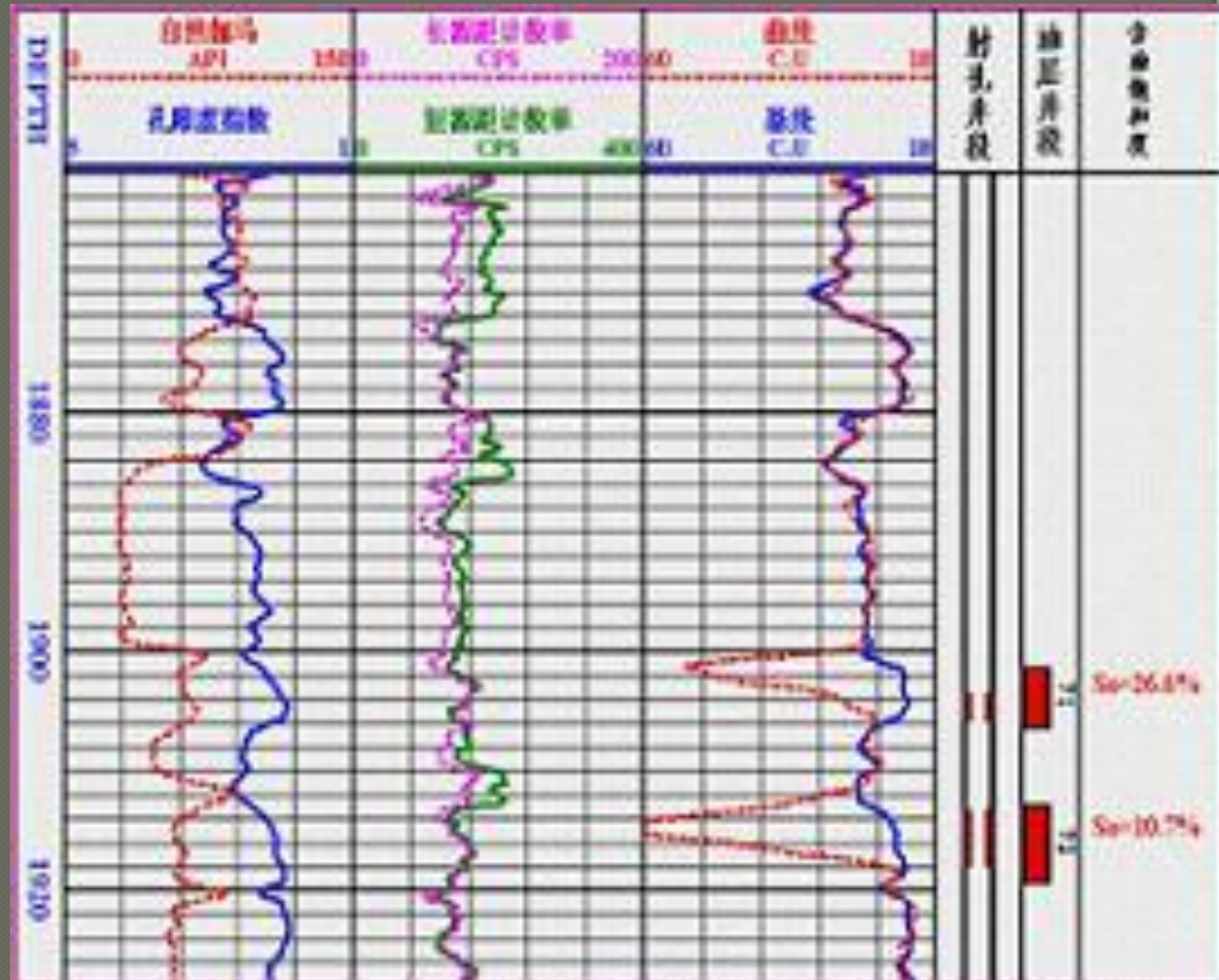
# Ακουστική διαγραφία (sonic log)

---

- Καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται από την ταυτόχρονη εφαρμογή δύο μεθόδων,
  - π.χ. αμμούχα στρώματα που περιέχουν υφάλμυρο νερό εμφανίζουν μικρή τιμή της ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης, ενώ εμφανίζουν μεγάλο αρνητικό ίδιο δυναμικό. Συνεπώς, η εφαρμογή των δύο μεθόδων, θα δώσει καλύτερα αποτελέσματα στον προσδιορισμό των στρωμάτων αυτών (Αλεξόπουλος, 2001).

# Ακουστική διαγραφή (sonic log)

Καταγραφή της σωλήνωσης γεώτρησης με χρήση ακουστικής διαγραφίας



# Ακουστική διαγραφή (sonic log)

---

Εκτός των ανωτέρω καταγραφών, χρησιμοποιούνται και:

- καταγραφές θερμοκρασίας (temperature log),
- διαμετρήματος για την καταγραφή της διαμέτρου των γεωτρήσεων (caliper log),
- καταγραφές αγωγιμότητας ρευστού (fluid conductivity),
- ταχύτητας ροής (fluid velocity)
- καταγραφές σωλήνωσης (casing logging).

# Τηλεοπτική καταγραφή (television logging)

---

Τέλος, υπάρχει δυνατότητα τηλεοπτικής καταγραφής (television logging) μέσω ψηφιακής κάμερας και ειδικού φωτισμού που κατεβαίνει στη γεώτρηση. Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται η έγχρωμη απεικόνιση της γεώτρησης στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή και η εκτύπωση φωτογραφιών ή η εγγραφή σε video. Έτσι καταγράφεται το εσωτερικό της γεώτρησης και εντοπίζονται οι εναλλαγές των γεωλογικών σχηματισμών, ενώ επιθεωρούνται οι σωλήνες και ελέγχεται κατασκευαστικά η γεώτρηση.



# Βιβλιογραφία

---

- Anonymous (2006). Suggested on application of geophysics to rock engineering. International Society for Rock Mechanics.
- Παπαδόπουλος, Τ. (2010): Εισαγωγή στη Γεωφυσική. Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών. Αθήνα.
- Σταματάκη, Σ. (2003): Τεχνολογία γεωτρήσεων. Εκπαιδευτικές σημειώσεις. ΕΜΠ, Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών.