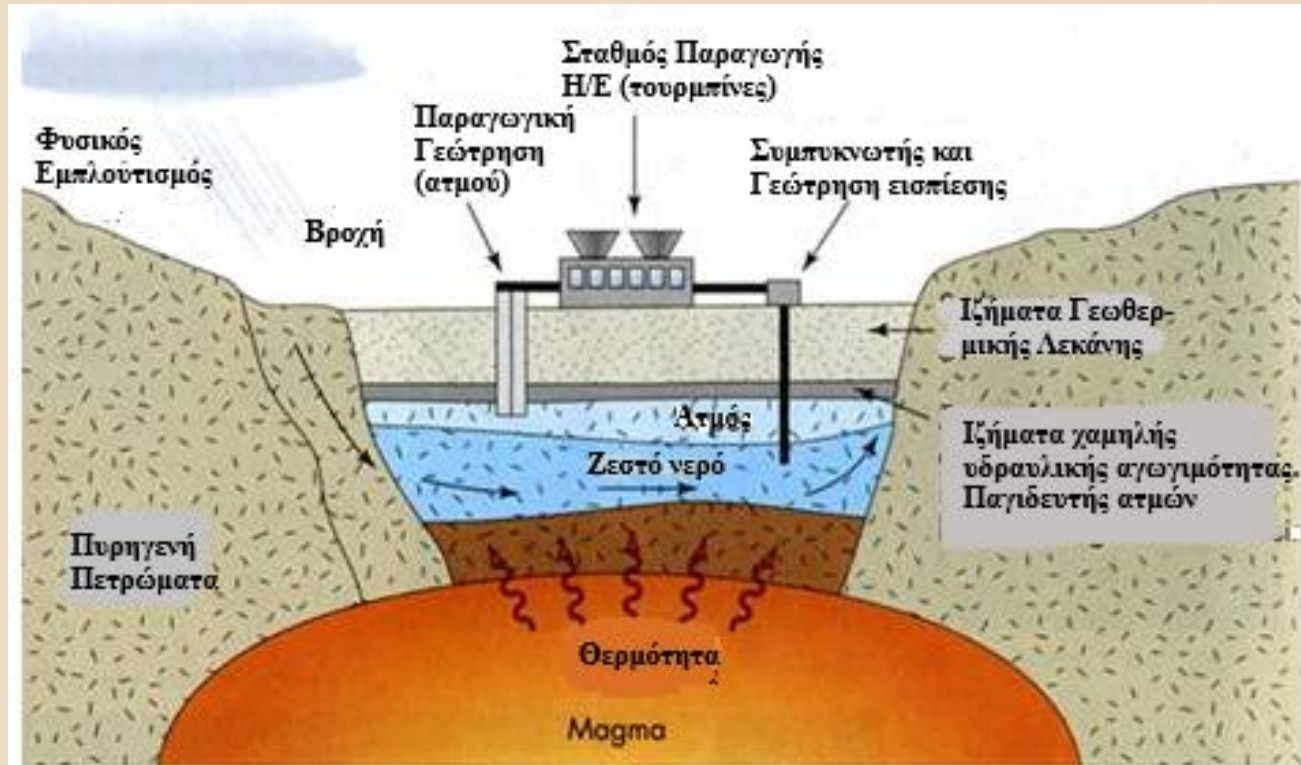


Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων

Με βάση τους Γεωθερμικούς πόρους

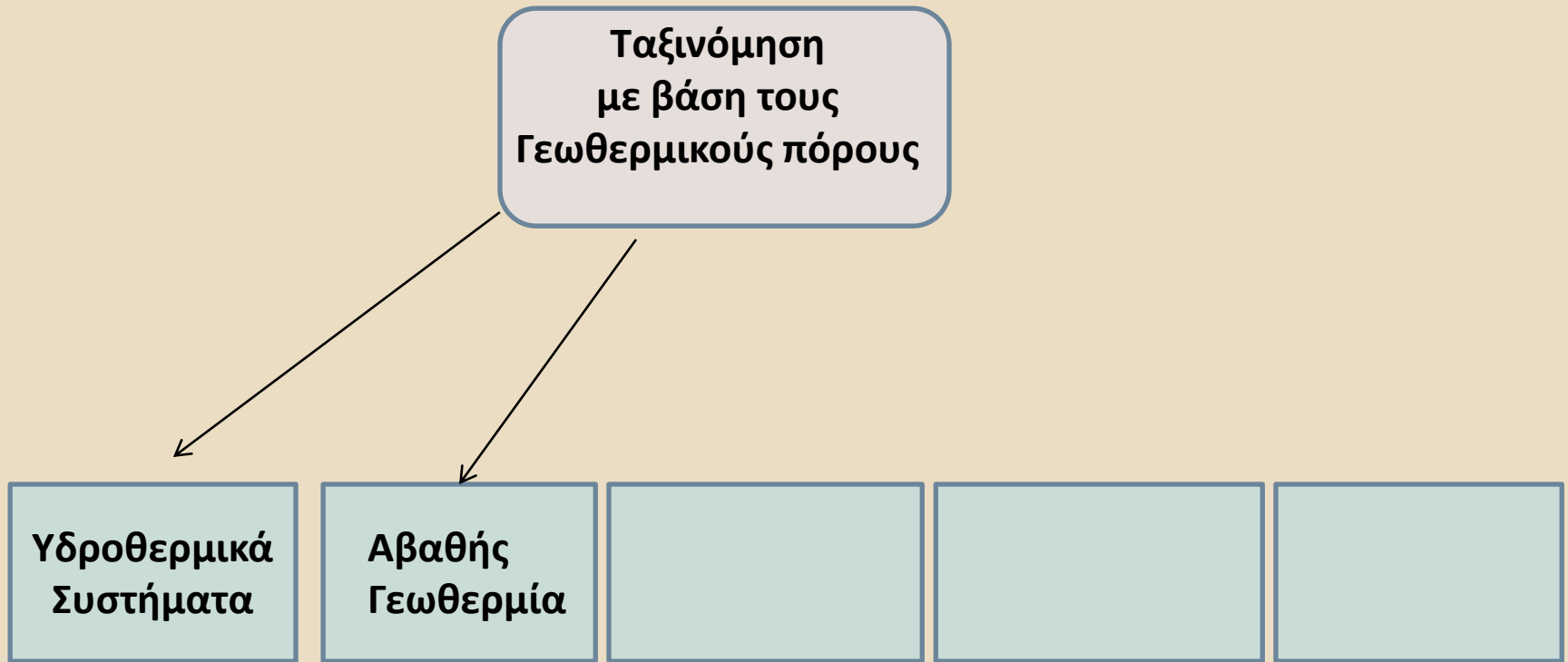
α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι ,



δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων, αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.

Μια άλλη ονομασία που δίνεται σε αυτά τα συστήματα είναι *συστήματα συναγωγής*, επειδή η θερμότητα μεταδίδεται κυρίως με το μηχανισμό της συναγωγής.

Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων

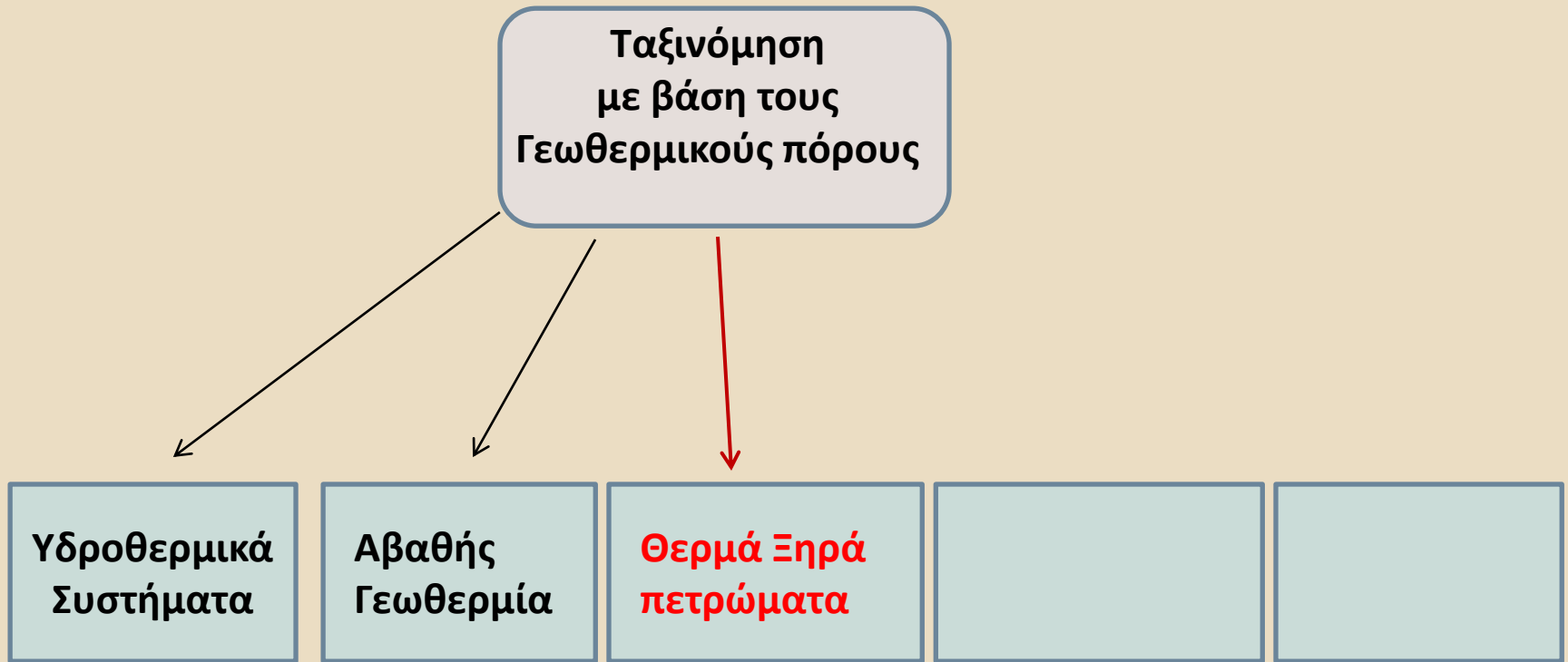


α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι ,

β) αβαθής γεωθερμία,

Μία πολλά υποσχόμενη κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να θεωρηθεί η λεγόμενη **αβαθής γεωθερμία**, κατά την οποία λαμβάνονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή «ξηρές» γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων,

Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων



γ) Τα συστήματα βαθέων **θερμών-ξηρών πετρωμάτων**,

δηλ. τα θερμά πετρώματα σε βάθος από 3 μέχρι 10 km χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων

**Διευκρίνιση υδρογεωλογικών όρων απαραίτητων για τη
κατανόηση της Γεωθερμίας**

Διάκριση των σχηματισμών ως προς την υδρογεωλογική τους συμπεριφορά

(Υδρογεωλογική συμπεριφορά. Εννοείται η συμπεριφορά του νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς, η ικανότητα κίνησης και αποθήκευσης)

- Υδροφόρα στρώματα (Γεωλογικοί σχηματισμοί που έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν και να μετακινούν το νερό)
- Στεγανά (ούτε αποθηκεύουν ούτε μεταβιβάζουν)
- Ανυδροφόρο (ελάχιστα αποθηκεύουν και μεταβιβάζουν)
- Βραδυδροφόρα (αποθηκεύουν σημαντικές ποσότητες, μεταβιβάζουν ελάχιστες)

- **ΥΔΡΟΦΟΡΕΑΣ** Το υλικό που φιλοξενεί το νερό

Περατότητα (Υδροπερατότητα)

Η ιδιότητα των γεωλογικών σχηματισμών να επιτρέπουν την διακίνηση του νερού δια μέσου αυτών

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ
ΥΔΡΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

Ρευστό (θερμοκρασία, ιξώδες κ.λ.π.)

Πορώδες

Πορώδες $m = V_j / V$

V_j = ο όγκος των κενών

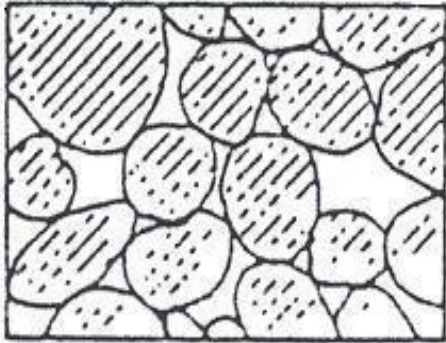
V = Ο συνολικός όγκος του πετρώματος



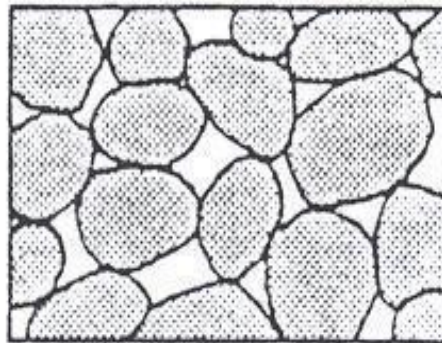
Κατηγορίες πετρωμάτων ως προς το πορώδες

Κοκκώδη ή πορώδη

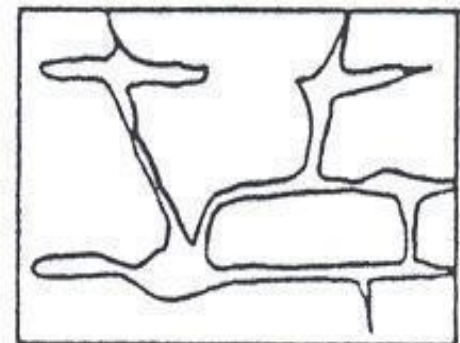
Ρωγμώδη



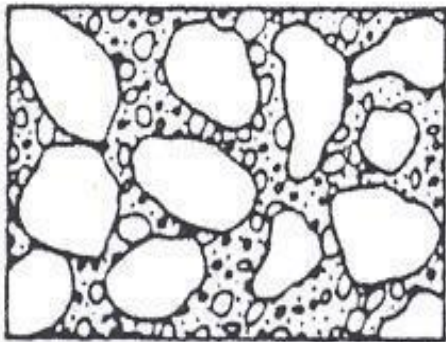
(α)



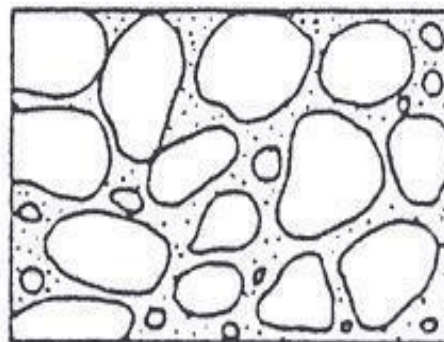
(β)



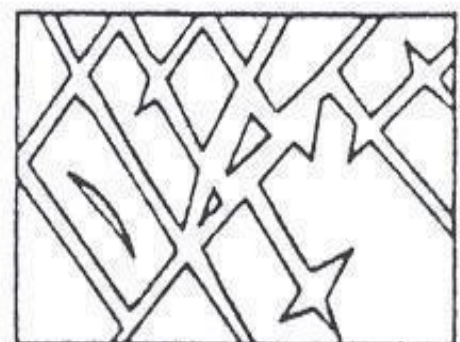
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Υδροπερατότητα

Η ιδιότητα των γεωλογικών σχηματισμών να επιτρέπουν την διακίνηση του νερού δια μέσου αυτών

- Σημασία για την υδροπερατότητα έχει το **ΕΝΕΡΓΟ ΠΟΡΩΔΕΣ** (m_e)

Το σύνολο των πόρων που επικοινωνούν μεταξύ τους

$$m_e = v_e / v \quad (v_e = \text{όγκος πόρων που επικοινωνούν})$$

Ενεργό πορώδες = Όγκος νερού που αποδίδεται από το υδροφόρο

ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΤΑΚΡΑΤΗΣΗΣ (m_s)

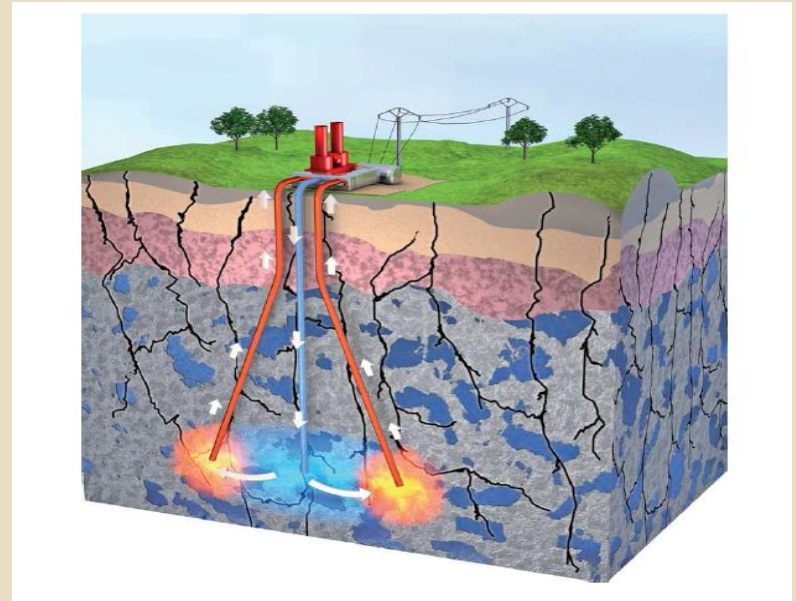
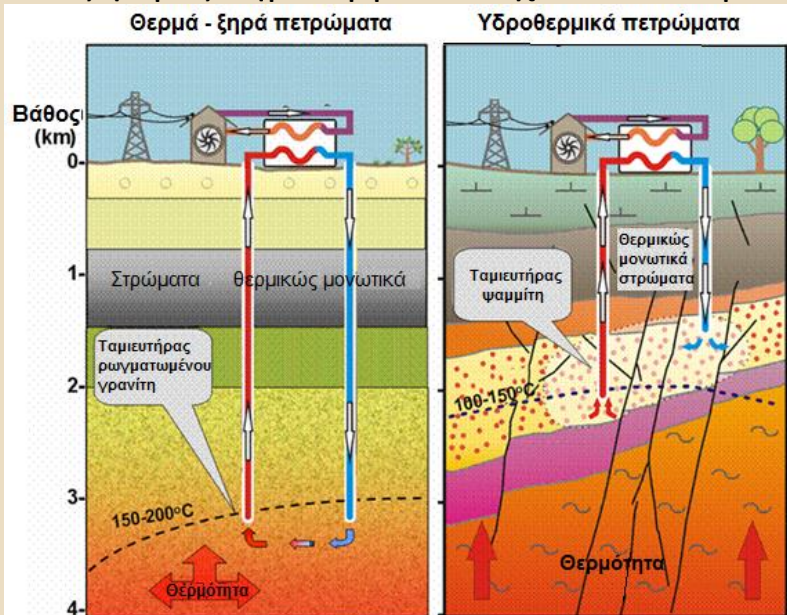
Το σύνολο των πόρων που δεν επικοινωνούν

$$m_s = v_s / v \quad (v_s = \text{όγκος πορων που δεν επικοινωνούν})$$

$$m = m_e + m_s$$

Περιοχές θερμών ξηρών -πετρωμάτων

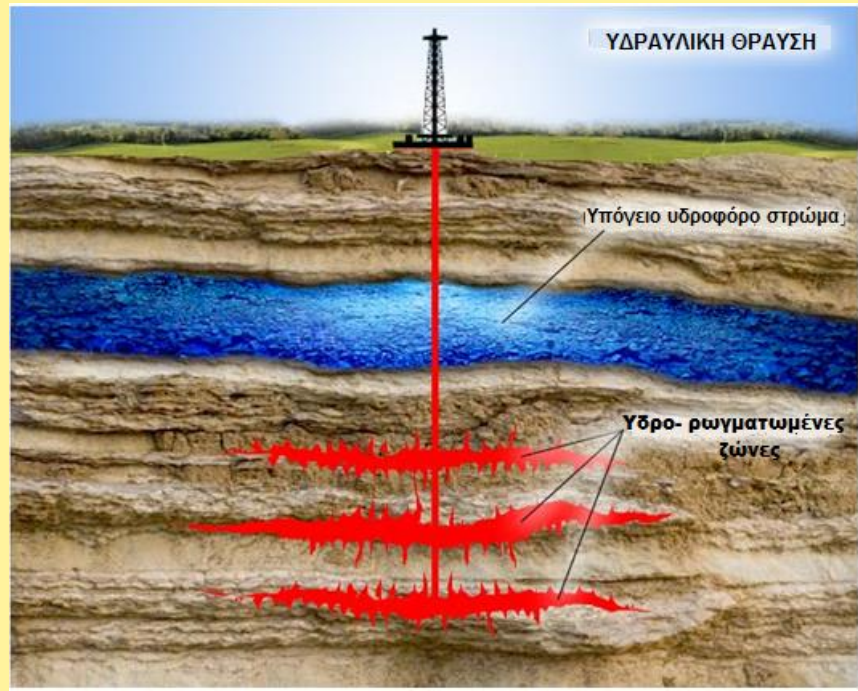
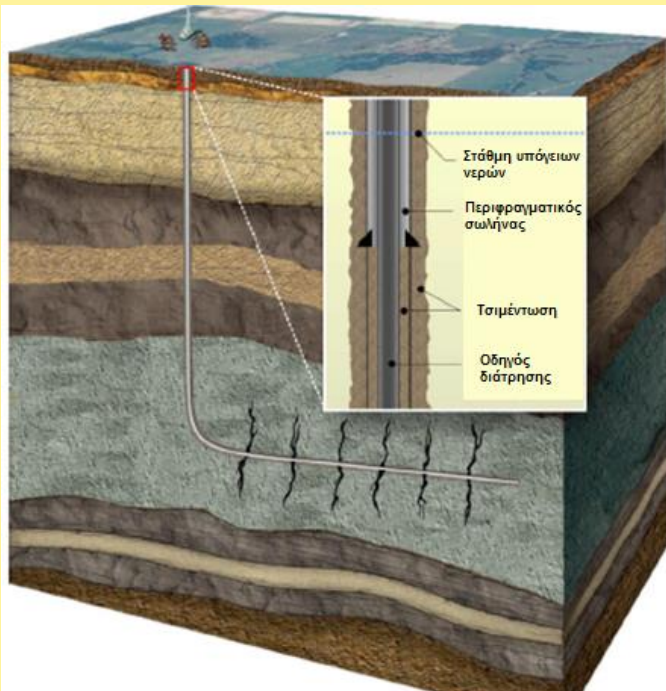
- ✓ Φαίνεται ότι σε πολλές περιοχές της γης δεν υπάρχει ικανοποιητική υδροπερατότητα των διαφόρων πετρωμάτων, αν και πολλές φορές εξασφαλίζεται μια σημαντική θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, λόγω αυξημένης θερμικής ροής.
- ✓ Αναφέρεται ως παράδειγμα η περίπτωση των μεγάλων κρυσταλλικών σωμάτων, τα οποία μπορεί να είναι γεμάτα από διακλάσεις, έχουν όμως σχεδόν μηδενικό ενεργό πορώδες και υδροπερατότητα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να συγκρατήσουν ποσότητες νερού.
- ✓ Τα πετρώματα αυτά είναι λοιπόν ξηρά και συγχρόνως θερμά.
- Πρόκειται για μια κατηγορία γεωθερμικής ενέργειας, που βρίσκεται ακόμη σε ερευνητικό στάδιο, είναι η λεγόμενη **ενέργεια των θερμών ξηρών πετρωμάτων**.
- Το νερό εδώ οδηγείται τεχνητά από την επιφάνεια της γης μέσω γεώτρησης(εων) εισαγωγής μέχρι τα θερμά, ξηρά και χωρίς νερά πετρώματα, σε βάθος που μπορεί να υπερβαίνει τα 5000 m.
- Μετά τη θέρμανσή του εκεί, το νερό επιστρέφει στην επιφάνεια μέσω άλλης ή άλλων παραγωγικών γεωτρήσεων.
- Πολλές φορές δημιουργείται τεχνικά και ταμειυτήρας (με υδραυλική θραύση)



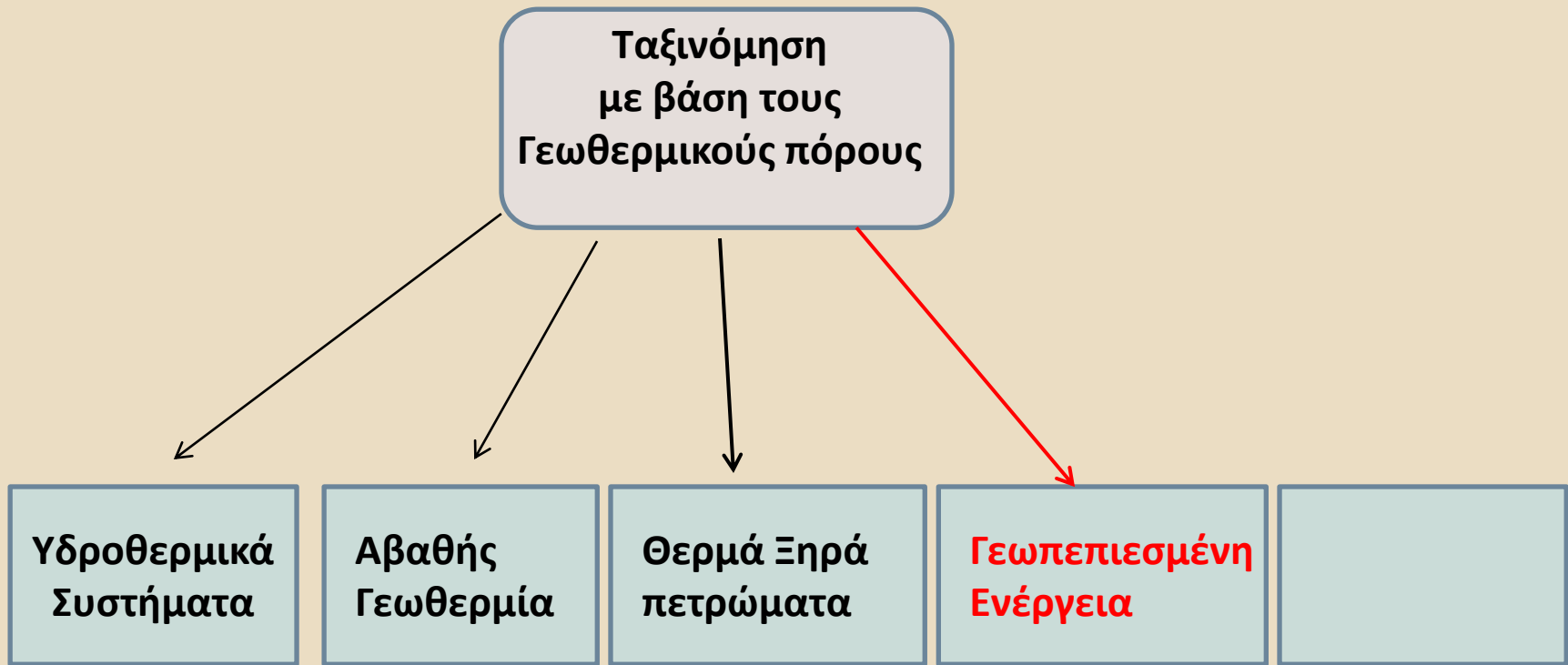
Υδραυλική θραύση

Δημιουργία τεχνητού υδροπερατού στρώματος

- ✓ Γίνονται γεωτρήσεις σε μεγάλο βάθος πρώτα κάθετα και μετά οριζόντια ή μόνο κάθετα.
- ✓ Μέσα σ' αυτές τις στοές διοχετεύονται με πολύ μεγάλη πίεση τεράστιες ποσότητες νερού με άμμο και άλλα χημικά συστατικά.
- ✓ Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται ρωγματώσεις ή ενεργοποιούνται παλαιότερες σε περιοχές πετρωμάτων με υψηλές θερμοκρασίες και δημιουργείται ένα εκτεταμένο ενεργό πορώδες.
- ✓ Η άμμος χρησιμοποιείται για να κρατήσει ανοιχτές τις ρωγμές
- ✓ Η τεχνική αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την εξόρυξη του φυσικού αερίου από τον σχιστόλιθο.



Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων



α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι – υδροθερμική ενέργεια,

β) αβαθής γεωθερμία,

γ) Τα συστήματα βαθέων θερμών-ξηρών πετρωμάτων,

δ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα,

τα οποία αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική.

Γεωπεπιεσμένα συστήματα

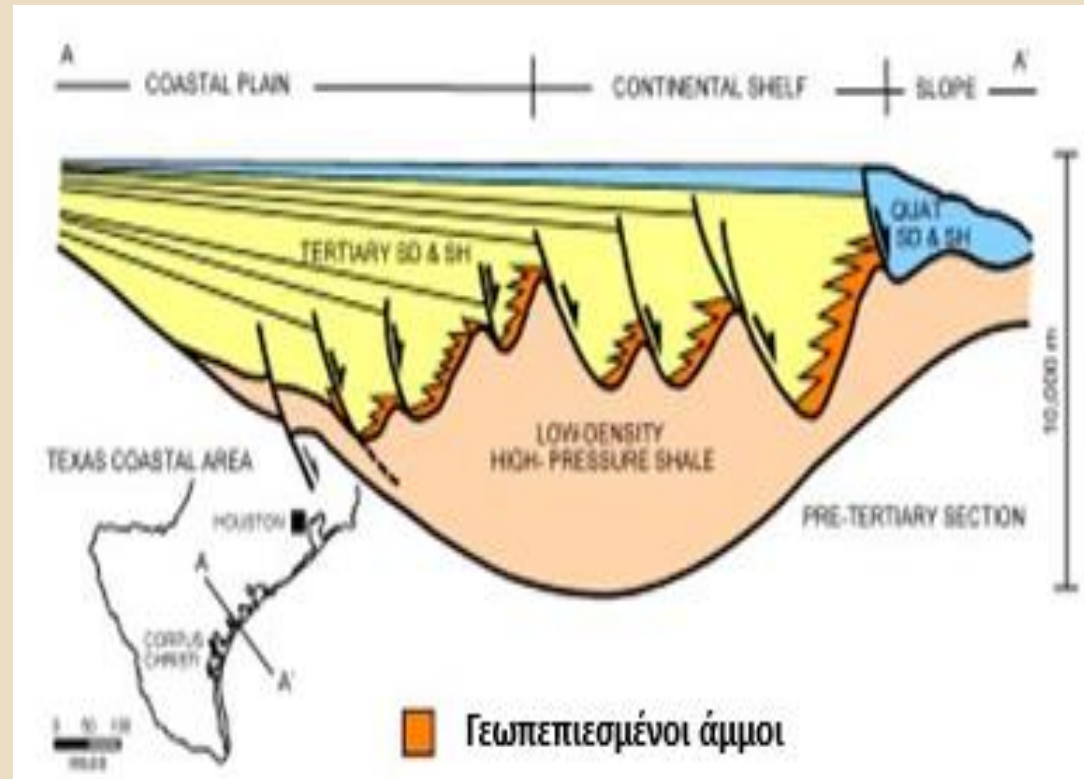
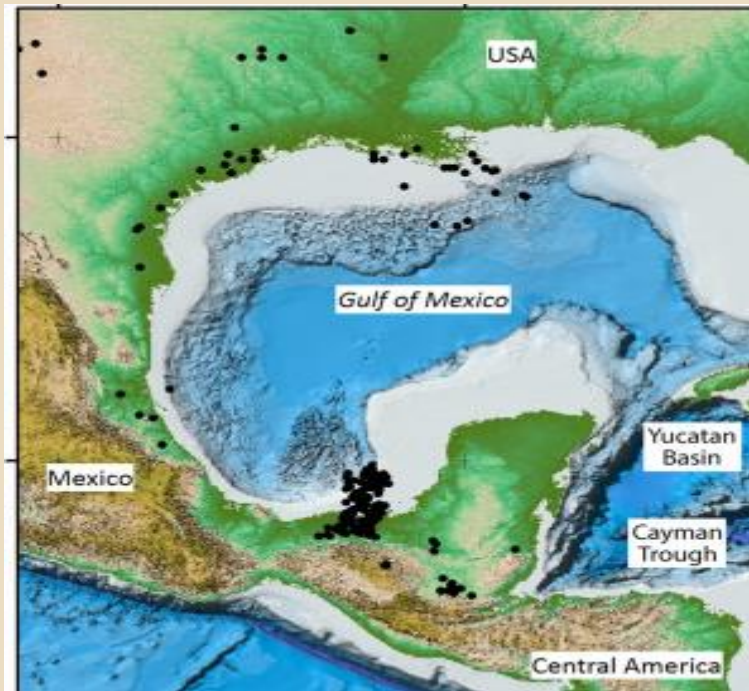
Με τον όρο *γεωπεπιεσμένα ρευστά* εννοούνται τα γεωθερμικά ρευστά του υπεδάφους που βρίσκονται εγκλωβισμένα υπό μεγάλη πίεση (550-1350 bar, πολύ μεγαλύτερης της υδροστατικής) μέσα σε παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς, πάντα μαζί με μεθάνιο.

- Τα ρευστά αυτά έχουν υψηλή αλατότητα και θερμοκρασίες στην περιοχή των 50-250°C.
- Οι περατοί σχηματισμοί με τέτοια ρευστά είναι συνήθως ιζηματογενείς και πτυχωμένοι, με τα ρευστά να καταλαμβάνουν τους πόρους των πετρωμάτων. Τα ρευστά εκεί βρίσκονται υπό πίεση που υπερβαίνει την υδροστατική.
- Τέτοιοι ταμιευτήρες απομονώνονται στο βάθος από υπερκείμενους μη περατούς σχηματισμούς, που είναι συνήθως αργιλικά ιζήματα.
- Τα περισσότερα δεδομένα για τα γεωπεπιεσμένα συστήματα έχουν προέλθει από γεωτρήσεις πετρελαίου.
- Οι γεωθερμικού ενδιαφέροντος ταμιευτήρες αυτού του τύπου βρίσκονται συνήθως σε μεγάλα βάθη (3-7 km).

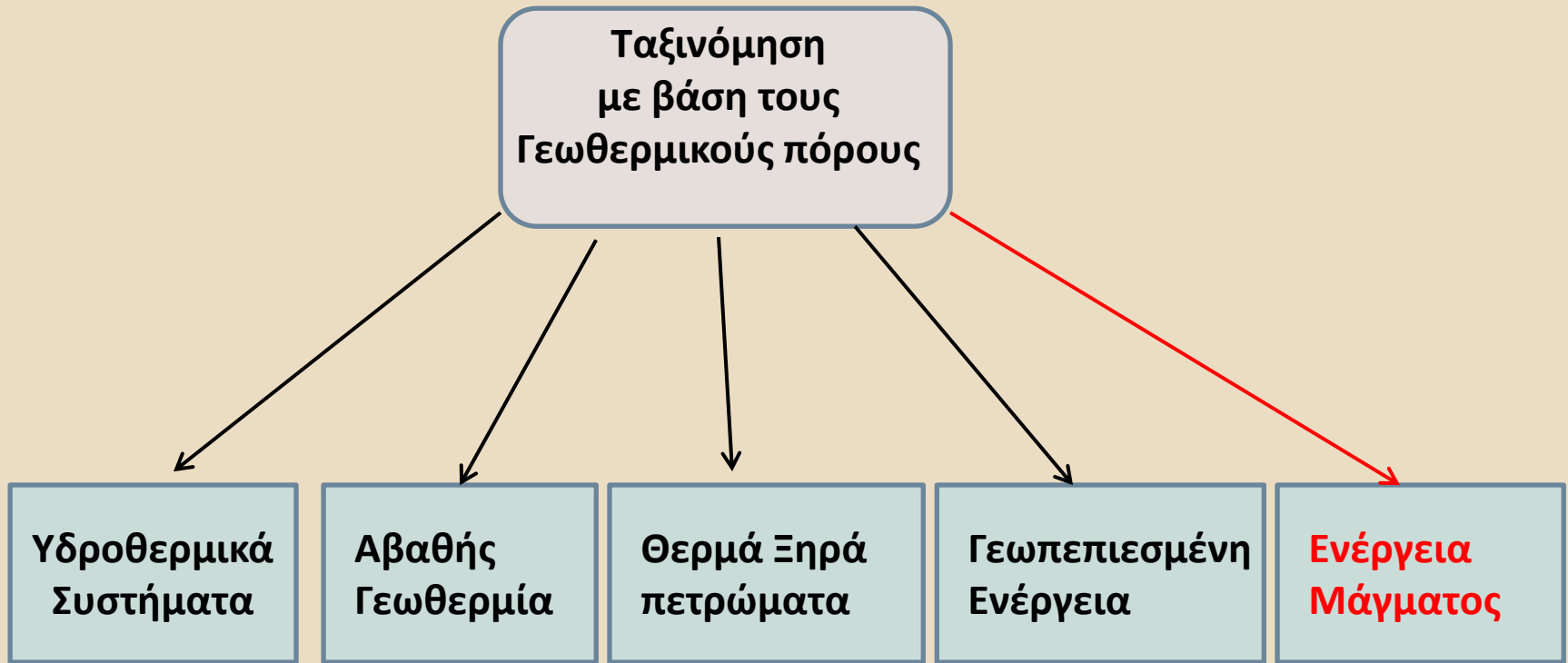
Γεωπεπισμένα συστήματα

➤ Γεωπεπισμένα πεδία υπάρχουν σε διάφορες περιοχές του κόσμου.

➤ Μία μεγάλη περιοχή με γεωπεπισμένα ρευστά βρίσκεται στον Κόλπο του Μεξικού, όπου η αποθηκευμένη ενέργεια εκτιμάται σε $1,7 \times 10^{23}$ J.



Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων



α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι – υδροθερμική ενέργεια,

β) αβαθής γεωθερμία,

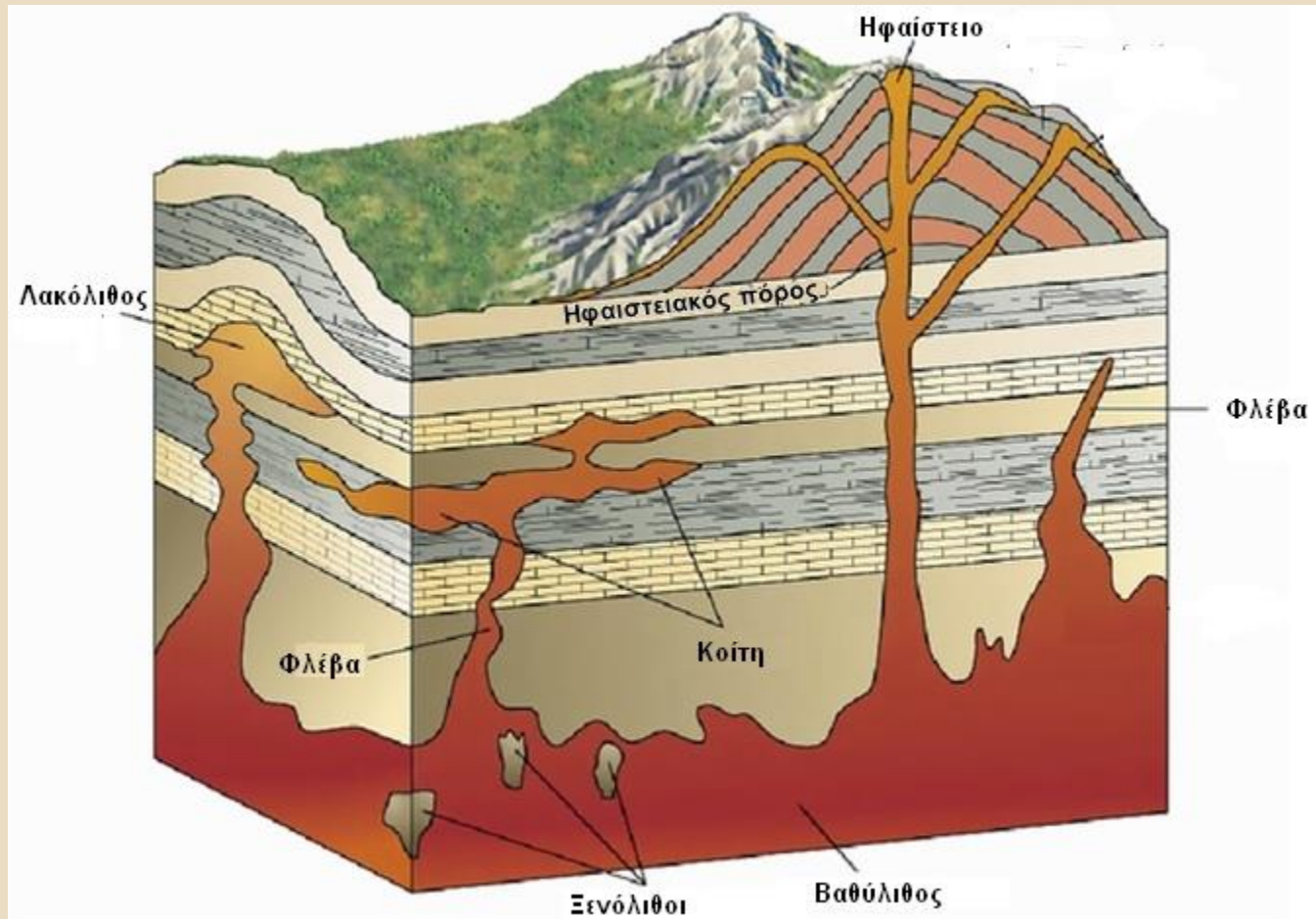
γ) Τα συστήματα βαθέων θερμών-ξηρών πετρωμάτων,

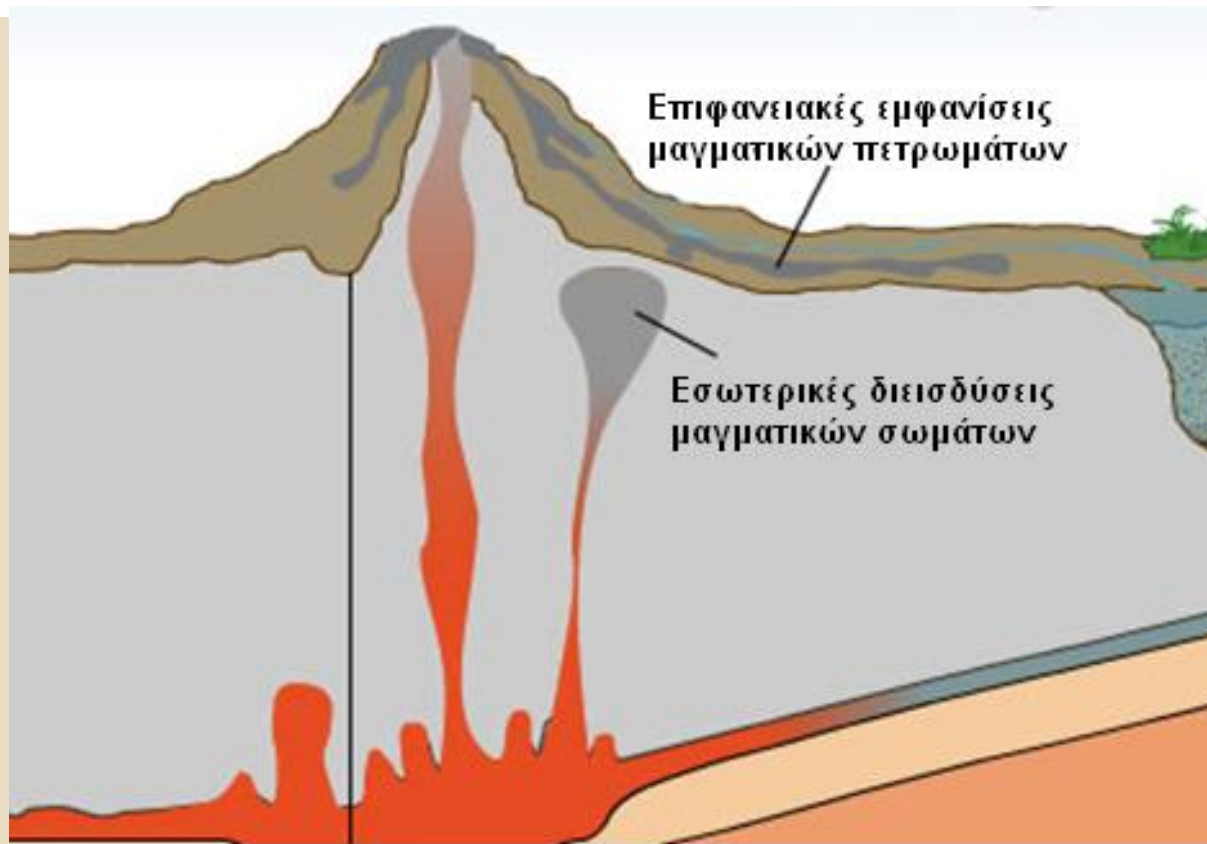
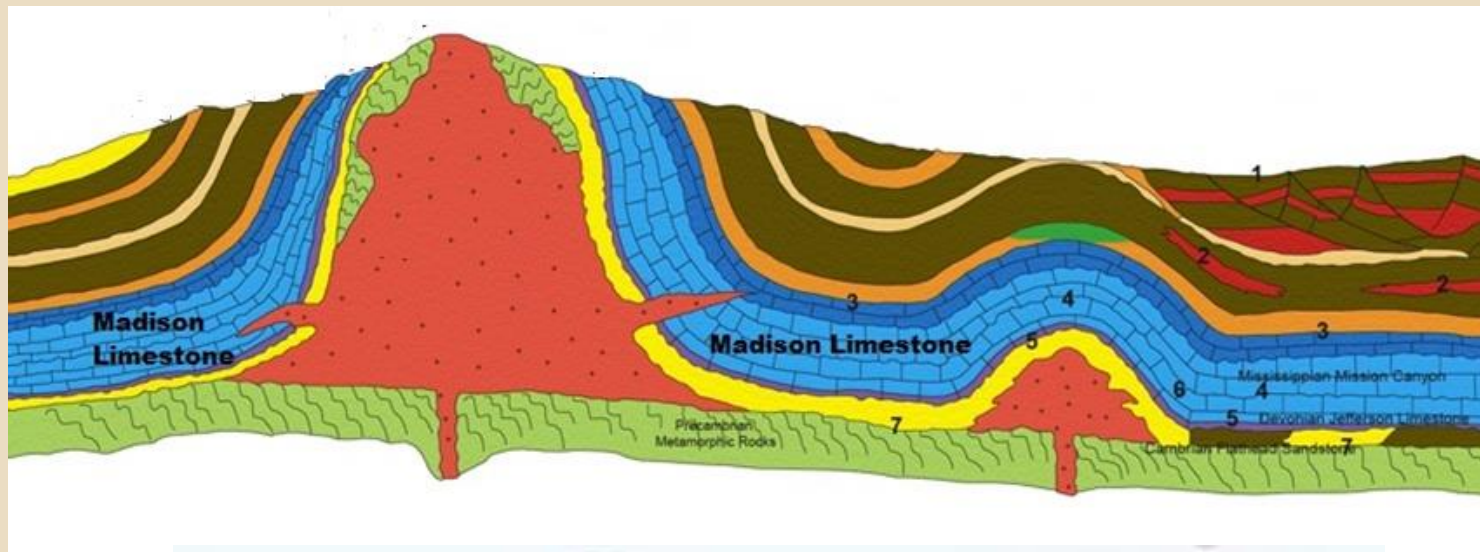
δ) Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα,

ε) Τα **μαγματικά συστήματα** (magma systems)

αναφέρονται στην απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.

Μορφές Μαγματικών Διεισδύσεων

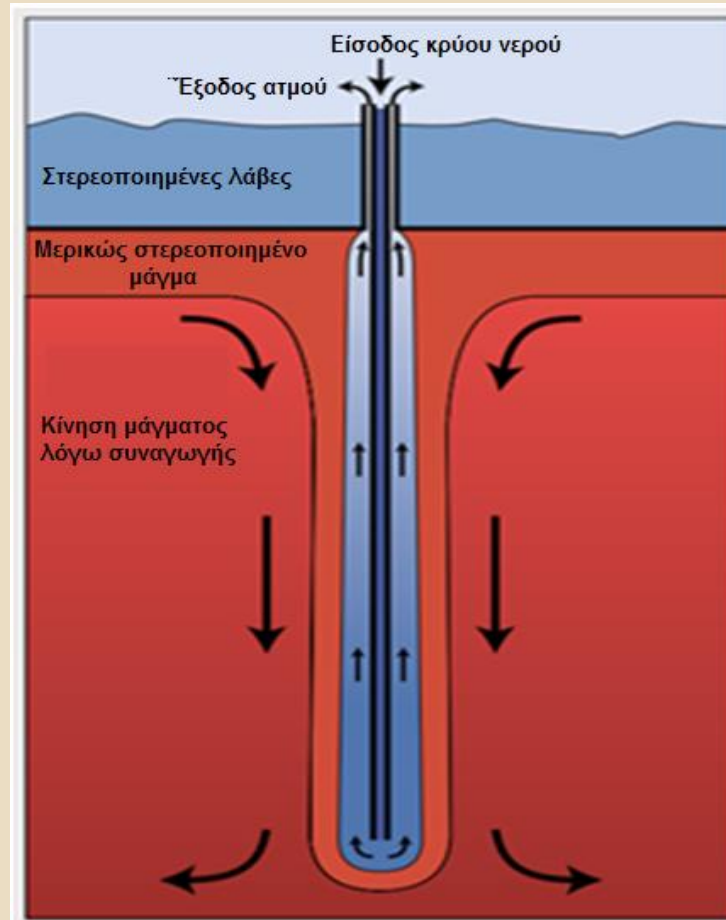




Συστήματα μάγματος

- Οι διεισδύσεις μάγματος αντιπροσωπεύουν τοπικές περιοχές με τεράστια συγκεντρωμένη θερμική ενέργεια με τη μορφή λιωμένου ή σχεδόν λιωμένου μάγματος, σε θερμοκρασίες στην περιοχή των 650-1200°C.
- Το μάγμα είναι βασικά η πρωταρχική πηγή θερμότητας όλων των υδροθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.
- Για να ταξινομηθεί μια περιοχή μάγματος ως γεωθερμικός πόρος, θα πρέπει να βρίσκεται σε προσβάσιμα βάθη, δηλαδή σε βάθη μικρότερα από 10 km.
- Συνήθως βέβαια το μάγμα βρίσκεται σε βάθη της τάξης των 5 km. Σε σπάνιες περιπτώσεις, διεισδύσεις μάγματος βρίσκονται πιο κοντά στην επιφάνεια, κάτω ή γύρω από ενεργά ηφαίστεια.

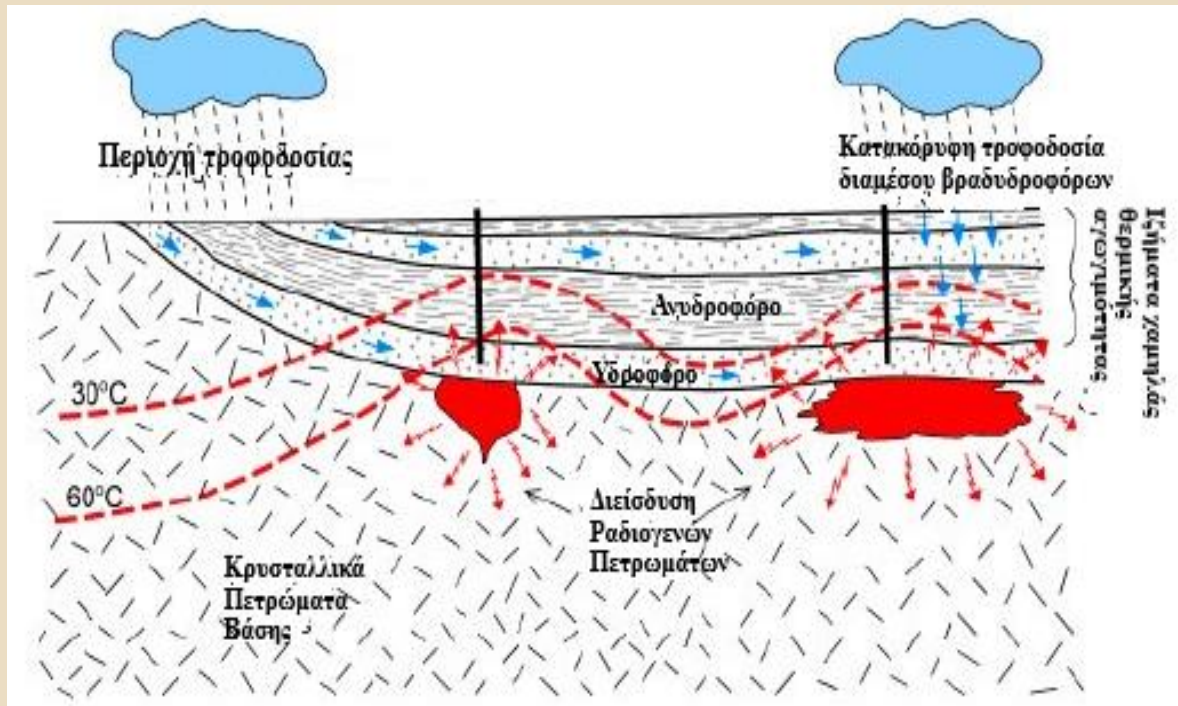
Συστήματα μάγματος



➤ Θεωρητικά, η αξιοποίηση της ενέργειας από μάγματα φαίνεται απλή. Κατασκευάζεται μια ειδική γεώτρηση μέχρι τη διείσδυση του μάγματος, μέσα στην οποία κυκλοφορεί ένα θερμαντικό μέσο (πιθανόν νερό). Το μέσο αυτό θερμαίνεται στον πυθμένα της γεώτρησης και ανέρχεται λόγω συναγωγής στην επιφάνεια

ΡΑΔΙΟΓΕΝΗ ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΑ

- Επίσης στη κατηγορία των μαγματικών συστημάτων ανήκουν και τα διάφορα μαγματικά σώματα με μεγάλο ραδιενεργό φορτίο.
- Πολλές φορές γρανιτικά πλουτώνια πετρώματα είναι σχετικά εμπλουτισμένα σε ραδιενεργά στοιχεία κυρίως ουράνιο και θόριο. Η ραδιενεργή αποσύνθεση των ισotόπων αυτών στοιχείων εκπέμπει θερμότητα.
- Έτσι η ροή θερμότητας σε έναν ραδιενεργό μαγματικό πέτρωμα είναι συνεπώς υψηλότερη από αυτή στα παρακείμενα πετρώματα στα οποία το μάγμα έχει διεισδύσει και κατ' αυτό τον τρόπο αυξάνουν τη γεωθερμική βαθμίδα.
- Αν τα γρανιτικά πετρώματα συγχρόνως καλύπτονται και από ιζημάτα χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας, ή βρίσκονται κοντά σαυτά τοπικά υδροφόρα στρώματα, τότε θερμοκρασίες σχετικά υψηλές εμφανίζονται στη βάση του ιζηματογενούς τμήματος πάνω από τη ραδιενεργή πηγή.
- Η έκταση της ανωμαλίας της γεωθερμίας εξαρτάται από
 - το σχήμα και το πάχος της ραδιενεργούς πηγής,
 - τη συγκέντρωση του ουρανίου και θορίου στη πηγή και
 - την θερμική αγωγιμότητα και το πάχος των υπερκείμενων ιζημάτων.



Είναι η γεωθερμία ανανεώσιμη πηγή;

Το πιο σημαντικό κριτήριο για την ταξινόμηση της γεωθερμικής ενέργειας στις ανανεώσιμες πηγές είναι ο ρυθμός επαναφόρτισης του ενεργειακού συστήματος.

Κατά την εκμετάλλευση ενός φυσικού γεωθερμικού συστήματος, η επανατροφοδοσία επιτυγχάνεται με την αναπλήρωση του θερμού νερού στον ταμειυτήρα στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των θερμών ρευστών.

Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμικής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Στην περίπτωση των θερμών ξηρών πετρωμάτων και κάποιων θερμών εγκλωβισμένων υδροφόρων σε ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή φόρτιση ελέγχεται αποκλειστικά από την αγωγή θερμότητας, η οποία είναι μια ιδιαιτέρως αργή διαδικασία.

Για το λόγο αυτό, ίσως θα έπρεπε τα συστήματα αυτά να κατατάσσονται στις πεπερασμένες πηγές ενέργειας (Stefansson, 2000).

Ταξινόμηση Γεωθερμικών συστημάτων

Με βάση την κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα, σύμφωνα με την οποία λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς τους.

□ Στα δυναμικά συστήματα,

- όπου ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας «αποφορτίζεται», προς την επιφάνεια είτε γεμίζοντας τους ανώτερους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς.

- Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού.

- Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής (>150°C) όσο και χαμηλής (<100°C) θερμοκρασίας.

Αυτή ακριβώς η διαδικασία δικαιολογεί την ταξινόμηση της γεωθερμικής ενέργειας στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

□ Στα στατικά συστήματα,

- γνωστά και ως στάσιμα ή συστήματα αποθήκευσης, όπου παρατηρείται ελάχιστη ή καμία τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής.

- Η συγκεκριμένη κατηγορία περιλαμβάνει τα χαμηλής θερμοκρασίας και τα «γεωπεπιεσμένα» συστήματα.

Για το λόγο αυτό, ίσως θα έπρεπε τα συστήματα αυτά να κατατάσσονται στις πεπερασμένες πηγές ενέργειας.

Χαρακτηρισμός Γεωθερμικών πεδίων

Με βάση το βαθμό διερεύνησης του πεδίου

➤ Βεβαιωμένα γεωθερμικά πεδία

➤ Πιθανά γεωθερμικά πεδία

□ **Βεβαιωμένο γεωθερμικό πεδίο** είναι το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι πιστοποιημένα με υψηλό βαθμό αξιοπιστίας με ερευνητικές εργασίες. Με βάση τη νομοθεσία μπορεί να χαρακτηριστεί βεβαιωμένο ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητα τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά

1. έχουν γίνει γνωστά και *τεκμηριωμένα* από ερευνητικές εργασίες η έκταση του πεδίου και η κατακόρυφη εξάπλωσή του (ελάχιστο / μέγιστο βαθμός)

2. Είναι γνωστό με βαθμό εμπιστοσύνης *μεγαλύτερο* του 90% για κατάσταση ισορροπίας

i. η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια

ii. τα δεδομένα παροχής και πίεσης ρευστού

3, στοιχεία των χαρακτηριστικών του ρευστού (χημική σύσταση) όπως αναφέρονται παρακάτω:

ποσοστό υγρής και αέριας φάσης

▪ Χημική ανάλυση του νερού για τα στοιχεία S_iO_2 , Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg , HCO_3^{-2} , SO_4^{-2} , HS^- , Cl^- , F^- , Al^{+3} , T.D.S., $Fe^{+2,+3}$ B

▪ ανάλυση αέριας φάσης ως προς τα CO_2 , CH_4 , H_2S , O_2 , H_2 , N_2 , NH_3

▪ Περιεκτικότητα σε ραδιενεργά στοιχεία (ράδιο, U, ραδόνιο)

▪ pH και η θερμοκρασία pH

▪ Τάσεις επικαθήσεων και διαβρώσεων

4. Πιθανά προϊόντα και υποπροϊόντα

Πιθανό γεωθερμικό πεδίο αναφέρεται το πεδίο του οποίου τα χαρακτηριστικά εκτιμώνται από προκαταρκτικά ερευνητικά έργα.

Ως πιθανό γεωθερμικό πεδίο μπορεί να χαρακτηριστεί, ένα πεδίο που συγκεντρώνει απαραίτητο τουλάχιστον τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- 1. υπάρχουν δεδομένα από γεωτρήσεις ώστε να είναι δυνατόν να καθοριστεί η θερμοκρασία εξόδου των ρευστών στην επιφάνεια (έξοδο των γεωτρήσεων) με απόκλιση μικρότερη του 20% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.*
- 2. μπορεί να προσδιοριστεί η έκταση και κατακόρυφη εξάπλωσή του πεδίου με απόκλιση μικρότερη του 30% και βαθμό αξιοπιστίας τουλάχιστον 70%.*