

**Συνέχεια
διερεύνησης διαδικασίας ερευνών γεωθερμικών
πεδίων**

Δεύτερο στάδιο: Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών

- **Γεωλογική μελέτη και ειδική χαρτογράφηση**
- **Ηφαιστειολογική μελέτη**
- **Γεωχημεία εξειδικευμένη στη γεωθερμική έρευνα**
- **Τεκτονική και νεοτεκτονική ανάλυση**

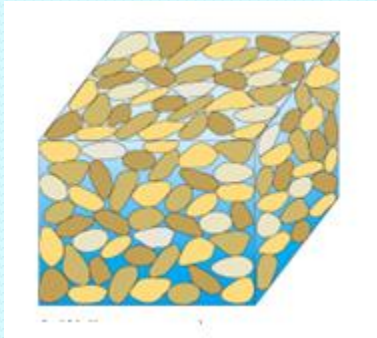
- **Υδρογεωλογική γεωθερμική έρευνα**

➤ Υδρογεωλογική γεωθερμική έρευνα

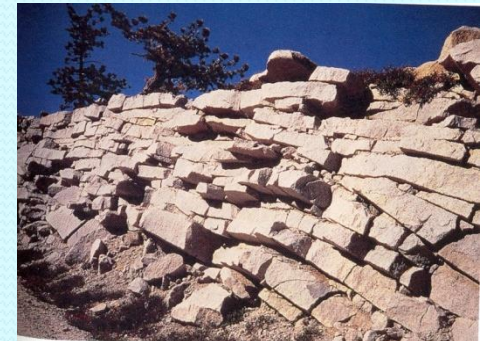
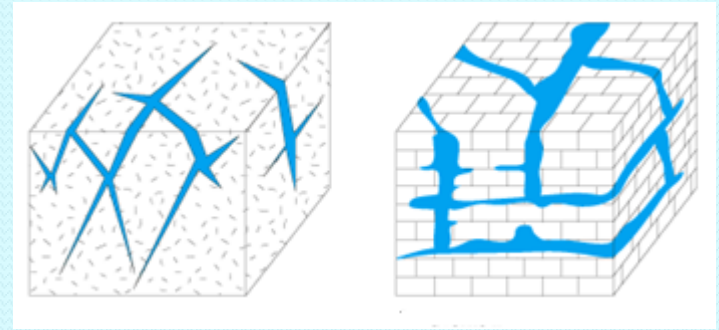
- ✓ Τα γεωθερμικά νερά που βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες μέσα στα πετρώματα (στα ρωγματωμένα, στα καρστικά, ή άλλα έγκοιλα), στα ανοικτά ρήγματα και το ενεργό πορώδες των σχηματισμών, παίρνουν θερμότητα από τα πετρώματα και σύντομα η θερμοκρασία τους εξισώνεται με αυτή των γεωλογικών σχηματισμοί, μέσα στους οποίους βρίσκονται και κυκλοφορούν.
- ✓ Με τον τρόπο αυτό, μεταφέρουν θερμική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις, με σχετικά μικρές απώλειες.
- ✓ Ως γνωστόν, η υπόγεια κυκλοφορία των νερών εξαρτάται από **την υδρογεωλογική δομή** της ευρύτερης περιοχής στην οποία κινούνται.
- ✓ Η κατείδυση των μετεωρικών ή επιφανειακών νερών εξαρτάται από το **είδος των υδροφόρων στρωμάτων**, τη **λιθολογία των πετρωμάτων** και την τεκτονική δομή.
- ✓ Η διαθέσιμη ποσότητα γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται από τις υδρογεωλογικές, κατά κύριο, και τις υδρολογικές και γεωμορφολογικές συνθήκες κατά δεύτερο λόγο.

Κατηγορίες πετρωμάτων ως προς το πορώδες

**Κοκκώδη ή πορώδη
(πρωτογενές πορώδες)**

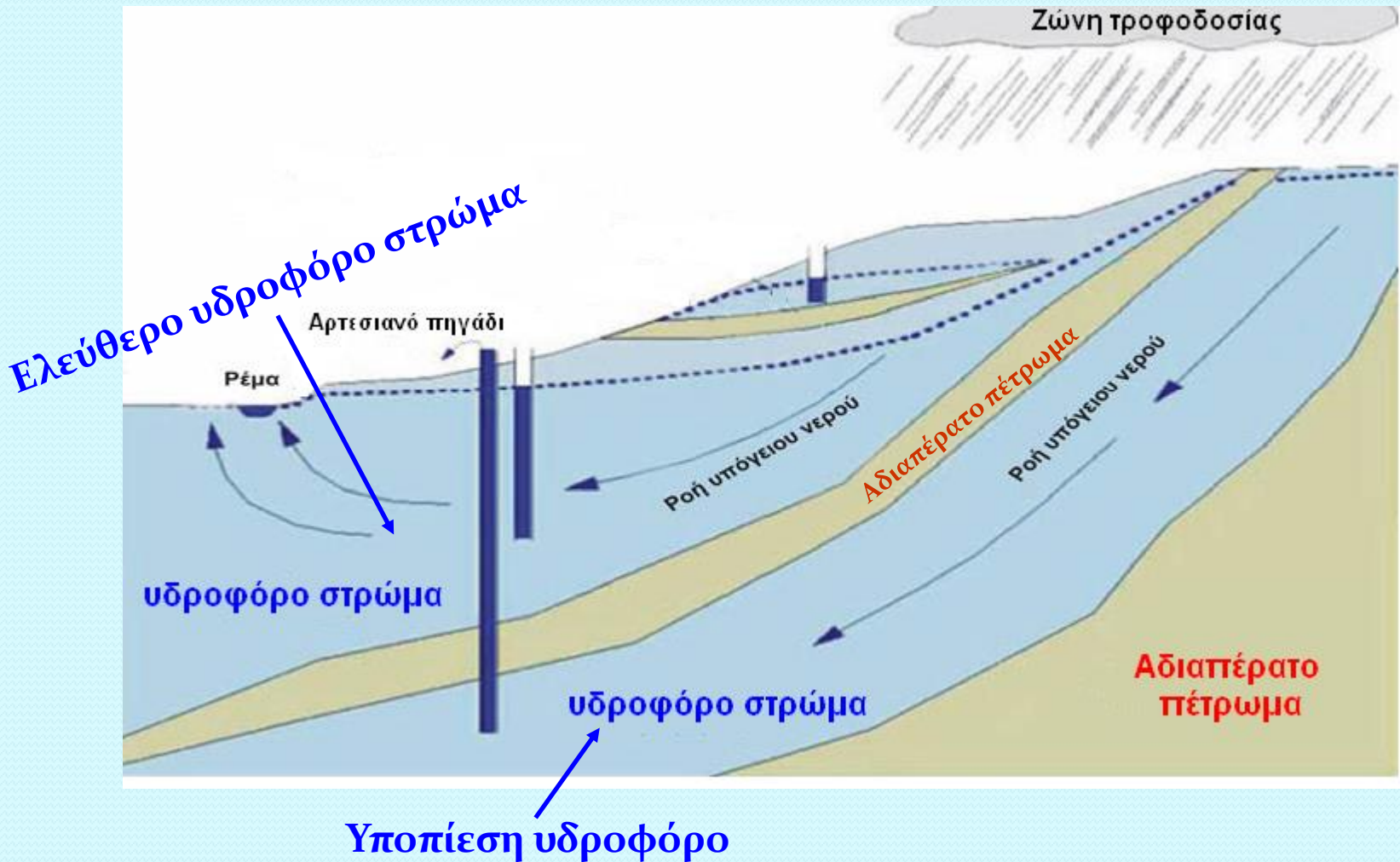


**Ρωγμώδη
(δευτερογενές πορώδες)**



ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΦΩΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

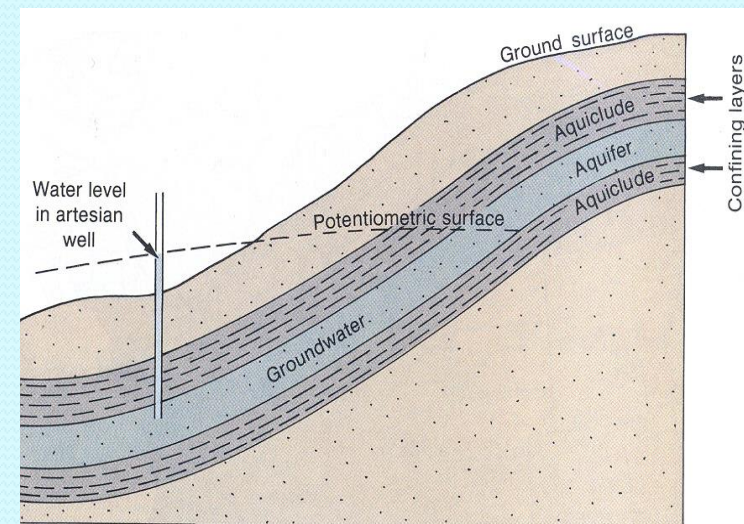
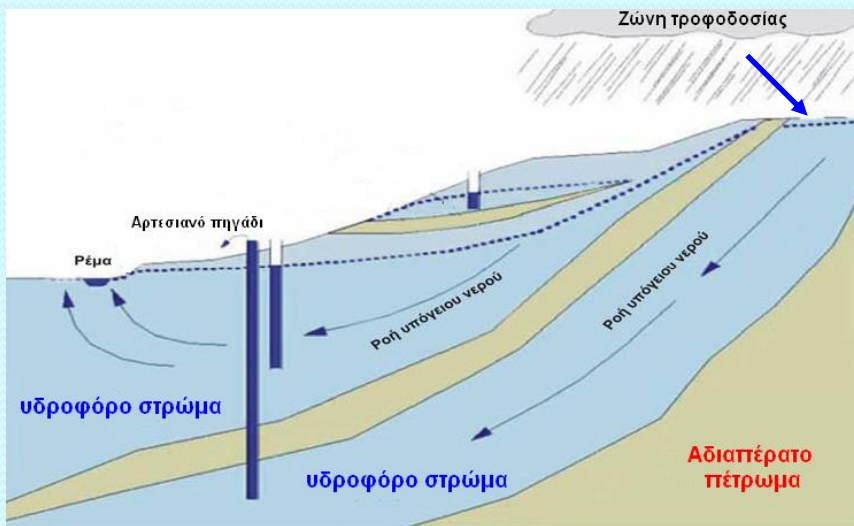
(ανάλογα με την θέση τους στο υπέδαφος, την θέση της επιφάνειας του νερού και την θέση των στεγανών σχηματισμών)



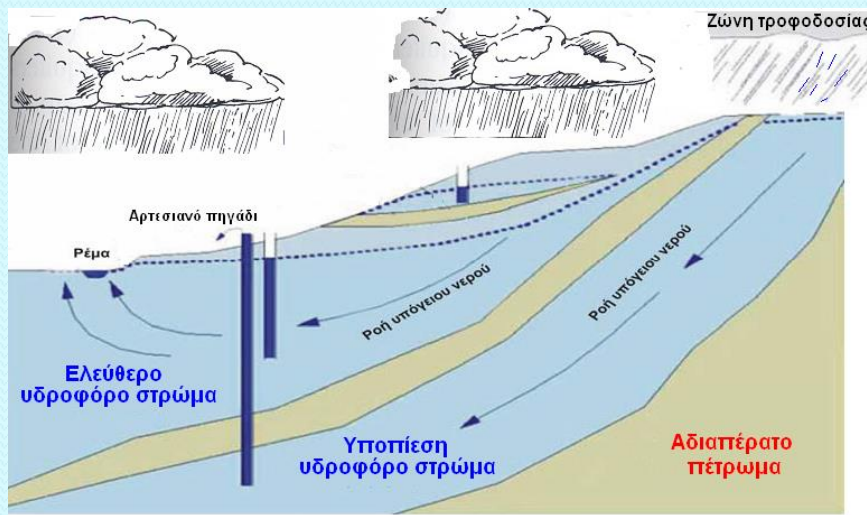
ΤΥΠΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Υποπίεση ή Αρτεσιανά υδροφόρα στρώματα

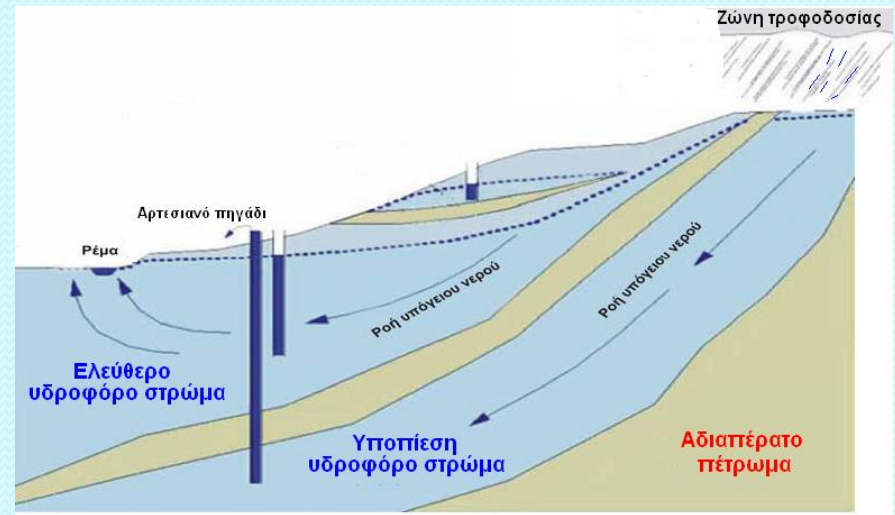
- Περιβάλλεται από στεγανούς σχηματισμούς
- Όλο το σώμα του υδροφορέα είναι γεμάτο με νερό
- Το νερό βρίσκεται κάτω από πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής
- Η πιεζομετρική επιφάνεια είναι εκτός του σώματος του υδροφορέα
- Είναι μια κυματοειδή υποθετική (φανταστική) επιφάνεια (πιεζομετρική επιφάνεια με κλίση. Η απελευθέρωση της στάθμης αντιστοιχεί σε μια στήλη νερού βάρους ίσου με την υδροστατική πίεση
- Η μεταβολή της στάθμης οφείλεται στην μεταβολή της πίεσης
- Η τροφοδοσία στο μεγαλύτερο ποσοστό οφείλεται στις διηθήσεις από τους χείμαρρους στα σημεία όπου το στρώμα βρίσκεται στην επιφάνεια



Τροφοδοσία των υδροφόρων στρωμάτων



Ελεύθερα υδροφόρα



Υποπίεση υδροφόρα

Παράγοντες που επηρεάζουν την υδροπερατότητα

• Για τα πορώδη

- Διάταξη, σχήμα, μέγεθος κόκκων
- Πορώδες
- Θερμοκρασία και ιξώδες νερού
- Εγκλείσματα αερίων
- Συνίζηση
- Ιλύωση
- Διαγένεση

• Για τα ρωγμώδη

- Πυκνότητα ρωγμών
- Βαθμός επούλωσης ρωγμών
- Εύρος, πυκνότητα, μέγεθος εκγοίλων
- Η θερμοκρασία
- Διαλυμένος αέρας
- Καθίζηση υλικών

❑ Το **ιξώδες** του νερού ελαττώνεται ως γνωστό με την αύξηση της θερμοκρασίας, η **υδραυλική περατότητα** (K) αυξάνει με τη θερμοκρασία,.

❑ Η ποσότητα των υπόγειων νερών που κυκλοφορούν στο υπέδαφος εξαρτάται από τη δομή των διόδων ροής, αλλά και από τις φυσικοχημικές συνθήκες του ιδίου του γεωθερμικού νερού.

❑ Η **υδροθερμική εξαλλοίωση** των πετρωμάτων, μέσα στα οποία κυκλοφορούν τα υπόγεια θερμά ρευστά, ελαττώνει ή και μηδενίζει την περατότητα και την αποθηκευτική ικανότητα των σχηματισμών.

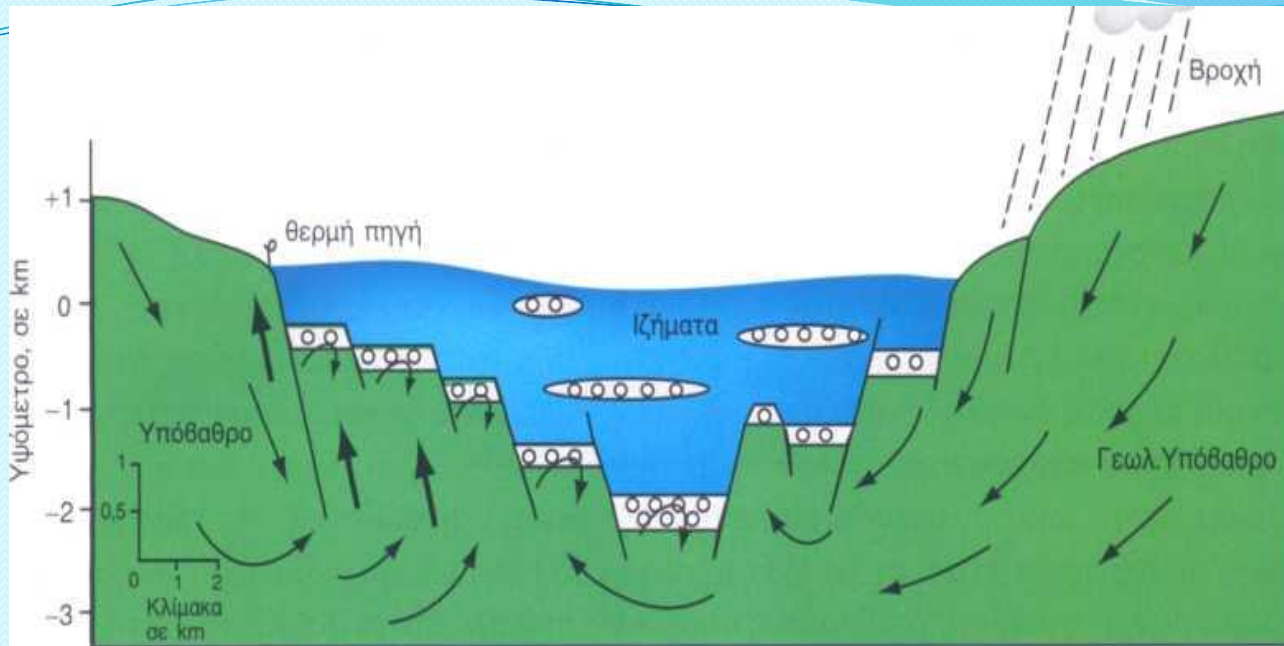
❑ Αντίθετα, η **διαλυτότητα ορισμένων ορυκτών**, όπως των ασβεστολίθων, δημιουργεί κενά, μερικές φορές πολύ μεγάλα καρστικά έγκοιλα, και διευκολύνει την κυκλοφορία και την αποθήκευση των γεωθερμικών ρευστών μέσα τους, επιτρέπει δηλ. τη δημιουργία πολύ καλών γεωθερμικών ταμιευτήρων.

❑ Η **τεκτονική των ρηγμάτων** δημιουργεί συνήθως μεγάλες «κενές» επιφάνειες, όπου σε συνδυασμό με τη ζώνη των σπασμένων υλικών τη ζώνη μυλονιτίωσης, όπως την ονομάζουμε τα νερά κυκλοφορούν πολύ πιο εύκολα. Έτσι έχουμε μια άλλη μορφή δευτερογενούς περατότητας και αποθήκευσης υπόγειων ρευστών.

□ Η διαφοροποίηση των συνθηκών της κλασικής υδρολογίας και υδρογεωλογίας στη γεωθερμία είναι σαφής όχι μόνο για τους παραπάνω λόγους, αλλά γιατί αλλάζουν και οι φυσικές παράμετροι μεταξύ των ψυχρών υπόγειων νερών και των θερμών γεωθερμικών ρευστών. Για παράδειγμα, το ειδικό βάρος του ψυχρού νερού από 1 g/cm^3 γίνεται $0,96 \text{ g/cm}^3$ στους 100°C ή όπως ο συντελεστής υδραυλικής περατότητας των γεωθερμικών νερών γίνεται 10-100 φορές υψηλότερος από τον αντίστοιχο συντελεστή των ψυχρών νερών,.

□ Η διάκριση των ψυχρών από τα θερμά υπόγεια νερά σαφώς περιπλέκεται περισσότερο, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα θερμά ρευστά, λόγω της αυξημένης διαλυτότητας των περισσότερων ορυκτών των πετρωμάτων, όταν αυξάνεται η θερμοκρασία, εμπλουτίζονται σε άλατα και στοιχεία, με αποτέλεσμα να αυξάνει το ειδικό βάρος τους.

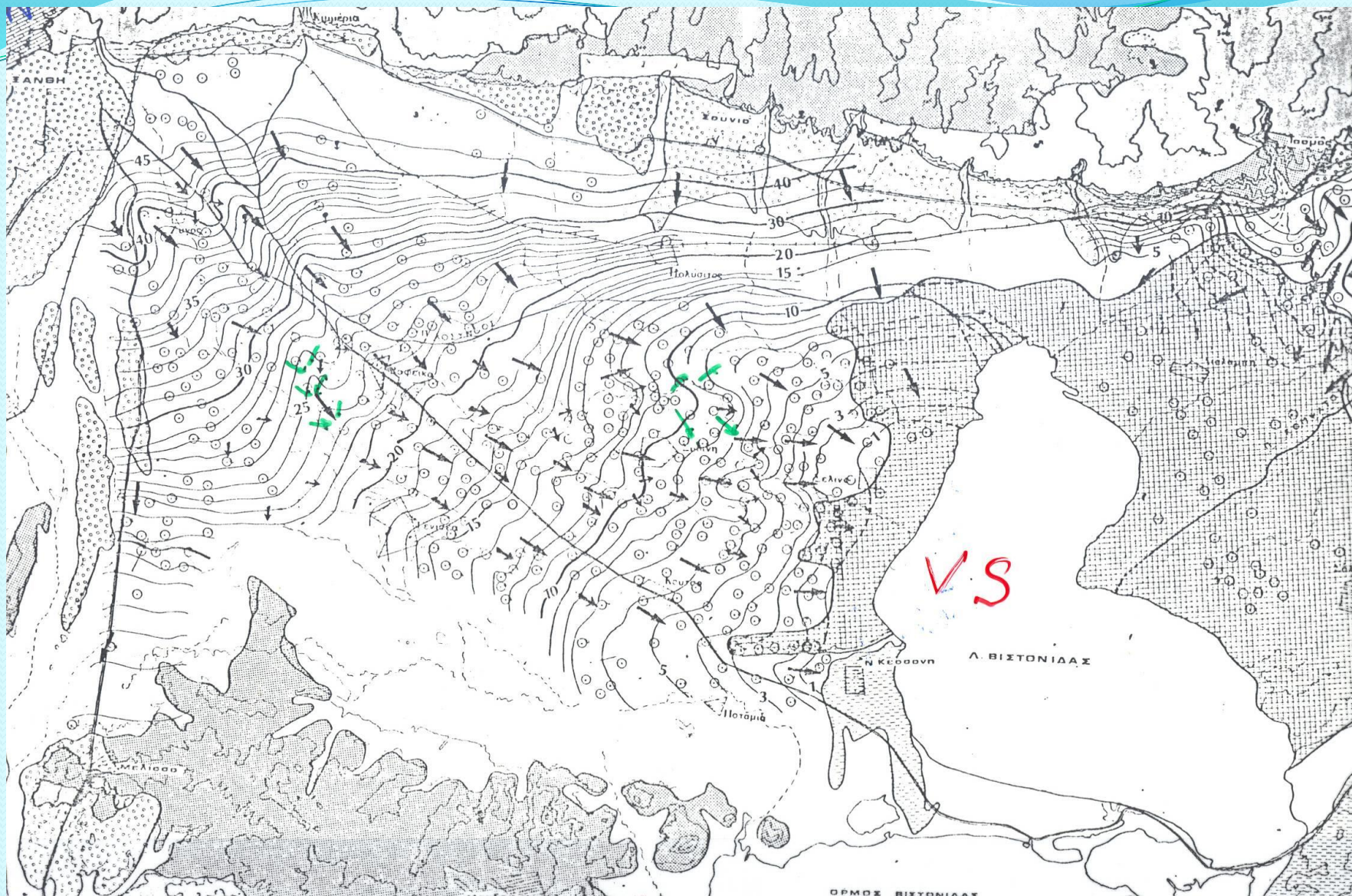
□ Η τοπογραφία και γενικότερα η γεωμορφολογία, επηρεάζουν επίσης σημαντικά την υδρολογική και γεωθερμική κατάσταση.



Τομή με διεύθυνση ανατολή-δύση της λεκάνης Στρυμόνα

- ❑ Τεκτονικά βυθίσματα που πληρώθηκαν από πρόσφατα και χαλαρά ιζήματα είναι γεμάτα από μετεωρικά ή άλλα επιφανειακά νερά, που καταλαμβάνουν τους πόρους των υδροπερατών σχηματισμών.
- ❑ Τα ελαφρύτερα θερμά νερά τείνουν να ανέβουν στα περιθώρια του βυθίσματος, κατά μήκος ορισμένων μεγάλων ρηγματών

Πιεζομετρικοί ή χάρτες υδροισούψων



Πιεζομετρικός χάρτης πεδινού τμήματος Λεκάνης Βιστωνίδας



➤ **Γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμική έρευνα**

Η γεωφυσική έρευνα βασίζεται, κατά κύριο λόγο στη συλλογή, επεξεργασία και ερμηνεία γεωφυσικών παρατηρήσεων που γίνονται απ' ευθείας στη φύση με γεωφυσικά όργανα. Κατά τη διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέτρηση διαφόρων φυσικών ποσοτήτων και η ερμηνεία αυτών σε συνάρτηση με άλλες φυσικές ποσότητες που περιγράφουν αμεσότερα τις ιδιότητες της Γης και τις φυσικές διαδικασίες στο εσωτερικό της.

Οι γεωφυσικές μέθοδοι αποτελούν σημαντικό εργαλείο στην όλη γεωθερμική έρευνα, αρκεί να γίνει σωστά η εφαρμογή τους

Επιλέγονται κατά περίπτωση, ανάλογα με το πρόβλημα που παρουσιάζεται για επίλυση,

- ✓ Γεωηλεκτρικές μέθοδοι
- ✓ Μαγνητικές μέθοδοι
- ✓ Βαρυτομετρική μέθοδος
- ✓ Σεισμική μέθοδος

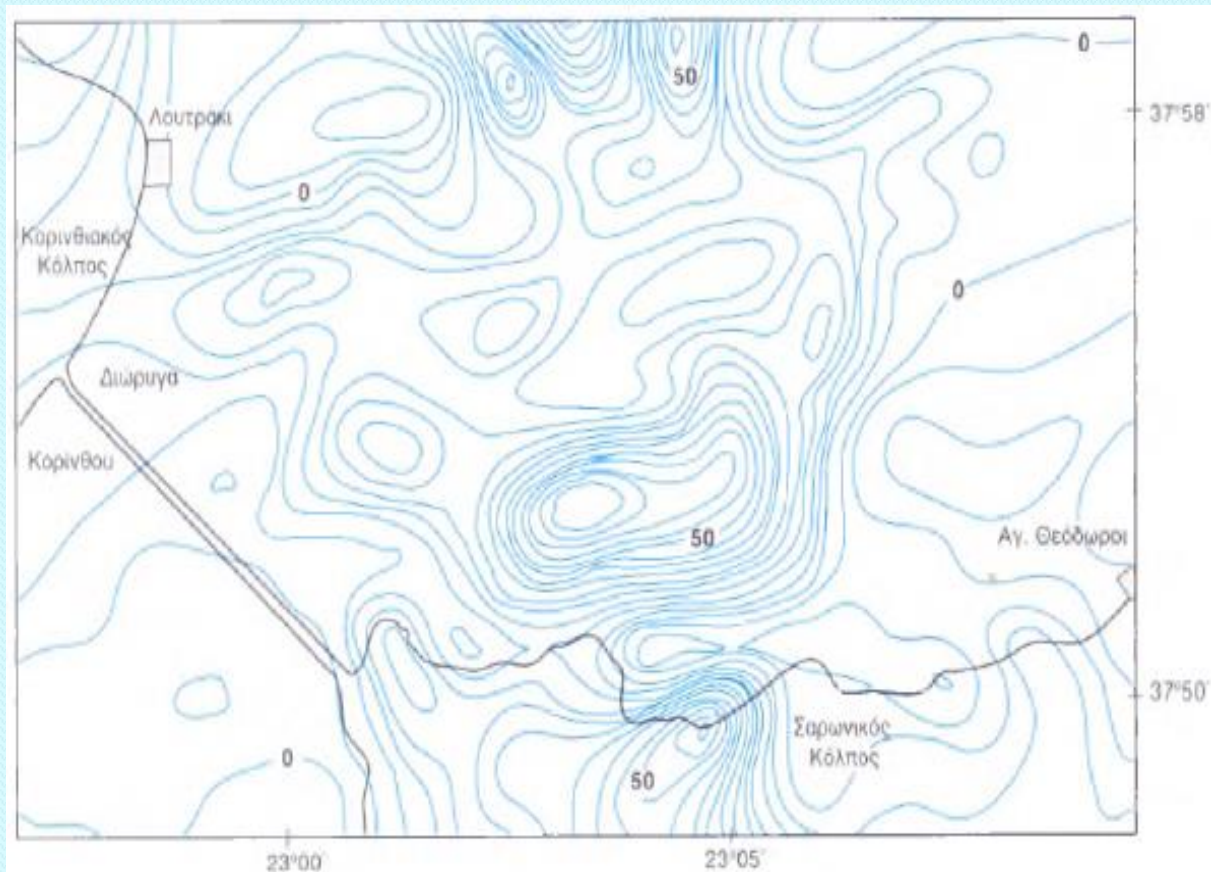
➤ Γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμική έρευνα

Μαγνητικές μέθοδοι

- Οι μέθοδοι αυτοί είναι οι παλαιότερες μέθοδοι γεωφυσικής διασκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν στη γεωθερμική έρευνα.
- Στηρίζεται στον εντοπισμό της μαγνήτισης των πετρωμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης,
- Οι μαγνητικές μετρήσεις εδάφους εφαρμόζονται με επιτυχία κυρίως σε περιοχές με υδροθερμικά εξαλλοιωμένες ζώνες.

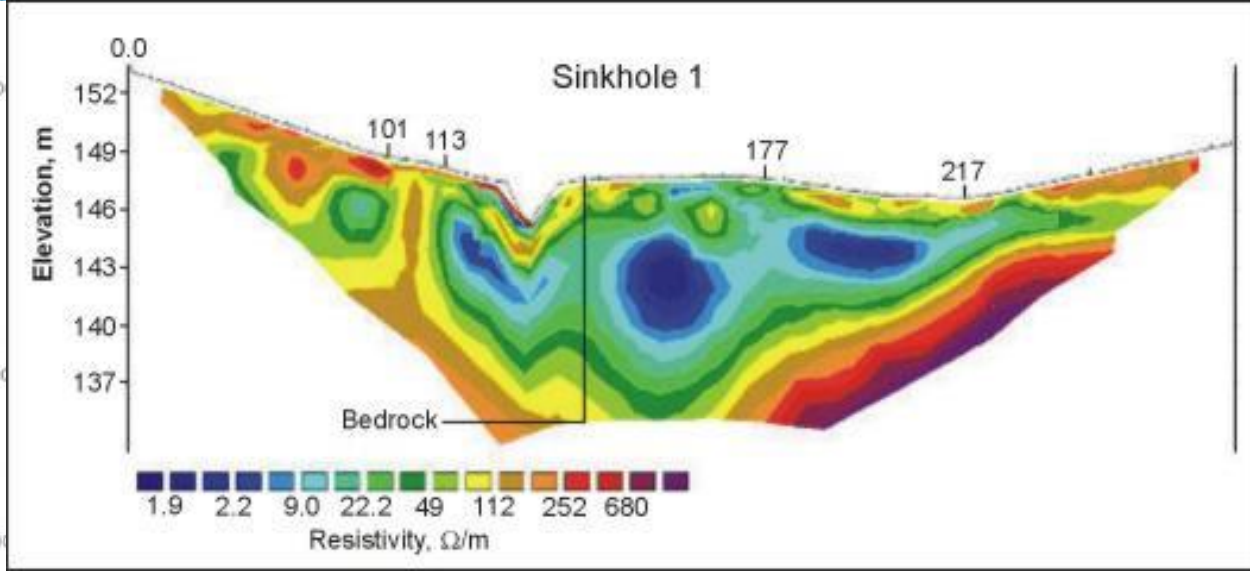
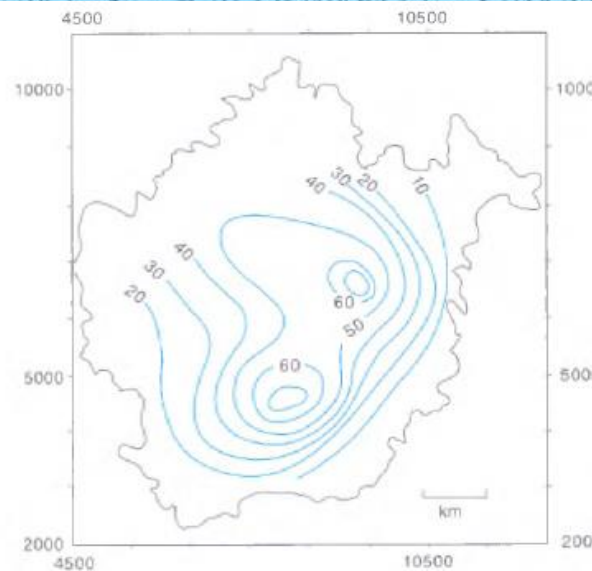
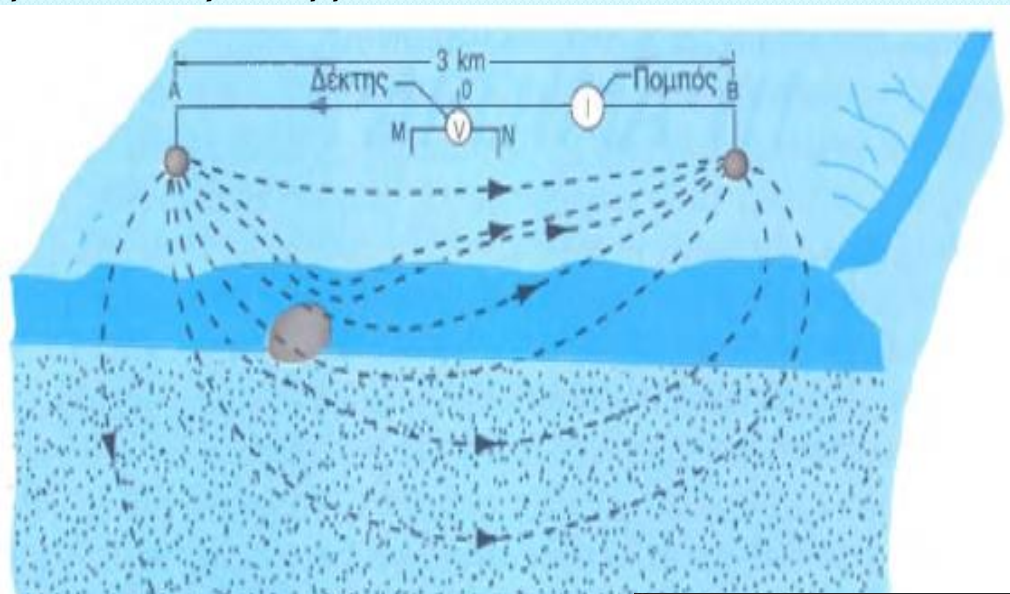
Στο Σχήμα παρουσιάζεται ο χάρτης των μαγνητικών ανωμαλιών του μαγνητικού πεδίου για την περιοχή Λουτρακίου-Σουσακίου.

Παρατηρούνται έντονες μαγνητικές ανωμαλίες στο νοτιοανατολικό τμήμα της περιοχής, όπου υπάρχει και το γεωθερμικό πεδίο.



Γεωηλεκτρικές μέθοδοι (Μέθοδος της ειδικής αντίστασης κ.α.)

➤ Με τις μεθόδους αυτές επιδιώκεται ο προσδιορισμός των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του πετρώματος και των επιφανειακών στρωμάτων του φλοιού. Οι μέθοδοι αυτοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη ν έρευνα των γεωθερμικών πεδίων.



❑ Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην έρευνα των γεωθερμικών πεδίων, κυρίως γιατί οι χαμηλές γεωηλεκτρικές αντιστάσεις μπορεί να οφείλονται στην ύπαρξη υπόγειων σχηματισμών με αυξημένη θερμοκρασία και αλατότητα, δηλ. γεωθερμικών ταμιευτήρων.

❑ Μπορεί λοιπόν να συλλέξει στοιχεία για τη θέση και τον τρόπο κυκλοφορίας των υπόγειων γεωθερμικών ρευστών.

❑ Αυτό είναι συνέπεια της σχέσης που συνδέει την ειδική ηλεκτρική αντίσταση των γεωλογικών σχηματισμών με την ειδική ηλεκτρική αντίσταση του νερού που περιέχεται στους πόρους και τις μικρορωγμές ή τα κενά τους

❑ Οι επιμέρους μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στη γεωηλεκτρική διασκόπηση είναι οι εξής:

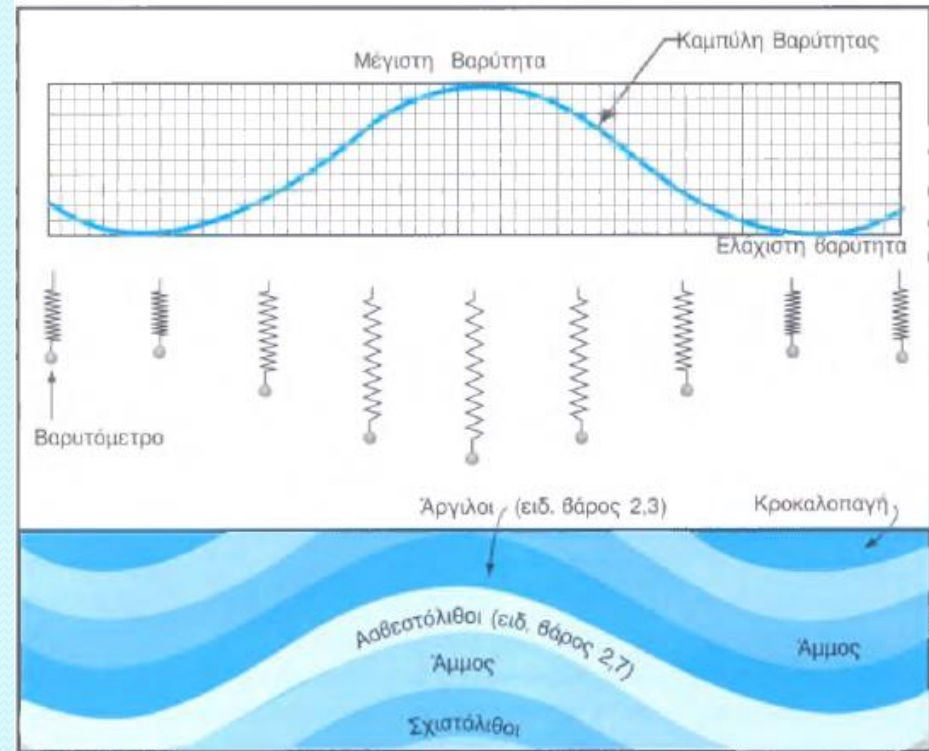
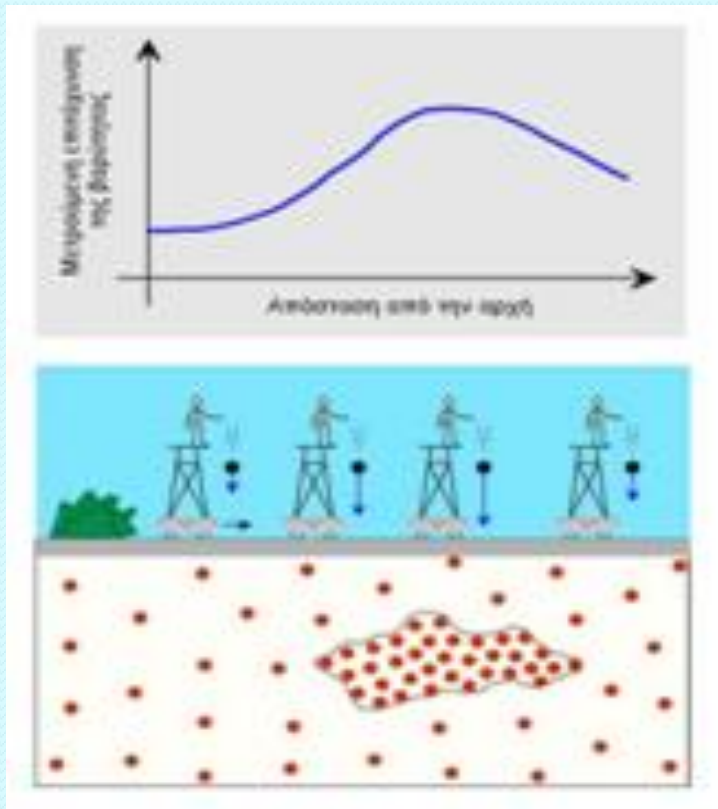
- 1) μέθοδος της ειδικής αντίστασης,
- 2) μέθοδος των ισοδυναμικών γραμμών,
- 3) μέθοδος της επαγόμενης πολικότητας,
- 4) μέθοδος του φυσικού δυναμικού και
- 5) μέθοδος των τελουρικών ρευμάτων.

❑ Στη γεωθερμική έρευνα, μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν η μέθοδος της ειδικής αντίστασης και η μέθοδος των τελουρικών ρευμάτων.

➤ Γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμική έρευνα

▪ Βαρυτομετρική μέθοδος

- ✓ Μελετά τις μεταβολές του πεδίου βαρύτητας της γης, με μετρήσεις της έντασης του πεδίου (επιτάχυνση της βαρύτητας) σε ένα συγκεκριμένο χώρο
- ✓ Με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία είναι δυνατόν να δοθεί και το μοντέλο της υπεδάφιας δομής που να προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματικότητα

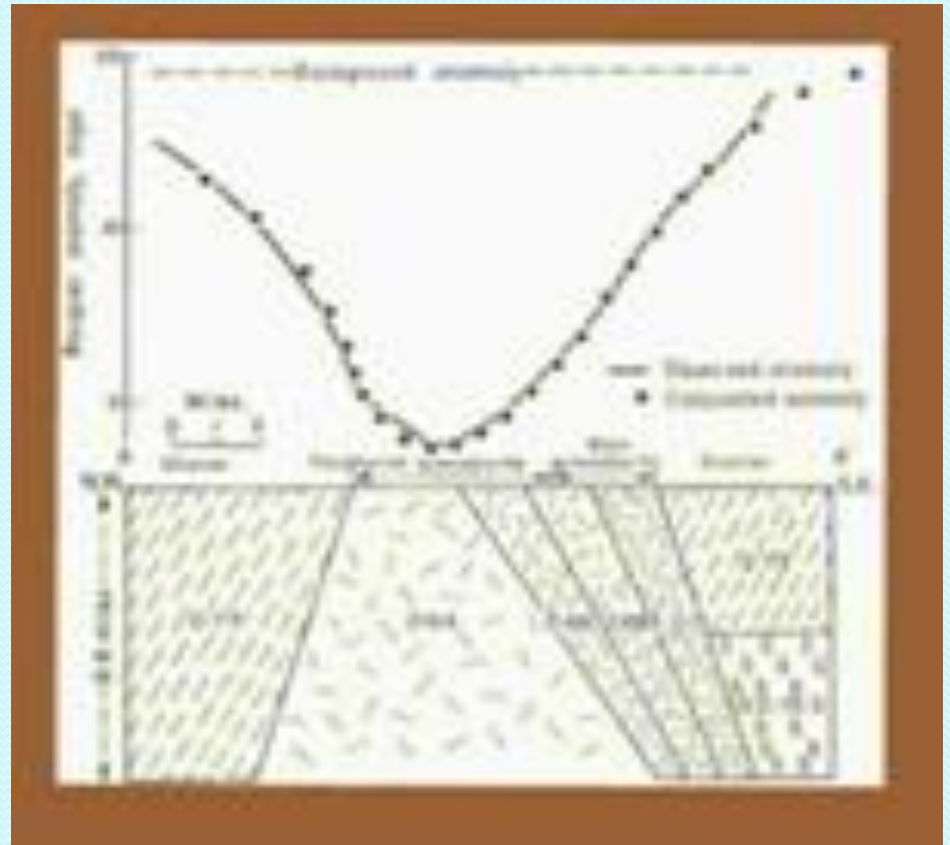
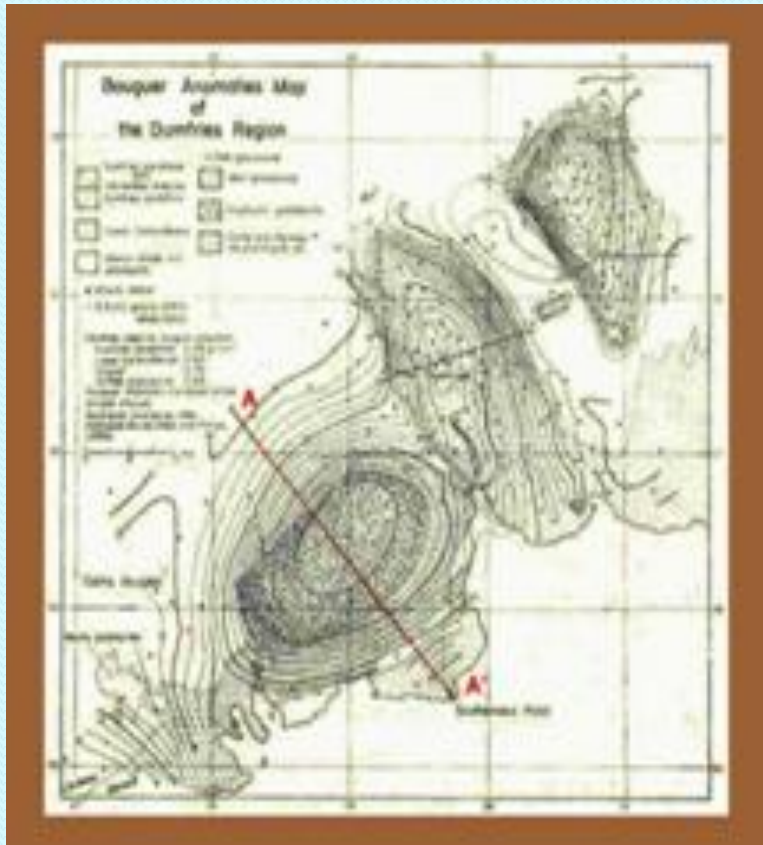


➤ Γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμική έρευνα

▪ Βαρυτομετρική μέθοδος

□ **Σχήμα.** Βαρυτομετρική διασκόπηση - σχηματική παράσταση της σχέσης μεταξύ της δομής των πετρωμάτων και της κατακόρυφης βαρυτικής έλξης, με την υπόθεση ότι τα βαθύτερα πετρώματα είναι πυκνότερα από τα ρηχότερα (Barbier, 1997).

□ Με τη βαρυτομετρική μέθοδο είναι δυνατή η λήψη δεδομένων για τον εντοπισμό των διαφόρων τεκτονικών δομών που παρουσιάζονται στην περιοχή που ερευνάται, καθώς και για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών τους.



➤ Γεωφυσικές μέθοδοι στη γεωθερμική έρευνα

▪ Σεισμική μέθοδος

- ✓ Με τη μέθοδο της σεισμικής διασκόπησης επιδιώκεται ο καθορισμός των μεταβολών των ταχυτήτων διάδοσης των ελαστικών (σεισμικών) κυμάτων στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης, με μετρήσεις των χρόνων διαδρομής τους μέσα στα στρώματα αυτά και εφαρμογή γνωστών νόμων της Φυσικής, στους οποίους υπακούει η διάδοση αυτή
- ✓ Η γνώση της μεταβολής της ταχύτητας αυτής μέσα στα επιφανειακά στρώματα του φλοιού της γης είναι δυνατόν να οδηγήσει στον εντοπισμό τεκτονικών δομών, οι οποίες παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον.
- ✓ Τέτοιο παράδειγμα είναι και ο εντοπισμός ρηγμάτων μέσα στα οποία κυκλοφορούν γεωθερμικά ρευστά, ο προσδιορισμός των τεκτονικών κερμάτων που τόσο ενδιαφέρον παρουσιάζουν για σχηματισμό γεωθερμικών ταμειευτήρων με ευνοϊκές συνθήκες κ.α.

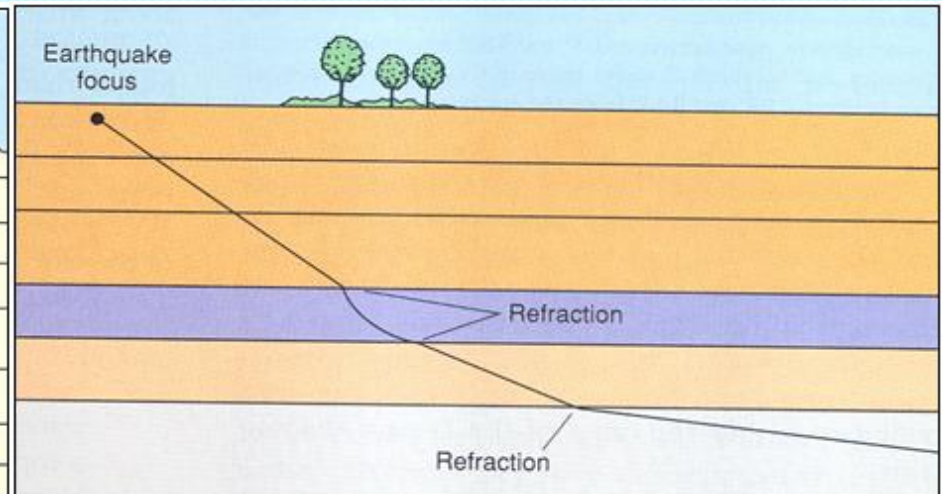
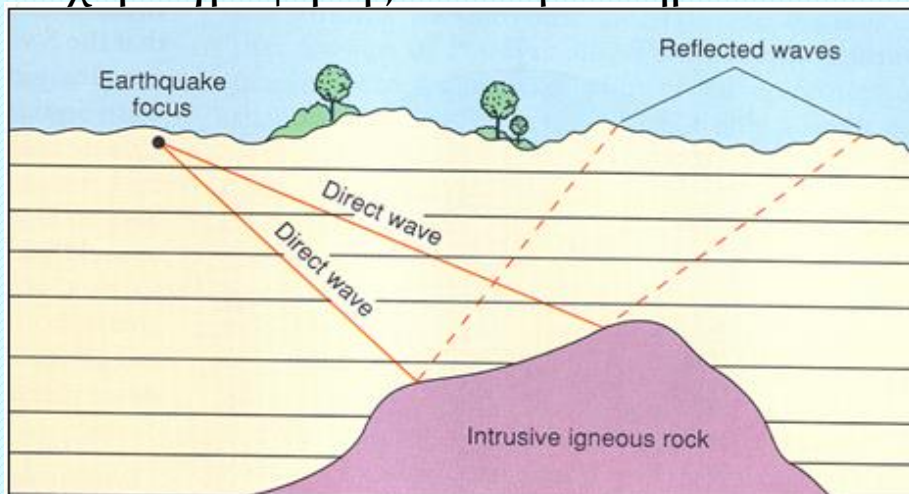
Οι βασικές επιμέρους μέθοδοι της σεισμικής διασκόπησης είναι

➤ η μέθοδος της **σεισμικής ανάκλασης**

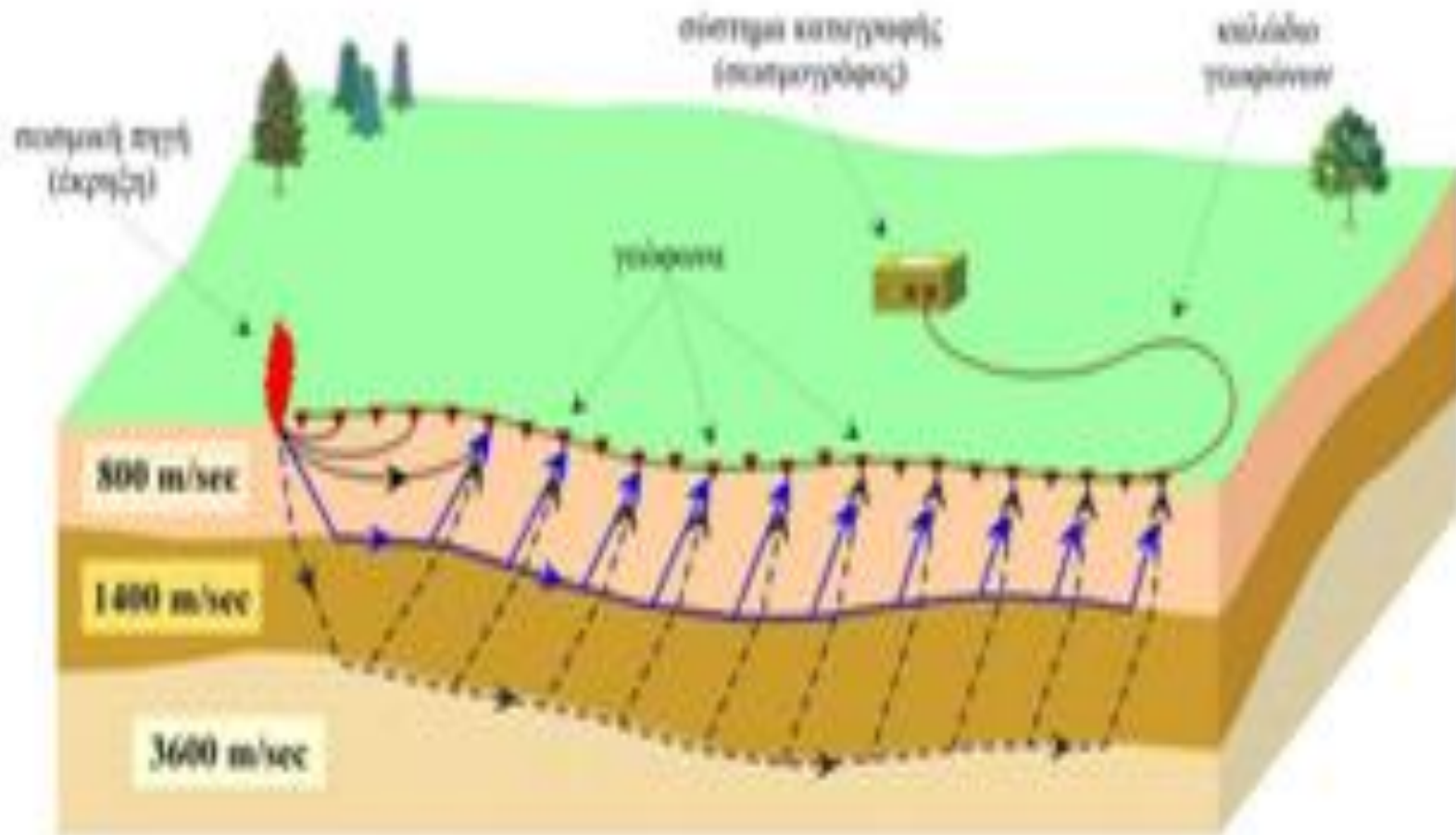
και της **σεισμικής διάθλασης**.

Η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος γεωφυσικής διασκόπησης για τη χαρτογράφηση δομών που βρίσκονται σε σημαντικά βάθη, ενώ η ακρίβεια των άλλων μεθόδων γεωφυσικής διασκόπησης ελαττώνεται με το βάθος. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στη γεωθερμική έρευνα, αφού δίνεται δυνατότητα εντοπισμού και χαρτογράφησης των ταμιευτήρων.

Η μέθοδος της σεισμικής διάθλασης αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδο, για το λόγο ότι μπορεί να εφαρμοστεί σε περιοχές μορφολογικών ανωμαλιών, όπου άλλες μέθοδοι δεν μπορούν να εφαρμοστούν εύκολα, δίνοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα. Είναι όμως λιγότερο ακριβής σε σχέση με τη μέθοδο ανάκλασης



η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης



3600 m/sec

περίετρα σεισμικών κυμάτων στα
 διάφορα γεωλογικά στρώματα



σεισμικές ακτίνες των
 επιφανειακών κυμάτων

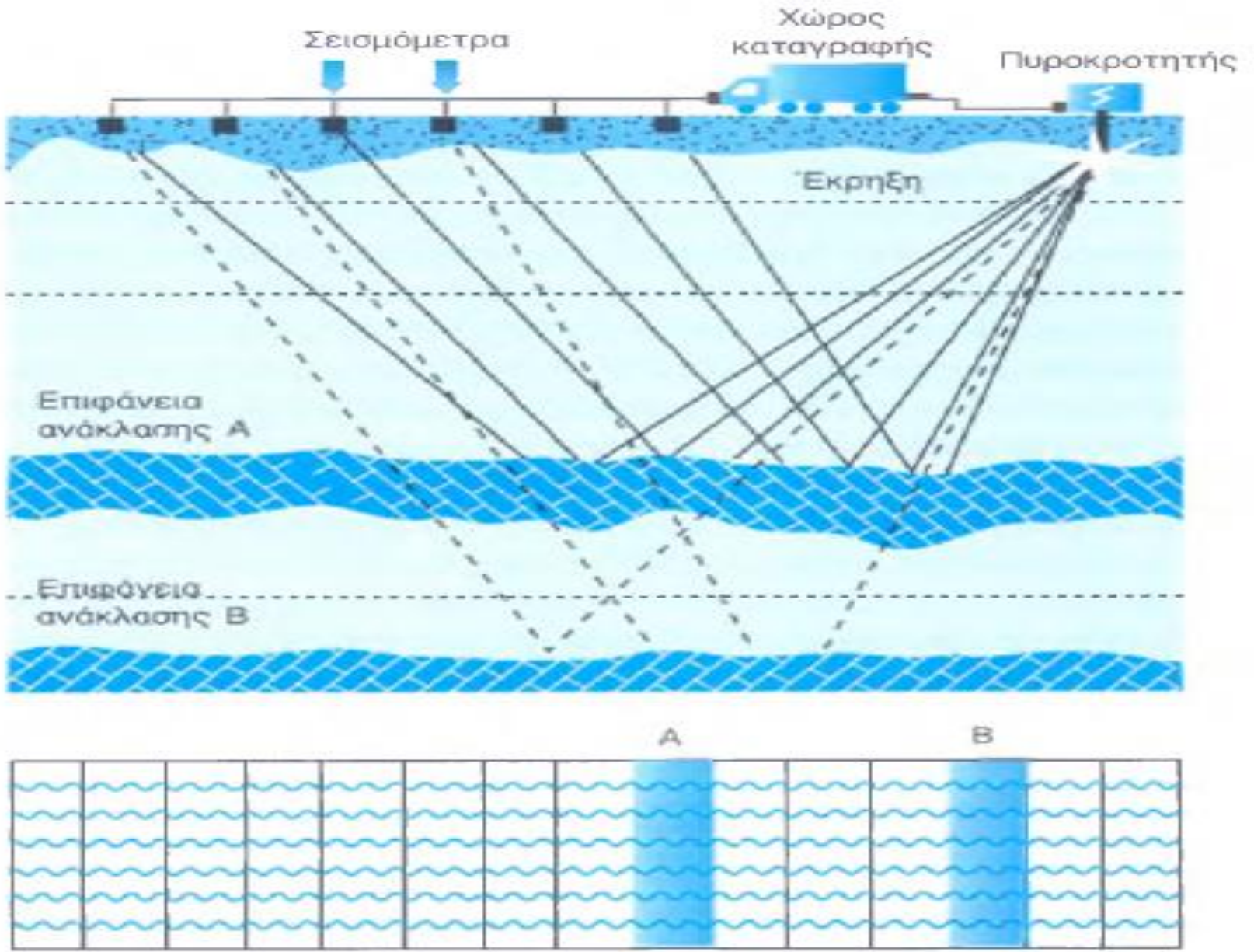


σεισμικές ακτίνες οριακά διαθλωμένων
 κυμάτων από τον πρώτο οριζόντιο



σεισμικές ακτίνες οριακά διαθλωμένων
 κυμάτων από τον βαθύτερο οριζόντιο

η μέθοδος της σεισμικής ανάκλασης.



Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε τέσσερα κύρια (ή τυπικά) στάδια:

1^ο. Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας

2^ο. Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών

Εδώ ερευνώνται με λεπτομέρεια εκείνοι οι παράγοντες που μπορούν να χαρακτηρίσουν μια γεωθερμική περιοχή.

(γεωλογικοί, τεκτονικοί, ηφαιστειολογικοί, λιθολογικοί, υδρογεωλογικοί, γεωχημική, γεωφυσική, θερμοδυναμικοί κ.λ.π.),

- ❖ Τελικός στόχος του σταδίου αυτού είναι ο προσδιορισμός
- ✓ του γεωθερμικού μοντέλου κάθε γεωθερμικού κοιτάσματος και
- ✓ η γνώση της θέσης και κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα γεωθερμικά ρευστά ή θερμά πετρώματα.

3^ο .Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων, μελέτη των χαρακτηριστικών

Τρίτο στάδιο: Εντοπισμός - Περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων με γεωτρήσεις και μελέτη των χαρακτηριστικών τους

- Το στάδιο αυτό καταλήγει στον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών, αλλά και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθιών γεωτρήσεων έρευνας και παραγωγής μαζί.
- Στη συνέχεια καταρτίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα των γεωτρήσεων στο οποίο προσδιορίζονται, κατά προσέγγιση βέβαια,
 - ✓ Οι αναμενόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί στην κάθε γεώτρηση,
 - ✓ οι θερμοκρασίες,
 - ✓ τα πιθανά ρευστά και
 - ✓ το βάθος του ή των ταμιευτήρων.

Με το στάδιο αυτό προσδιορίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα,

- τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν (γεωτρύπανο, κοπτικά, σωλήνες, τσιμέντα, πολφός διάτρησης κτλ.),
- ο απαιτούμενος χρόνος,
- ο προϋπολογισμός δαπανών,
- οι μετρήσεις και οι δοκιμές, κατά και μετά τη διάτρηση.

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις διακρίνονται, αναφορικά με το σκοπό της ανόρυξής τους, σε ερευνητικές, παραγωγικές ή επανεισαγωγής, και σε σχέση με την ενθαλπία των ρευστών, σε χαμηλής, μέσης ή υψηλής ενθαλπίας.

Για την καλή εκτέλεση των βαθιών και τεχνικά δύσκολων αυτών γεωτρήσεων, συνεργάζονται τεχνικοί διαφόρων ειδικοτήτων. Η συμμετοχή των διαφόρων επιστημόνων συνίσταται

- στην παρακολούθηση της κάθε γεώτρησης,
- τον προσδιορισμό των διατρηθέντων σχηματισμών με πετρογραφικές και παλαιοντολογικές μεθόδους,
- τον προσδιορισμό του χημισμού των συναντώμενων ρευστών,
- των θερμοκρασιών τους και των πιέσεων,
- την ουσιαστική συμμετοχή στις αποφάσεις εκτέλεσης διαφόρων φάσεων της γεώτρησης και, τέλος,
- την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων.

Οι μηχανικοί των γεωτρήσεων, αντίθετα, είναι υπεύθυνοι για την καλή και ασφαλή εκτέλεση της γεώτρησης από τεχνική και οικονομική άποψη,

- την πραγματοποίηση των σωστών δοκιμών παραγωγής και επανεισαγωγής, και γενικά
- την εξασφάλιση όλων των πρακτικών λύσεων για την παραπέρα χρήση της γεώτρησης.



Τεχνική γεωθερμικών γεωτρήσεων

- ❖ Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις αποτελούν μια ιδιαίτερη κατηγορία, και απαιτούν ειδική τεχνική, η οποία διαφέρει σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται σε άλλες συγγενείς γεωτρήσεις.
- ❖ Οι ερευνητικές γεωθερμικές γεωτρήσεις είναι απλές ενώ ο εξοπλισμός τους δεν είναι ιδιαίτερα απαιτητικός.
- ❖ Οι παραγωγικές γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας διαφοροποιούνται από τις υδρογεωτρήσεις κυρίως εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας, της χημικής σύστασης των ρευστών και της περιεκτικότητας σε μη συμπυκνώσιμα αέρια.
- ❖ Στις γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας επικρατούν πολύ διαφορετικές και αρκετά δυσκολότερες συνθήκες σε σχέση με τις υδρογεωτρήσεις, και προσομοιάζουν περισσότερο με τις γεωτρήσεις των υδρογονανθράκων.

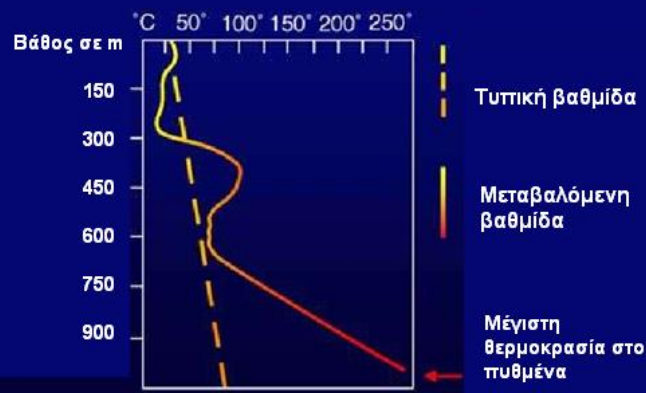
Τεχνική γεωθερμικών γεωτρήσεων

➤ Ερευνητικές γεωτρήσεις (μικρής διαμέτρου)

Για τον προσδιορισμό της θερμικής ροής, της γεωθερμικής βαθμίδας και των θερμοκρασιών σε διάφορα βάθη αλλά και της στρωματογραφίας, της πιεζομετρικής στάθμης κτλ., χρειάζονται γεωτρήσεις μικρής συνήθως (για λόγους οικονομίας) διαμέτρου.



Μεταβολή θερμοκρασίας με το βάθος



Τεχνική γεωθερμικών γεωτρήσεων

➤ Γεωτρήσεις έρευνας- και παραγωγής (μεγάλης διαμέτρου)

Με τις γεωτρήσεις έρευνας-παραγωγής επιβεβαιώνεται η ύπαρξη των ταμιευτήρων και προσδιορίζονται οι παράμετροί τους, δηλαδή τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά των ρευστών και οι υδροδυναμικές και θερμοδυναμικές παράμετροι του πεδίου, υπολογίζεται το δυναμικό του κοιτάσματος, προσδιορίζεται η επιβαλλόμενη πυκνότητα των γεωτρήσεων και σχεδιάζεται και υλοποιείται η εκμετάλλευση.



Στις γεωτρήσεις αυτές δεν απαιτείται η λήψη δείγματος και η διάμετρος τους κυμαίνεται από μερικά εκατοστά μέχρι πάνω από ένα μέτρο.

Τεχνική γεωθερμικών γεωτρήσεων

➤ *Γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας*

Η ανόρυξη των γεωτρήσεων χαμηλής ενθαλπίας (ερευνητικών ή παραγωγικών), εφόσον συναντούνται θερμοί υδροφόροι χωρίς σοβαρή πίεση ή παροχή, γίνεται κατά κανόνα με κυκλοφορία πολφού από νερό, άργιλο και μπεντονίτη ή από απλό νερό,.

➤ *Γεωτρήσεις μέσης-υψηλής ενθαλπίας*

Οι παραγωγικές γεωτρήσεις μέσης και κυρίως υψηλής ενθαλπίας μοιάζουν με τις γεωτρήσεις των υδρογονανθράκων, αλλά προσαρμόζονται στις ιδιαίτερες συνθήκες της γεωθερμίας και πραγματοποιούνται με περιστροφική διάτρηση και ειδικό πολφό κυκλοφορίας. Οι ειδικές προσαρμογές γίνονται για να αντιμετωπισθούν κυρίως οι υψηλές θερμοκρασίες και η διαβρωτικότητα των ρευστών.

➤ *Γεωτρήσεις επανεισαγωγής (re injection)*

Για την αποφυγή της θερμικής και κυρίως της χημικής ρύπανσης της περιοχής, τα παραγόμενα γεωθερμικά ρευστά, μετά την ενεργειακή εκμετάλλευση, διοχετεύονται στον ίδιο συνήθως ταμιευτήρα με γεωτρήσεις επανεισαγωγής. Οι φίλτροσωλήνες των γεωτρήσεων αυτών βρίσκονται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από το σημείο άντλησης των παραγωγικοί γεωτρήσεων, για να μην τις επηρεάσουν αρνητικά.

➤ *Γεωτρήσεις θερμών ξηρών πετρωμάτων*

Οι γεωτρήσεις για την εκμετάλλευση της ενέργειας των θερμών ξηρών πετρωμάτων έχουν τα εξής χαρακτηριστικά:

Είναι μεγάλου βάθους, από 3 μέχρι 5 km, και μεγάλης διαμέτρου.

Τα γεωτρύπανα που χρησιμοποιούνται για τις γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

□ **Γεωτρύπανα μεγάλου βάθους** (πάνω από 1000 m), τα οποία δε διαφέρουν ουσιαστικά από τα γεωτρύπανα πετρελαίου, αλλά έχουν κατάλληλες για τη γεωθερμία προσαρμογές. Χρησιμοποιούν κατάλληλο πολφό με ειδικά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά, που δεν αλλοιώνονται στις μεγάλες θερμοκρασίες και τις ειδικές συνθήκες στο βάθος, καθώς και ειδικό τσιμέντο για τις τσιμεντώσεις των σωλήνων.

Τα ίδια γεωτρύπανα μπορούν ασφαλώς να κάνουν και γεωτρήσεις μικρότερου βάθους.

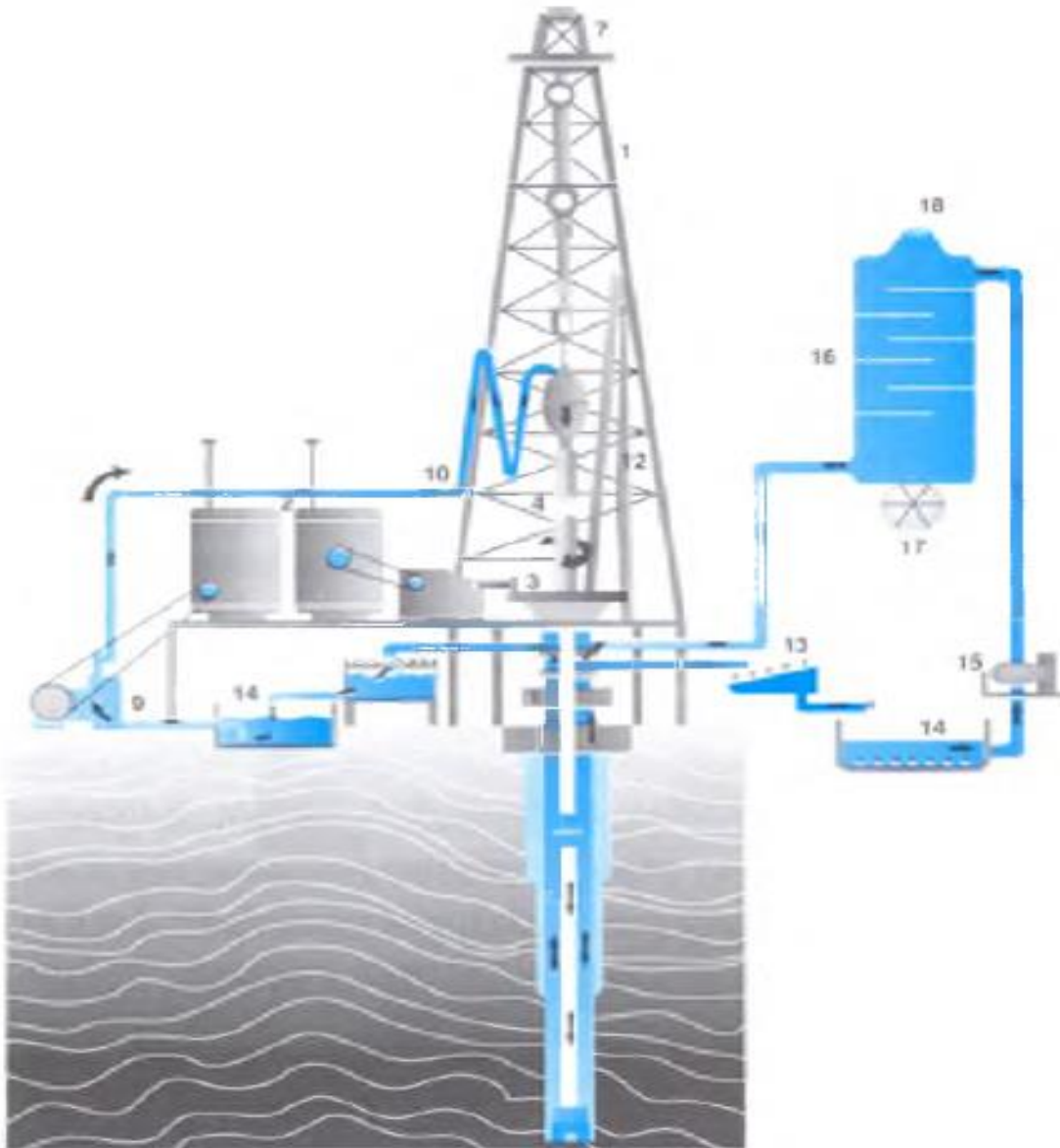
□ **Γεωτρύπανα μικρότερου βάθους** (500-1000 m), τα οποία μπορεί να είναι υδρογεωτρύπανα βαρέως τύπου, με κατάλληλες προδιαγραφές και πρόσθετα συστήματα, για την αντιμετώπιση υψηλών πιέσεων προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις της γεωθερμίας, όπου ως γνωστόν έχουμε δύο φάσεις ρευστών μαζί με τα διαλυμένα αέρια στην υγρή φάση.

□ **Κοινά γεωτρύπανα υδρογεωτρήσεων**, για γεωτρήσεις βάθους έως 500 m, με προσαρμογές πάντα στις απαιτήσεις της γεωθερμίας. Και οι τρεις παραπάνω τύποι γεωτρυπάνων είναι περιστροφικά και με θετική κυκλοφορία πολφού, με επιπλέον ειδικά συστήματα και προσωπικό έμπειρο στις γεωθερμικές γεωτρήσεις.

Γεωτρήσεις και Γεωτρητικός εξοπλισμός



Γεωτρήσεις και Γεωτρητικός εξοπλισμός



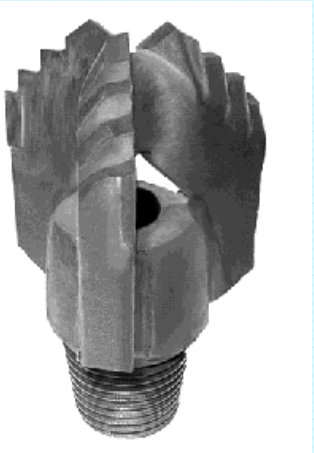
1. Ικρίωμα (πύργος) γεωτρύπανου
2. Κινητήρες
3. Τράπεζα περιστροφής
4. Στέλεχος μετάδοσης-περιστροφής στήλης
5. Στελέχη διατρητικής στήλης
6. Κοπτικό άκρο
7. Σύστημα αντιαεκρηκτικού μηχανισμού ασφαλείας (BOPE)
8. Τσιμέντο
9. Αντλία κυκλοφορίας πολφού (πηλαντλία)
10. Διαδρομή κυκλοφορίας πολφού
11. Κεφαλή γεώτρησης
12. Προσωρινή αποθήκευση στελεχών
13. Κόσκινο συγκράτησης τριμμάτων
14. Δεξαμενές καθίζησης και άντλησης πολφού
15. Φυγόκεντρη αντλία πολφού
16. Σύστημα ψύξης πολφού με βαρύτητα
17. Ανεμιστήρας κρύου αέρα για την ψύξη
18. Έξοδος υγρού θερμανθέντος αέρα

ΓΕΩΤΡΗΤΙΚΟΣ Ή ΔΙΑΤΡΗΤΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Με τον όρο γεωτρητικός ή διατρητικός εξοπλισμός, εννοείται όλος ο υπόλοιπος εξοπλισμός εκτός από το γεωτρήπανο, και απαιτείται για την κανονική εκτέλεση μιας γεώτρησης. Ο γεωτρητικός εξοπλισμός διακρίνεται σε κύριο και βοηθητικό.

Στον κύριο εξοπλισμό συγκαταλέγονται:

- ❖ Το κοπτικό άκρο
- ❖ Η διατρητική στήλη



ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΟΡΥΞΗΣ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Οι κυριότερες μέθοδοι ανόρυξης γεωτρήσεων είναι οι εξής:

ΚΡΟΥΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

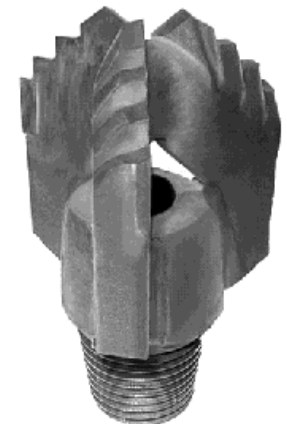
Κατά την κρουστική μέθοδο η θραύση του πετρώματος γίνεται με κρούση σ' αυτό κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου. Με την κρούση επιτυγχάνεται θρυμματισμός του πετρώματος και έτσι λαμβάνονται δείγματα με τη μορφή τριμμάτων.

ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Κατά την περιστροφική μέθοδο, ο θρυμματισμός του πετρώματος γίνεται με πίεση και περιστροφή κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου.

Ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας της λάσπης μέσα στη γεώτρηση, διακρίνονται δύο επί μέρους βασικές μέθοδοι περιστροφικής γεώτρησης.

- Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία
- Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

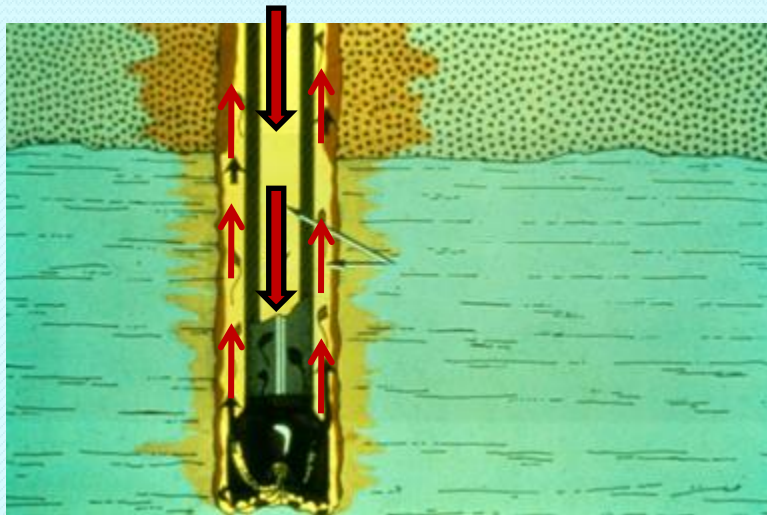


Γεώτρηση θετικής κυκλοφορίας

Με τη θετική κυκλοφορία ο καθαρισμός της γεώτρησης σε βάθος και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής:

Με τη βοήθεια αντλητικού συγκροτήματος (πηλαντλία) διοχετεύεται μέσα από τα στελέχη προς το κοπτικό και το τέρμα της γεώτρησης λάσπη υπό πίεση, η οποία βγαίνοντας από το κοπτικό καθαρίζει το βάθος της γεώτρησης (πυθμένα) από τα τρίμματα, τα οποία στη συνέχεια παρασύρει μαζί της στον κενό χώρο ανάμεσα στα τοιχώματα και τα στελέχη και τα βγάζει στην επιφάνεια, στο λάκκο της γεώτρησης, όπου καθιζάνουν..

Σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας της μεθόδου είναι η καταλληλότητα και πυκνότητα της λάσπης, καθώς και η πίεση της πηλαντλίας.

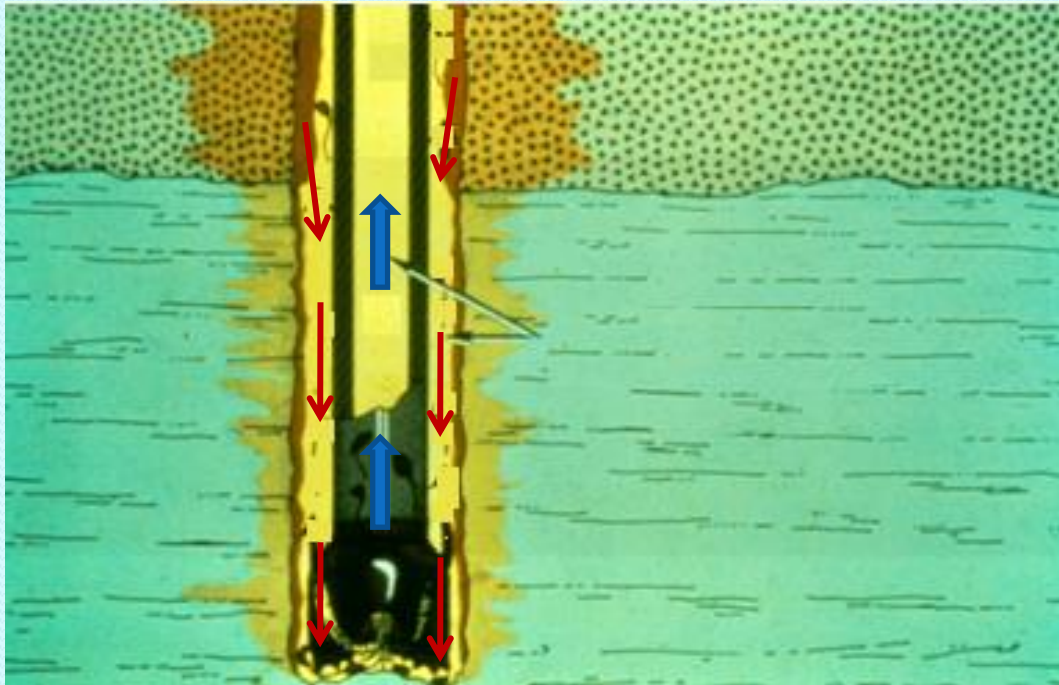


Γεώτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας

Με την ανάστροφη κυκλοφορία ο καθαρισμός του βάθους της γεώτρησης και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής:

Το νερό ή η λάσπη από το λάκκο της γεώτρησης ή κάποια ειδική δεξαμενή, διοχετεύεται συνεχώς με φυσική ροή εντός της γεώτρησης

Και με άντληση από τα στελέχη εξέρχονται τα τρήματα



Γεώτρηση ανάστροφης κυκλοφορίας

Πλεονεκτήματα της μεθόδου της ανάστροφης κυκλοφορίας

- ✓ Μπορούν να ανορυχθούν γεωτρήσεις μεγαλύτερου βάθους και διαμέτρου από ότι με τη θετική κυκλοφορία
- ✓ Η πίεση της στήλης νερού που είναι στη γεώτρηση πιέζει τα τοιχώματα και έτσι μειώνεται στο ελάχιστο η χρήση περιφραγματικών σωλήνων
- ✓ Η εξαγωγή των τριμμάτων μπορεί να γίνει μόνο με νερό χωρίς τη χρήση μπεντονίτη, ο οποίος έχει το μειονέκτημα να δημιουργεί στρώμα στα τοιχώματα της γεώτρησης και να δυσκολεύει την ενδοσκόπηση με logging καθώς επίσης και την ανάπτυξη της υδρογεώτρησης.

Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του ταμιευτήρα

Τα χαρακτηριστικά του ταμιευτήρα προκύπτουν αρχικά υποθετικά από το σύνολο των ερευνών επιφανείας, ενώ οι ερευνητικές γεωτρήσεις προσεγγίζουν την πραγματικότητα. Τα οριστικά όμως χαρακτηριστικά ενός ταμιευτήρα προσδιορίζονται μόνο μετά την άμεση διάτρησή του από τις βαθιές γεωτρήσεις και, κυρίως, μετά τις μετρήσεις μέσα σε αυτές και τις δοκιμές παραγωγής.

- Από τα τρίμματα ή τους πυρήνες των γεωτρήσεων προσδιορίζονται με βεβαιότητα τα χαρακτηριστικά και η λιθολογία του ταμιευτήρα,
- από τις διαγραφίες προκύπτουν τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του,
- από τις μετρήσεις πίεσης και θερμοκρασίας οι πραγματικές συνθήκες
- και από τη δειγματοληψία και ανάλυση των ρευστών τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους.

Δοκιμές παραγωγής- Συμπεριφορά στο χρόνο

Οι δοκιμές παραγωγής μιας γεωθερμικής γεώτρησης μεγάλης διαμέτρου είναι το εργαλείο που χρησιμοποιούμε για να αποκτήσουμε τα απαραίτητα στοιχεία, που θα επιτρέψουν τον προσδιορισμό της απόδοσης του γεωθερμικού ταμιευτήρα. Όσο πιο μεγάλη η διάρκεια των δοκιμών, τόσο πιο αξιόπιστα θα είναι τα αποτελέσματα.

Διακρίνονται τρεις κατηγορίες δοκιμών:

- (α) οι δοκιμές που γίνονται αμέσως μετά τη λήξη της διάτρησης, χρησιμεύουν κυρίως για τον καθαρισμό της γεώτρησης, και διαρκούν μερικές ώρες.
- (β) Οι δοκιμές για τον προσδιορισμό των στοιχείων παραγωγής και της ποιότητας των ρευστών, που διαρκούν 2-3 ημέρες,
- (γ) Οι δοκιμές μακράς διάρκειας (έως 30 ημέρες), που προσδιορίζουν τα στοιχεία της γεώτρησης και εξασφαλίζουν παρατηρήσεις για την επίδραση ή όχι άλλων γεωτρήσεων και τη συμπεριφορά του πεδίου στο χρόνο.

Για την καλή διεξαγωγή των δοκιμών απαιτείται βέβαια να λυθούν πολλά προβλήματα: διάθεση των αντλούμενων ρευστών, εξασφάλιση κατάλληλων οργάνων και συσκευών, σημαντικές δαπάνες και εξασφάλιση διάθεσης του απαραίτητου χρόνου.

Εκπόνηση του γεωθερμικού μοντέλου-Προγραμματισμός γεωτρήσεων παραγωγής

Η εκπόνηση και οριστικοποίηση του γεωθερμικού μοντέλου κάθε περιοχής που εξετάζεται συστηματικά, αποτελεί το

Μετρήσεις και οι δοκιμές μετά τη διάτρηση.

Διαγραφίες μέσα σε γεωτρήσεις

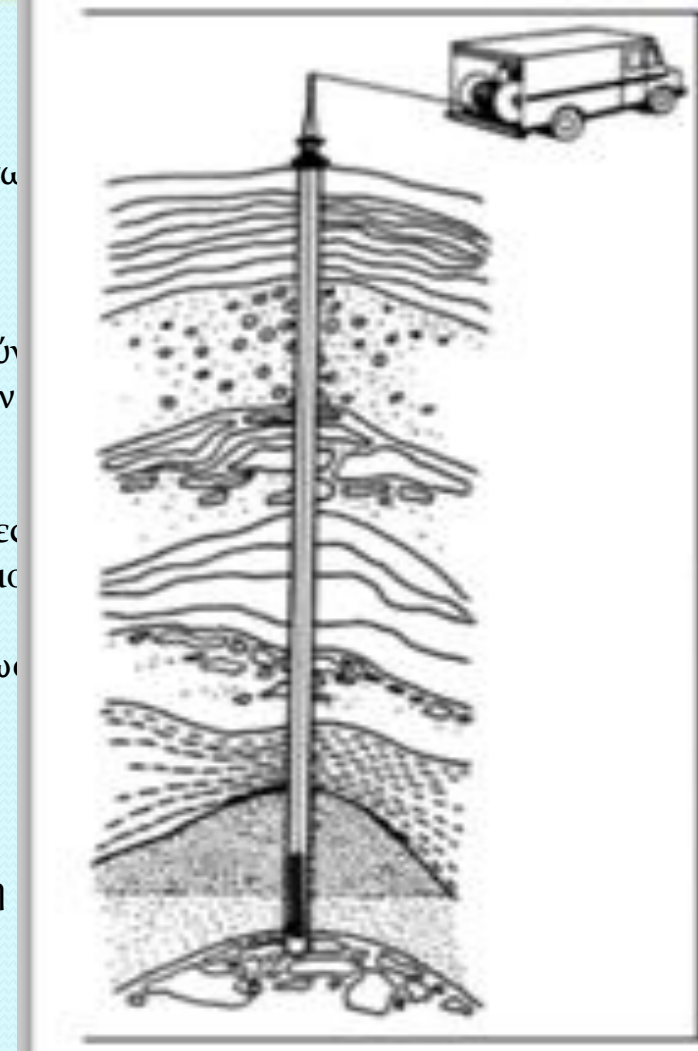
❑ Οι διαγραφίες (loggings) είναι μέθοδοι μελέτης των γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής και συντελούν στον προσδιορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών τα πετρωμάτων, όπως λιθολογία, πορώδες, γεωμετρία των πόρων, θερμοκρασία, πυκνότητα και έμμεσα μηχανική συμπεριφορά τους.

❑ Με τα δεδομένα των διασκοπήσεων αυτών είναι δυνατόν να προσδιοριστούν το πάχος και το βάθος των γεωλογικών σχηματισμών, να γίνει διάκριση των ζωνών που έχουν ρευστά κτλ.

❑ Οι φυσικές ιδιότητες που είναι δυνατό να προσδιοριστούν με τις διαγραφίες είναι το πορώδες (porosity), η περατότητα (permeability), ο βαθμός κορεσμού (saturation) και η ειδική ηλεκτρική αντίσταση (resistivity).

❑ Οι διάφορες διαγραφίες μέσα στις γεωτρήσεις κατά τη διάρκεια και αμέσως μετά τη διάτρηση είναι σημαντικές για την κατανόηση των πραγματικών συνθηκών και τη σωστή σωλήνωση. Οι διασκοπήσεις αυτές μετρούν τη θερμοκρασία στα διάφορα βάθη, την ηλεκτρική αγωγιμότητα και τη φυσική ακτινοβολία των σχηματισμών (επομένως προσδιορίζουν τους πιθανούς «παραγωγικούς» ορίζοντες), τη ροή ατμού ή νερού, τις πιέσεις, τη διεύθυνση και την κλίση της οπής.

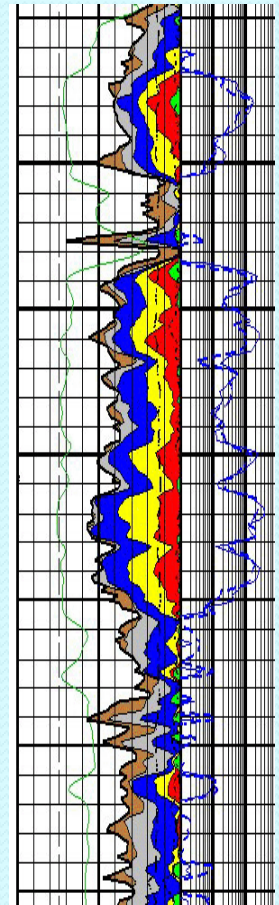
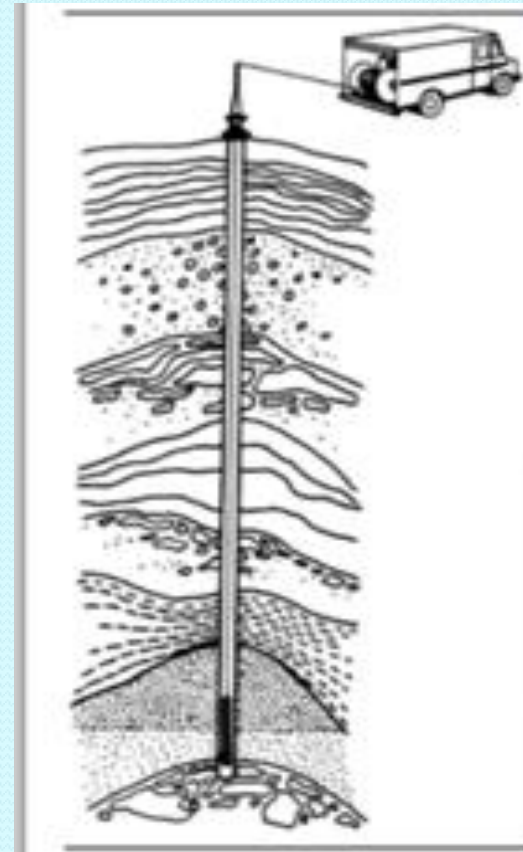
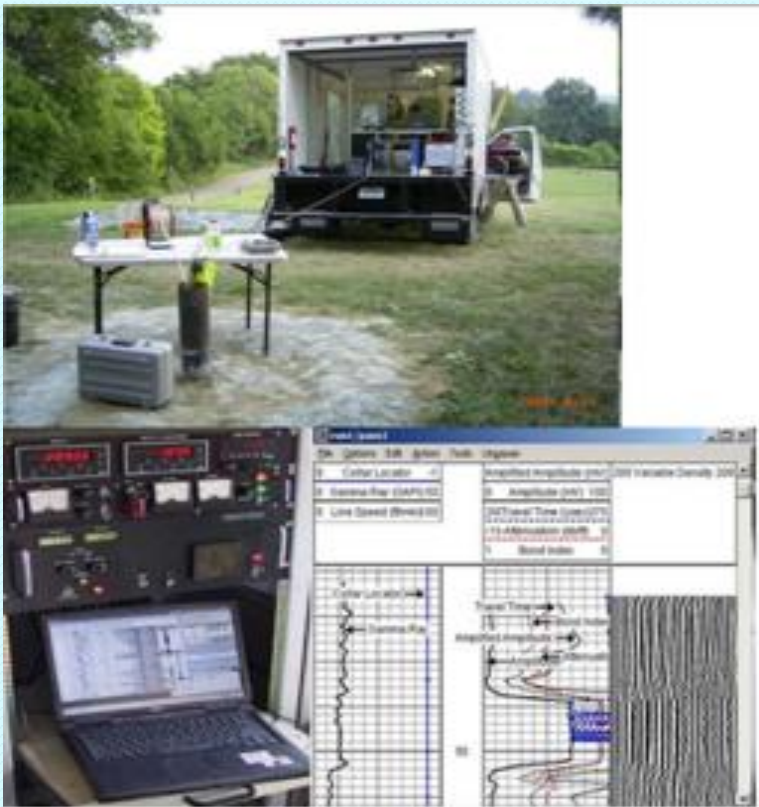
❑ Οι μέθοδοι διαγραφιών για τον προσδιορισμό των παραπάνω ιδιοτήτων, χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες: (α) ηλεκτρικές, (β) ραδιενεργού ακτινοβολίας και (γ) ακουστικές.



Διαγραφίες μέσα σε γεωτρήσεις

Η μέθοδος συνίσταται στην εισαγωγή μέσα σε μια ασωλήνωτη γεώτρηση ενός αισθητήρα μέτρησης (μιας οβίδας) η οποία ανασύρεται προοδευτικά από τον πυθμένα προς την επιφάνεια και μετρά την ηλεκτρική αντίσταση (η και άλλες φυσικές παραμέτρους) του κάθε γεωλογικού στρώματος που συναντά στην πορεία της.

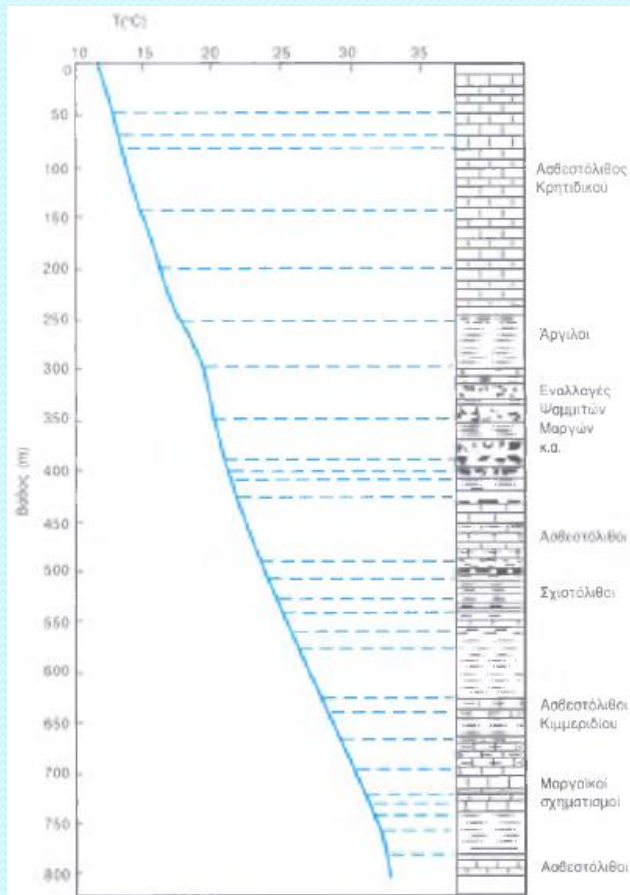
Η καταγραφή των στοιχείων αυτών γίνεται είτε σε καταγραφική συσκευή, είτε σε υπολογιστή σε ψηφιακή μορφή. Ολο το σύστημα μέτρησης και καταγραφής βρίσκεται μέσα σε ένα ειδικό όχημα (σταθμός μέτρησης) στην επιφάνεια του εδάφους.



Μετρήσεις και οι δοκιμές μετά τη διάτρηση.

Μετρήσεις θερμικής ροής και γεωθερμικής βαθμίδας

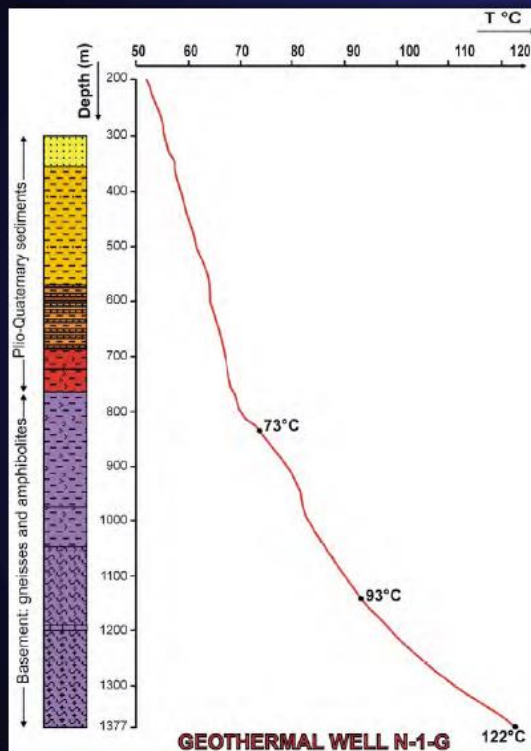
Ο προσδιορισμός της θερμικής ροής ενός σημείου απαιτεί αξιόπιστη μέτρηση της βαθμίδας και τρία τουλάχιστον αντιπροσωπευτικά δείγματα από κάθε γεώτρηση που γίνεται στο σημείο, με τη μορφή πυρήνων, τα οποία απέχουν μεταξύ τους κατά την κατακόρυφο τουλάχιστον 10 m, για να μετρηθεί η θερμική αγωγιμότητα του πετρώματος (k) στο εργαστήριο.



Μετρήσεις θερμικής ροής και γεωθερμικής βαθμίδας

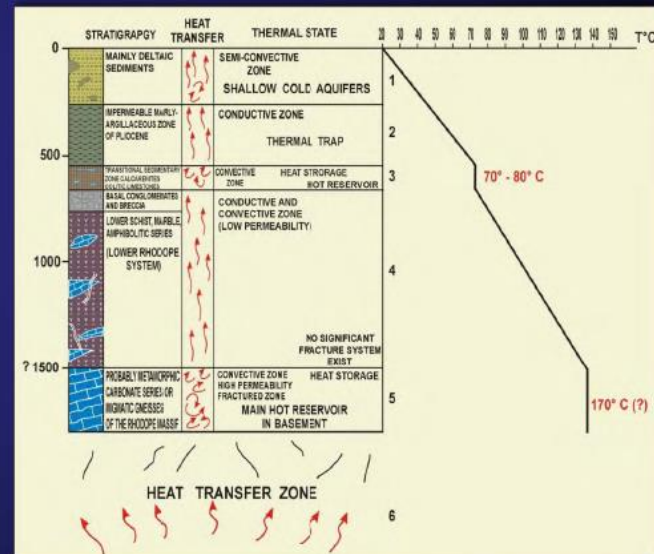
Η θερμική κατάσταση κάθε περιοχής χαρακτηρίζεται από τη θερμική ροή, η οποία επηρεάζεται από σειρά παραγόντων: γεωδυναμική κατάσταση, γεωλογία-ηφαιστειολογία, λιθολογία, υδρογεωλογικές συνθήκες κτλ. Η γεωθερμική βαθμίδα μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά, επειδή επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την υπόγεια κυκλοφορία και την τεκτονική, αλλά και άλλους παράγοντες. Η θερμοκρασία στα διάφορα βάθη ποικίλλει από σημείο σε σημείο (μεταβάλλεται ακόμα και με την τοπογραφία), και εξαρτάται από τη θερμική ροή, την υδροπερατότητα κ.ά. Η τιμή της θερμοκρασίας πρέπει να προσδιορίζεται σε πυκνό δίκτυο γεωτρήσεων.

Λεκάνη Δέλτα Νέστου



ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ Γ/Θ ΓΕΩΤΡΗΣΗ N-1G

- ✓ Γεωθερμική Βαθμίδα = 78°C/km
- ✓ Βάθος γ/θ = 550-650 m
- ✓ Συνολικό πάχος υδροφορέων 40 m



Μετρήσεις και οι δοκιμές μετά τη διάτρηση.

Ανάπτυξη των γεωθερμικών γεωτρήσεων

Η ανάπτυξη των γεωθερμικών γεωτρήσεων χαμηλής ενθαλπίας γίνεται με συγκρότημα εκτόξευσης νερού ή αέρα,.



Κόστος γεωθερμικών γεωτρήσεων

Το κόστος των γεωτρήσεων εξαρτάται κυρίως από το βάθος, καθώς και από ένα πλήθος άλλων παραγόντων, όπως η διάμετρος και ο τύπος των σωληνώσεων, τα πετρώματα και ο βαθμός δυσκολίας της διάτρησης, τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των ρευστών κ.ά.

Μετρήσεις και οι δοκιμές μετά τη διάτρηση.

Δοκιμαστικές αντλήσεις

- ✓ Οι δοκιμαστικές αντλήσεις παίζουν ένα σημαντικό ρόλο στην υδρογεωλογική και γεωθερμική έρευνα πεδίου
- ✓ Μια αντλητική δοκιμασία μπορεί να δώσει απαντήσεις για την απόδοση της γεώτρησης, τις υδραυλικές ιδιότητες του υδροφορέα και γενικά την υπόγεια ροή
- ✓ Δοκιμαστικές αντλήσεις γίνονται για διάφορους λόγους για τον καθορισμό της απόδοσης και τον καθαρισμό μιας νέας υδρογεώτρησης ή γεωθερμικής γεώτρησης
- ✓ Για το καθορισμό των υδραυλικών ιδιοτήτων της γεώτρησης (π.χ. Για την εκτίμηση των επιπτώσεων της άντλησης σε γειτονικές γεωτρήσεις και στο περιβάλλον (χειμάρρους πηγές κ.λ.π.)
- ✓ Για τον καθορισμό των υδραυλικών ιδιοτήτων του υδροφορέα (υδραυλική αγωγιμότητα συντελεστής εναποθήκευσης, μεταβιβαστικότητα εκμεταλλεύσιμης παροχής κ.λ.π.)

Δοκιμαστικές αντλήσεις

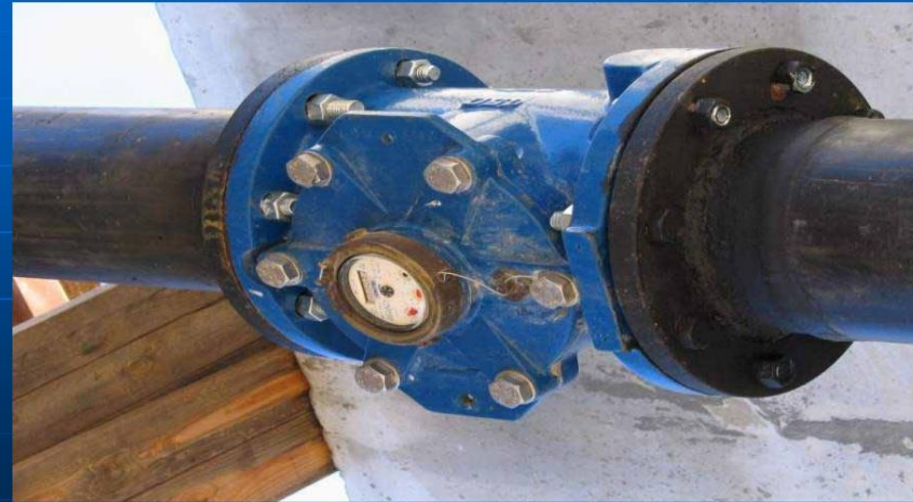


Απαιτείται προσεκτική σχεδίαση της ανλητικής δοκιμασίας, βάθος αντλησης, είδος συγκροτήματος διάρκεια άντλησης χρονικά διαστήματα καταγραφής της πτώσης στάθμης όπου και την επαναφορά

Όργανο μέτρησης στάθμης (σταθμήμετρο)



Όργανο μέτρησης παροχής (παροχόμετρο)



Δοκιμαστική άντληση στο πεδίο

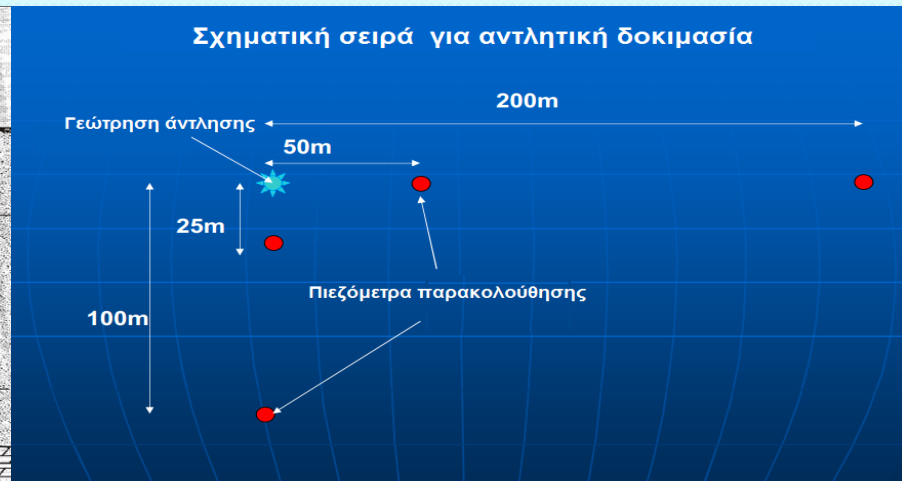
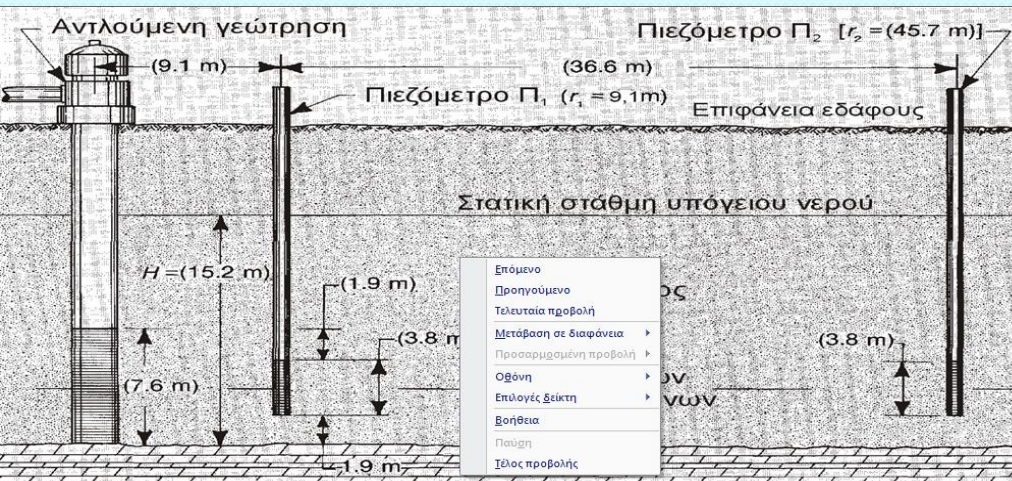


Δοκιμαστικές αντλήσεις



Απαιτείται προσεκτική σχεδίαση της ανλητικής δοκιμασίας, βάθος αντλησης, είδος συγκροτήματος διάρκεια άντλησης χρονικά διαστήματα καταγραφής της πτώσης στάθμης όπου και την επαναφορά

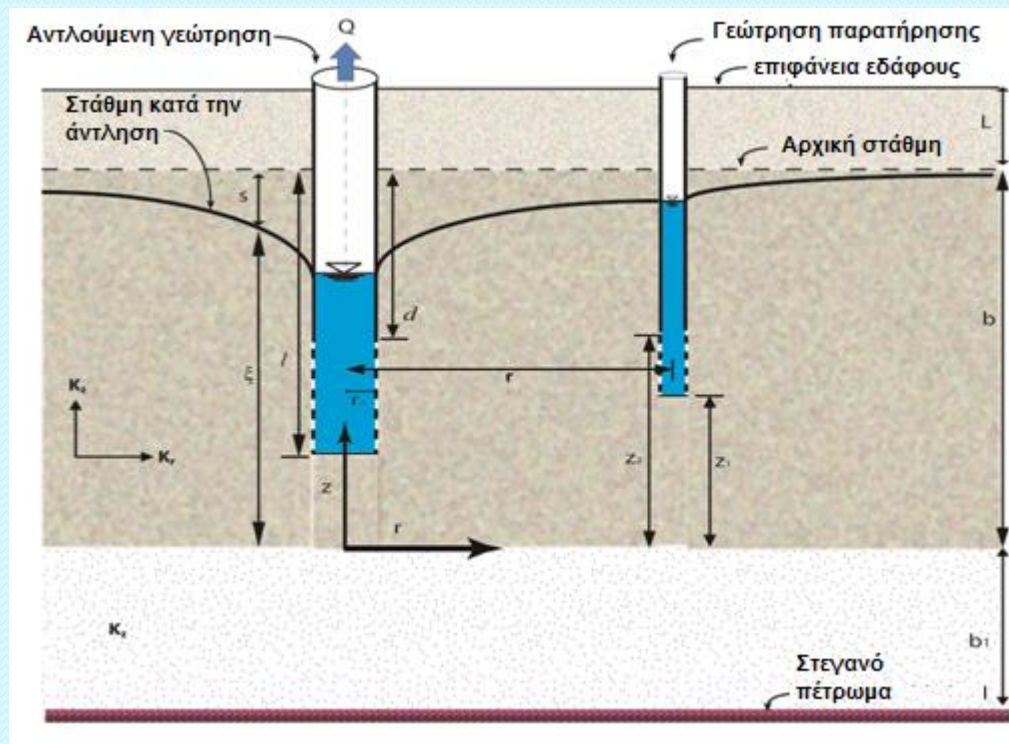
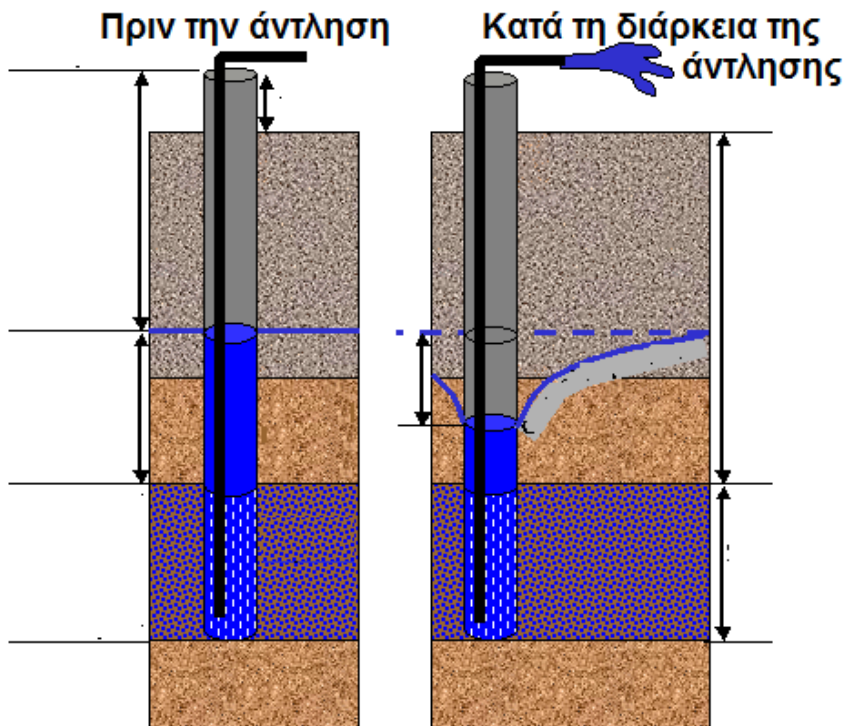
Απαιτείται επιλογή των κατάλληλων πιεζομέτρων παρακολούθησης της στάθμης



Δοκιμαστικές αντλήσεις

✓ Η αντίδραση του υδροφόρου στρώματος στην άντληση είναι η πτώση στάθμης γύρω από την αντλούμενη γεώτρηση η οποία έχει τη μορφή ενός ανεστραμμένου κώνου. Ο κώνος αυτός ονομάζεται **κώνος κατάπτωσης**

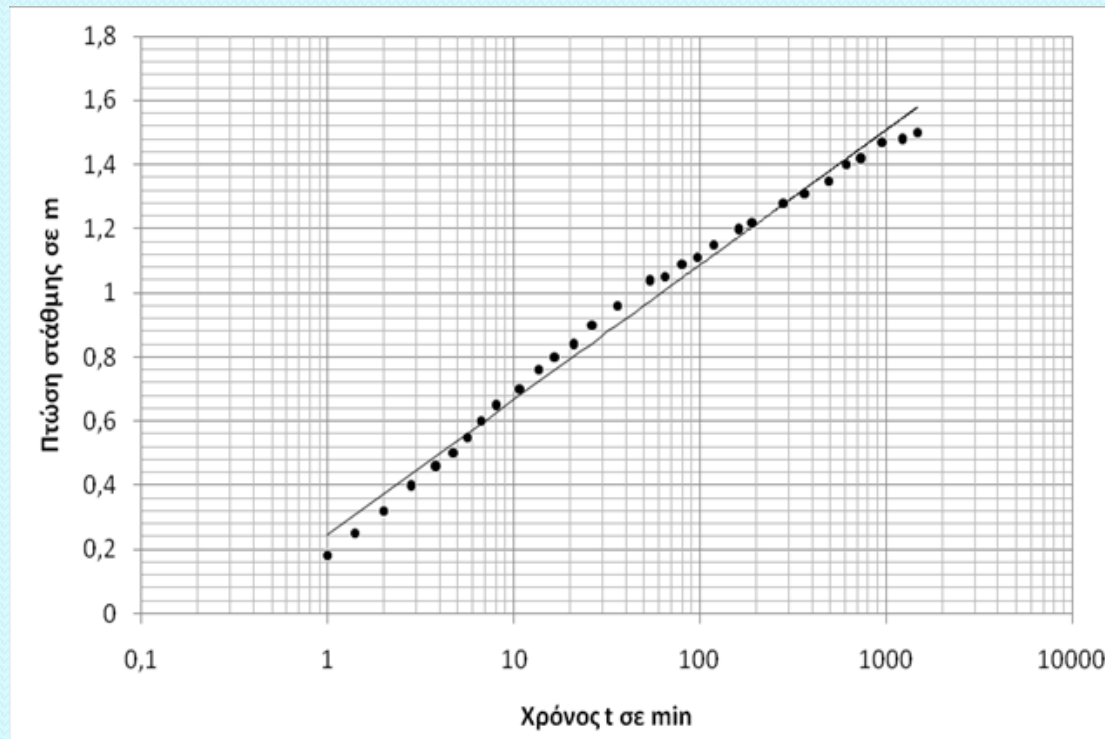
✓ Όσο απομακρυνόμαστε από τη γεώτρηση τόσο μειώνεται το μέγεθος της πτώσης στάθμης Η απόσταση από την γεώτρηση που επηρεάζεται από τη πτώση στάθμης ονομάζεται **ακτίνα επίδρασης**



Δοκιμαστικές αντλήσεις

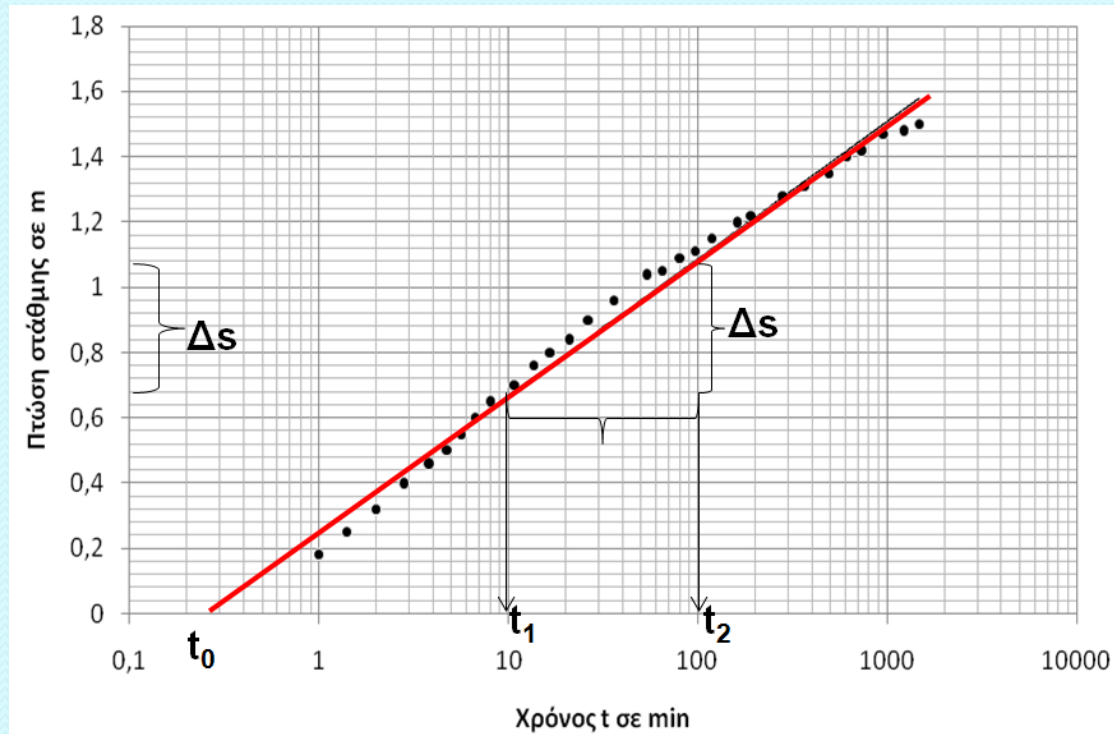
Μέθοδοι υπολογισμού υδραυλικών παραμέτρων

Μέθοδος Cooper-Jacob



$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} * \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

Μέθοδος Cooper-Jacob



$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s}$$

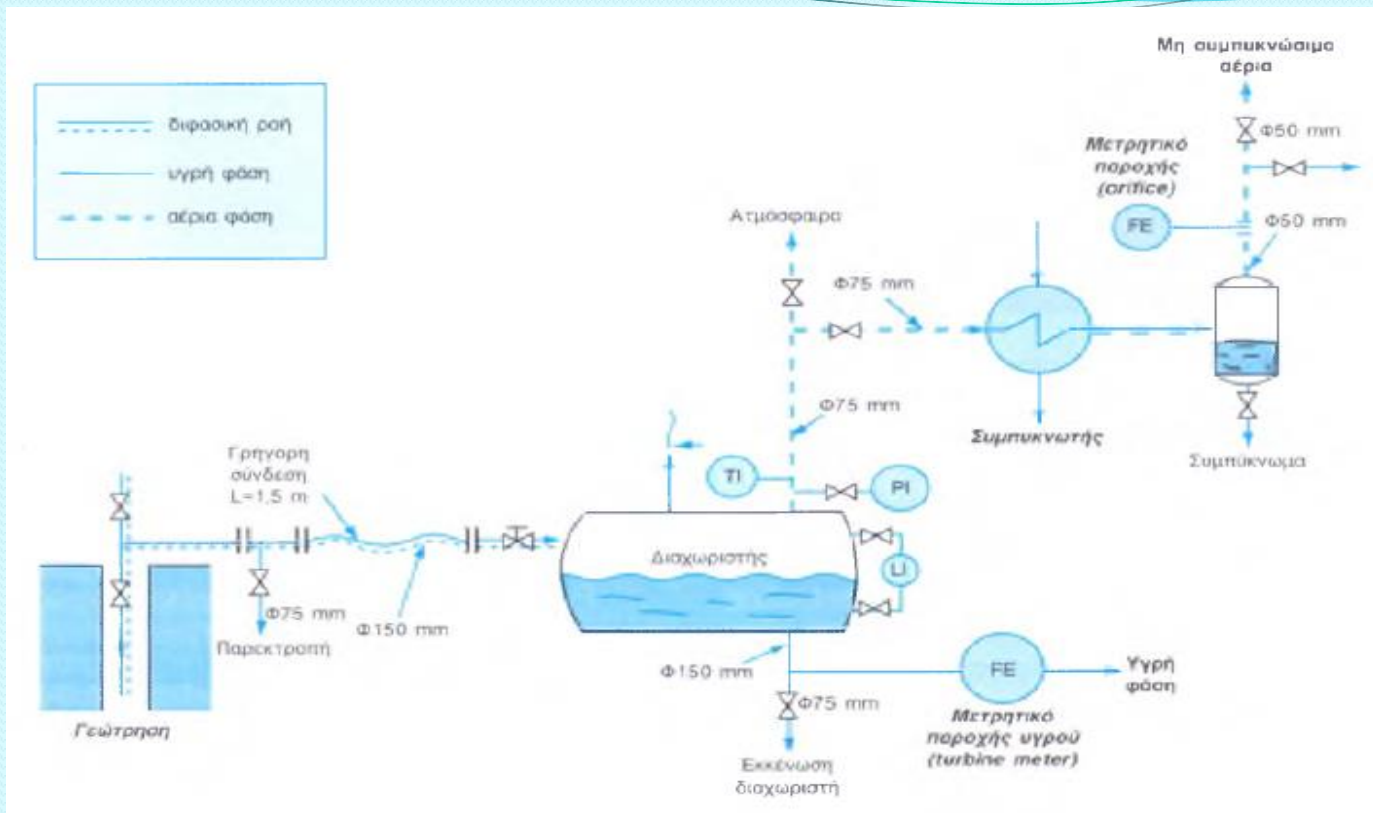
Εάν όλα τα στοιχεία είναι ευνοϊκά τίθεται ο εξοπλισμός της γεώτρησης.





Μετρήσεις της παροχής των ρευστών

- Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις παράγουν συνήθως διφασικά ρευστά,
- Για την αξιοποίηση μιας παραγωγικής γεώτρησης είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε με ακρίβεια τις παροχές του υγρού και του αερίου ρεύματος.
- Η ολική μαζική παροχή από μία γεώτρηση μπορεί να υπερβαίνει τους 250 tn/h.
- Αρκετές μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί σε γεωτρήσεις υψηλής ενθαλπίας:
 - Για τις γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας η πλέον αξιόπιστη μέθοδος είναι προφανώς ο διαχωρισμός των δύο φάσεων και μέτρηση κάθε φάσης χωριστά. Βέβαια, προηγείται η συμπύκνωση του ατμού στην αέρια φάση.



Σχηματικό διάγραμμα διάταξης διαχωρισμού των δύο φάσεων σε γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας

Από πολλές μετρήσεις με τη διάταξη επιβεβαιώθηκε ότι ο λόγος των παροχών των δύο φάσεων δε μεταβάλλεται με τη συνολική παροχή.

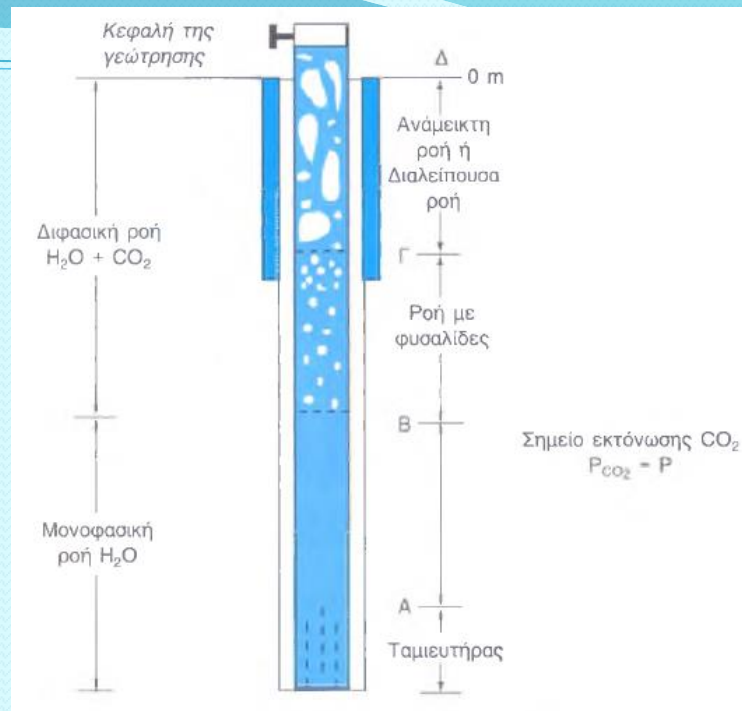


Η φωτογραφία της κινητής διάταξης που χρησιμοποιήθηκε σε αρκετά πεδία στην Ελλάδα διάταξης.

❖ Ως εκ τούτου, και επειδή μία ογκώδης διάταξη είναι δύσκολο να μεταφερθεί στις διάφορες γεωτρήσεις, ένας μικρός διαχωριστής, ο οποίος δέχεται μόνο ένα κλάσμα της συνολικής ροής της γεώτρησης, θα μπορούσε να δώσει με αξιοπιστία το λόγο των παροχών

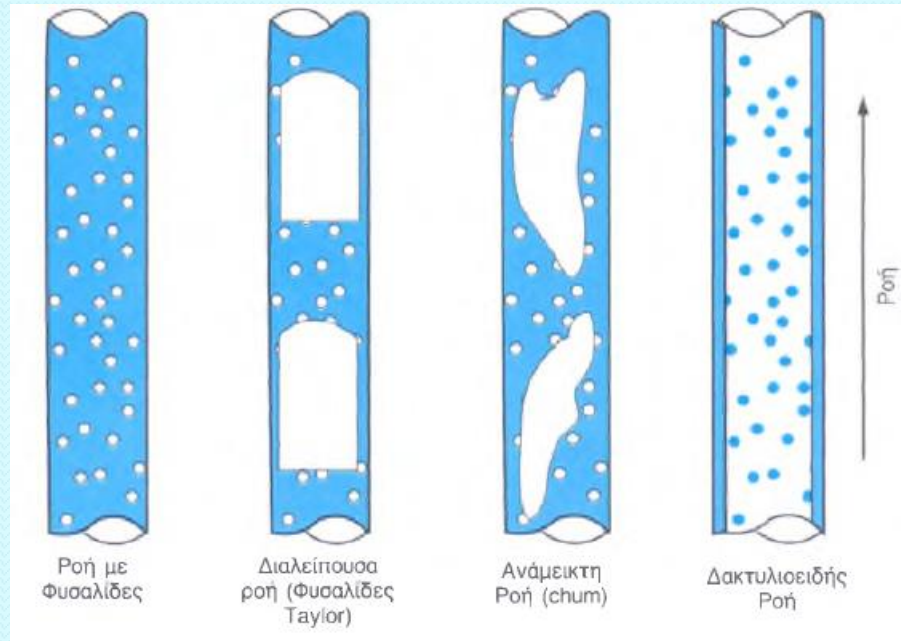
Καθεστώτα ροής σε γεωτρήσεις χαμηλής ενθαλπίας

- Σε όλα σχεδόν τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας υπάρχουν στα ρευστά του ταμιευτήρα διαλυμένες ποσότητες αερίων, μερικές φορές μεγάλες.
- Η ύπαρξή τους επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό το σχεδιάσμα και την εκτέλεση των γεωτρήσεων, την άντληση και τη μεταφορά των γεωθερμικών ρευστών και γενικά όλο το στάδιο εκμετάλλευσης του πεδίου.
- Οι συνθήκες του γεωθερμικού ρευστού στην κεφαλή της γεώτρησης, και συνεπώς η απόδοση (παροχή) της γεώτρησης, επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες, όπως,
 - ✓ η πτώση πίεσης μέσα στη σωλήνωση,
 - ✓ η διάμετρος της σωλήνωσης,
 - ✓ τα ρευστοδυναμικά χαρακτηριστικά (καθεστώτα ροής) των ρευστών στη σωλήνωση,
 - ✓ οι απώλειες θερμότητας του ρευστού καθώς αυτό ανέρχεται και
 - ✓ η ροή του ρευστού από τα περατά στρώματα προς τη σωλήνωση.
- Η ροή του γεωθερμικού ρευστού χαμηλής ενθαλπίας σε μία γεώτρηση αντιστοιχεί σε μονοφασική ή διφασική ροή προς τα πάνω σε έναν κατακόρυφο αγωγό.



- Συνήθως, υπάρχει **μονοφασική ροή** στο κατώτερο μέρος της γεώτρησης, δεδομένου ότι επικρατούν υψηλές πιέσεις,
- Καθώς το μονοφασικό ρευστό ρέει προς τα πάνω, η πίεσή του ελαττώνεται.
- Σε κάποιο βάθος της γεώτρησης (σημείο φυσαλίδας), το CO_2 να αρχίζει να απελευθερώνεται και να σχηματίζει αέριες φυσαλίδες (**ροή με φυσαλίδες**),
- Στη συνέχεια μείωσης πίεσης – αύξηση παροχής αέριας φάσης και δημιουργία αρχικά **διαλείπουσας ροής** (μεγάλες φυσαλίδες αερίου),
- Με περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του αερίου, ο λόγος του μήκους της φυσαλίδας ως προς το μήκος της υγρής φάσης μειώνεται και η ροή μεταπίπτει στη λεγόμενη **ανάμεικτη ροή**.

Απεικόνιση των τύπων της διφασικής ροής υγρού-αερίου σε κατακόρυφες γεωτρήσεις



Η μετάβαση από τον ένα τύπο ή καθεστώς ροής στον άλλο γίνεται σταδιακά, με συνέπεια την ύπαρξη περιοχών μεικτών τύπων ροής. Για τον προσδιορισμό του τύπου ροής γίνεται χρήση των χαρτών καθεστώτων ροής.

Τέταρτο στάδιο: Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

- Αναφέρεται στα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου
- Ύστερα από τις πρώτες γεωτρήσεις έρευνας παραγωγής (με μεγάλη διάμετρο), οι οποίες θα επιβεβαιώσουν την ύπαρξη του γεωθερμικού πεδίου και θα επιτρέψουν την προσέγγιση και κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλου, αρχίζει αυτό το στάδιο που περιλαμβάνει την ανάπτυξη του πεδίου και τη διαχείρισή του.
- Για την **ανάπτυξη** του πεδίου χρειάζεται αρχικά να κατασκευασθούν και άλλες γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου, για να προσδιοριστεί το συνολικό δυναμικό του πεδίου..
- ❖ Στο στάδιο αυτό θα ολοκληρωθεί ένα πλήρες όσο γίνεται δίκτυο γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, που θα επιτρέψει τη σωστή και συστηματική λειτουργία και εκμετάλλευση των ρευστών.
- ❖ Οι εργασίες που απαιτούνται για τη λειτουργία και ανάπτυξη του πεδίου περιλαμβάνουν
 - ❑ τα συστήματα άντλησης (αν είναι απαραίτητα),
 - ❑ το δίκτυο επιφανειακής κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών μέχρι την επανεισαγωγή,
 - ❑ τα συστήματα εισπίεσης και φυσικά
 - ❑ τις επιφανειακές εγκαταστάσεις επιφανείας για την απόληψη και τη διάθεση της ενέργειας στους χρήστες.

Είναι γενικά προτιμότερο να γίνεται συνολική και όχι μερική ανάπτυξη ενός πεδίου, με κλιμακωτές χρήσεις κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, για να αυξηθεί ο συντελεστής αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών.

Χρειάζεται να εμπλακούν ειδικοί επιστήμονες από πολλές ειδικότητες και προπαντός απαιτείται να συνταχθεί πλήρης μελέτη εφαρμογής, αφού ληφθούν υπόψη προσεκτικά τα χαρακτηριστικά του πεδίου και των γεωθερμικών ρευστών.

Η διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου και των εγκαταστάσεων (πριν από τους χρήστες) απαιτεί επίσης σωστή οργάνωση σε υλικοτεχνική υποδομή και κατάλληλο προσωπικό.

Τέταρτο στάδιο: Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

■ Αναφέρεται στα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου

➤ Τα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

Περιβαλλοντικά προβλήματα,

παρά το γεγονός ότι η γεωθερμία είναι γενικά μία ήπια μορφή ενέργειας. Θα πρέπει να προσεχθούν κατά το δυνατόν οι εκπομπές επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα και η απόρριψη των γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση τους σε επιφανειακούς αποδέκτες. Η λύση της επανεισαγωγής θεωρείται τις περισσότερες φορές αναγκαία. Βεβαίως η προσέγγιση αυτή απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και για το σκοπό αυτό υπάρχουν διάφορες τεχνικές και αυτοματοποιημένες μέθοδοι.

Προβλήματα που ανακύπτουν με το χρόνο λειτουργίας των μονάδων,

κυρίως από τη μεταβολή των συνθηκών στον ταμιευτήρα. Για παράδειγμα, γεωτρήσεις που ήταν αρχικά αρτεσιανές μπορεί να παύσουν κάποια στιγμή να είναι, και απαιτείται τότε άντληση των ρευστών. Λόγω της επανεισαγωγής ή της διεύδυσης ψυχρού νερού στον ταμιευτήρα μπορεί να ελαττωθεί η θερμοκρασία παραγωγής και γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις για τη λειτουργία των μονάδων.

Προβλήματα επικαθίσεων και διαβρώσεων των εγκαταστάσεων,

περιλαμβανομένων των γεωτρήσεων. Για αυτά θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά στο επόμενο μάθημα.

Απώλειες ρευστών και ενέργειας κατά τη μεταφορά και διανομή.

Απώλειες ρευστών μπορεί να γίνει από διαβρωμένα τμήματα αγωγών ή βαλβίδων και από τεχνικές αστοχίες, ενώ απώλεια θερμότητας μπορεί να γίνει λόγω πλημμελούς θερμομόνωσης. Είναι πολλά τα αίτια που μπορούν να δημιουργήσουν αυτά τα προβλήματα και ο διαχειριστής θα πρέπει να ελέγχει συστηματικά την κατάσταση και να επεμβαίνει ανάλογα.

Χρηματοδοτικά προβλήματα.

Εκτός από το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης, που στη γεωθερμία είναι πολύ σημαντικό, χρειάζεται να εξασφαλισθεί και κεφάλαιο κίνησης και διαχείρισης του πεδίου, (ώστε να μη διακοπεί η λειτουργία μέρους ή ολόκληρου του πεδίου).

Τέταρτο στάδιο: Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων

Προβλήματα διαχείρισης (management)

σε σχέση με την εξασφάλιση κατάλληλης δομής και οργάνωσης, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του γεωθερμικού πεδίου.

Ανάγκη σχετικής ανανέωσης των συσκευών και των εγκαταστάσεων.

Προβλήματα με την εξασφάλιση εξειδικευμένου και επαρκούς προσωπικού (διαφόρων ειδικοτήτων).
ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η μορφή διαχείρισης του πεδίου χρειάζεται γενικά ευελιξία και νοοτροπία λειτουργίας με ιδιωτικο-οικονομικά κριτήρια. Θα πρέπει να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις παρακάτω προκλήσεις:

- α) παραγωγή του ενεργειακού αγαθού με το βέλτιστο τεχνικά τρόπο,
- β) προώθηση του ενεργειακού προϊόντος,
- γ) διάθεση στους χρήστες με την καλύτερη δυνατή μορφή και σταθερότητα στο χρόνο και
- δ) επανεισαγωγή των γεωθερμικών «αποβλήτων» στον ταμιευτήρα.

Συμπερασματικά, η διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων είναι μία σύνθετη εργασία, η οποία μοιάζει με τη διαχείριση άλλων ενεργειακών εγκαταστάσεων, αλλά έχει και πολλές ιδιαιτερότητες.

- Αναγνώριση γεωθερμικών φαινομένων
- Προκαταρκτική αξιολόγηση των δυνατοτήτων για αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας

Αξιολόγηση της τεχνοοικονομικής υποδομής της περιοχής

Γεωλογική, υδρογεωλογική, γεωχημική και γεωφυσική έρευνα

Αποτύπωση προσφοράς ζήτησης ενέργειας

Ανόρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων

Προμελέτη σκοπιμότητας

Συμπληρωματική έρευνα

Ανόρυξη γεωτρήσεων μελέτης πεδίου (μεγάλου βάθους)

Ανόρυξη γεωτρήσεων μελέτης πεδίου (μεγάλου βάθους)

Δοκιμές άντλησης

Μελέτη τεχνικών προβλημάτων
διάβρωση, επικαθίσεις, επανέγχυση

Εκτίμησης δυναμικότητας ταμιευτήρα

Μελέτη
Περιβαλλοντικών
Επιπτώσεων

Μελέτη σκοπιμότητας

Ανόρυξη γεωτρήσεων
Παραγωγής - επανέγχυσης

Μελέτη - σχεδιασμός εγκαταστάσεων
(Αντλίες, σωληνώσεις κ.λ.π.)

Τελικές μελέτες και
δοκιμές

Κατασκευή γεωθερμικής μονάδας

Εκμετάλλευση, διαχείριση πεδίου