

Φωτογραφία του *Reykjavik* το 1932, όταν τα κτίρια θερμαίνονταν με συμβατικά καύσιμα.



Σήμερα, το *Reykjavik* είναι από η πιο καθαρή πόλη στον κόσμο, αφού το σύνολο των κτιρίων θερμαίνεται από τα γεωθερμικά νερά.





Γεωθερμικό πεδίο

Νοείται μια γεωθερμική περιοχή, η οποία με κριτήριο την *ποσότητα*, τη *θερμοκρασία* και το *βάθος των γεωθερμικών ρευστών* χαρακτηρίζεται εκμεταλλεύσιμη (κυρίως με οικονομικά κριτήρια).

Γεωθερμικό πεδίο σύμφωνα με το νόμο 4602/2019 άρθρο 2 (ορισμοί) είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος, μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό.

□ **Γεωθερμικό δυναμικό** αναφέρεται το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους 30°C.

□ **Περιοχές Γεωθερμικού Ενδιαφέροντος (ΠΓΘΕ)** : είναι ο ευρύτερος χώρος μέσα στον οποίο υπάρχουν ενδείξεις παρουσίας γεωθερμικού δυναμικού θερμοκρασίας έως 90°C. Γενικά χαρακτηρίζονται εκείνες όπου η αυξημένη θερμική ροή δημιουργεί θετικές γεωθερμικές ανωμαλίες.

□ **Γεωθερμικοί πόροι.** είναι η υπεδάφια συγκέντρωση θερμών ρευστών ή θερμότητας εν γένει, για την οποία υπάρχουν σημαντικές ενδείξεις ως προς την δυνατότητα εκμετάλλευσής του μορφές ενέργειας

Γεωθερμικά συστήματα

Τι είναι ένα «γεωθερμικό σύστημα» και τι συμβαίνει μέσα σε αυτό;

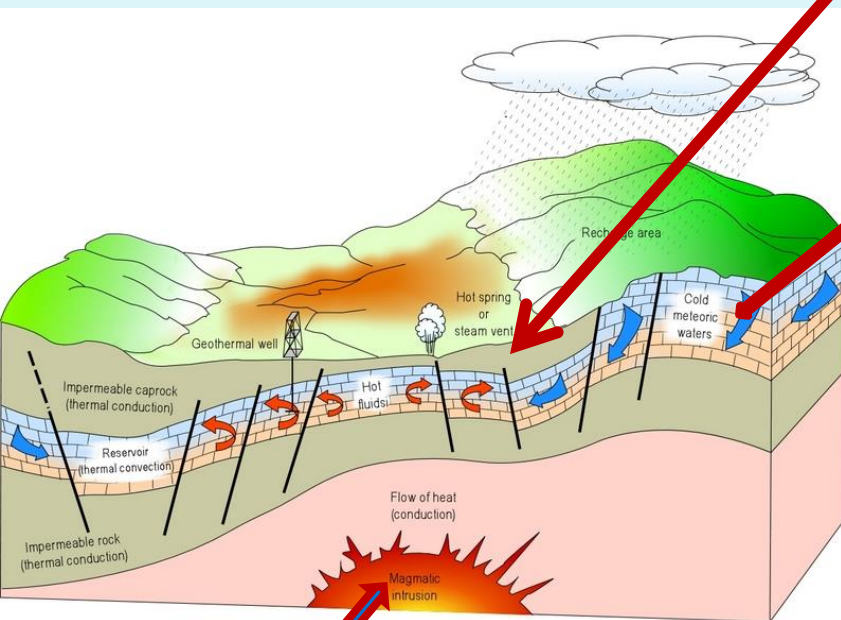
Χαρακτηρίζεται ένα «σύστημα», που βρίσκεται σε ένα περιορισμένο γεωλογικό χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης και αποτελεί μια εκμεταλλεύσιμη ενεργειακή πηγή, η οποία αποτελείται από «κινούμενο νερό» το οποίο μεταφέρει θερμότητα από μια «πηγή» σε μια «δεξαμενή» θερμότητας, που συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια.

Όταν αυτό το σύστημα εντοπίζεται (οριοθετείται) σε συγκεκριμένη περιοχή και στο οποίο η ποσότητα, η θερμοκρασία και το βάθος των γεωθερμικών ρευστών, χαρακτηρίζονται εκμεταλλεύσιμα (κυρίως με οικονομικά κριτήρια), αυτό το σύστημα προσδιορίζεται ως **γεωθερμικό πεδίο** (γεωγραφικός προσδιορισμός του γεωθερμικού συστήματος)

Δομή γεωθερμικού συστήματος - γεωθερμικού πεδίου

Μια συνηθισμένη δομή γεωθερμικού συστήματος - πεδίου αποτελείται από :

- μία πηγή θερμότητας,
- έναν ταμιευτήρα
- και τα γεωθερμικά ρευστά,



Χαρακτηριστικό της δομής είναι επίσης η σειρά των αδιαπέρατων ή ελάχιστα περατών πετρωμάτων που καλύπτουν επιφανειακά τα υδροφόρα

Ταμιευτήρας

που αποτελείται ουσιαστικά από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών, τα οποία απάγουν θερμότητα.

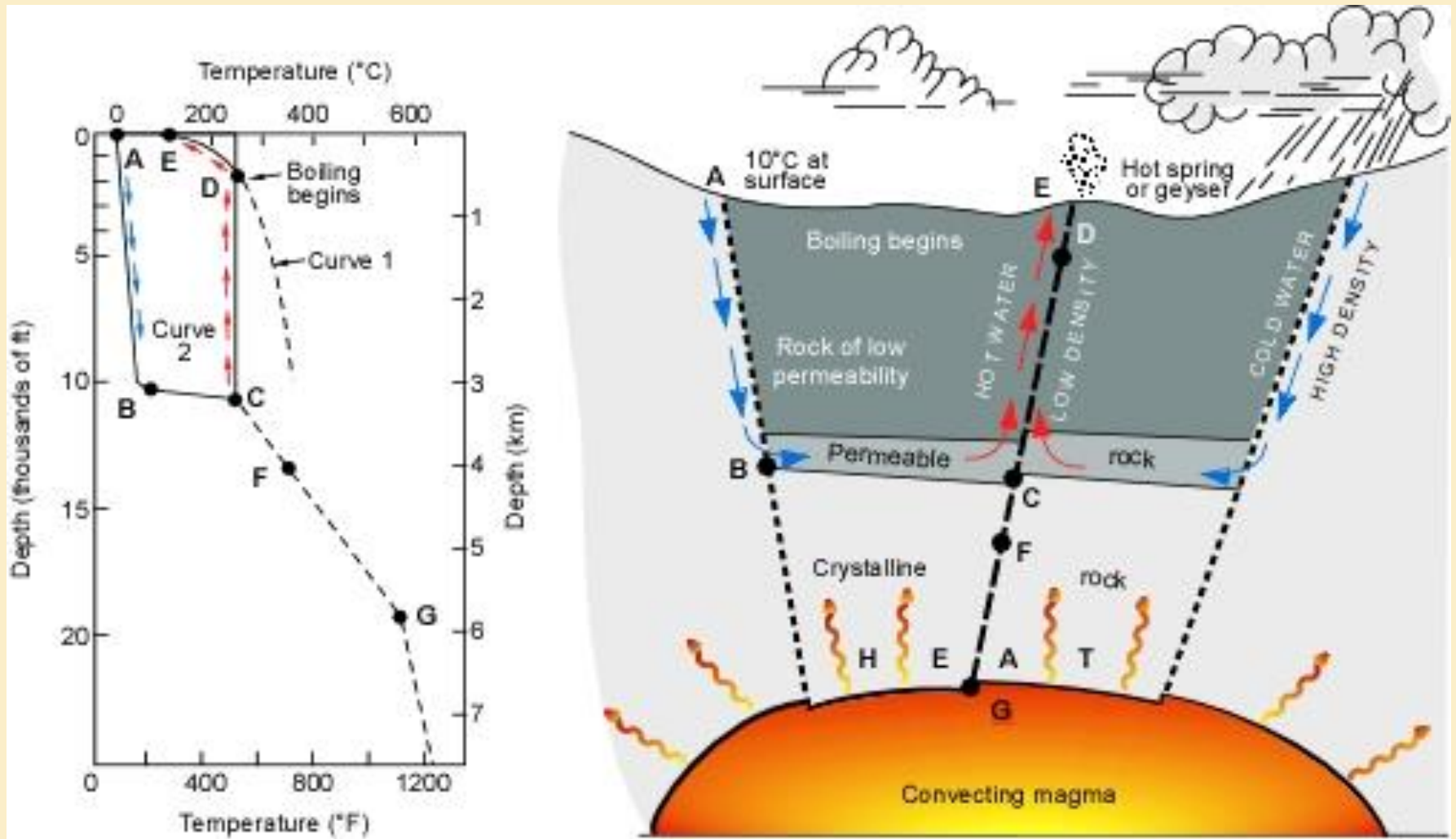
Ρευστά

τα οποία είναι οι φορείς της θερμότητας και είναι νερά.
✓ μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης (και σπάνια μαγματικής),
✓ σε υγρή ή αέρια φάση και συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων. Η κατάσταση των γεωθερμικών ρευστών εξαρτάται προφανώς από την πίεση και τη θερμοκρασία τους.

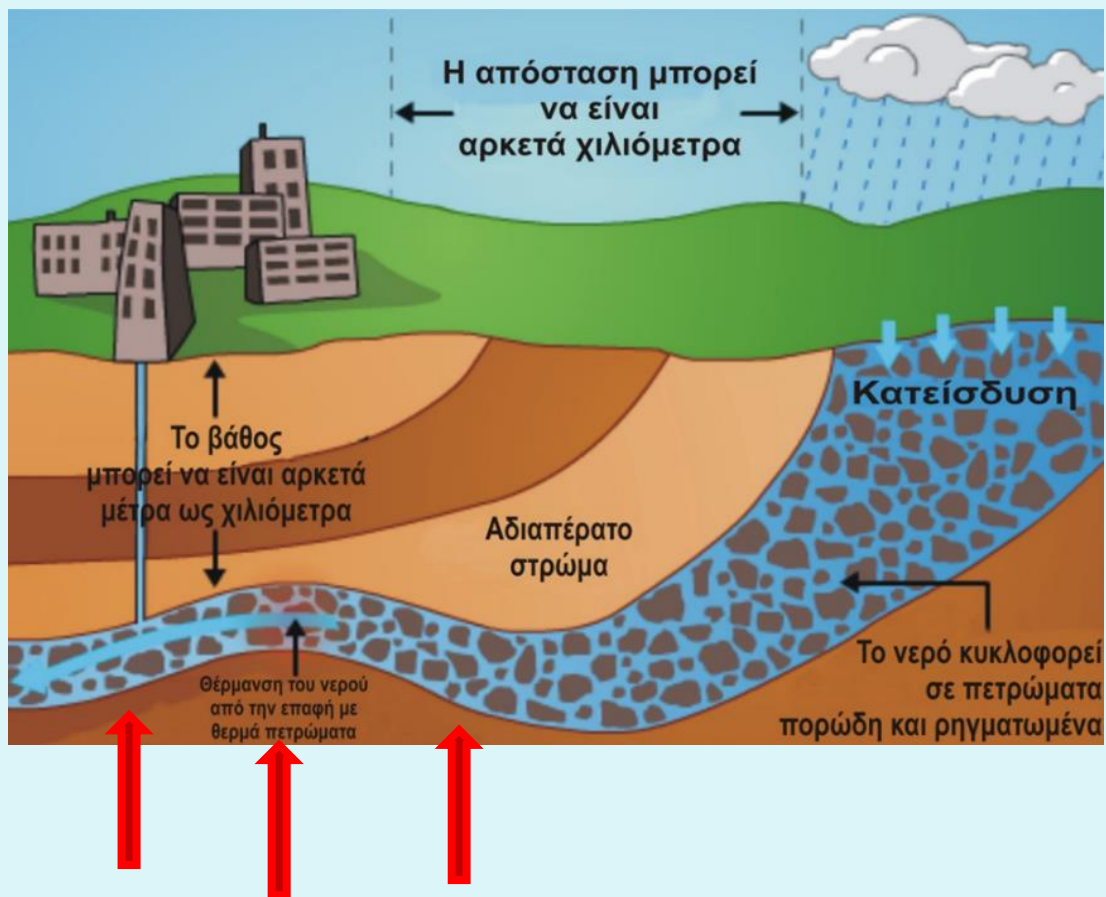
πηγή θερμότητας, που μπορεί να είναι είτε

- ✓ μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες 600- 1200°C), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη (3-10 km),
- ✓ είτε η κανονική θερμική ροή της γης, που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς όσο πηγαίνουμε στο βάθος.

Δομή γεωθερμικού συστήματος - πεδίου



Σχηματισμός γεωθερμικού πεδίου



Κριτήρια ταξινόμησης γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως

- το είδος των γεωθερμικών πόρων,
 - ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών,
 - ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά,
 - το είδος της εστίας θερμότητας,
 - αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στον ταμιευτήρα κ.ά.

Ταξινόμηση με βάση

την Κυκλοφορία ή όχι γεωθερμικού ρευστού

Μεταφορικά

Υδροθερμικά

Κυκλοφορικά

Μεταδοτικά

1. Υδροφόροι ορίζοντες χαμηλής θερμοκρασίας / ενθαλπίας εντός ιζημάτων υψηλού πορώδους / διαπερατότητας

2. Θερμά Ξηρά Πετρώματα με συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλής διαπερατότητας

την Ενθαλπία

Χαμηλής Ενθαλπίας

Μέσης Ενθαλπίας

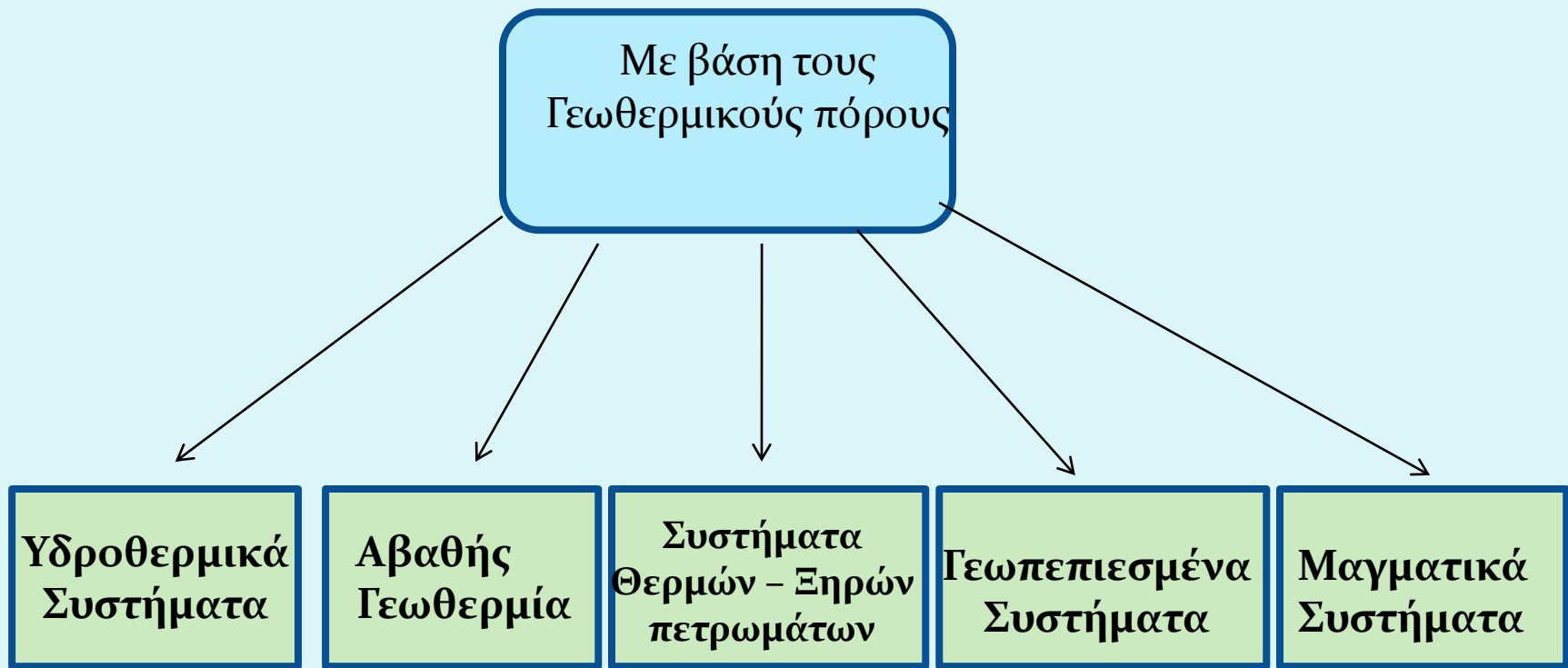
Υψηλής Ενθαλπίας

τη κατάσταση ισορροπίας στο ταμιευτήριο

Δυναμικά συστήματα

Στατικά συστήματα

τους Γεωθερμικούς Πόρους



Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων
σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων

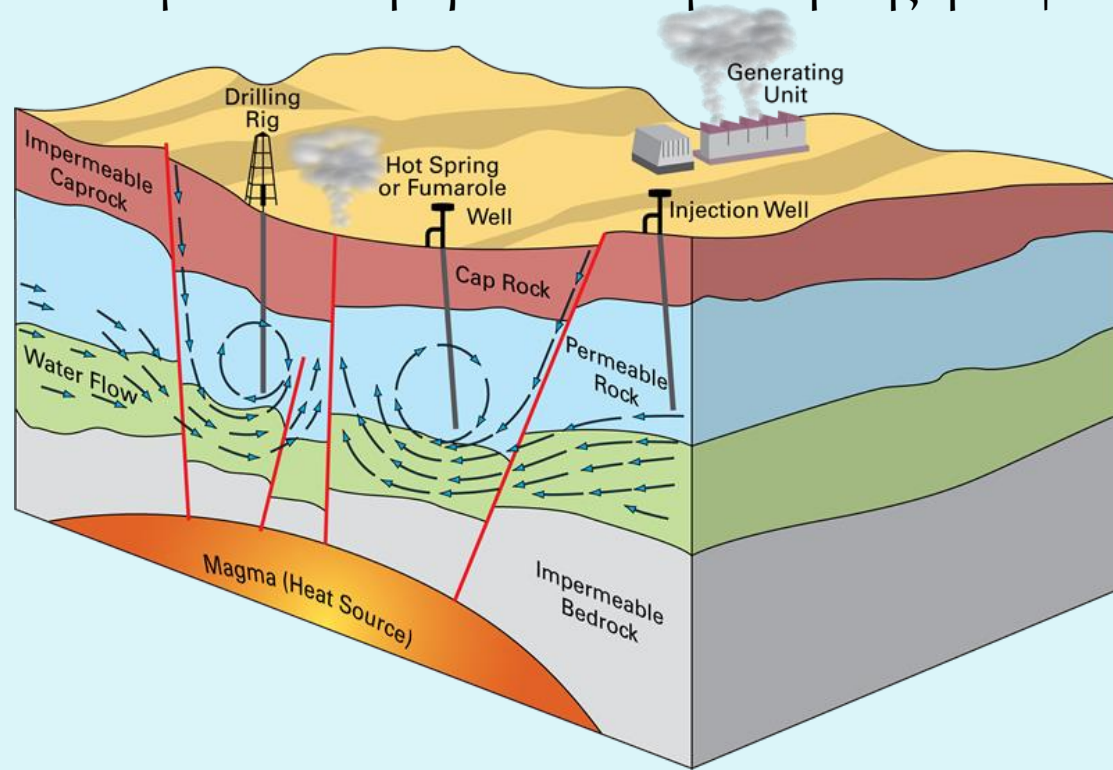
α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι – υδροθερμική ενέργεια, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες

Υδροθερμικά συστήματα ή πόροι

✓ Από τα **συστήματα νερού** είναι τα συνηθέστερα και, ανάλογα με τις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν, μπορούν να παραγάγουν θερμό νερό (σε θερμοκρασίες $<100^{\circ}\text{C}$) ή μίγμα νερού-ατμού (διφασικά συστήματα) σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

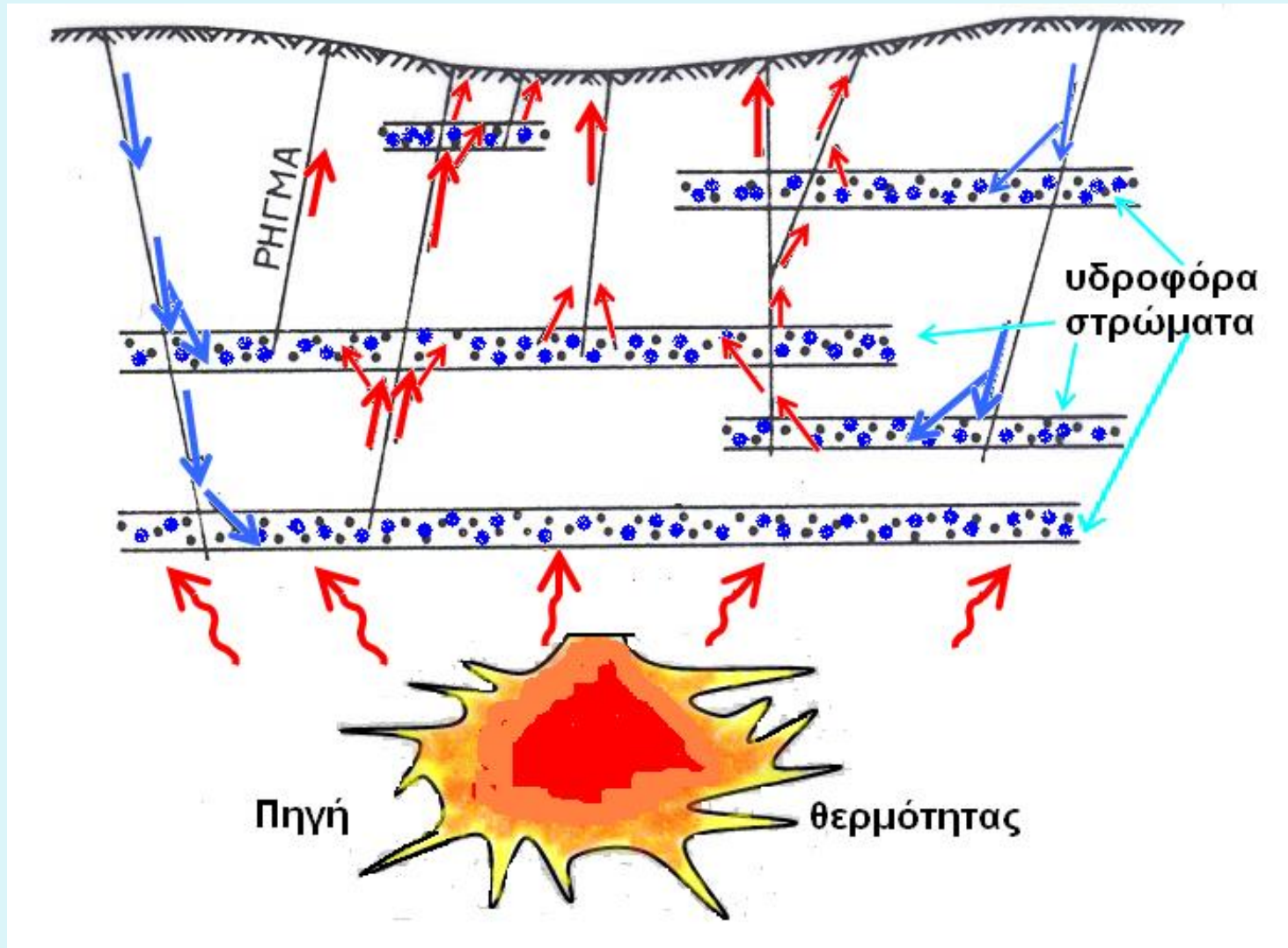
✓ Η θερμική εστία των συστημάτων αυτών είναι συνήθως λιωμένο ή πρόσφατα στερεοποιημένο πέτρωμα που βρίσκεται σε βάθος από 3 μέχρι 10 km.

✓ Η μεταφορά της θερμότητας επιτελείται με συναγωγή υπόγειων νερών. Το μεγαλύτερο μέρος του νερού και του ατμού που παράγονται είναι μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης.



Χαρακτηριστικά υδροθερμικών συστημάτων

✓ Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι (hydrothermal systems or resources), δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες,



Χαρακτηριστικά υδροθερμικών συστημάτων

- ✓ 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.
- ✓ Τα κυκλοφορούντο νερά συνήθως εμπλουτίζονται σε NaCl και σε άλλα στοιχεία, με σύγχρονη μείωση της συγκέντρωσης ορισμένων στοιχείων όπως του Mg.
- ✓ Ένα σύστημα θερμού νερού αποκτά οικονομικό ενδιαφέρον για άμεσες χρήσεις όταν ο ταμιευτήρας του
 - ✓ βρίσκεται το πολύ σε **βάθος 2 km**, εφόσον
 - ✓ η παροχή του νερού είναι ικανοποιητική (**μεγαλύτερη από 100 m³/h**) και εάν
 - ✓ η περιεκτικότητα σε άλατα είναι σχετικά χαμηλή (**μικρότερη από 50 g/L**).

✓ Περίπου το 90% των υδροθερμικών συστημάτων που αξιοποιούνται (σε σχέση με τη θερμότητα που λαμβάνεται) είναι συστήματα μίγματος νερού-ατμού. Τα νερά αυτά περιέχουν μεγάλες ποσότητες διαλυμένων αλάτων (από 1 μέχρι και 350 g/L), τα οποία προκαλούν προβλήματα επικαθίσεων και διάβρωσης στις εγκαταστάσεις και κάνουν **απαραίτητη την επανεισαγωγή των νερών στον ταμιευτήρα**

✓ Στα συστήματα ατμού, νερό και ατμός συνυπάρχουν στον ταμιευτήρα, αν και στην επιφάνεια εξέρχεται μόνο ξηρός ή υπέρθερμος ατμός, που περιέχει και μικρές ποσότητες μη συμπυκνώσιμων αερίων.

Σπουδαιότερα παγκόσμια Γεωθερμικά Συστήματα ατμού, και νερού ατμού με τη μέγιστη δυνατή θερμοκρασία ταμειυτήρα.

Γεωθερμικό πεδίο	Θερμοκρασία στη κεφαλή, °C (μέγιστη θερμοκρασία ταμειυτήρα, °C)	Μέγιστη ενθαλπία (kJ/kg)
<i>Συστήματα Ατμού</i>		
The Geysers (ΗΠΑ)	237 (310)	3000
Larderello (Ιταλία)	200 (420)	3100
Monte Amiata (Ιταλία)	170 (344)	2600
Matsukawa (Ιαπωνία)	220	
Kamojang (Ινδονησία)	175 (248)	2780
<i>Συστήματα Νερού-Ατμού</i>		
Wairakei (Νέα Ζηλανδία)	230 (290)	1175
Broadlands (Νέα Ζηλανδία)	255 (326)	1175
Imperial Valley (Η.Π.Α.)	160 (370)	1000
Cerro Prieto (Μεξικό)	300 (388)	2430
Los Azúfres (Μεξικό)	175 (300)	2700
Momotombo (Νικαράγουα)	210 (327)	2700
Tiwi (Φιλιπίνες)	273 (309)	2800
Hatchobaru (Ιαπωνία)	250 (308)	2250
Krafla (Ισλανδία)	205 (344)	2680
Μήλος	225 (320)	
Νίσυρος	240 (350)	

Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας



Larderello στην Ιταλία



Steamboat Geyser
στο Yellowstone National Park στις ΗΠΑ



Θερμοπίδακας στη φάση έκρηξης ατμού στο
Εθνικό Πάρκο Yellowstone των ΗΠΑ



Εργαστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής Ενέργειας
στο γεωθερμικό πεδίο the Geysers» της
Καλιφόρνιας (ΗΠΑ),

Ταξιμόμηση Υδροθερμικών συστημάτων

με βάση την ενθαλπία ή θερμοκρασία

Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται σε χαμηλής, μέσης και υψηλής ενθαλπίας (ή θερμοκρασίας), σύμφωνα με το ενεργειακό τους περιεχόμενο και τις πιθανές μορφές αξιοποίησής τους.

➤ Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας

Θερμοκρασίες πάνω $>150^{\circ}\text{C}$,

Σχηματίζονται σε "αποθήκες" σε βάθος μέχρι 3 km,

Τα ρευστά τους, αποτελούνται, τις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού

➤ Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας

θερμοκρασίες από 30°C - 90°C

Εντοπίζονται σε ιζηματογενείς λεκάνες ή τεκτονικά βυθίσματα

Αποθηκεύουν σε υδροφόρα σημαντικές ποσότητες θερμών νερών

➤ Γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας

θερμοκρασίες μεταξύ 90°C και 150°C ,

Ανάλογα με τη θερμοκρασία έχουν κοινά χαρακτηριστικά, είτε με την πρώτη είτε με τη δεύτερη κατηγορία

Όπως ακριβώς και για την ορολογία, μια κοινώς αποδεκτή μέθοδος ταξινόμησης θα βοηθούσε στην αποφυγή συγχύσεων και παρανοήσεων.

Όμως, μέχρι να γίνει αυτό, θα πρέπει κάθε φορά και κατά περίπτωση να δηλώνουμε τις τιμές των θερμοκρασιών ή το εύρος τους, διότι όροι όπως «χαμηλή», «ενδιάμεση» ή «υψηλή» δεν έχουν πάντα την ίδια ερμηνεία και πολλές φορές είναι παραπλανητικοί.

Συνήθως η διάκριση δηλώνεται από την εκάστοτε νομοθεσία

Στο άρθρο 2 του προηγούμενου νόμου **3175/2003** αναφερόταν ότι

ΣΤ) Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

αα. **χαμηλής θερμοκρασίας** όταν η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 25°C - 90°C

ββ. **υψηλής θερμοκρασίας** όταν η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90°C

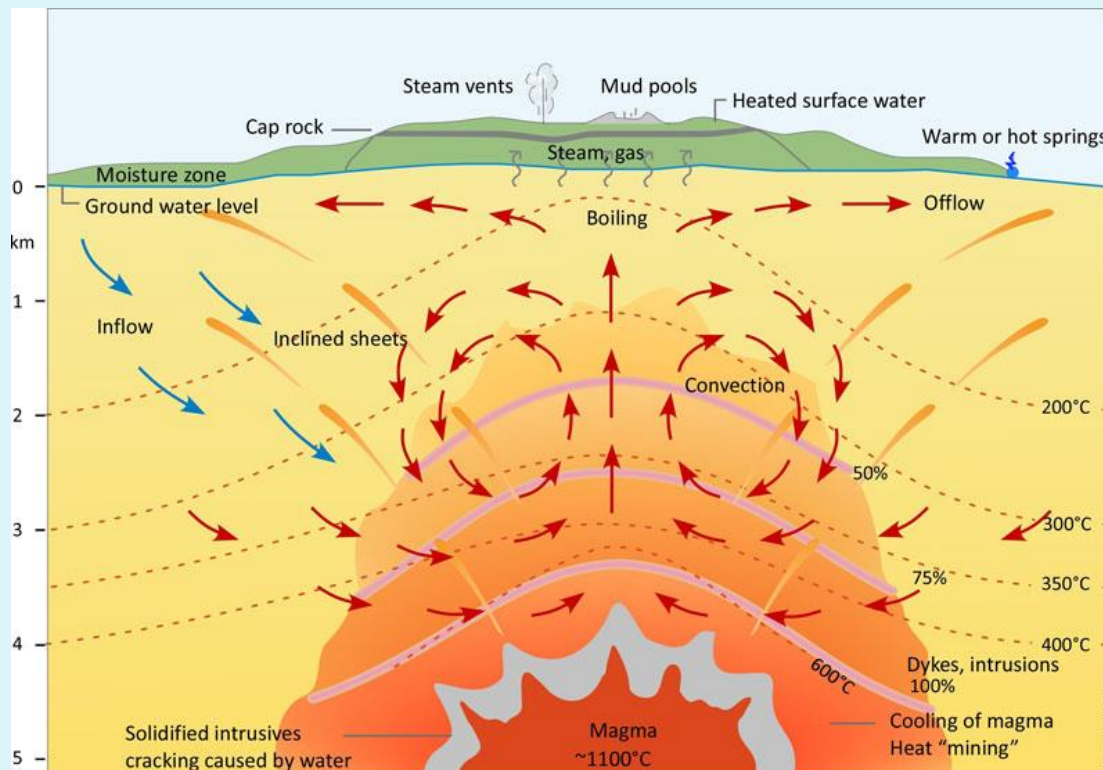
Σήμερα με βάση το νέο θεσμικό πλαίσιο που ισχύει **4602/2019**, (άρθρο 2, παράγραφος 2) τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται στις εξής κατηγορίες

-Στα τοπικού ενδιαφέροντος, όπου η θερμοκρασία του προϊόντος κυμαίνεται από 30°C έως και 90°C και

-Στα εθνικού ενδιαφέροντος, όπου η θερμοκρασία του προϊόντος υπερβαίνει τους 90°C

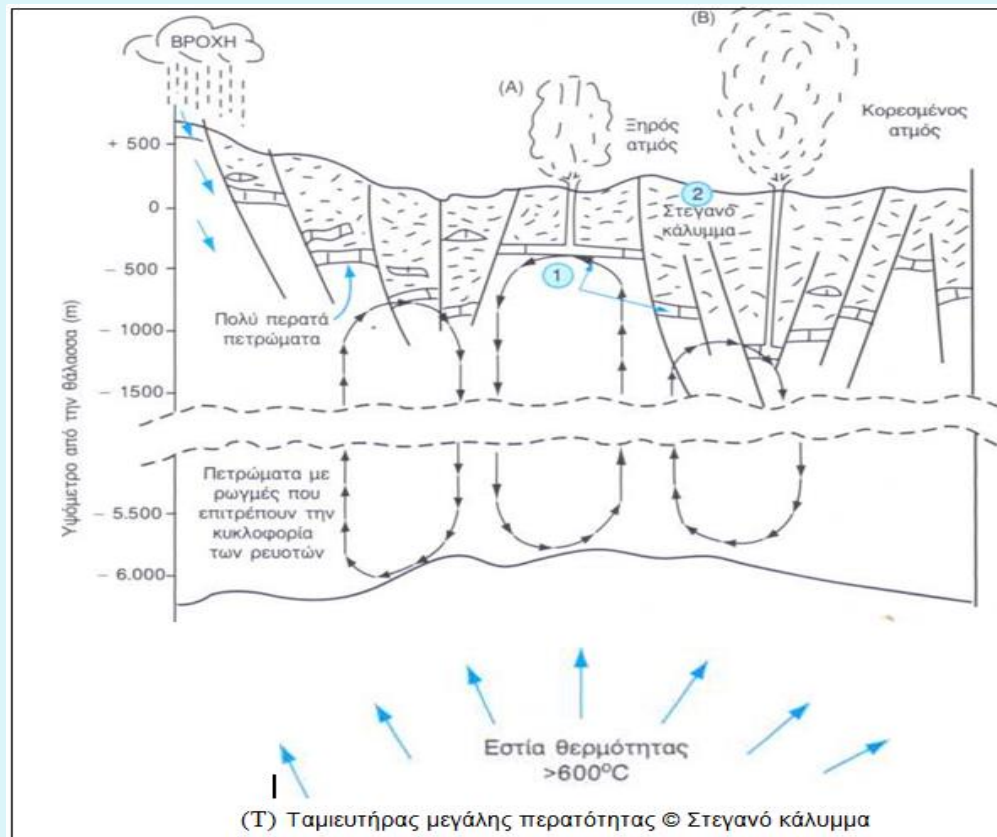
Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας

- ❑ Μία θερμή εστία που βρίσκεται σε μικρό σχετικά βάθος μέσα στο φλοιό της γης κι έχει πολύ υψηλή θερμοκρασία, αποτελεί τη βάση όλων των μοντέλων (προτύπων) των γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας.
- ✓ Συνήθως, μια τέτοια εστία αποτελείται από μαγματικές μάζες ποικίλων διαστάσεων, που διεισδυσαν στο φλοιό από μεγαλύτερα βάθη και, είτε παραμένουν μέσα σε αυτόν, είτε μερικές φορές βγαίνουν στην επιφάνεια.
- ✓ Όταν στις υπερκείμενες των μαγματικών μαζών περιοχές δεν κυκλοφορούν ρευστά, η μεταφορά θερμότητας στο φλοιό πραγματοποιείται μόνο με αγωγή.



Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας

- Κοντά στην επιφάνεια της γης, η κάπως μεγαλύτερη περατότητα (permeability) των πετρωμάτων επιτρέπει την κατείδυση των ρευστών, τα οποία θερμαίνονται σε ορισμένο βάθος από την επαφή τους με τα θερμά πετρώματα.
- Με αυτόν τον τρόπο γίνονται ελαφρότερα και ανέρχονται προς την επιφάνεια, ενώ ψυχρότερα ρευστά παίρνουν τη θέση τους.
- Σχηματίζεται έτσι ένα σύστημα κυκλοφορίας (με ανανεωσιμότητα), που έχει ως πρακτικό αποτέλεσμα τη συνεχή μεταφορά θερμότητας από το βάθος στην επιφάνεια.

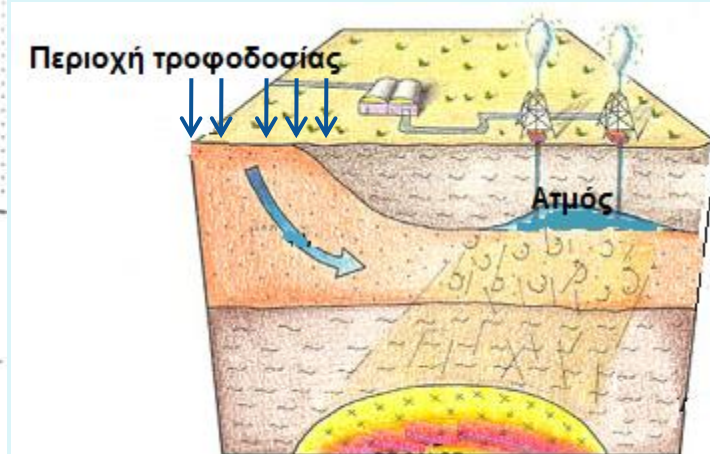
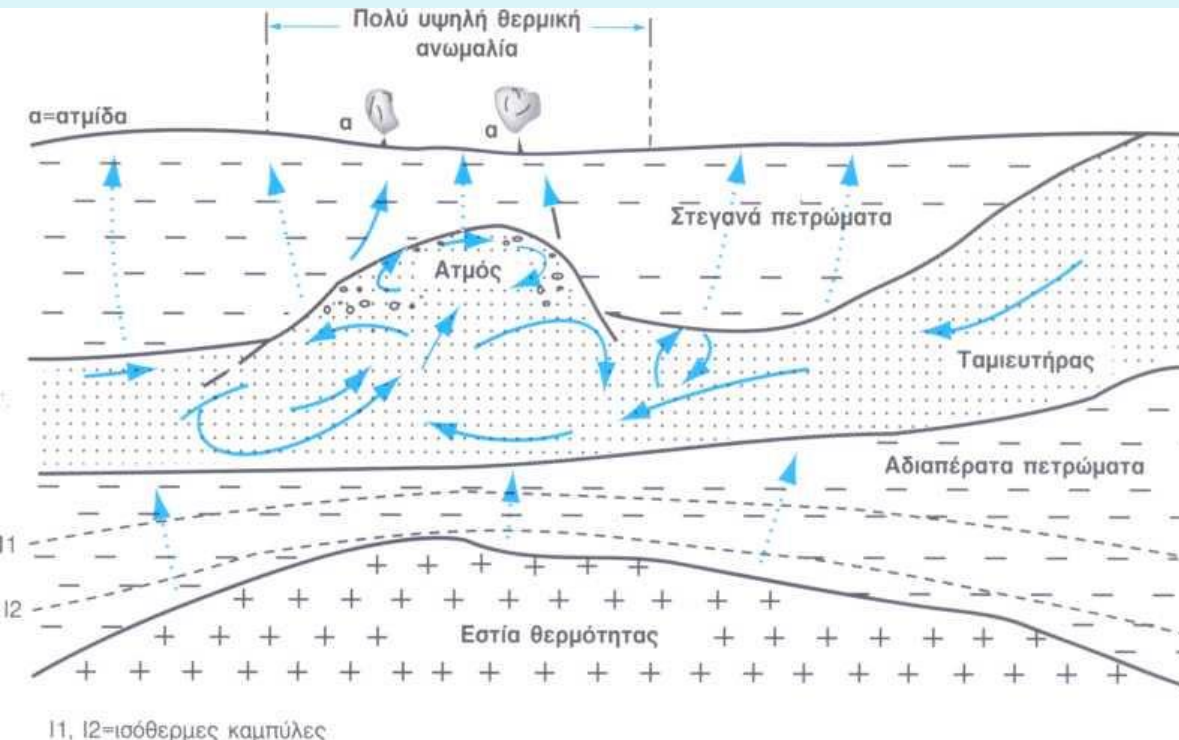


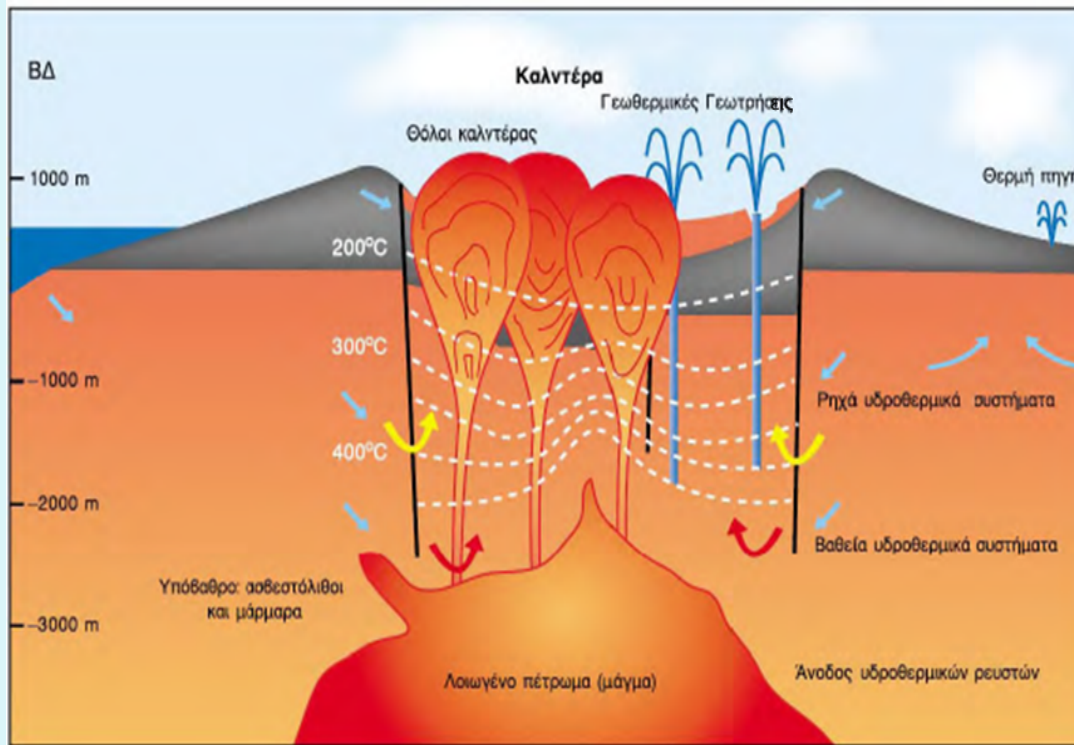
Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων υψηλής ενθαλπίας

➤ Για πετρώματα με την ίδια περατότητα, η σπουδαιότητα ενός μεταφορικού συστήματος είναι συνάρτηση της διαφοράς των θερμοκρασιών και της απόστασης ανάμεσα στην εστία θερμότητας και στην επιφάνεια της γης.

➤ Έτσι, όσο θερμότερη και όσο πιο κοντά στην επιφάνεια είναι η εστία, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενθαλπία των ρευστών που κυκλοφορούν ανάμεσα στην επιφάνεια και την εστία και γίνεται περισσότερο πιθανή η δημιουργία συστημάτων ατμού .

Τα νησιά Μήλος, Νίσυρος και Σαντορίνη ανήκουν με βεβαιότητα σήμερα στη ζώνη υψηλής θερμικής ροής.





Γεωθερμικό Σύστημα Νισύρου (Πηγή: Μ. Φυτίκας, 2014)

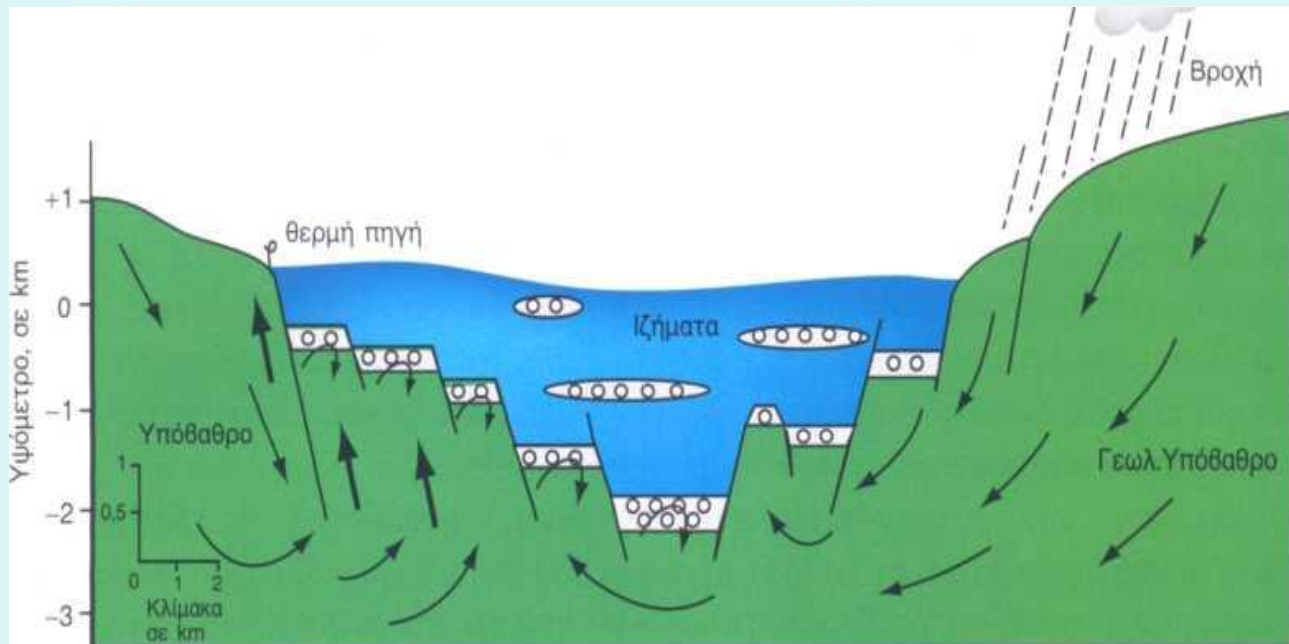
Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων μέσης - χαμηλής ενθαλπίας

➤ Όταν λείπει η εστία θερμότητας με τη μορφή λιωμένου πετρώματος, τότε η θερμική ανωμαλία είναι πολύ μικρότερη ή και ανύπαρκτη.

➤ Έτσι, σε περιοχές π.χ. ρηγματώση (εφελκυστικού τύπου) – δημιουργία λεκανών, έχουμε μια μικρή θερμική ανωμαλία εξ αιτίας των «ανοικτών» ρηγμάτων, που επιτρέπουν τη σύντομη άνοδο βαθύτερης προέλευσης θερμών ρευστών και τη μεταφορά προς τα πάνω σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας.

➤ Δημιουργούνται έτσι ευνοϊκές σχετικά συνθήκες και, εφόσον συντρέχουν και οι υπόλοιποι παράγοντες (κατάλληλος ταμιευτήρας, στεγανό κάλυμμα κτλ.) έχουμε γεωθερμικά πεδία μέσης και συνήθως χαμηλής ενθαλπίας.

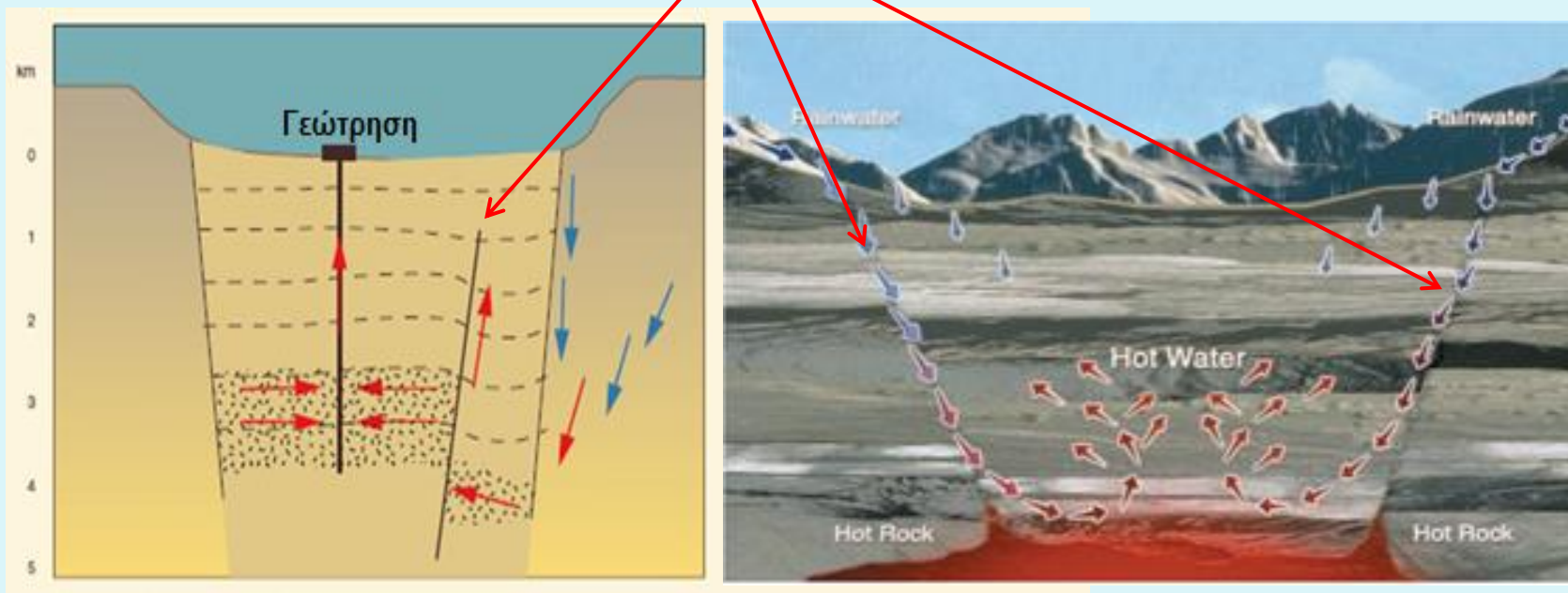
□ Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η περιοχή της λεκάνης του Στρυμόνα Σερρών.



Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων μέσης - χαμηλής ενθαλπίας

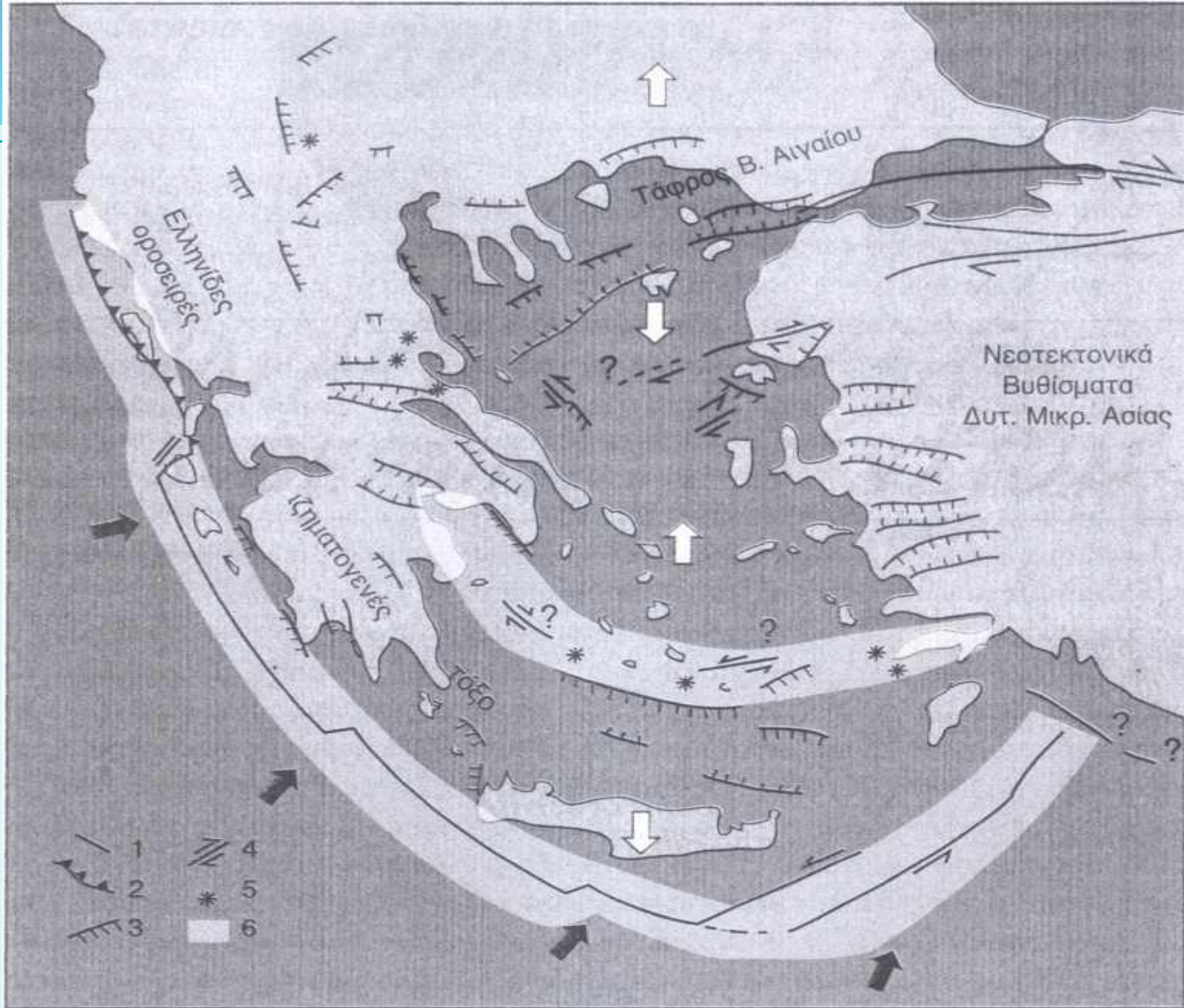
- Η εφελκυστική τεκτονική προκαλεί τη δημιουργία μεγάλων και βαθιών ρηγμάτων, τα οποία είναι συνήθως φορείς ανερχόμενων θερμών ρευστών.
- Τα ρήγματα αυτά μεταφέρουν στην επιφάνεια ή περίπου κοντά σε αυτήν, μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας και δημιουργούν αξιόλογες γεωθερμικές ανωμαλίες.
- Τα βαθιά αυτά ρήγματα προκαλούν και καταβυθίσεις, δημιουργώντας συνήθως τεκτονικά βυθίσματα που περιέχουν περατά ιζήματα και τα οποία ευνοούν τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων, όταν βέβαια δε βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Ρήγματα



Μοντέλα γεωθερμικών πεδίων μέσης - χαμηλής ενθαλπίας

- ❑ Οι θερμικές ανωμαλίες φαίνεται ότι είναι περισσότερο έντονες κατά μήκος μεγάλων ρηγμάτων, όπως συμβαίνει π.χ. με το σύστημα που αποτελεί την προέκταση του τεράστιου ρήγματος της Ανατολίας. Το ρήγμα αυτό διασχίζει όλη τη βόρεια Τουρκία, εισέρχεται στο Αιγαίο στον κόλπο της Ταρσού και, περνώντας μεταξύ Σαμοθράκης και Λήμνου, καταλήγει στην κοιλάδα του Σπερχειού. Είναι φυσικό να έχει και μερικές διακλαδώσεις ή παράλληλες ρηξιγενείς ζώνες, με το ίδιο θετικό για τη γεωθερμία αποτέλεσμα.
- ❑ Οι περιοχές των τριτογενών και τεταρτογενών τεκτονικών βυθισμάτων, με έντονη και συνήθως ενεργή τεκτονική εφελκυστικού τύπου, έχουν ιδιαίτερο γεωθερμικό ενδιαφέρον.
- ❑ Η συνήθης γεωθερμική ανωμαλία που παρατηρείται σε αυτές τις περιοχές, σε συνδυασμό με την ύπαρξη καλών υδροφόρων οριζόντων (κυρίως στη βάση των νεότερων ιζημάτων και το επάνω τμήμα του μεταμορφωμένου μεσοζωικής ή παλιότερης ηλικίας υπόβαθρου), όπως επίσης και καλών στεγανών σχηματισμών πάνω από αυτούς, έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία γεωθερμικών πεδίων χαμηλής και μερικές φορές μέσης ενθαλπίας, με πολύ καλούς οικονομικούς όρους.
- ❑ Τέτοια βυθίσματα στη χώρα μας, με εντοπισμένα γεωθερμικά πεδία, υπάρχουν ήδη στη Θράκη, Ανατολική και Κεντρική Μακεδονία, Θεσσαλία, αλλά και σε νησιωτικές περιοχές, όπως στη Λέσβο, Χίο, Σαμοθράκη κ.ά.



Μεγάλα ρήγματα και βυθίσματα στον Ελληνικό χώρο

Άλλες γεωλογικές δομές που φιλοξενούν γεωθερμικά πεδία μέσης – χαμηλής ενθαλπίας

1. Περιοχές με όξινο πλουτώνιο μαγματισμό

- ✓ Οι περιοχές με επιφανειακό ή υπόγειο όξινο πλουτώνιο μαγματισμό, οποιοσδήποτε ηλικίας αλλά κυρίως τριτογενούς-τεταρτογενούς, παρουσιάζουν επίσης μία σημαντική θερμική ανωμαλία, εξ αιτίας της αυξημένης παρουσίας ραδιενεργών ορυκτών στη σύσταση των πετρωμάτων.
- ✓ Όταν πάνω από τα πλουτώνια πετρώματα υπάρχουν και οι υπόλοιπες ευνοϊκές συνθήκες (σχηματισμός με καλή υδροφορία και στεγανό κάλυμμα πάνω από αυτόν), δημιουργούνται ενδιαφέροντα γεωθερμικά πεδία χαμηλής και μέσης πιθανόν ενθαλπίας.
- ✓ Στην περίπτωση που δεν υπάρχουν οι παραπάνω συνθήκες, τα όξινα πλουτώνια μπορεί μελλοντικά να αποτελέσουν στόχους γεωθερμικών γεωτρήσεων του τύπου θερμών ξηρών πετρωμάτων .
- Τέτοιες περιοχές υπάρχουν αρκετές στην ανατολική και βόρεια Ελλάδα και στην αιγαιακή νησιωτική χώρα, δημιουργώντας πολύ ενδιαφέρουσες γεωθερμικές συνθήκες. Μερικά γεωθερμικά πεδία στη βόρεια Ελλάδα, όπως π.χ. τα πεδία των Χρυσοχώραφων-Ηράκλειας και Αγγίστρου στο ν. Σερρών και του **Νέου Ερασμίου-Μαγγάνων στο ν. Ξάνθης**, έχουν γεωθερμική βαθμίδα διπλάσια ή και τριπλάσια της μέσης γήινης.
- ✓ Είναι πιθανόν να συνδυάζονται δύο ευνοϊκά χαρακτηριστικά αυξημένης θερμικής ροής: τα χαρακτηριστικά των οπισθότοξων περιοχών με εφελκυσμό και αυτά των περιοχών τριτογενούς υπόγειου όξινου πλουτώνιου μαγματισμού, παρόμοια με τους επιφανειακούς γρανίτες Βροντούς Σερρών, του γρανίτη Ξάνθης κτλ.
- ✓ Η δημιουργία βέβαια των παραπάνω γεωθερμικών πεδίων οφείλεται και στην ύπαρξη κατάλληλων γεωλογικών-τεκτονικών δομών.

ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ Ν.ΕΡΑΣΜΙΟΥ ΞΑΝΘΗΣ

WSW

ENE

M-19

M-5

M-1

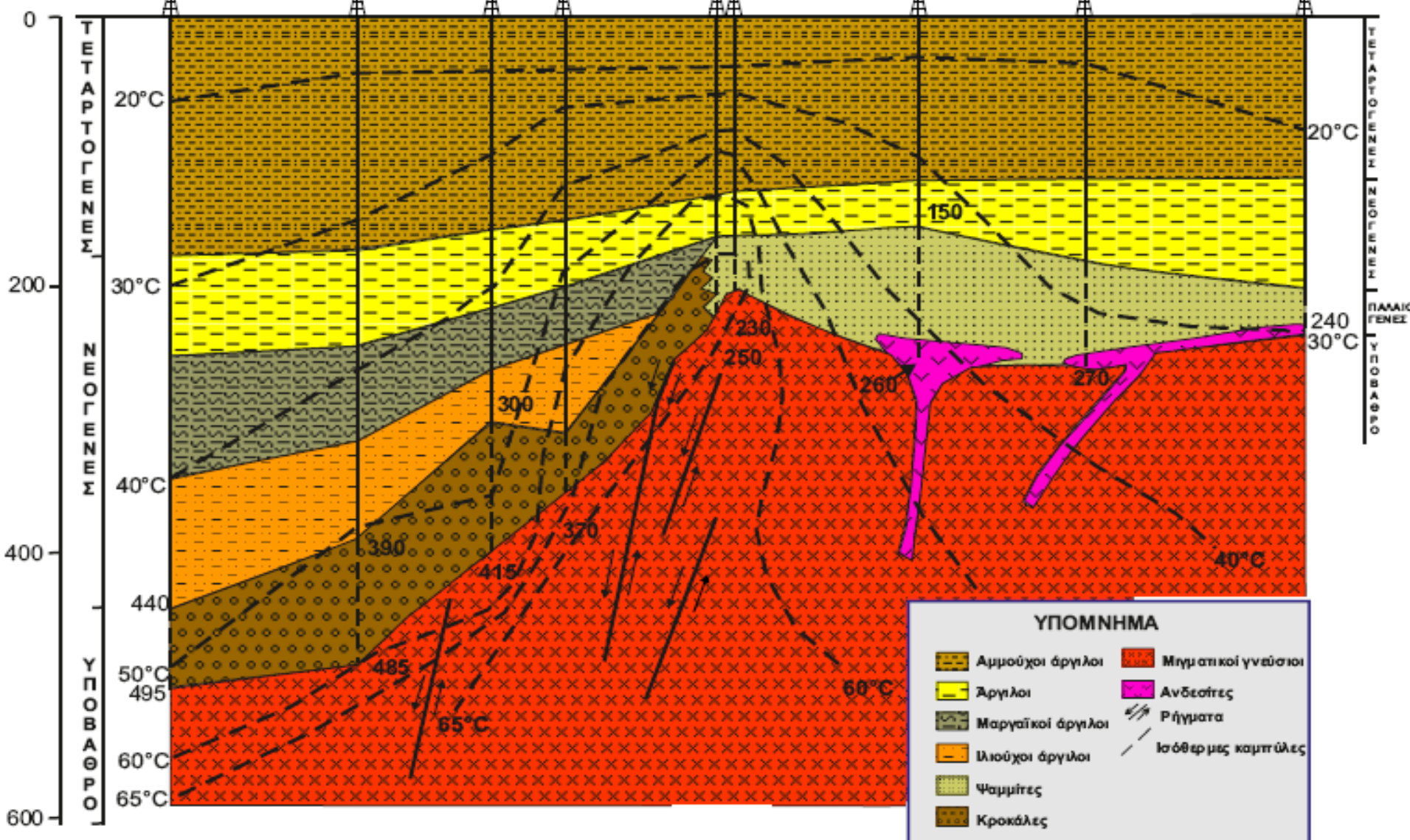
M-13

M-6 M-9

M-4

M-3

M-12



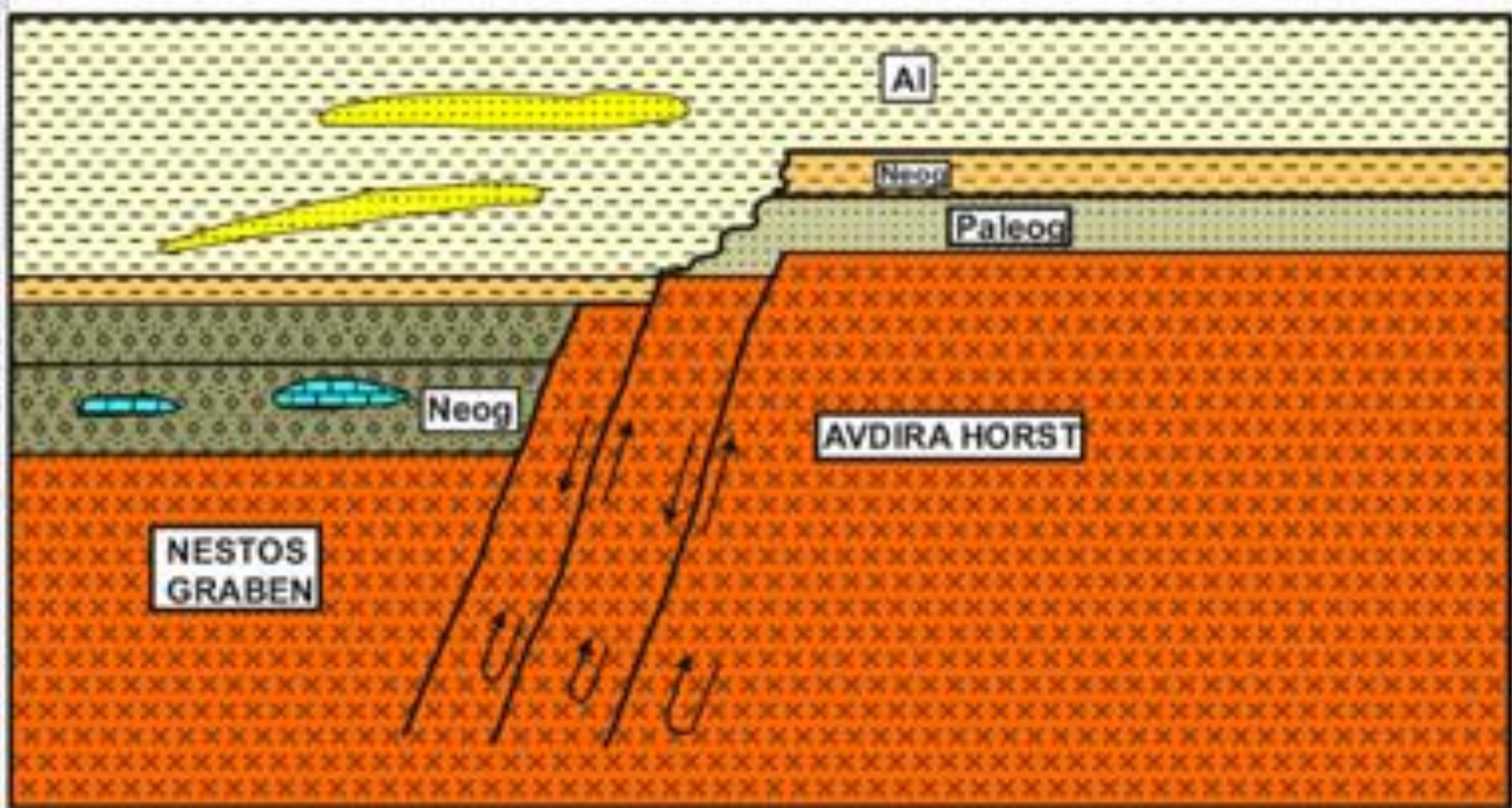
2. Περιοχές με ευνοϊκές καλυμμένες τεκτονικές δομές

□ Στις ζώνες με έντονη τεκτονική ρηγμάτων, όπως συμβαίνει σε πολλές ελληνικές περιοχές, είναι δυνατόν να βρεθούν ευνοϊκές, σχετικά «ανυψωμένες» και ευνοϊκές δομές παλαιότερων γεωλογικά σχηματισμών, οι οποίες σήμερα καλύπτονται από νεώτερα ιζήματα, τα οποία περιέχουν συνήθως και στεγανά στρώματα σημαντικού πάχους, που αποτελούν έτσι πολύ καλό κάλυμμα των γεωθερμικών ρευστών.

□ Σε σχηματισμούς καλής περατότητας, (καρστικοποιημένοι και διερρηγμένοι ασβεστόλιθοι, πορώδεις ψαμμίτες κ.ά.), σχηματίζονται συνήθως ρεύματα μεταφοράς θερμότητας συναγωγής, που εξισώνουν ουσιαστικά τις θερμοκρασίες μέσα σε αυτούς. Έτσι, τα υψηλότερα σημεία των σχηματισμών αυτών αποτελούν ευνοϊκές περιοχές σχηματισμού πολύ καλών γεωθερμικών πεδίων, αφού τα ρευστά εκεί έχουν σχετικά μεγάλες θερμοκρασίες σε μικρά βάθη.

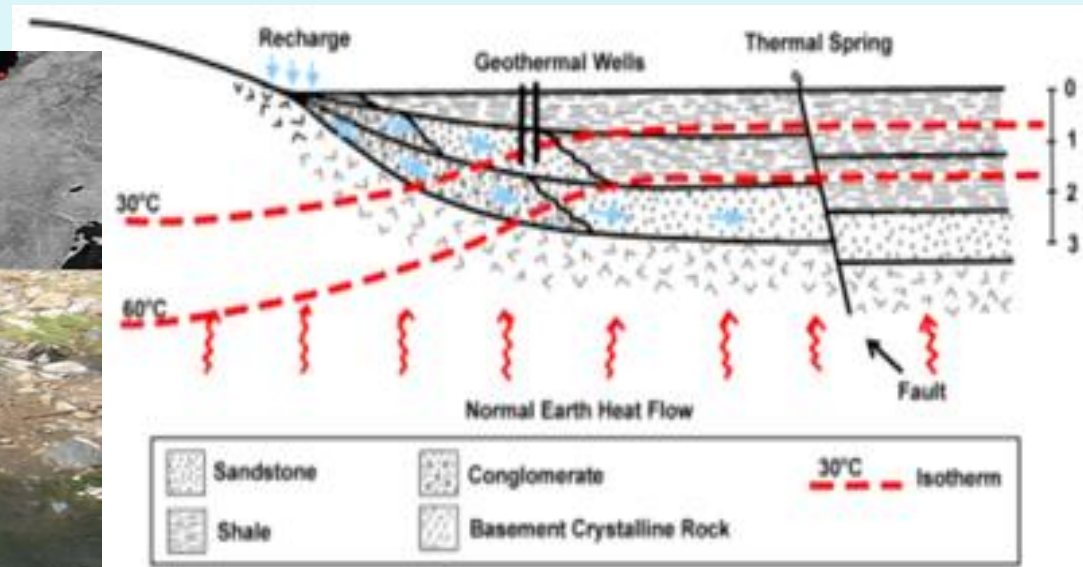
□ Είναι βεβαίως δύσκολο να προσδιοριστούν από την επιφάνεια τέτοιες δομές και ευνοϊκές συνθήκες χωρίς τη συνδρομή βαθιών γεωτρήσεων. Στον εντοπισμό τους επίσης μπορεί να συμβάλουν αποφασιστικά κατάλληλες γεωφυσικές έρευνες, μετρήσεις θερμικής ροής ή θερμοκρασιών κτλ. Στον ελληνικό χώρο έχουν εντοπισθεί αρκετές τέτοιες περιοχές.

□ Η πιο χαρακτηριστική είναι η περιοχή στη λεκάνη του Δέλτα Νέστου, όπου έχει προσδιοριστεί το πολύ ενδιαφέρον γεωθερμικό πεδίο του Ερατεινού-Χρυσούπολης Καβάλας.



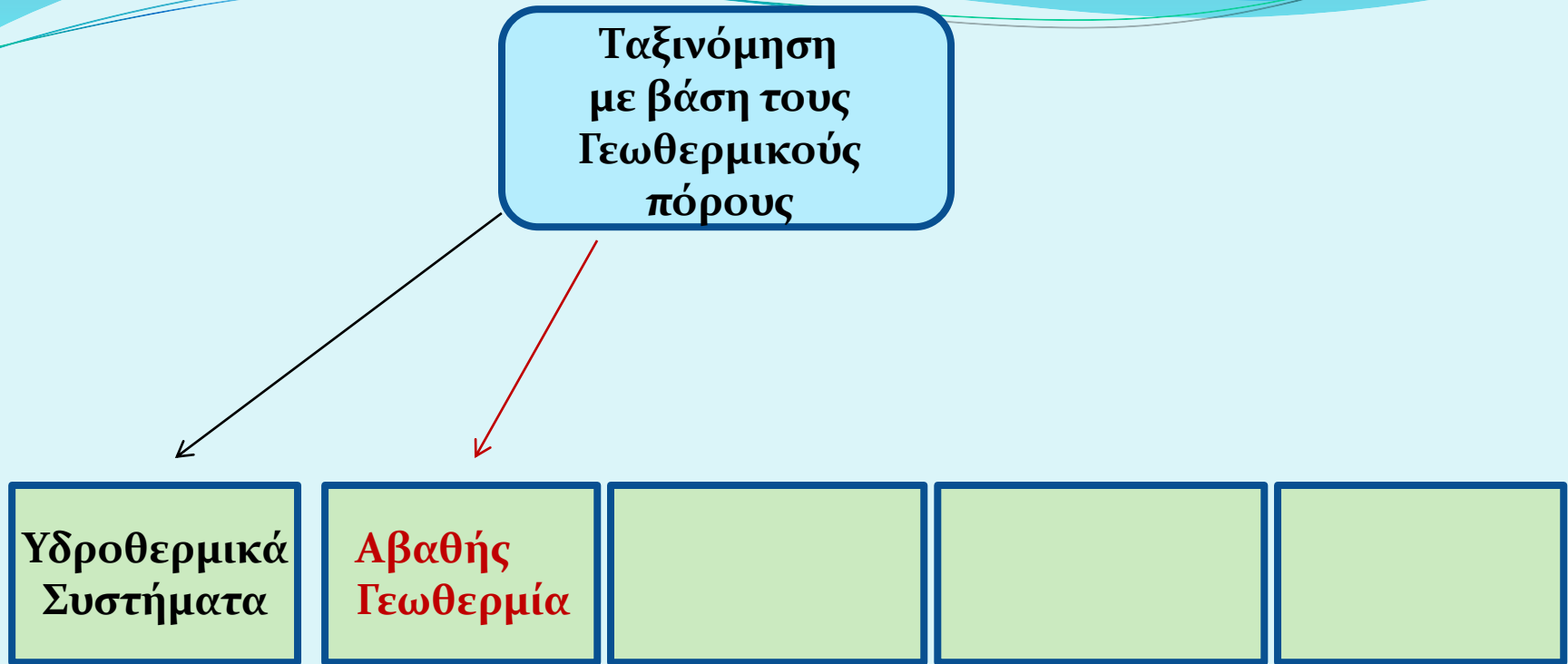
3. Περιοχές μεγάλων ρηγμάτων ή ευνοϊκών σημείων

- ❑ Τα μεγάλα και βαθιά κανονικά ρήγματα που αφορούν σε μάλλον άκαμπτους (όχι πλαστικούς) σχηματισμούς, τέμνουν πολλές φορές βαθείς και θερμούς υδροφόρους. Τα ρευστά εκεί, εξαιτίας κυρίως της θερμοκρασίας τους που τα κάνει ελαφρύτερα, τείνουν να ανέβουν προς την επιφάνεια δια μέσου των μεγάλων κατακόρυφων ρηγμάτων.
- ❑ Εάν η τεκτονική αλλά και η όλη γεωμετρία του κάθε ρήγματος και των δορυφόρων του αφήνουν ανοικτή δίοδο, γίνεται δυνατή η άνοδος των γεωθερμικών ρευστών και ο σχηματισμός θερμών πηγών.
- ❑ Τις περισσότερες όμως φορές, τα ρευστά δεν κατορθώνουν να φθάσουν μέχρι την επιφάνεια, εγκλωβίζονται κοντά σε αυτήν και σχηματίζουν γεωθερμικά πεδία στην περιοχή των ρηγμάτων ή πολύ κοντά σε αυτήν.
- ❑ Υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία αυτού του είδους, με πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα τα πεδία που συνδέονται με το ενεργό ρήγμα των λιμνών Λαγκαδά και Βόλβης, το πεδίο των Καμένων Βούρλων-Θερμοπυλών κ.ά.
- ❑ Τα «σημεία», στα οποία υπάρχουν διασταυρώσεις ρηγμάτων ή άλλες ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, επιτρέπουν επίσης την άνοδο σημαντικών ποσοτήτων θερμών ρευστών και μπορεί να δημιουργήσουν σε περιορισμένη έκταση αξιόλογες ποσότητες γεωθερμικής ενέργειας σε πολύ μικρά βάθη ή και την επιφάνεια, όπως είναι για παράδειγμα
 - η περίπτωση της Αιδηψού Ευβοίας, όπου υπάρχουν πολλοί αβαθείς θερμοί υδροφόροι και πηγές με σημαντική παροχή και θερμοκρασία μέχρι 78°C.



Στα ρήγματα τα ρευστά εκεί, εξαιτίας κυρίως της θερμοκρασίας τους, που τα κάνει ελαφρύτερα, τείνουν να ανέβουν προς την επιφάνεια δια μέσου των μεγάλων κατακόρυφων ρηγμάτων.

Ταξινόμηση γεωθερμικής ενέργειας- γεωθερμικών συστημάτων



α) Τα υδροθερμικά συστήματα ή πόροι – υδροθερμική ενέργεια, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά, τα οποία βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες

β) αβαθής γεωθερμία, Οι περιοχές με χαμηλές τιμές θερμικής ροής

Ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης

ΑΒΑΘΗΣ Ή ΚΑΝΟΝΙΚΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Οι περιοχές με χαμηλές τιμές θερμικής ροής

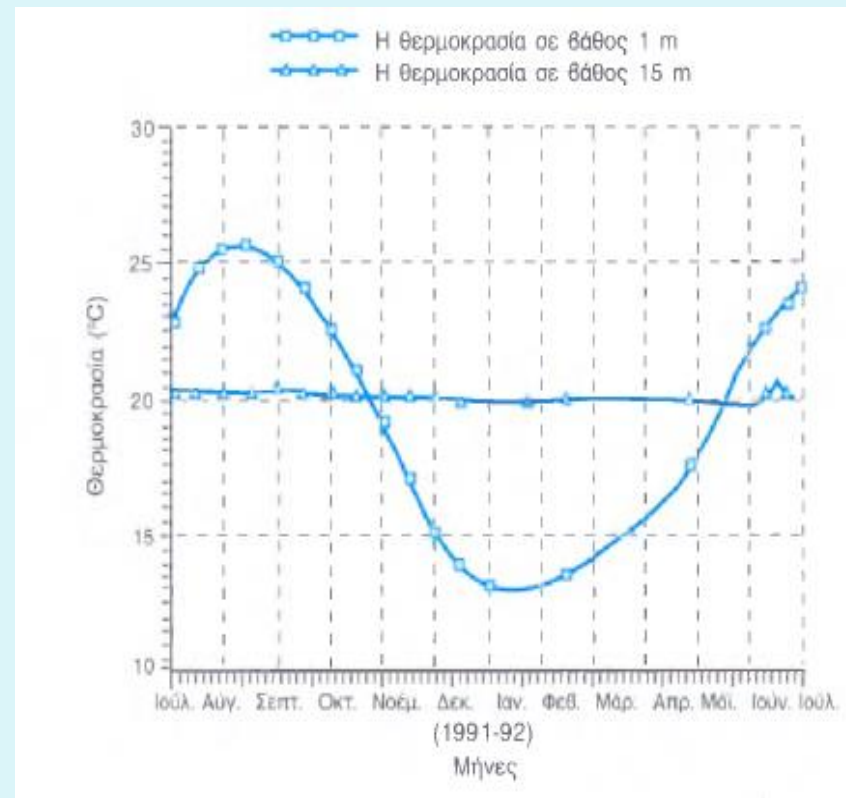
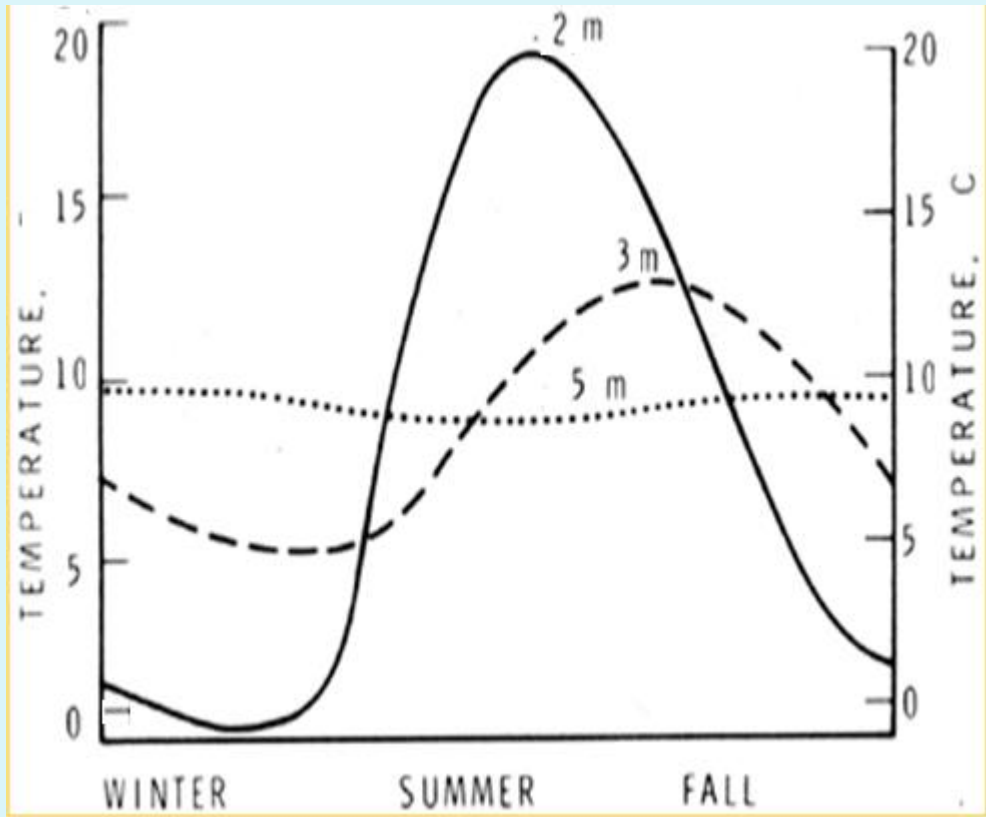
Αβαθής ή Κανονική Γεωθερμία (Γεωθερμική Ενέργεια), ορίζεται ως η θερμότητα των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, ή διαφορετικά «τα ρηχά γεωθερμικά ρευστά ή η θερμική ενέργεια των πετρωμάτων που βρίσκονται σε πολύ μικρά βάθη.

Στο άρθρο 2 της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2009/28/EK η αβαθής γεωθερμική ενέργεια αναφέρεται κανονικά σε ένα βάθος μέχρι 400 m (και στις περισσότερες πραγματικές περιπτώσεις σε βάθη που δεν ξεπερνούν τα 100 m).

Εναλλακτικά όπως στη χώρα μας, χαρακτηρίζεται ως η θερμότητα που παρουσιάζεται κάτω από κάθε υπέδαφος, η θερμότητα των λιμνών, ποταμών και θαλασσών, το ύψος της θερμοκρασίας των οποίων είναι μικρότερο από τους 30°C.

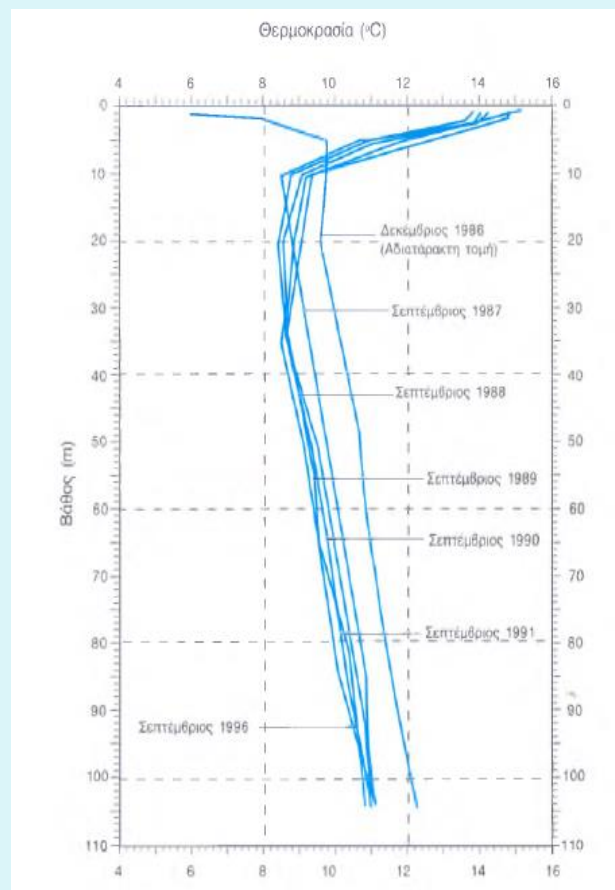
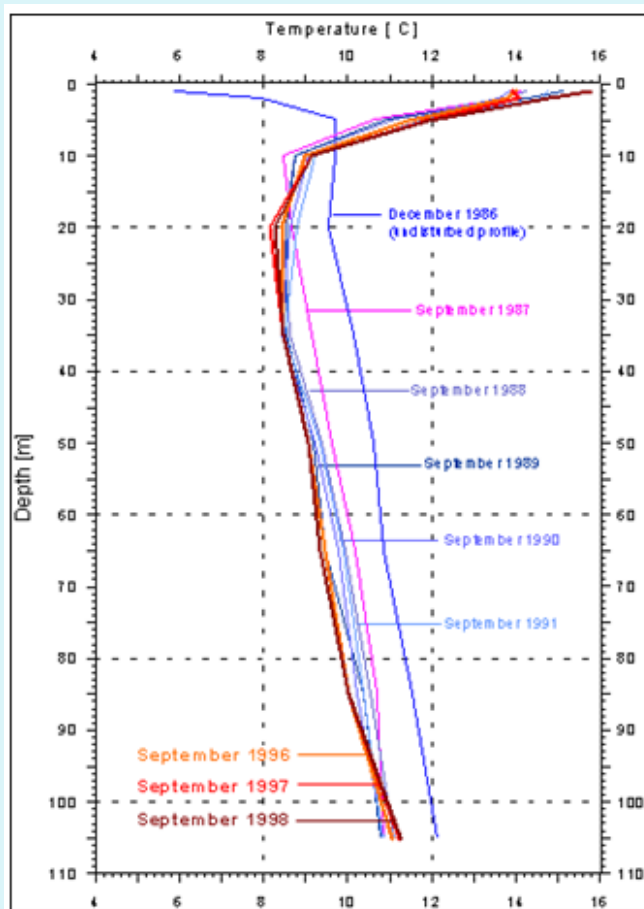
Αβαθής γεωθερμία

✓ Με βάση πολυάριθμες μετρήσεις που έχουν γίνει στο υπέδαφος διαφόρων σημείων του κόσμου, έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 15 m.



➤ Από εκεί και κάτω, η μεταβολή της θερμοκρασίας υπακούει μόνο στους κανόνες της γεωθερμικής βαθμίδας, δηλαδή αυξάνεται σταθερά με το βάθος και με μέσο ρυθμό της τάξης του $1^{\circ}\text{C}/30\text{ m}$, που είναι η μέση ή ομαλή γεωθερμική βαθμίδα.

➤ Τα ρηχά γεωθερμικά ρευστά ή η θερμική ενέργεια των πετρωμάτων που βρίσκονται σε πολύ μικρά βάθη (μέχρι 100m περίπου) έχει οριστεί ως αβαθής γεωθερμία.



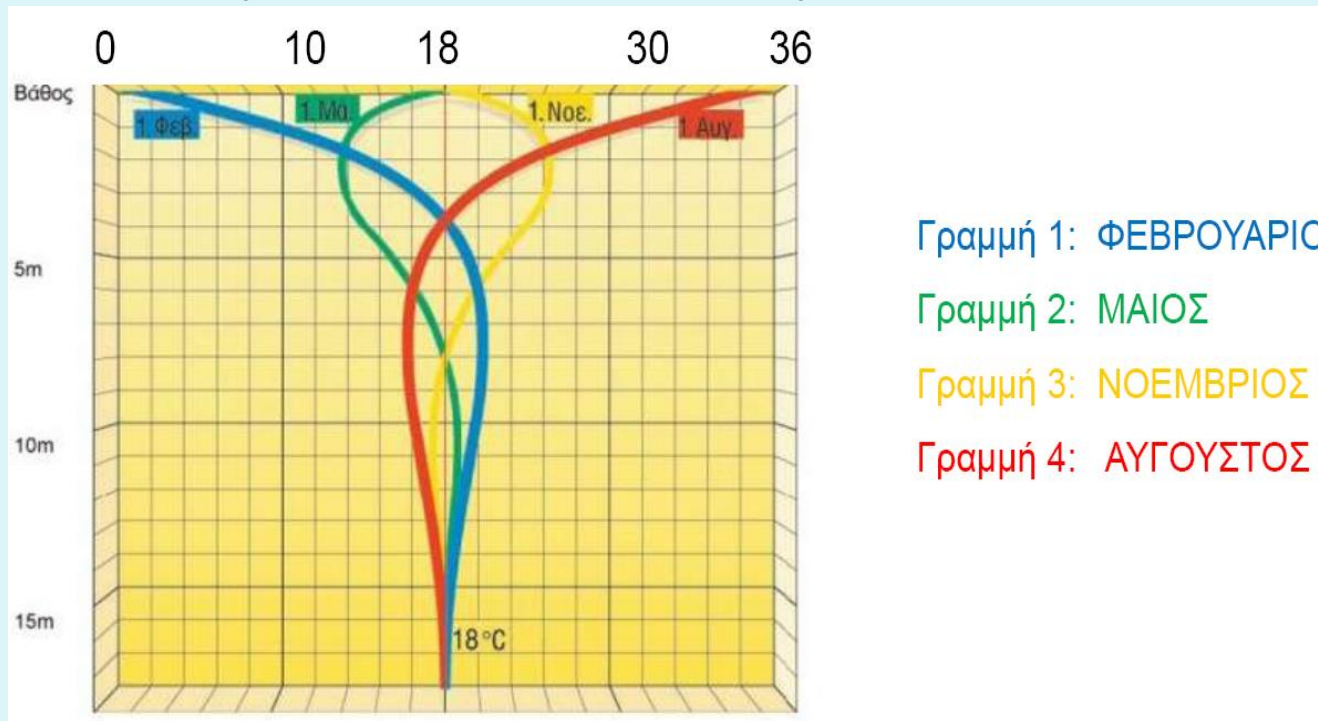
➤ Στην Ελλάδα θεωρείται η θερμοκρασία $<30^{\circ}\text{C}$ ανεξάρτητα του βάθους.

➤ Η εκμετάλλευση της αβαθούς γεωθερμίας αναπτύσσεται ραγδαία σε ορισμένες ανεπτυγμένες χώρες, με τη χρήση των αντλιών θερμότητας.

Αβαθής γεωθερμία

□ Τελευταία, έχει διαδοθεί σε πολλές ανεπτυγμένες χώρες η τεχνική της εκμετάλλευσης της θερμότητας των πετρωμάτων σε πολύ μικρά βάθη (1-100 m), με τη βοήθεια είτε αβαθών γεωτρήσεων ή μικρών εκσκαφών στην «αυλή» του καταναλωτή και τη χρήση Γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ).

□ Η μέθοδος αυτή της αξιοποίησης της **αβαθούς γεωθερμίας** μπορεί να εφαρμοστεί οπουδήποτε υπάρχει ανάγκη τόσο για θέρμανση το χειμώνα, όσο και κλιματισμό το καλοκαίρι, επειδή πρακτικά ακόμα σε πολύ μικρό βάθος, η θερμοκρασία του εδάφους είναι σταθερή σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του έτους.



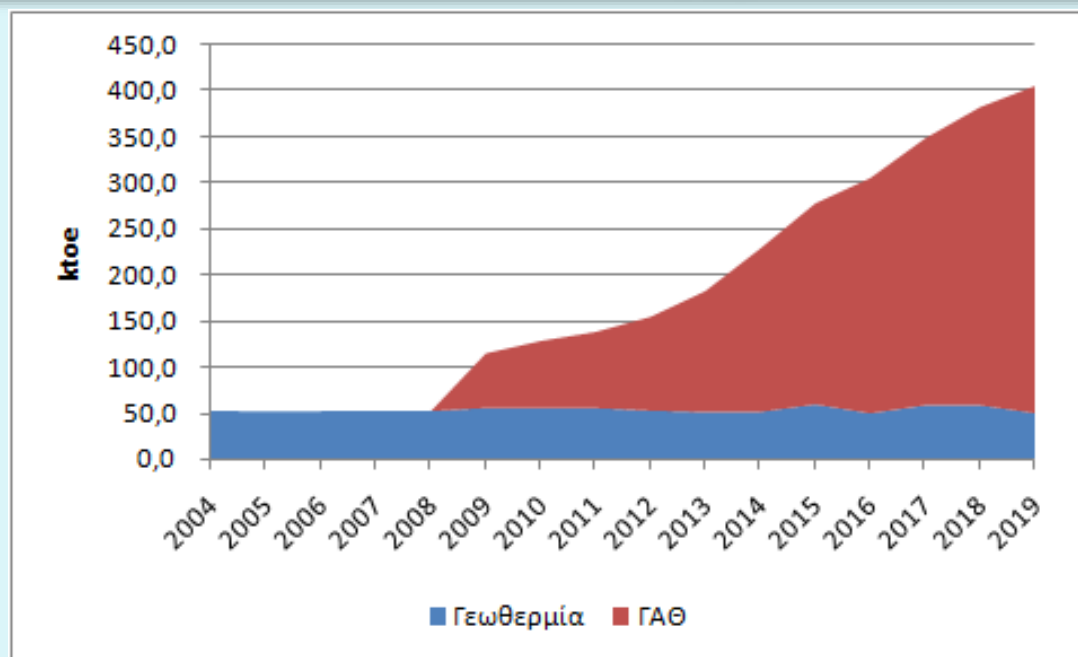
□ με την αβαθή γεωθερμία λαμβάνονται ή απορρίπτονται ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100m από την επιφάνεια της γης

□ Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

Οι Γ.Α.Θ. αποτελούν μια τυποποιημένη, φιλική προς το περιβάλλον και αξιόπιστη τεχνολογία θέρμανσης-ψύξης, η οποία μπορεί, υπό προϋποθέσεις, να εμφανίσει σημαντικά οικονομικά πλεονεκτήματα και να λειτουργήσει αποτελεσματικά και στον αγροτικό τομέα.

Κατά την τελευταία δεκαετία η εγκατάσταση συστημάτων Γ.Α.Θ. στην Ελλάδα κυρίως για αστική θέρμανση και ψύξη, εμφανίζει υψηλούς ρυθμούς αύξησης.

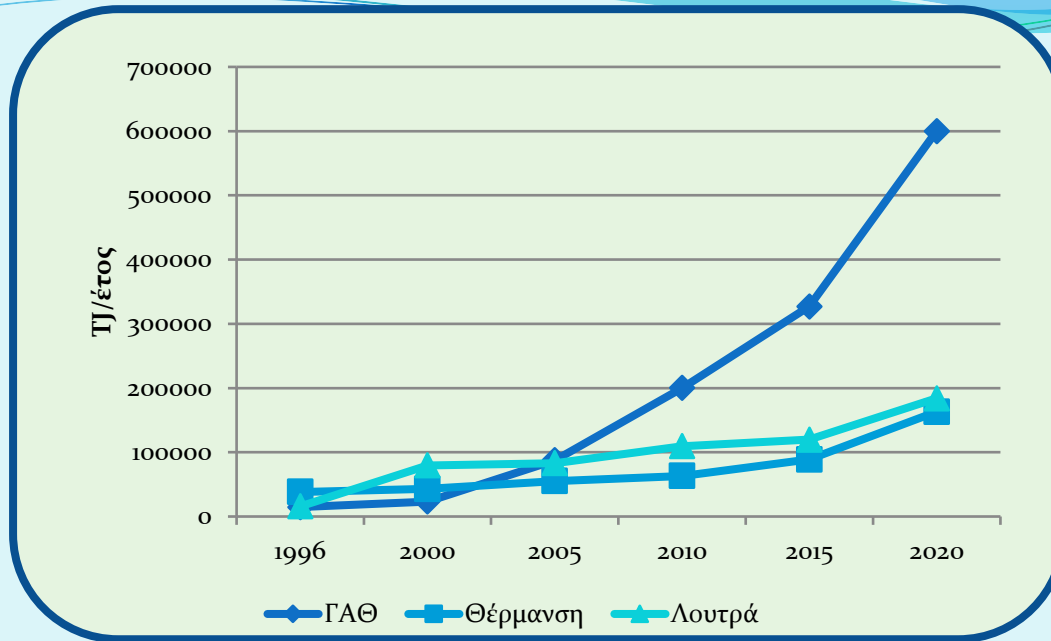
Εξέλιξη της γεωθερμίας και των ΓΑΘ στην Ελλάδα τα τελευταία 15 χρόνια



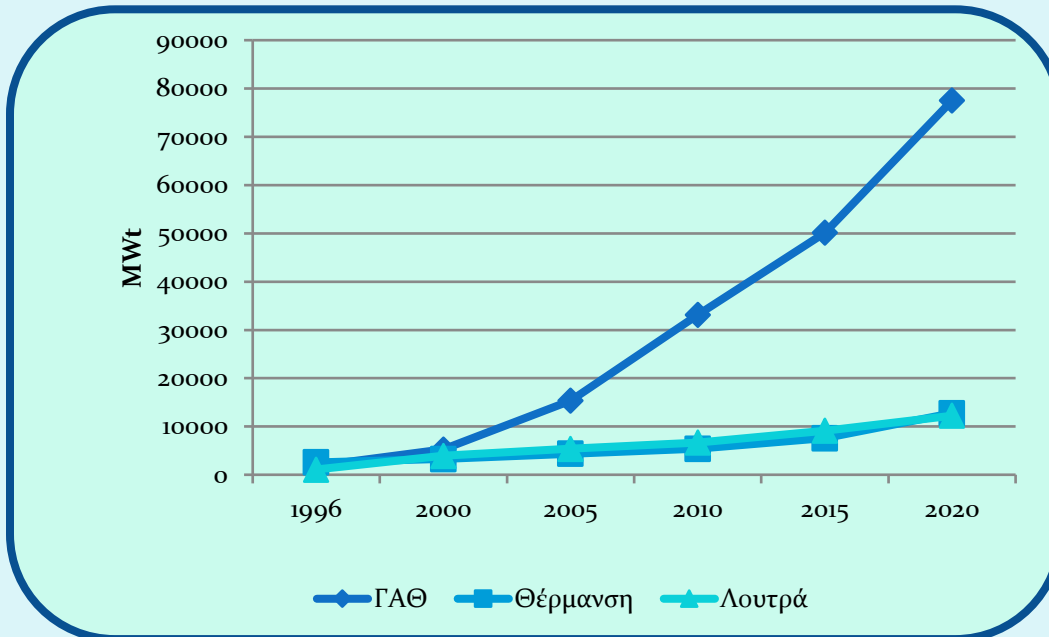
Λιγότερο από το 10% του βεβαιωμένου γ/θ δυναμικού της χώρας έχει αξιοποιηθεί μέχρι σήμερα

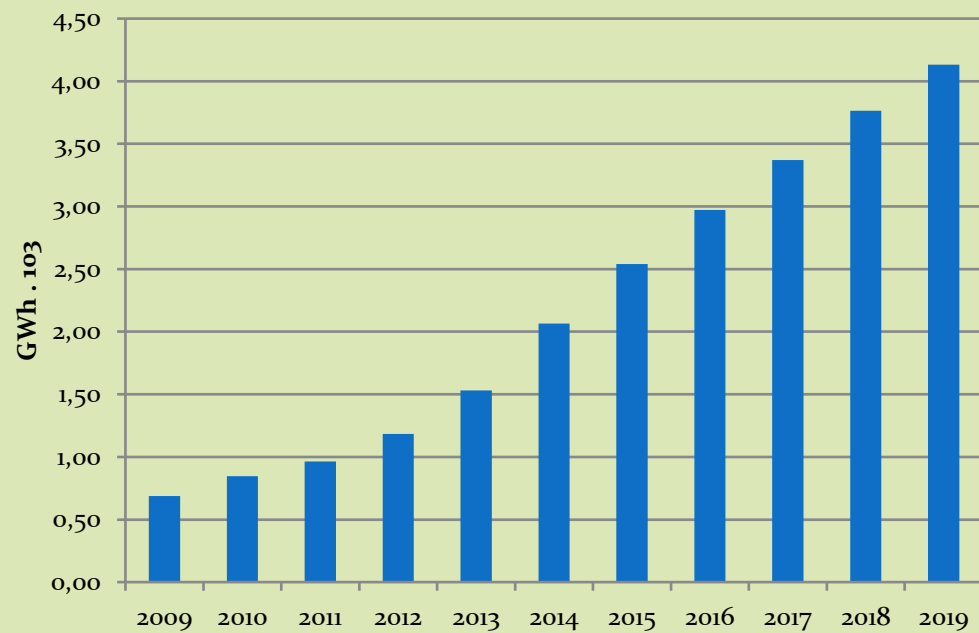
Παγκόσμια εξέλιξη της αβαθούς γεωθερμίας

Παρεχόμενη
ενέργεια



Εγκατεστημένη
ισχύς





Εξέλιξη των αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα

Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

...Αξιοποιούν τη μέτρια και σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους θερμοκρασία του υπεδάφους, προκειμένου να παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό & ζεστό νερό στα κτίρια, με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.



Τρόπος χρήσης της Αβαθούς
Γεωθερμίας