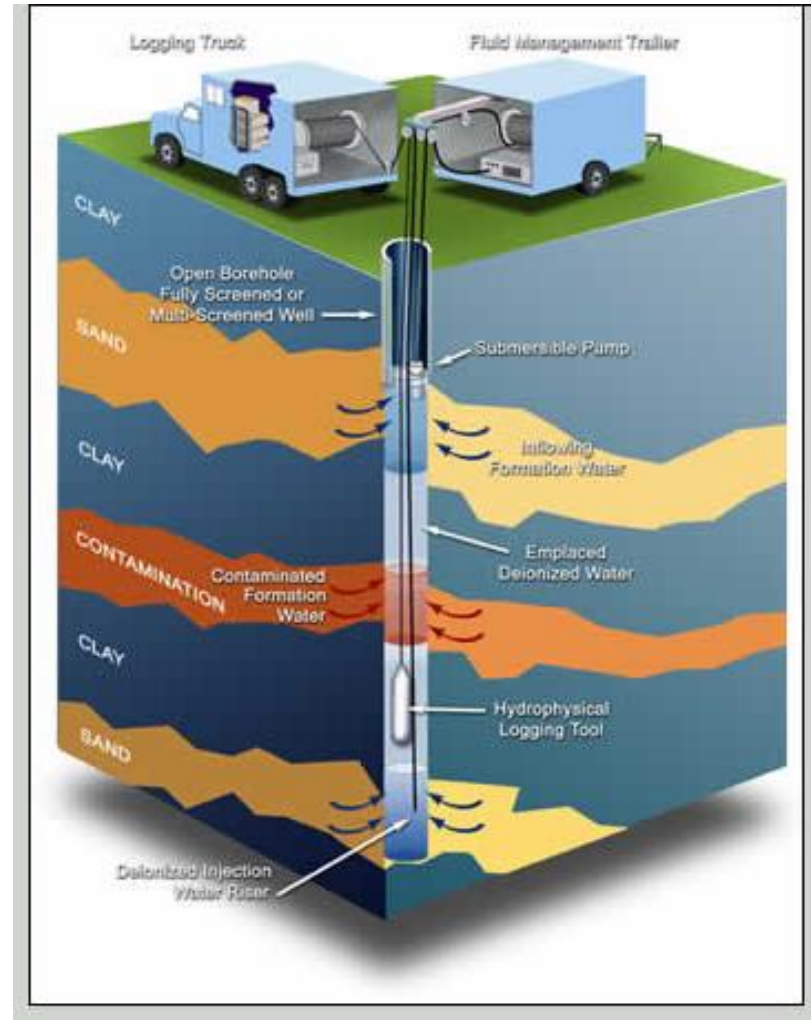


ΓΕΩΦΥΣΙΚΕΣ ΔΙΑΓΡΑΦΙΕΣ  
WELL LOGGING (The Bore Hole Image)

# Τι είναι Γεωφυσική διαγραφή

- Γεωφυσική διαγραφή είναι μία συνεχής καταγραφή μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις και αποκρίνονται σε μεταβολές φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων που έχουν διατρηθεί.
- Αρχικά τα διαγράμματα ήταν σε έντυπη μορφή.
- Τα τελευταίου τύπου διαγράμματα καταγράφονται σε ψηφιακή μορφή.



# Χρησιμότητα και εφαρμογή των γεωφυσικών διαγραφιών

- Καταγραφή γεωλογικών ιδιοτήτων:
  - Πάχος σχηματισμών
  - Λιθολογία
  - Πορώδες
  - Διαπερατότητα
  - Βαθμός κορεσμού σε νερό ή/και υδρογονάνθρακα
  - Κλίση στρωμάτων
  - Θερμοκρασία
  - Εντοπισμός ρωγμών

# Τύποι διαγραφιών

- Περισσότερο διαδεδομένες
  - Μέθοδος Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης
  - Φυσικού δυναμικού
  - Ραδιενέργειας
  - Ακουστικής ταχύτητας

# Πλεονεκτήματα διαγραφιών

- Διακριτική ικανότητα
- Συνδυαστική ερμηνεία διαφορετικών δεδομένων σχετικών με τις ιδιότητες των γεωλογικών σχηματισμών

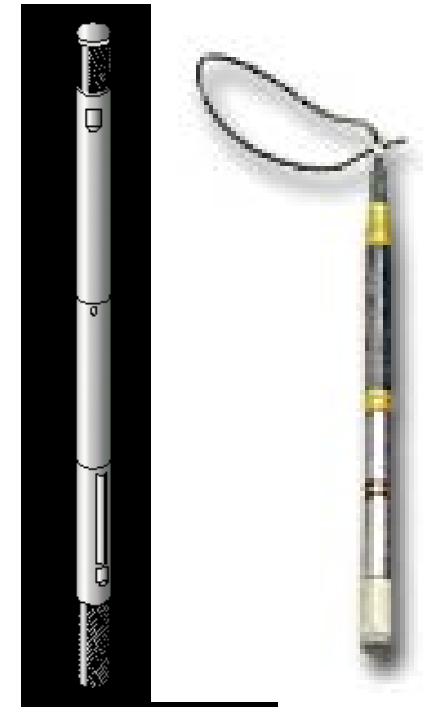
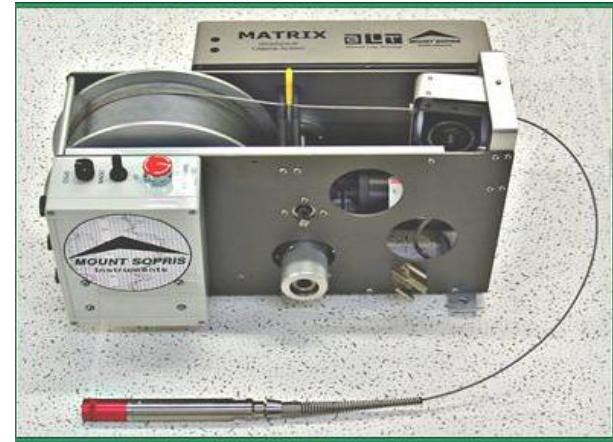
## ΙΣΤΟΡΙΚΟ

- **1912** Ο Conrad Schlumberger θέτει αρχικά την ιδέα χρησιμοποίησης ηλεκτρικών μετρήσεων για την χαρτογράφηση πετρωμάτων στο υπέδαφος.
- Το **1919** ο Conrad Schlumberger και ο αδελφός του Marcel ξεκινά εφαρμογές σε διαγραφίες γεωτρήσεων.
- Η πρώτη διαγραφή ηλεκτρικής ειδικής αντίστασης έγινε στη Γαλλία το 1927.
- Καταγραφές ακτίνων γ και νετρόνια ξεκίνησαν το 1941

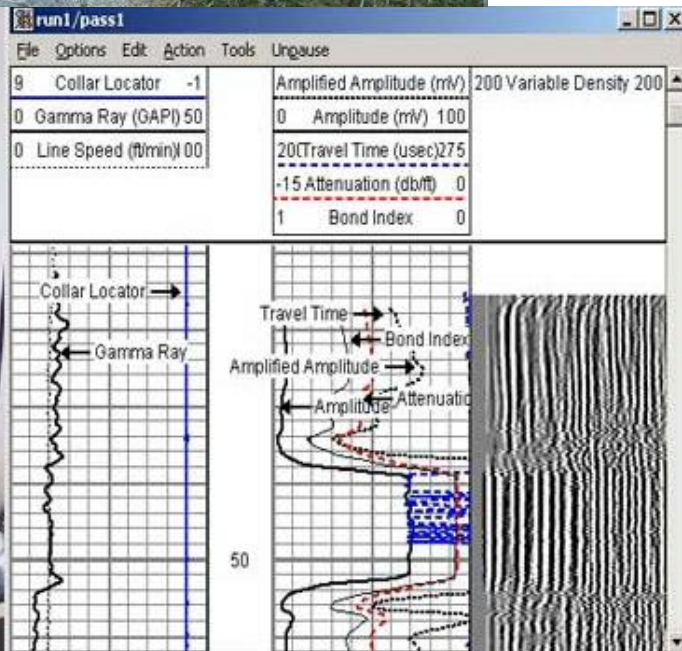
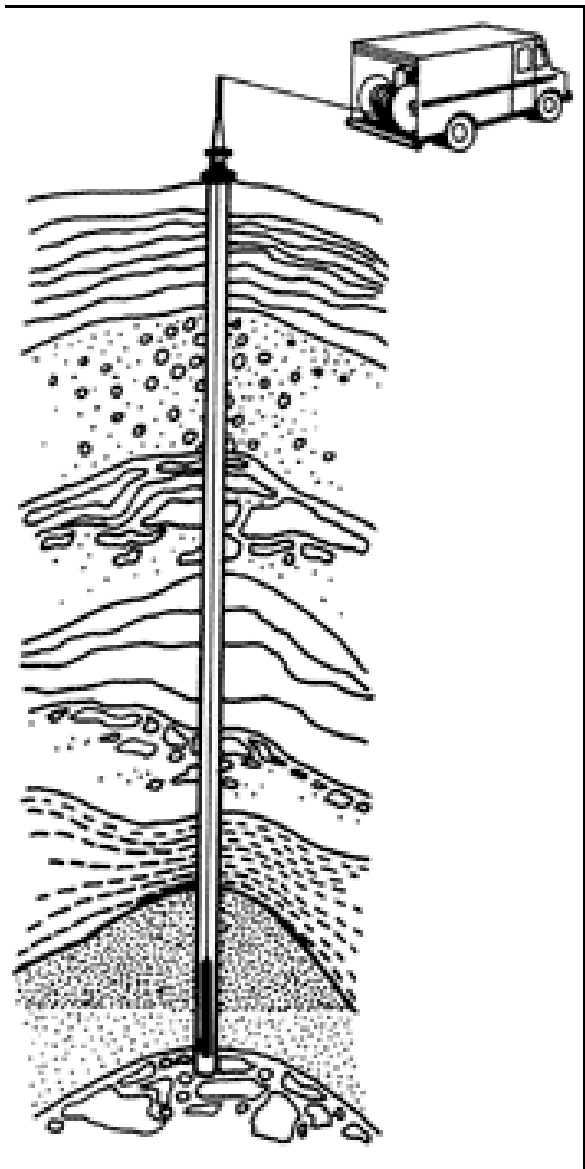


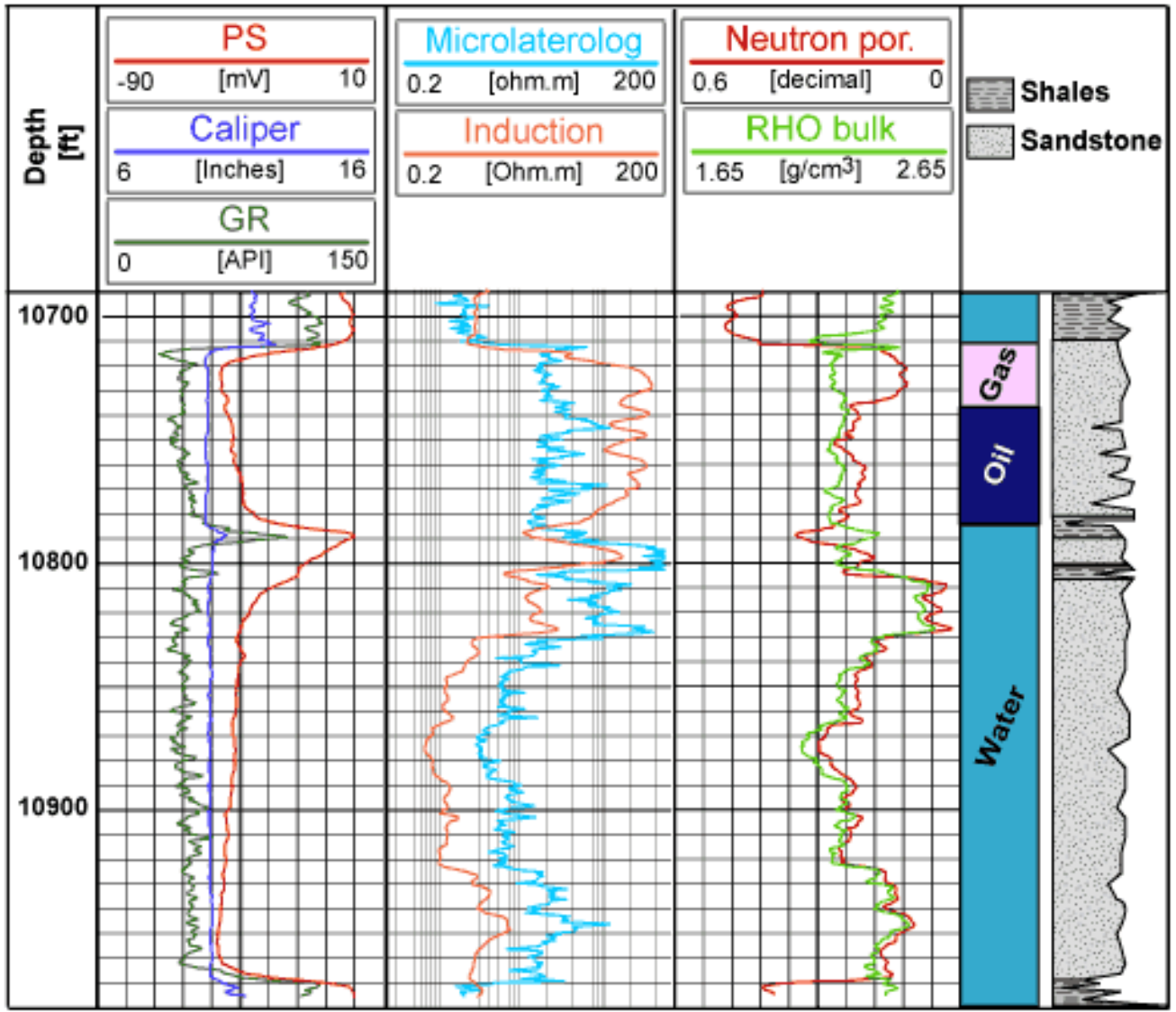
# ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

- Οι εταιρείες γεωφυσικών διαγραφιών χρησιμοποιούν διάφορες μονάδες μέτρησης ανάλογα με την θέση και τις απαιτήσεις της έρευνας. Κάθε μονάδα περιέχει τα παρακάτω εξαρτήματα:
- Καλώδιο καταγραφής
- Συρματόσχοινο για την ανέλκυση και την καταβύθιση του καλωδίου στην γεώτρηση
- Γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος
- Πίνακες ελέγχου επιφανείας
- Οβίδες μέτρησης
- Ψηφιοποιητές









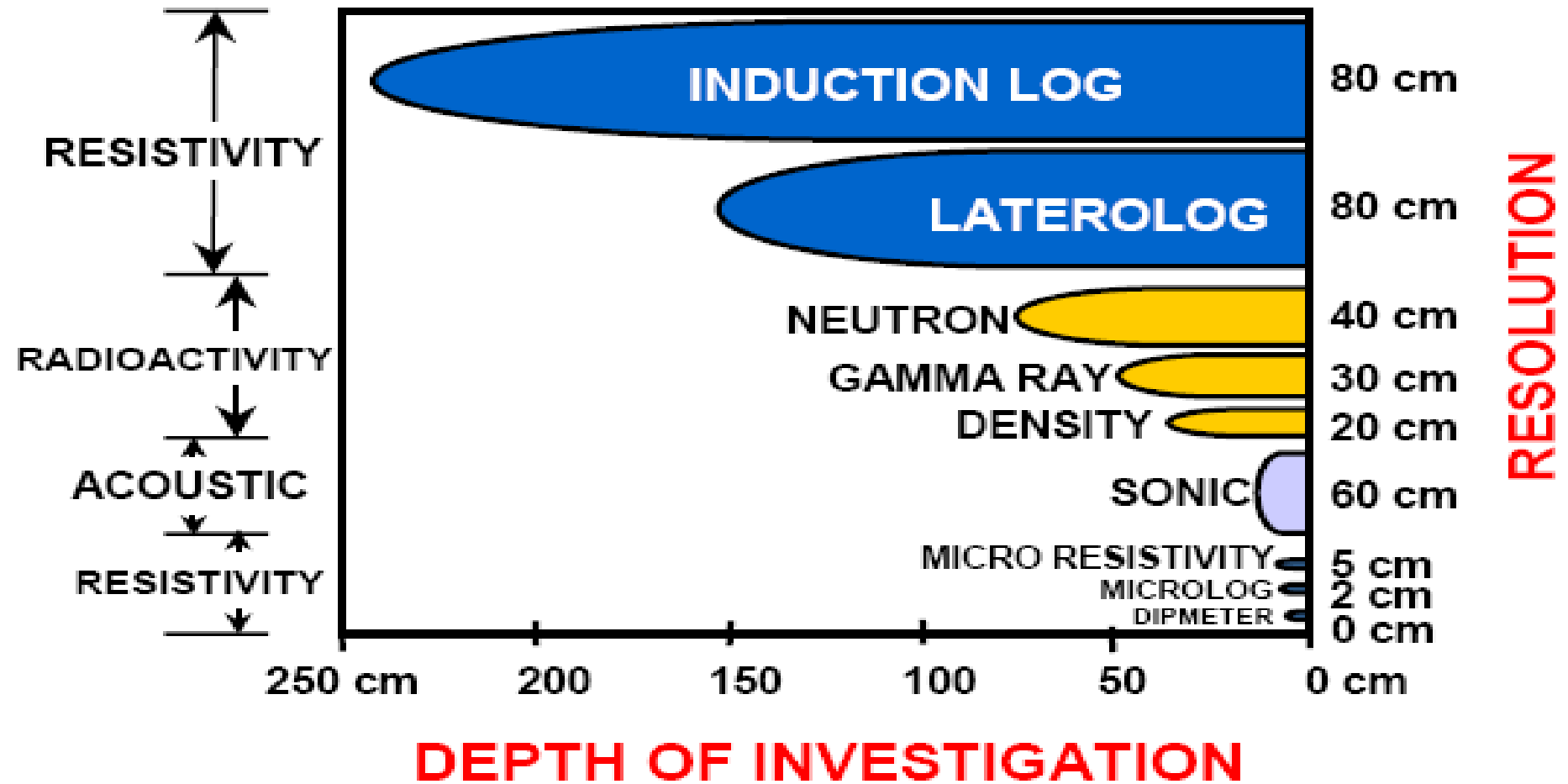


# Εφαρμογές

- Βάθος μέχρι λιθολογικά όρια
- Ταυτοποίηση λιθολογικών σχηματισμών
- ποιότητα/περιεκτικότητα μεταλλικών ορυκτών
- συσχέτιση μεταξύ γεωτρήσεων
- χαρτογράφηση γεωλογικής δομής
- ακριβής προσδιορισμός βάθους
- σκληρότητα βραχωδών σχηματισμών
- Επιτόπου καθορισμός διεύθυνσης τάσεων
- συχνότητα εμφάνισης ρωγμών
- πορώδες
- αλατότητα ρευστών

# Βάθος έρευνας μεθόδων διαγραφίας

## Logging Tools



# ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΦΙΩΝ

Ποσοτική ανάλυση διαγραφιών παρέχει τιμές από μία ποικιλία βασικών παραμέτρων όπως:

- πορώδες
- Κορεσμός σε νερό, τύπος ρευστού (πετρέλαιο/αέριο/νερό)
- λιθολογία
- διαπερατότητα

**Πολλές φορές ενδιαφέρει ποιοτική ανάλυση για τη μελέτη γεωλογικών και γεωφυσικών στόχων. Οι χρήστες ενδιαφέρονται για την ερμηνεία:**

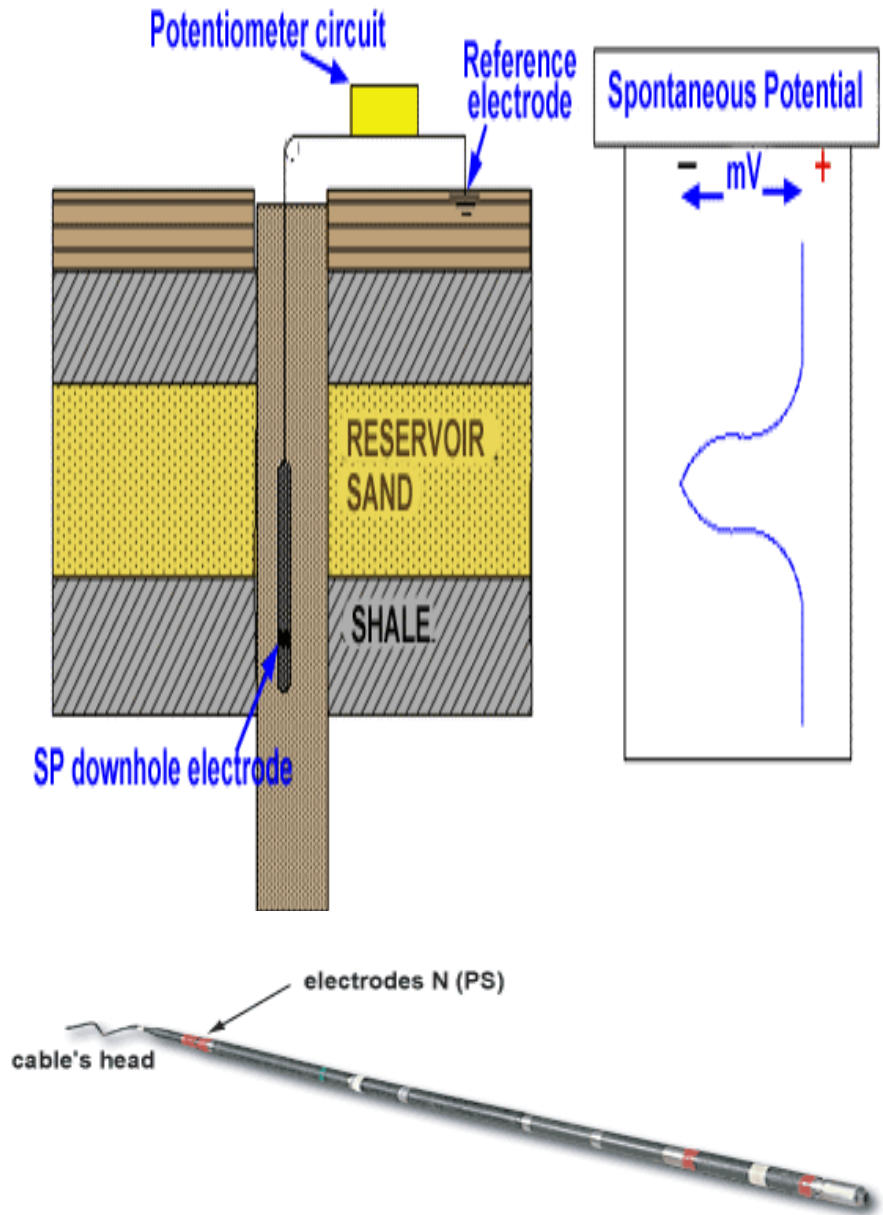
- Συσχέτιση μεταξύ γεωτρήσεων
- Ανάλυση επιφανειών
- Γενική δομή και ιζηματογένεση

Σε ποσοτική ανάλυση διαγραφιών ο στόχος είναι

- Ο τύπος του υδροφορέα (λιθολογία)
- Η αποθηκευτική ικανότητα (πορώδες)
- Τύπος υδρογονάνθρακα (κορεσμός)
- παραγωγικότητα (διαπερατότητα)

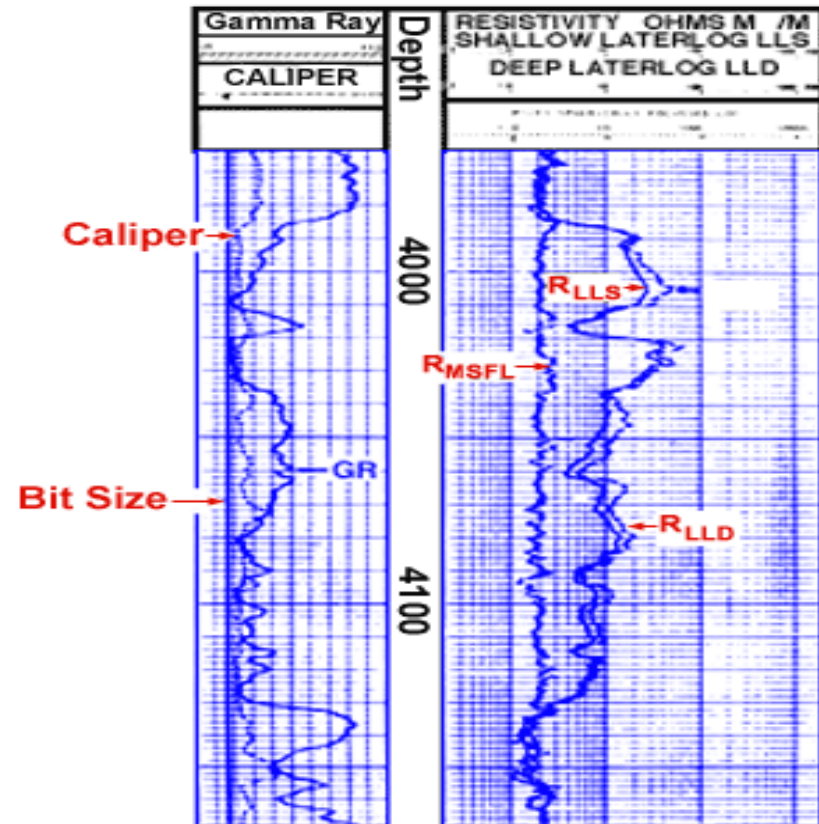
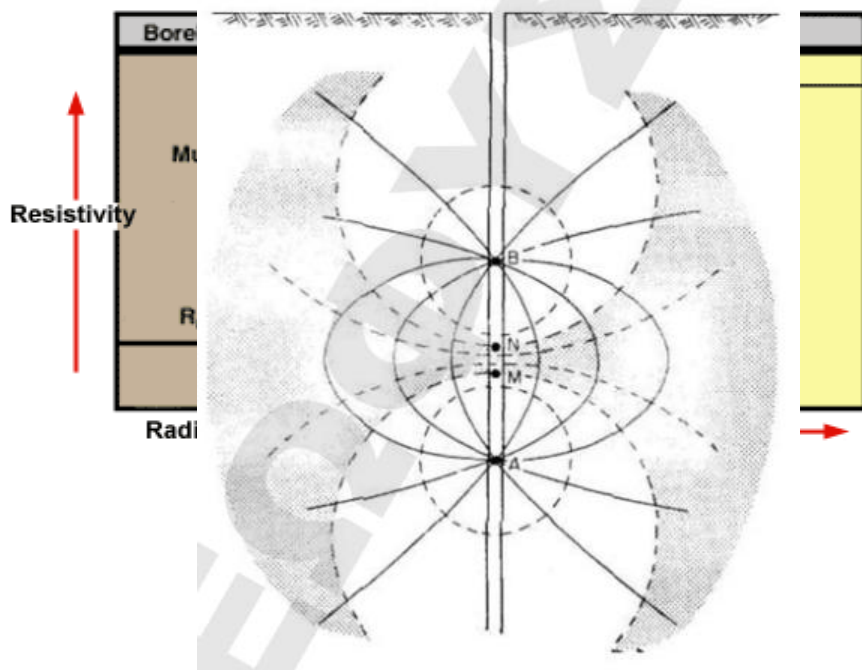
## Διαγραφή Φυσικού Δυναμικού (SP)

- Η καταγραφή του φυσικού δυναμικού (SP) περιγράφει το φυσικό ηλεκτρικό δυναμικό που παράγεται από την αλληλεπίδραση υπόγειου νερού, τα λιπαντικά υγρά της γεώτρησης και της αργίλου
- Οφείλεται κυρίως στο 'δυναμικό μεμβράνης' που δημιουργείται κυρίως σε επαφές σχιστολίθων-ψαμμιτών ( $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$ )
- Χρησιμοποιείται ένα κινητό ηλεκτρόδιο στη γεώτρηση και ένα σταθερό στην επιφάνεια.
- Αν και το SP χρησιμοποιείται κυρίως σαν λιθολογικός δείκτης και σαν εργαλείο συσχέτισης έχει και παράλληλες χρήσεις όπως :
  - Δείκτης διαπερατότητας,
  - Δείκτης ύπαρξης σχιστολίθων
  - Δείκτης πορώδους, και
  - Μέτρηση της αντίστασης του ρευστού (ι συνέπεια την έμμεση μέτρηση της αλατότητας του υπόγειου νερού).



## Καταγραφή Ειδικής Ηλεκτρικής Αντίστασης

- **Ειδική Ηλεκτρική Αντίσταση:**
- Εξαρτάται από:
  - Την ποσότητα του υπόγειου νερού,
  - Τη θερμοκρασία του σχηματισμού,
  - Την αλατότητα



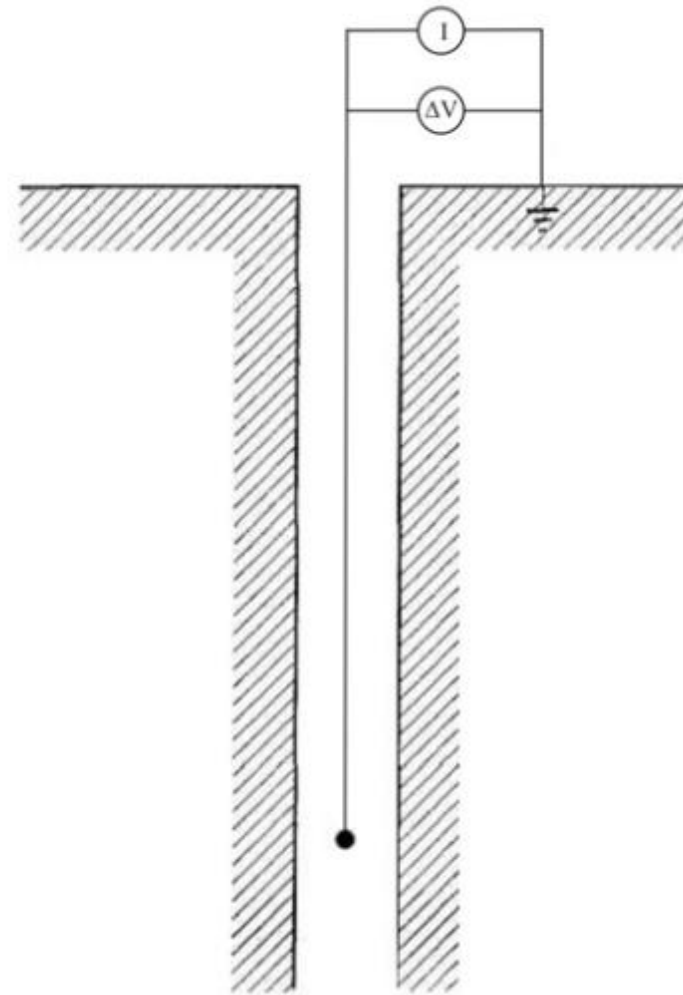
# Ηλεκτρικές διατάξεις: Διάταξη ενός ηλεκτροδίου

## Πλεονεκτήματα

- Χαμηλό κόστος
- Εύκολη στη χρήση
- Πολύ χρήσιμη για απλή συσχέτιση σχηματισμών
- Ανίχνευση νερού
- Ακριβή πάχη στρωμάτων

## Μειονεκτήματα

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





# Ηλεκτρικές διατάξεις: Διάταξη δύο ηλεκτροδίων (Normal Log)

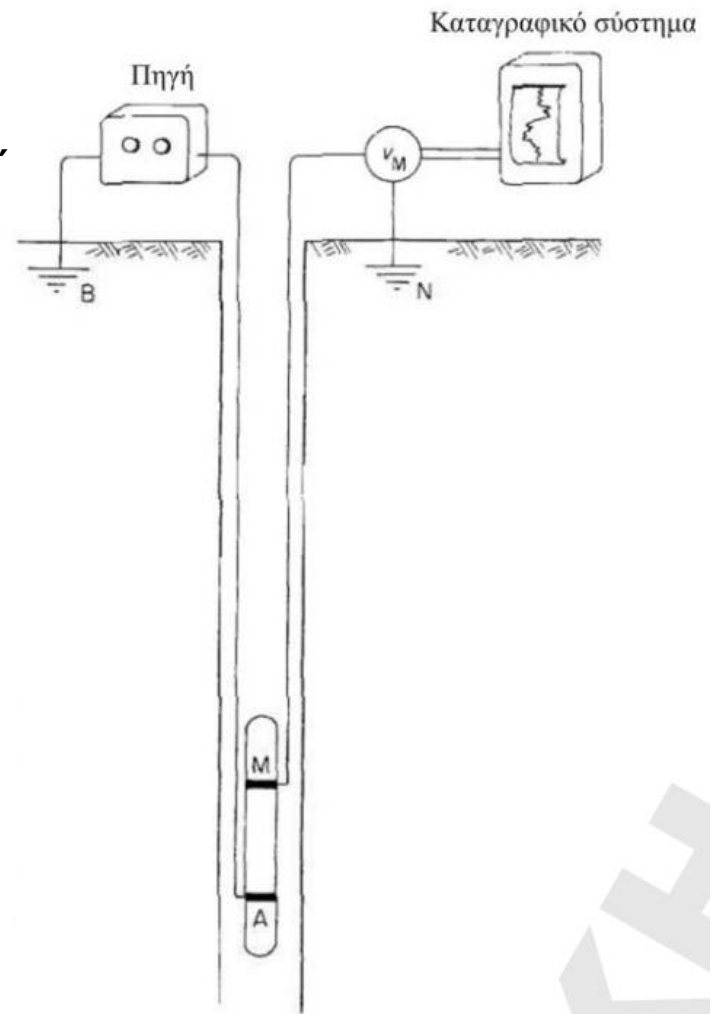
Χρήση τεσσάρων ηλεκτροδίων

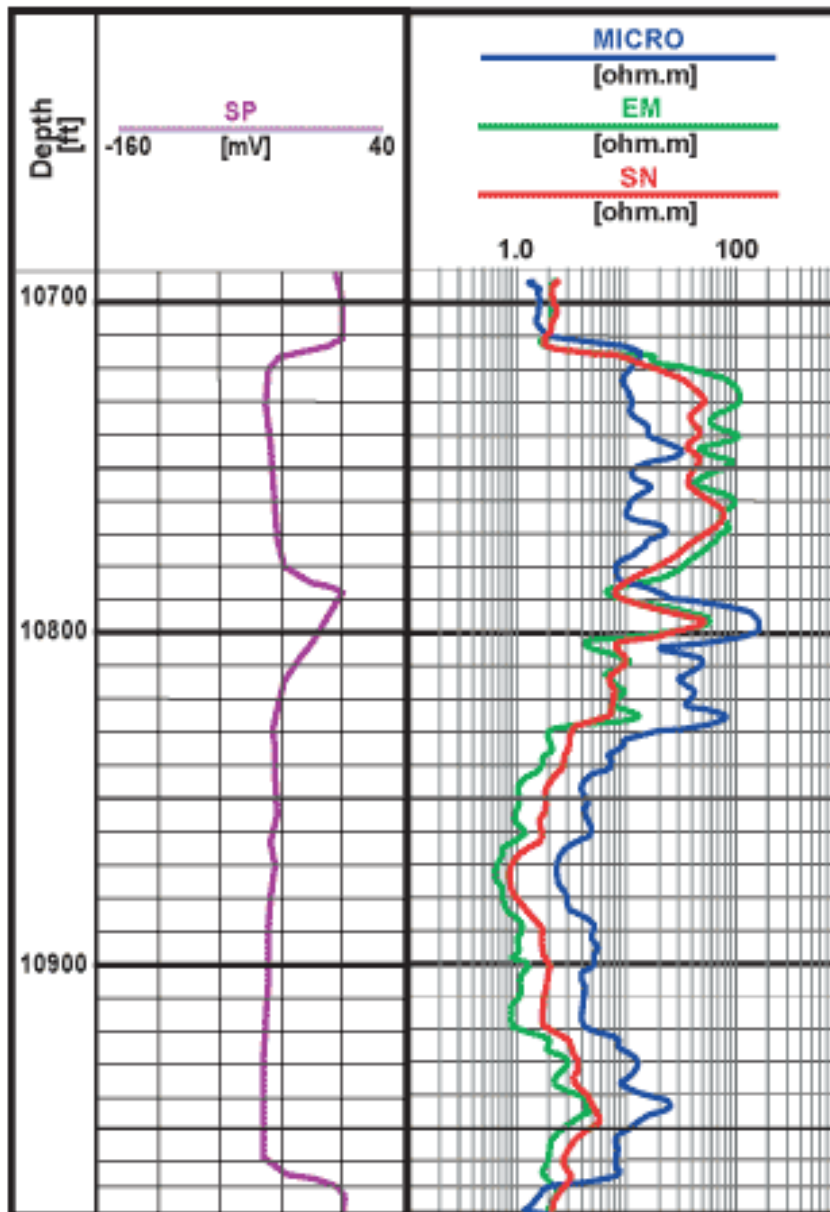
Απόσταση ηλεκτροδίων γεώτρησης 16 ή/και 14 "

## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

• ΛΙΘΟΛΟΓΙΑ: Μεταβολή αντίστασης (μεταξύ 16 και 64) όταν συμβαίνει εισβολή υγρών στο στρώμα

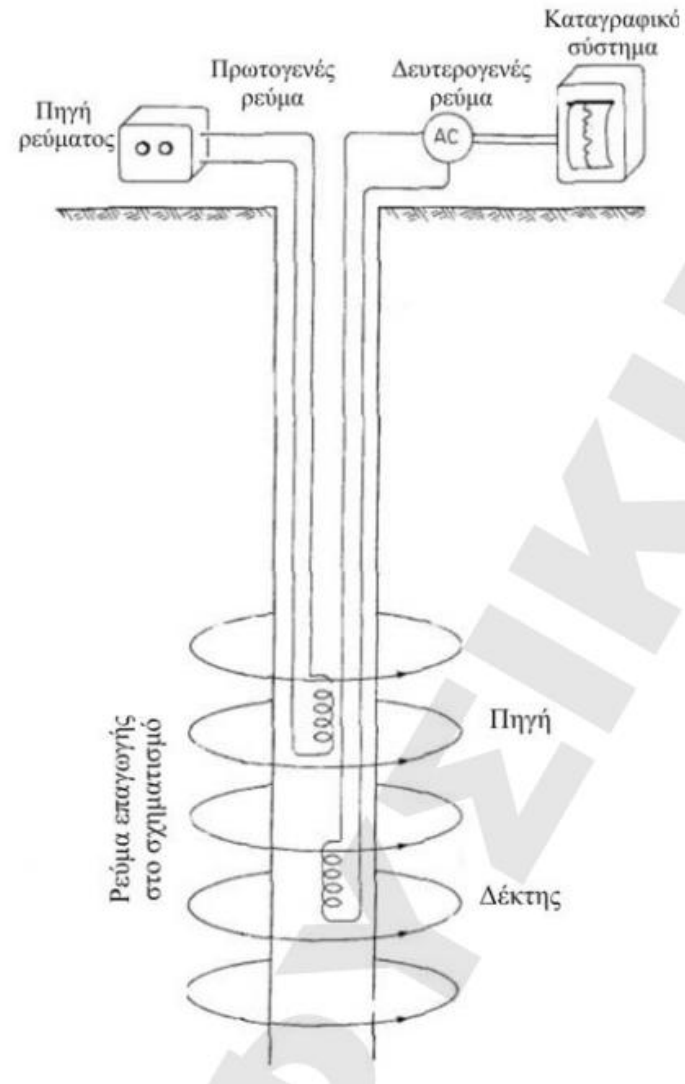
• ΠΑΧΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ: Εξαρτάται από την απόσταση AM. Μεγάλη απόσταση δίνει παχύ στρώμα (~5AM) ενώ μικρή απόσταση δίνει λεπτό στρώμα (~1.5AM)

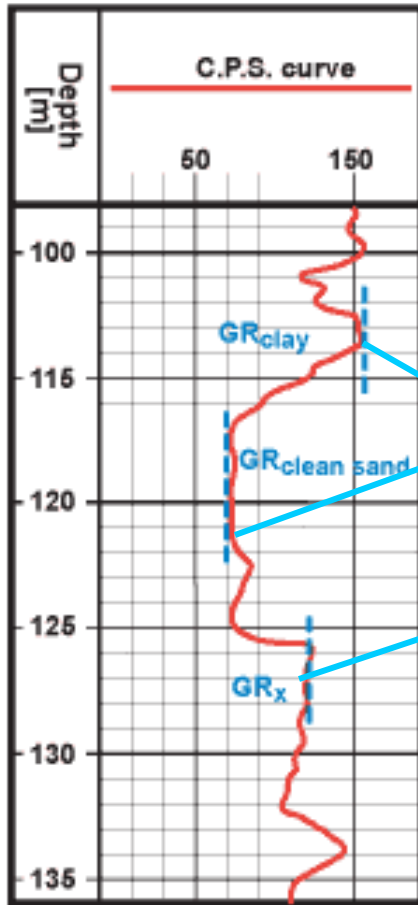




## ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ: ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΓΑΜΜΑ ( $\gamma$ )

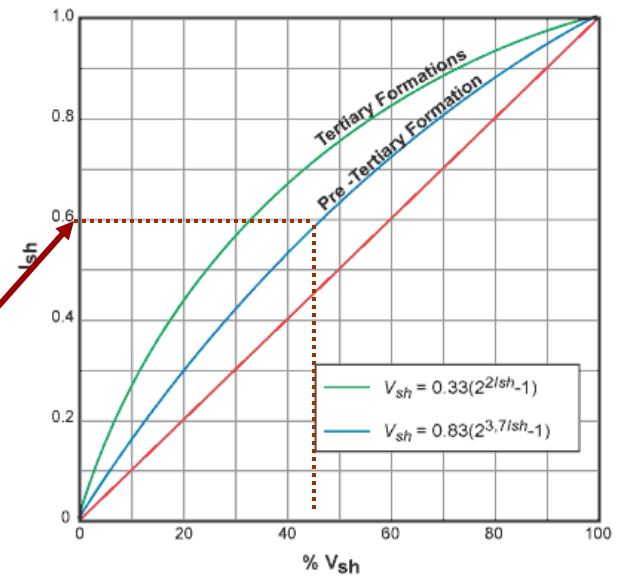
- Οι ακτίνες  $\gamma$  είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα υψηλής ενέργειας που διαδίδονται από ατομικούς πυρήνες με τη μορφή ακτινοβολίας
- Η διαγραφή ακτίνων  $\gamma$  είναι μέτρηση της φυσικής ραδιενέργειας γεωλογικών σχηματισμών σε σχέση με το βάθος.
- Μετράει την ακτινοβολία που διαδίδεται από φυσικό ουράνιο, θόριο και κάλιο ( $^{258}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  και  $^{40}\text{K}$ )
- Αποκρίνεται σε άργιλο
- 'Καθαροί' σχηματισμοί έχουν χαμηλό επίπεδο ραδιοακτινοβολίας.
- Διαχωρισμός άμμου-σχιστόλιθου
- Καθορισμό ορίων υποβάθρου,
- Υπολογισμό ποσοστού άργιλου σε γεωλογικό σχηματισμό,
- Ανίχνευση ανθρακικών ορυκτών,
- Προσδιορισμός λιγνίτη, ανυδρίτη και άλλων γεωλογικών σχηματισμών με ραδιενεργά ορυκτά
- Μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε σωληνωμένη είτε σε ασωλήνωτη γεώτρηση

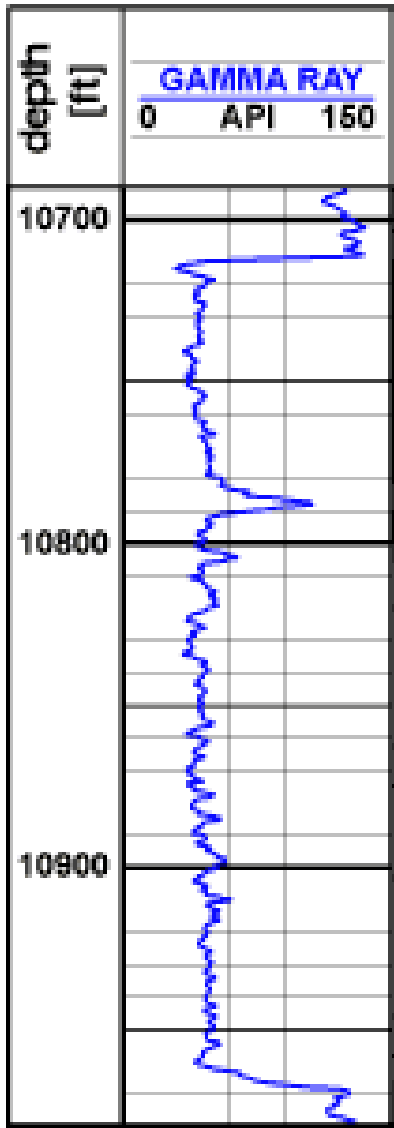




$$I_{clay} = \frac{GR_x - GR_{sand}}{GR_{clay} - GR_{sand}}$$

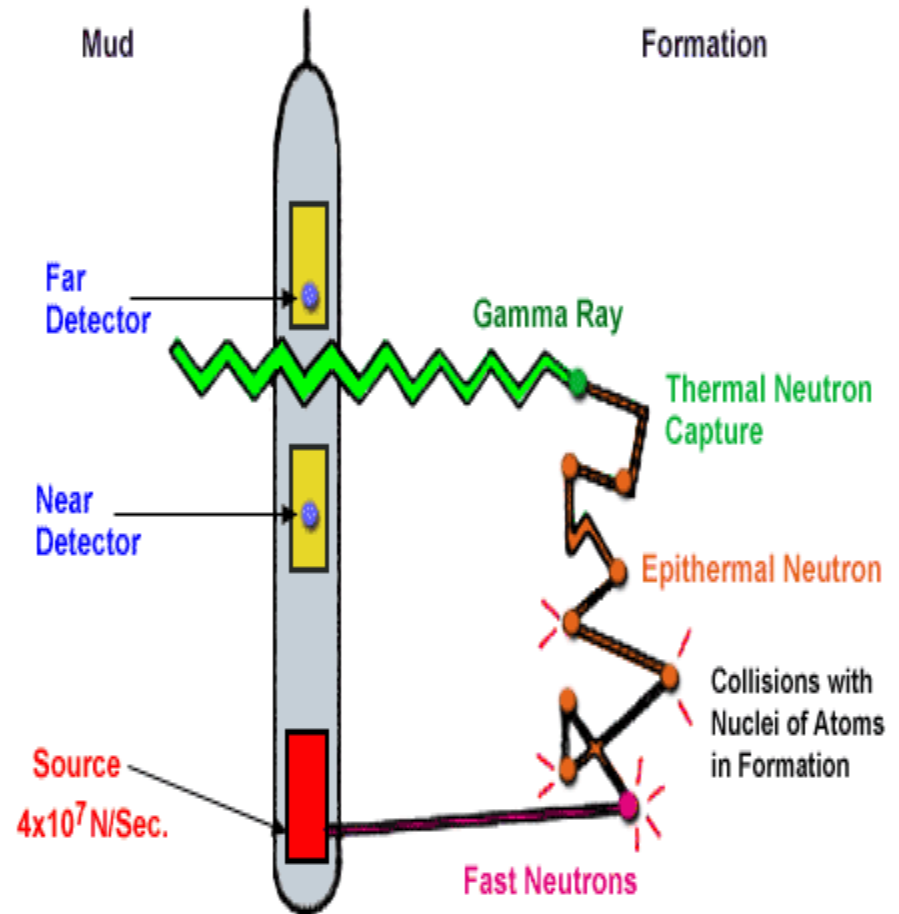
$$(120-70)/(155-70) = 0.59 = I_{sh}$$





## Διαγραφή νετρονίου

- Η καταγραφή νετρονίων χρησιμοποιείται κυρίως στον υπολογισμό του πορώδους αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι βασικά είναι ένας ανιχνευτής υδρογόνου
- Χρησιμοποιείται για ανίχνευση αερίου με βάση την χαμηλότερη πυκνότητα υδρογόνων
- Πρόκειται για συνεχή καταγραφή της επαγόμενης ακτινοβολίας που παράγεται από βομβαρδισμό ενός γεωλογικού σχηματισμού από πηγή νετρονίων που περιέχεται στην οβίδα. Εκτοξεύονται γρήγορα νετρόνια που η ταχύτητά τους μειώνεται από συγκρούσεις με άτομα υδρογόνου μέχρι να παγιδευτούν. Η σύλληψη αυτή έχει σαν αποτέλεσμα μία δευτερογενούς ακτινοβολίας 'γ'. Τα σύγχρονα μηχανήματα μετρούν τα θερμικά νετρόνια με ανιχνευτή τύπου He-3.



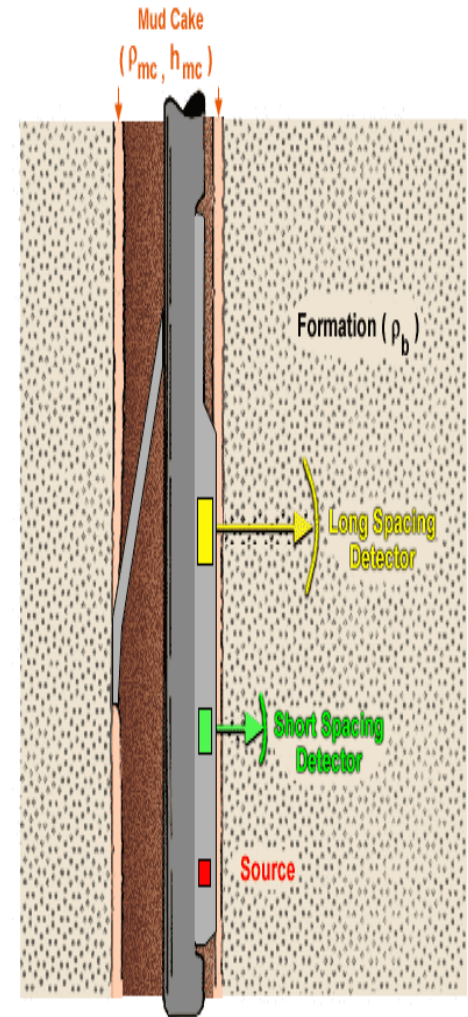


## Καταγραφή Πυκνότητας (Γάμμα-Γάμμα)

- Χρησιμοποιεί ραδιενεργό πηγή Κοβαλτίου ( $^{60}\text{Co}$ ) και Ανιχνευτή ακτινοβολίας γάμμα.
- Ο αριθμός των ακτίνων γάμμα που επιστρέφουν στον ανιχνευτή είναι ανάλογος της πυκνότητας ηλεκτρονίων του περιβάλλοντος υλικού, άρα ανάλογος και της κανονικής πυκνότητας.
- Συμπαγείς σχηματισμοί απορροφούν μεγάλο ποσοστό ακτίνων  $\gamma$  ενώ σχηματισμοί χαμηλής πυκνότητας απορροφούν μικρότερο. Έτσι, υψηλοί ρυθμοί δείχνουν σχηματισμό χαμηλής πυκνότητας και αντίθετα.
- ΚΥΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗ: Υπολογισμός πορώδους

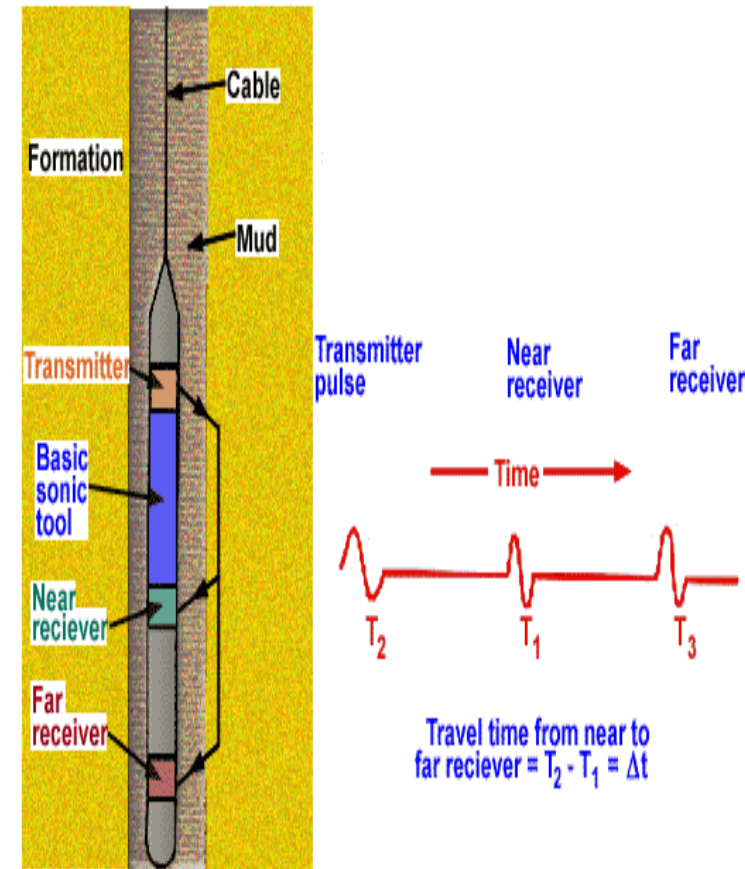
ΟΡΥΚΤΑ	K(%)	Th (ppm)	U (ppm)
Χαλαζίας	-	0.6	0.3
Άστριοι	0-11	1.2	0.4
Μαρμαρυγίας	0-10	15.0	5.0
Αργιλικά ορυκτά	2.1	21.0	7.5
Επίδοτο	-	200.0	40.0
Κεροστύλβη	-	25.0	8.0
Αυγίτης	-	?	4.0
Ζιρκόνιο	-	1000.0	1000.0
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	K(%)	Ih (ppm)	U (ppm)
Βασάλτης	0.6	2.0	0.6
Γρανίτης	4.0	10.0	4.0
Ψαμμίτης	0.8	1.2	0.6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

Σημείωση: ppm: κρούσεις / εκατομμύριο



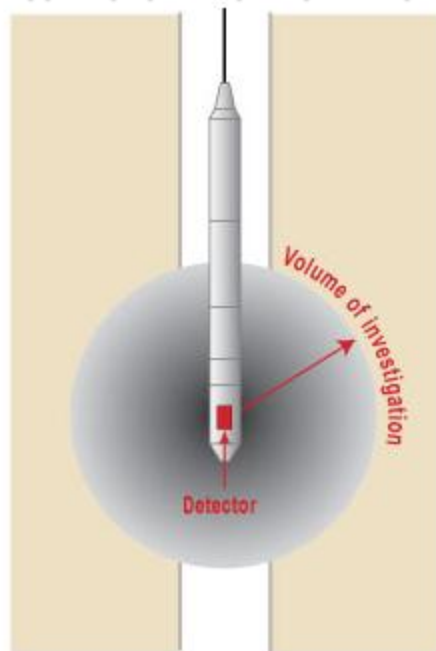
## Διαγραφή σεισμικής διάταξης

- Μετράται η ταχύτητα διάδοσης των ακουστικών κυμάτων στους υπεδάφιους σχηματισμούς. Εκτιμάται το πορώδες των σχηματισμών ενώ είναι χρήσιμη και σε άλλες εφαρμογές όπως:
- Ενδείξεις για την λιθολογία (με την χρήση του λόγου των επιμήκων προς τα εγκάρσια κύματα),
- Καθορισμό χρόνων διαδρομής,
- Συσχέτιση με άλλες γεωτρήσεις
- Εντοπισμό ρωγμών και εκτίμηση δευτερογενούς πορώδους,
- Εντοπισμό συμπαγών υλικών μεταξύ σωλήνωσης και υπεδάφους,
- Εντοπισμό υπερ-πίεσης,
- Εκτίμηση μηχανικών ιδιοτήτων



Reprinted by permission of the SPE-AIME from Alger et al. 1971, fig. 2. © 1971 SPE-AIME

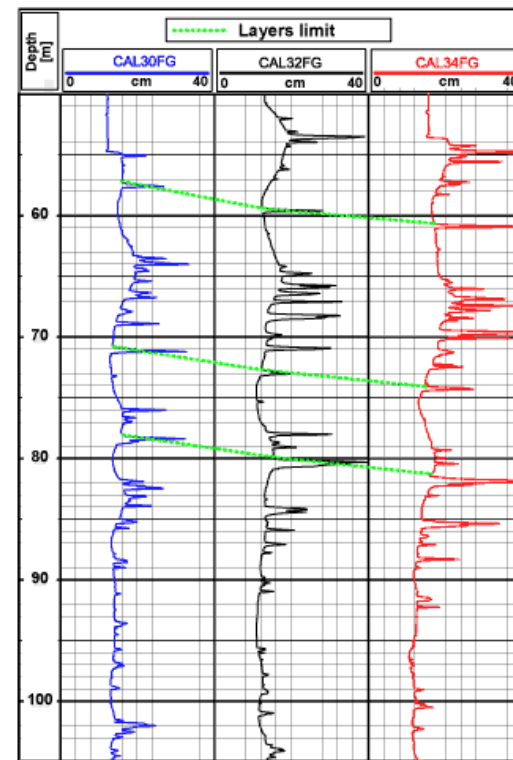
# Καταγραφή διαμέτρου γεώτρησης (Caliper)



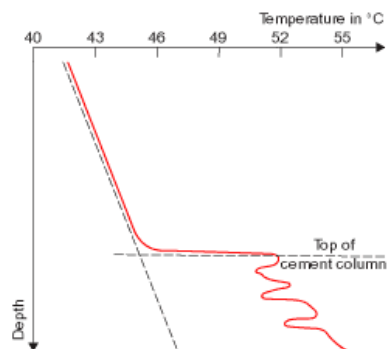
► Picture of the caliper



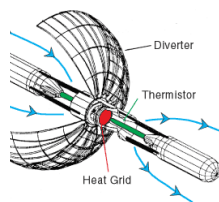
► Various types of calipers



# Καταγραφή θερμοκρασίας Ροής θερμότητας



► Example of use of the temperature log to determine the cement level



# Καταγραφή κλίσης γεώτρησης



# Προβλήματα γεωτρήσεων

- Εσφαλμένη τοποθέτηση φίλτρων
- Εσφαλμένη απομόνωση λεπτόκοκκων στρωμάτων
- Άσκοπη σωλήνωση γεώτρησης
- Υφαλμύρωση

# Είδη μετρήσεων και αντίστοιχες εφαρμογές

ΜΕΤΡΗΣΗ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
RES	Μέτρηση ηλεκτρικής αντίστασης
GR	Μέτρηση ποσοστού φυσικής ακτινοβολίας (ακτίνων γ).
FEL	Ανάλογη της RES αλλά με αυξημένη διακριτική ικανότητα (10 εκ.)
SP	Μέτρηση φυσικού δυναμικού
SAL	Μέτρηση αγωγιμότητας πολτού γεώτρησης
FLOW	Μέτρηση ταχύτητας ροής νερού
TEMP	Μέτρηση θερμοκρασίας
VIDEO	Βιντεοσκόπηση της σωλήνωσης γεώτρησης
INCLIN	Μέτρηση της απόκλισης του άξονα της γεώτρησης από την κατακόρυφο

# Είδη μετρήσεων και αντίστοιχες εφαρμογές

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΜΕΤΡΗΣΗ
Προσδιορισμός θέσης υδροφόρων στρωμάτων	RES, GR
Προσδιορισμός θέσης των λεπτών άμμων	RES,GR,FEL
Προσδιορισμός θέσης των υφάλμυρων στρωμάτων	RES,GR,SP,SAL
Παροχή κάθε υδροφόρου στην συνολική παροχή	FLOW
Έλεγχος γεώτρησης για υδροφορία	RES,GR,FEL
Εντοπισμός γεωθερμικών ρευστών	TEMP
Καθορισμός /προσδιορισμός θέσης φίλτρων	VIDEO
Θέση υδροφόρων σε σωληνωμένη	GR
Βουλωμένα φίλτρα/κομμένη αντλία-σωλήνωση	VIDEO
Γεώτρηση με κλίση που δεν μπαίνει αντλία	INCLIN

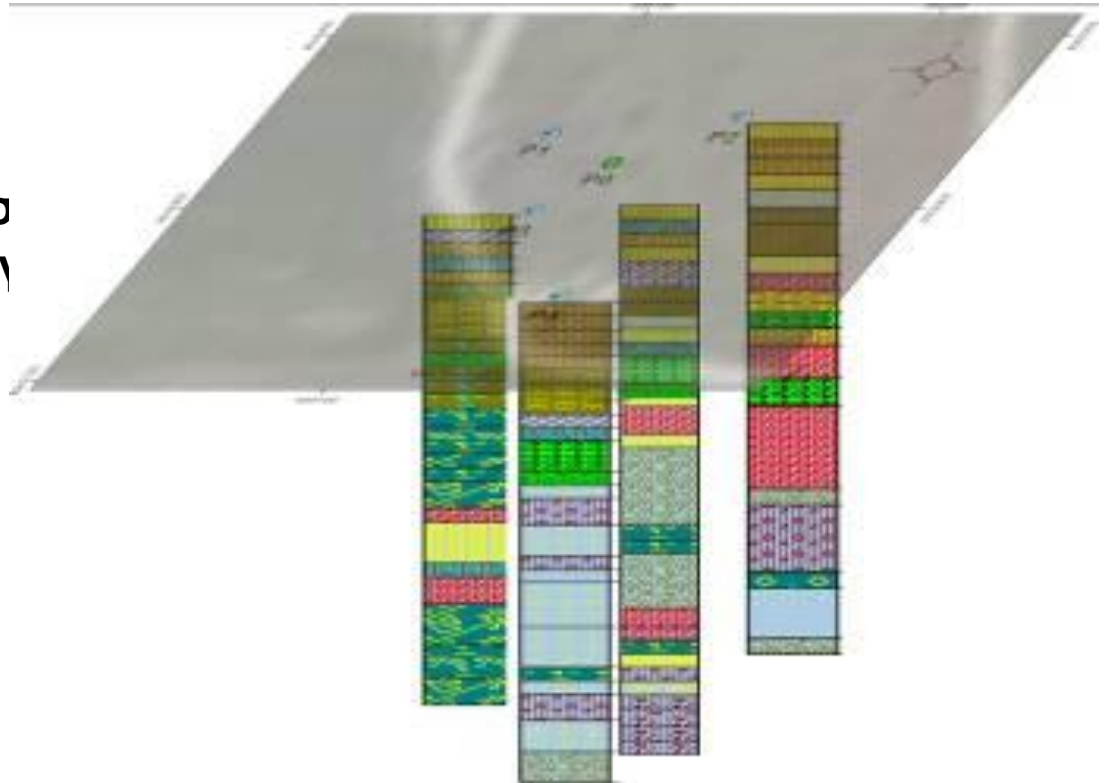


# Εφαρμογή : ΣΙΝΔΟΣ

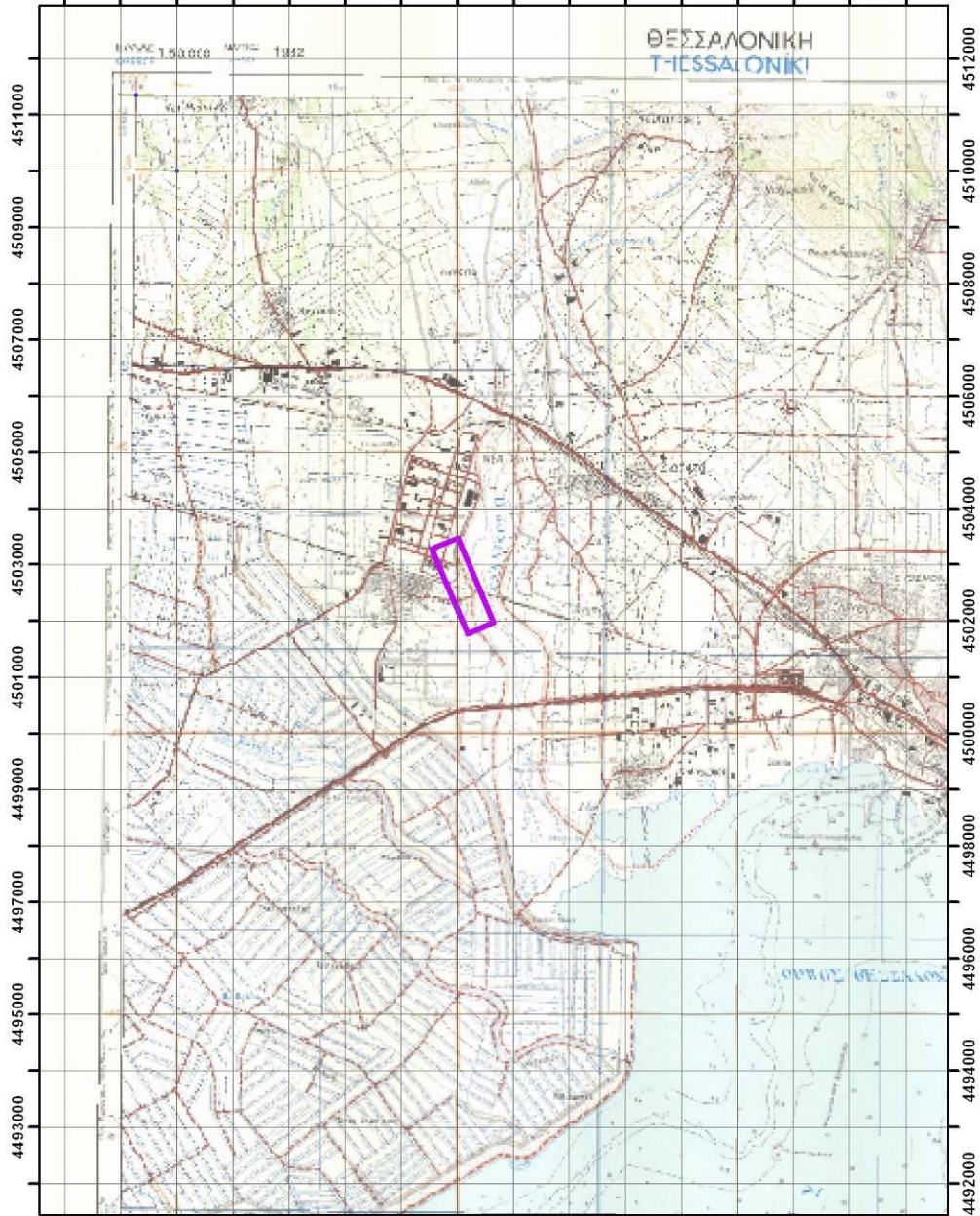
**Ε.Υ.Α.Θ. Α.Ε.**

**ΕΡΓΟ:**

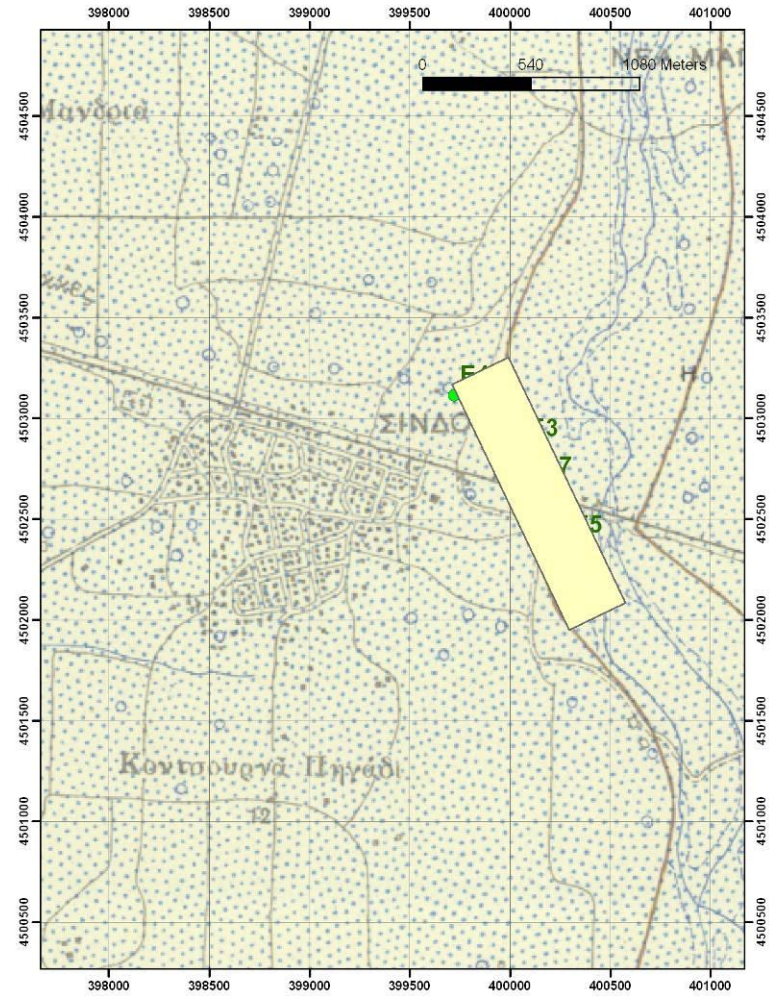
Σχεδιασμός -  
Προμήθεια - Εγκατάσταση  
και δοκιμαστική λειτουργία  
μονάδας εμπλουτισμού  
υδροφόρου ορίζοντα



393000 394000 395000 396000 397000 398000 399000 400000 401000 402000 403000 404000 405000 406000 407000 408000

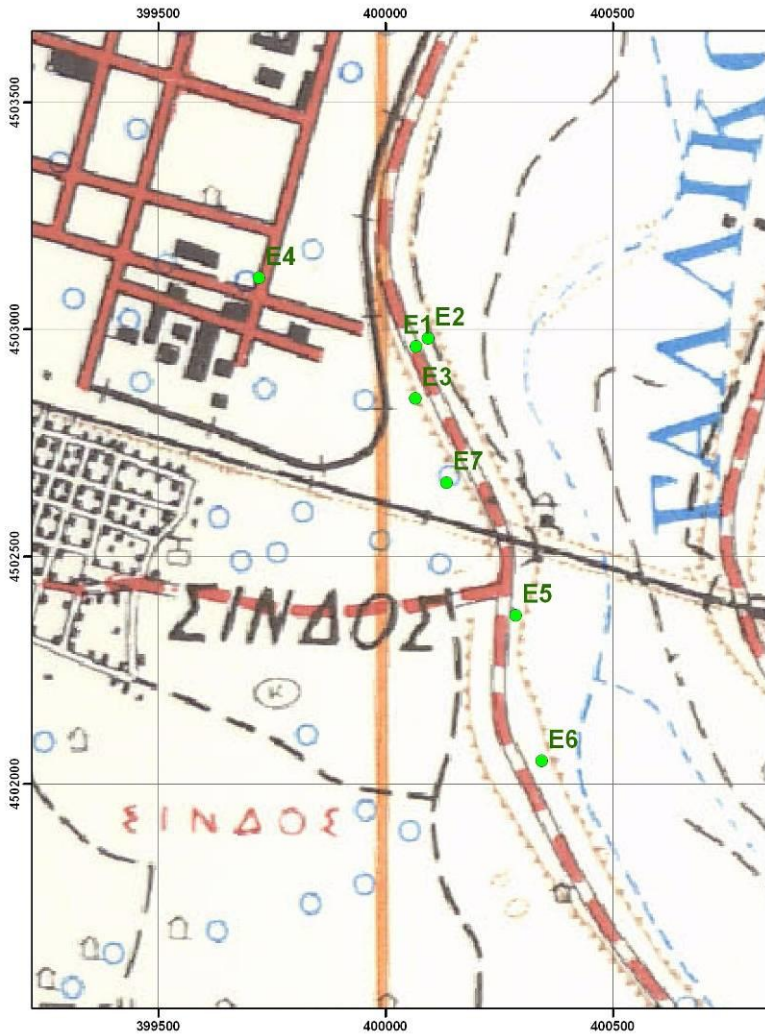


393000 394000 395000 396000 397000 398000 399000 400000 401000 402000 403000 404000 405000 406000 407000 408000

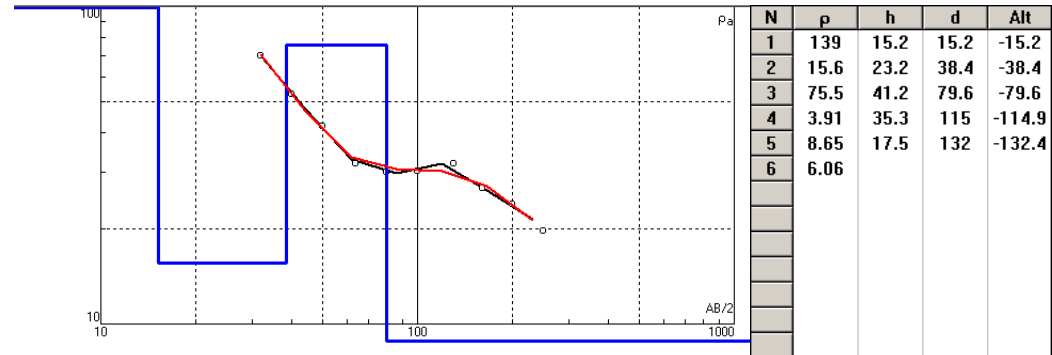




# ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΒΥΘΟΣΚΟΠΗΣΕΙΣ



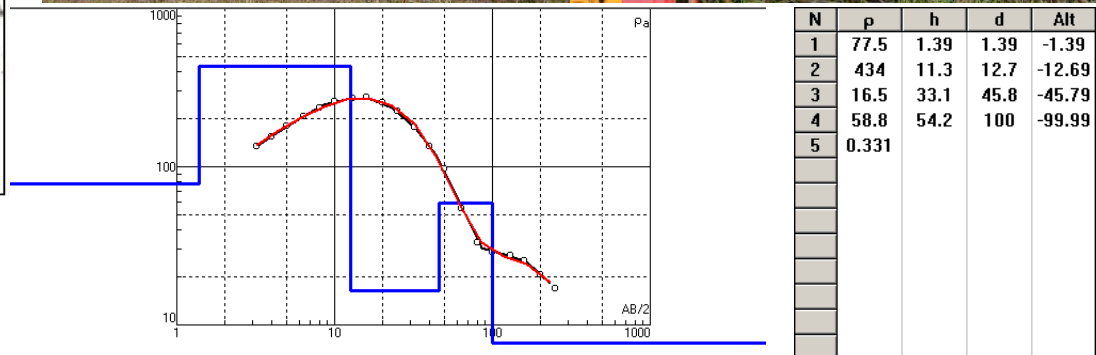
Σχήμα 6. Βυθοσκόπηση E2.

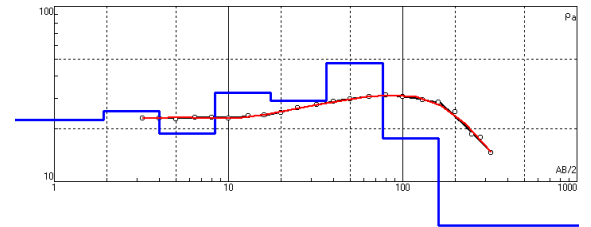
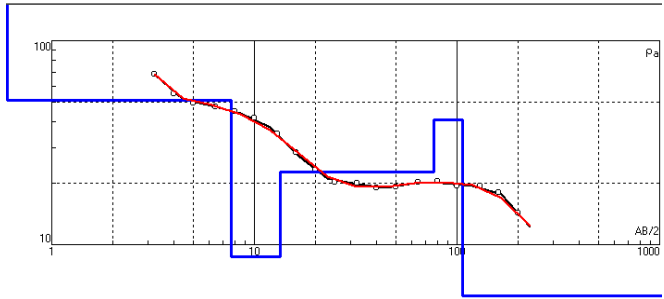
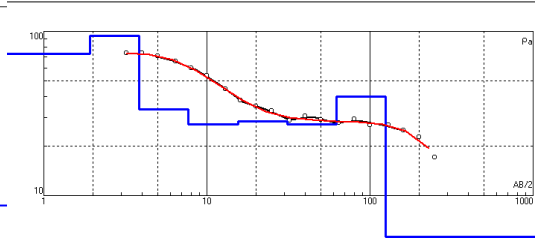
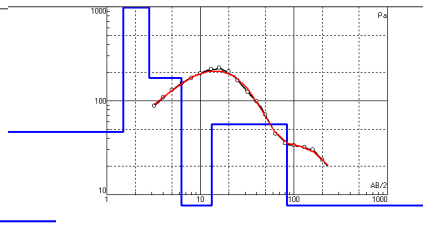
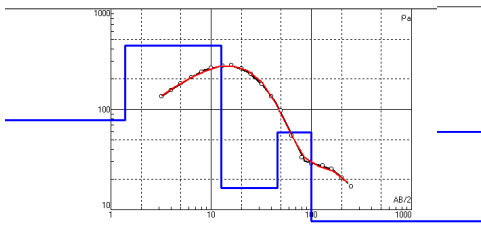


Σχήμα 5. Βυθοσκόπηση E1.

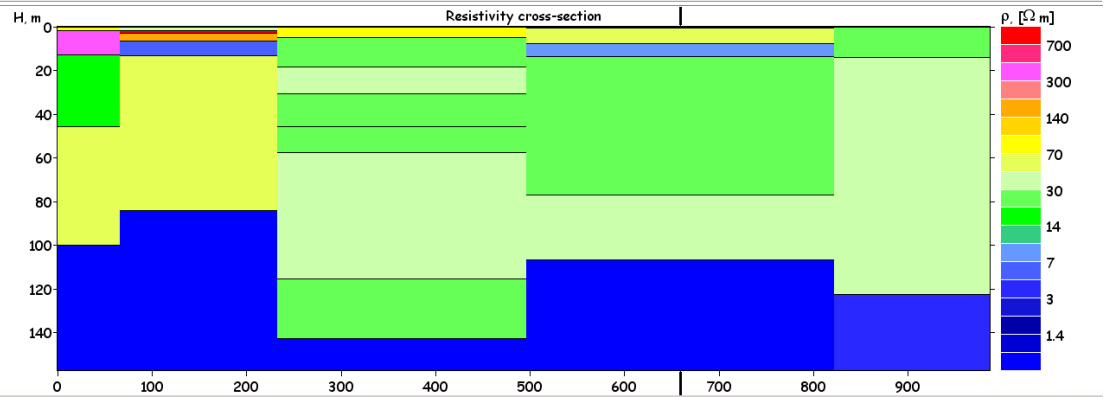
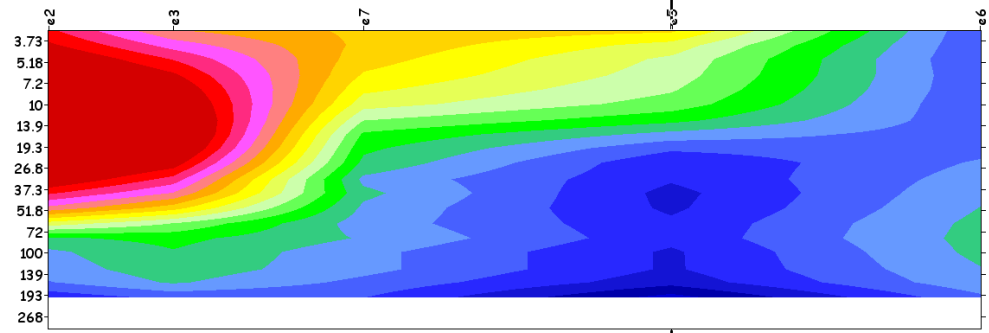


ΦΩΤ. 2. Θέση βυθοσκόπησης E2.

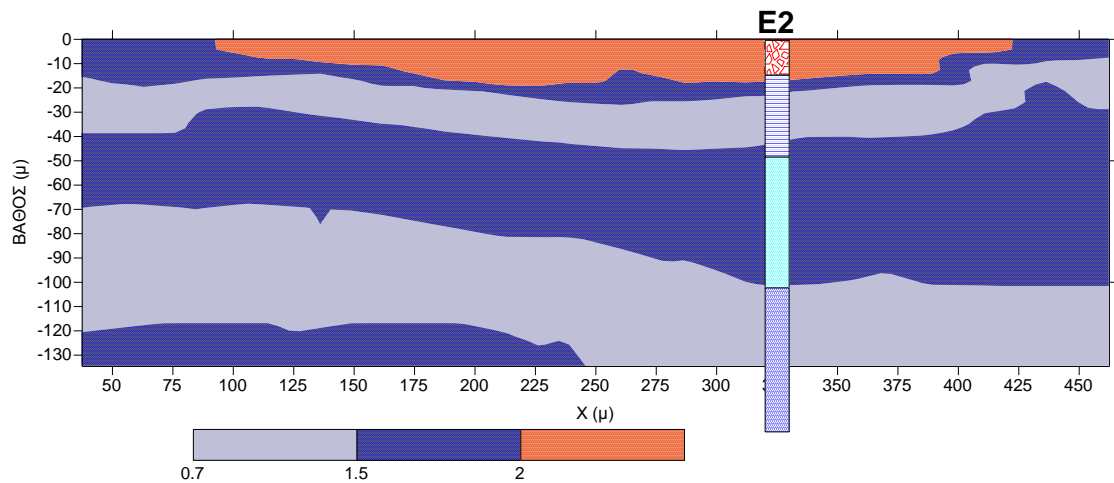
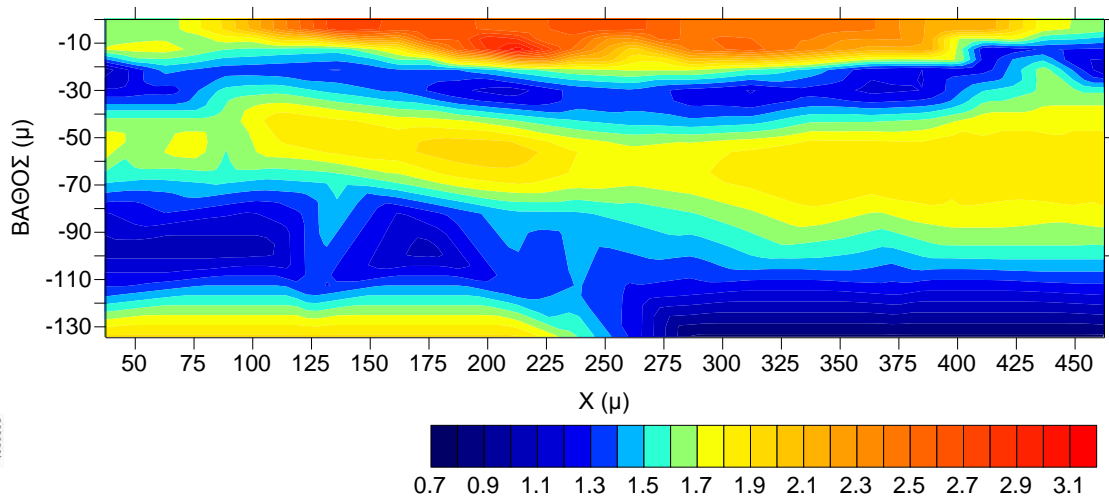
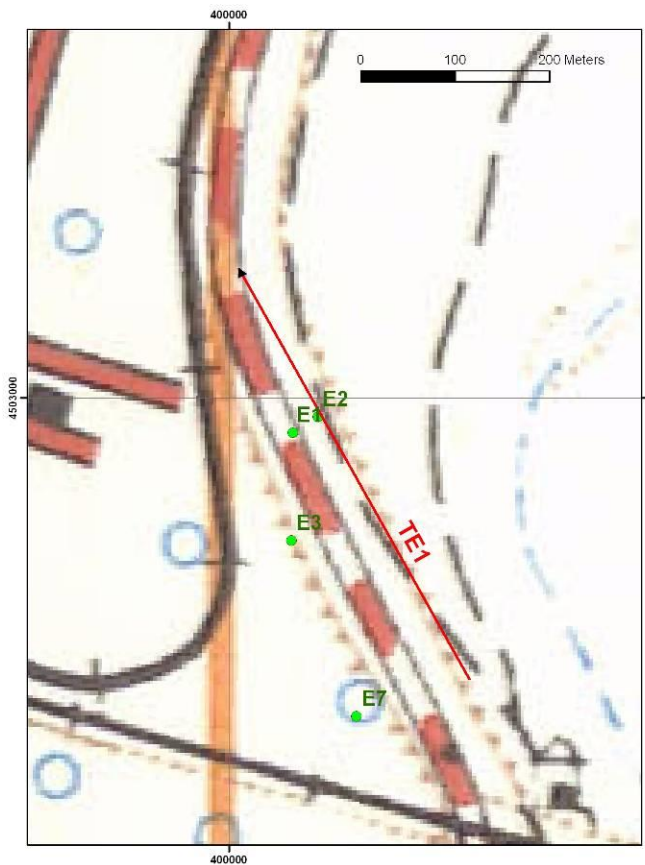




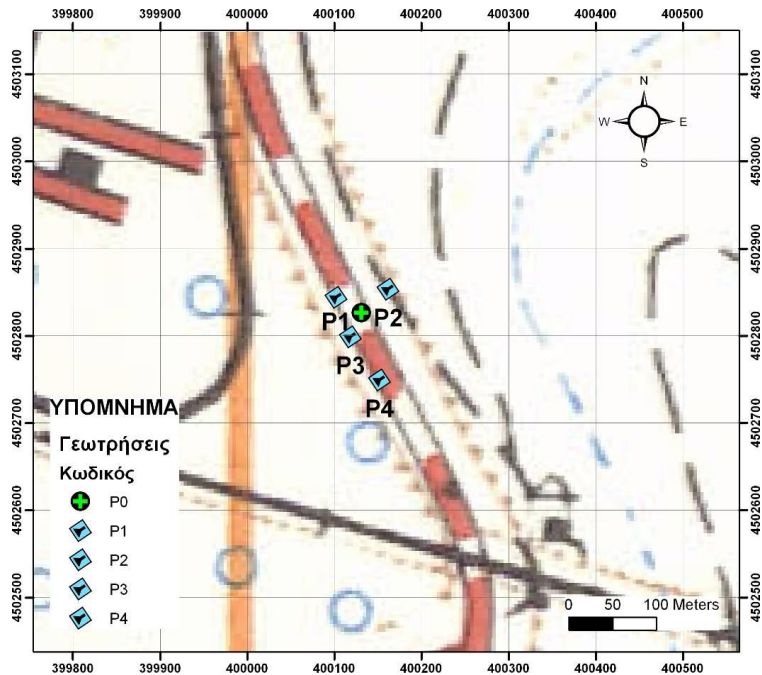
AB/2, m      e2-e6      e5      2.25%      ΕΥΑΘ-ΣΙΝΔΟΣ



# ΓΕΩΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΤΟΜΟΓΡΑΦΙΑ







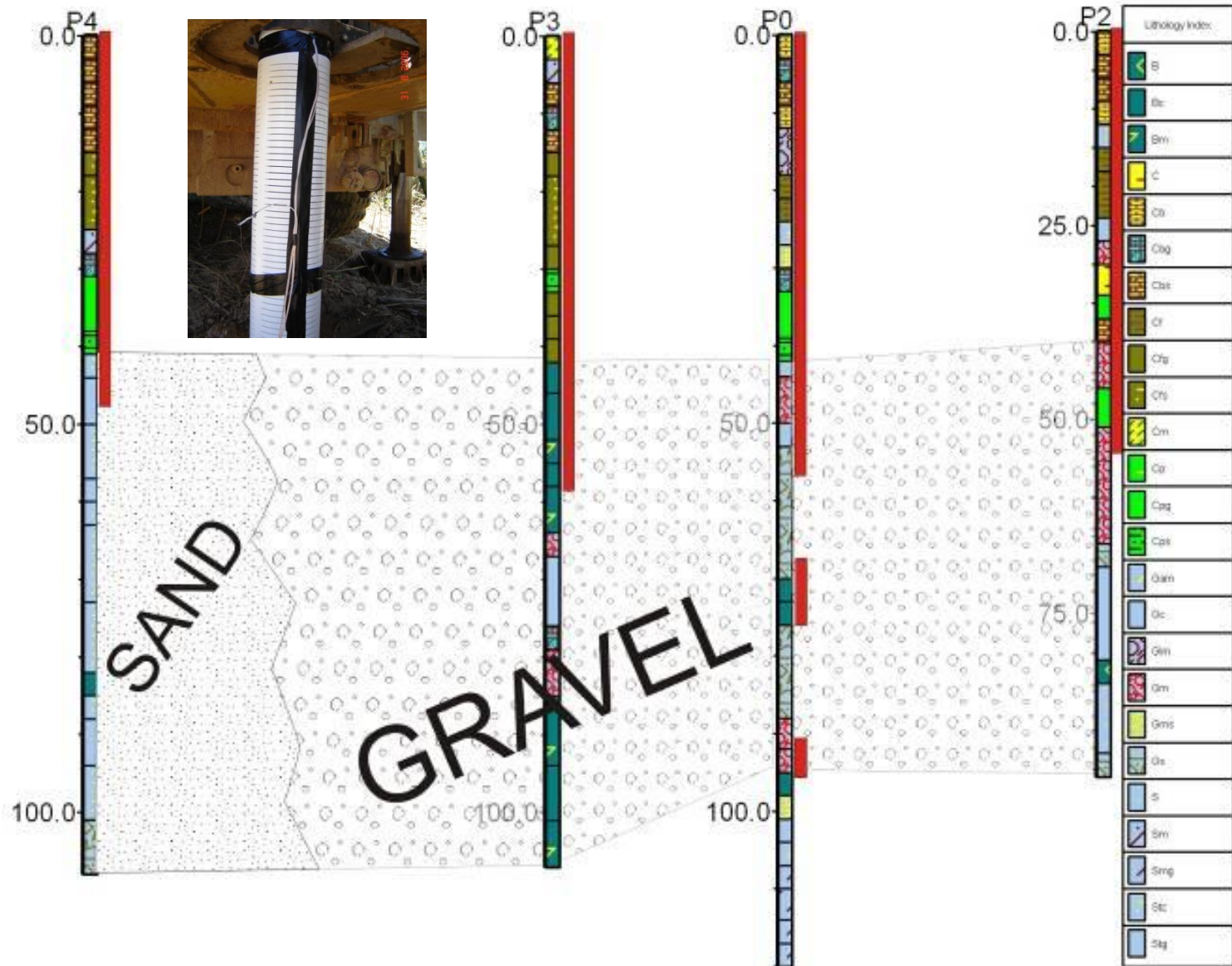
# EM

0.0	0.0-3.0: Cb: Καφέ άργιλος
	3.0-6.0: Cbg: Καφέ άργιλος μέσης πλαστικότητας με θραύσματα χαλικιών
	6.0-9.0: Cbs: Καφέ άργιλος μέσης πλαστικότητας με ελάχιστο ποσοστό άμμου
10.0	9.0-12.0: Cb: Καφέ άργιλος μέσης πλαστικότητας
	12.0-18.0: Glm: Λεπτόκοκκα χαλίκια με μικρό ποσοστό ιλύος
20.0	18.0-21.0: Cf: Φαιά τεφρή άργιλος λίγο πλαστική
	21.0-24.0: Cf: Φαιά τεφρή άργιλος με μικρό ποσοστό άμμου
	24.0-27.0: Gam: Γωνιώδες χαλίκι με ιλυώδη άργιλο
30.0	27.0-30.0: Gms: Χαλίκια με μικρό ποσοστό ιλυώδους άμμου
	30.0-33.0: Cbg: Καφέ άργιλος πλαστική με μικρό ποσοστό χαλικιών
	33.0-39.0: Crg: Πράσινη άργιλος μεγάλης πλαστικότητας με ελάχιστο ποσοστό χαλικιών
40.0	39.0-42.0: Crps: Πράσινη άργιλος μεγάλης πλαστικότητας με ελάχιστο ποσοστό άμμου
	42.0-44.0: Gc: Γωνιώδεις χάλικες με ελάχιστο ποσοστό αργίλου
	44.0-50.0: Gm: Γωνιώδεις χάλικες με ιλύ
50.0	50.0-53.0: Gc: Χαλίκια αδρόκοκκα και ελάχιστο ποσοστό πλαστικής αργίλου
	53.0-70.0: Gs: Χαλίκια λεπτόκοκκα με ποσοστό άμμου
70.0	70.0-73.0: Bc: Χαλίκια-λατύπες με άργιλο
	73.0-76.0: Bc: Χαλίκια-λατύπες με ιλύ
80.0	76.0-88.0: Gs: <Χαλίκια με λίγη χονδρόκοκκη άμμο
90.0	88.0-92.0: Gm: Χαλίκια κακής διαβάθμισης με ιλύ
	92.0-95.0: Gm: Χαλίκια με ιλύ
	95.0-98.0: Bc: Χαλίκια-λατύπες με ελάχιστο ποσοστό αργίλου
100.0	98.0-101.0: Gms: Χαλίκια με κυμαινόμενο ποσοστό ιλυώδους άμμου
	101.0-104.0: Stg: Χονδρόκοκκη άμμος με κλάσματα χαλικιών
	104.0-107.0: Gam: Γωνιώδη χαλίκια με μικρό ποσοστό ιλύος
	107.0-110.0: Smg: Ιλυώδης άμμος με αυξανόμενο ποσοστό χαλικιών
110.0	110.0-114.0: Smg: Ιλυώδης άργιλος με λίγα χαλίκια
	114.0-117.0: Smg: Ιλυώδης άμμος με αυξανόμενο ποσοστό χαλικιών
	117.0-120.0: Smg: Ιλυώδης άμμος με ποσοστό γωνιωδών χαλικιών

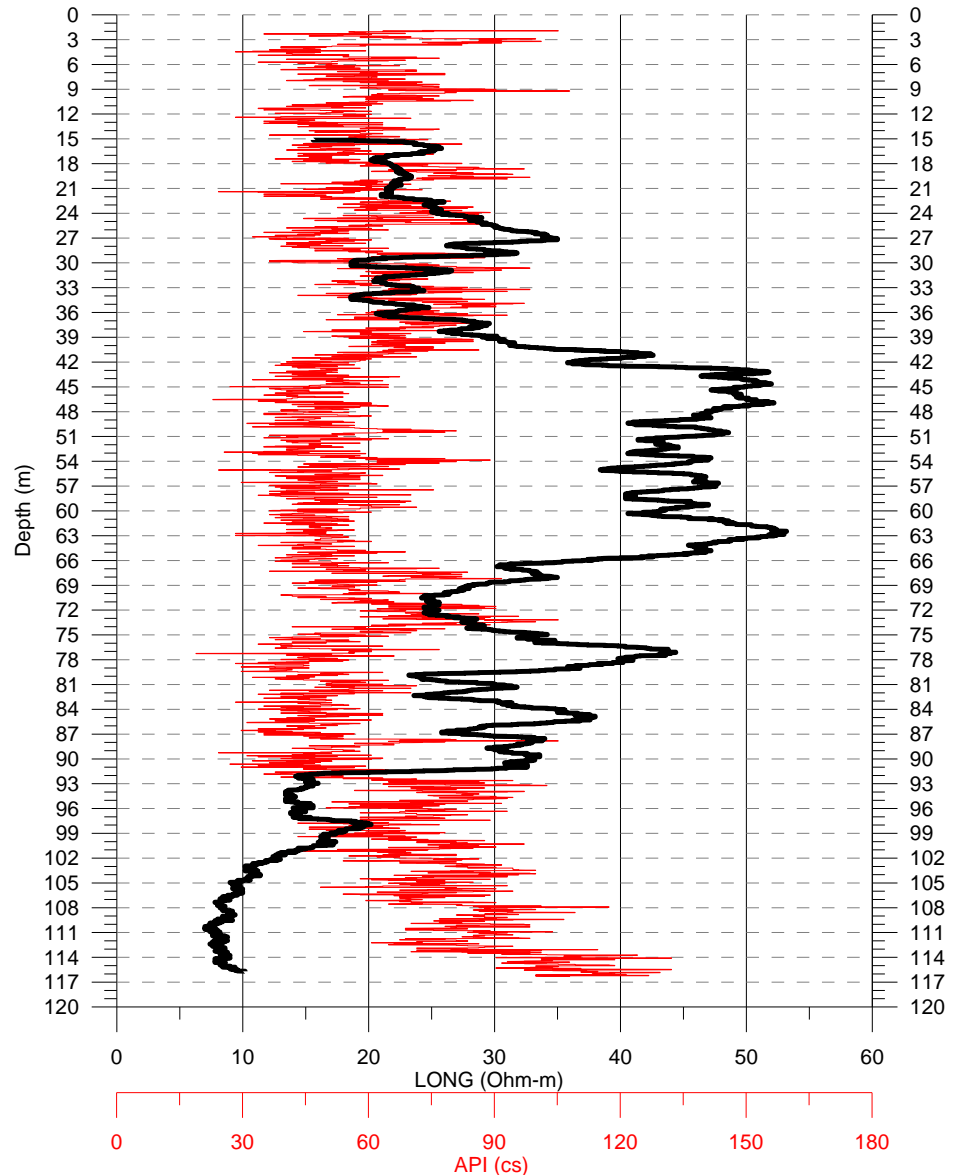








Αποτελέσματα  
γεωφυσικής διαγραφίας  
στην γεώτρηση Ρ0. Με  
μαύρο χρώμα  
παρουσιάζεται η  
διακύμανση της ειδικής  
ηλεκτρικής αντίστασης  
μετρημένης στο δίπολο  
μεγάλου μήκους ενώ με  
κόκκινη γραμμή  
παρουσιάζεται η  
διακύμανση της  
απορρόφησης των  
ακτίνων γ.



Με μαύρο χρώμα  
παρουσιάζεται η  
διακύμανση της ειδικής  
ηλεκτρικής αντίστασης  
μετρημένης στο δίπολο  
μικρού μήκους ενώ με  
κόκκινη γραμμή  
παρουσιάζεται η  
διακύμανση του φυσικού  
δυναμικού.

