



# ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο  
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά  
Επιμέλεια: Γεώργιος Ε. Αρναουτάκης



# Γεωθερμία

## -Τι είναι η Γεωθερμία?

Είναι ο εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος που πραγματεύεται:

- Τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας
- Τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος
- Το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικο-χημικά χαρακτηριστικά τους
- Τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες παραγωγικές γεωτρήσεις
- Τις χρήσεις των θερμών ρευστών



# Εισαγωγή στη Γεωθερμική Ενέργεια

## -Τι ονομάζουμε Γεωθερμική Ενέργεια?

Είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα. Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία γεωθερμική περιοχή ή πεδίο (geothermal area ή field) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια.

## -Σε ποιες μορφές βρίσκεται αποθηκευμένη στη γη αυτή η θερμική ενέργεια?

- Θερμό Νερό
- Ατμός
- Θερμά Πετρώματα

## -Σε ποια αποστάσεις από την επιφάνεια της γης τη συναντάμε?

Στα πρώτα 3 Km περίπου από την επιφάνεια της γης.



# Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

- **Υδροθερμικοί ή φρεατικοί κρατήρες:** σχηματίζονται ύστερα από «έκρηξη» υπέρθερμων γεωθερμικών ρευστών που βρίσκονται εγκλωβισμένα σε μικρό βάθος υπό πίεση, και τα οποία ανατινάζουν τα υπερκείμενα πετρώματα.
- **Θερμές πηγές (hot springs):** φυσικές έξοδοι ζεστού νερού, κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, με θερμοκρασία μέχρι το σημείο ζέσεως του νερού.
- **Θερμά εδάφη (hot grounds):** σχηματίζονται συνήθως από τη θερμική αγωγή των πετρωμάτων που παρεμβάλλονται μεταξύ της επιφάνειας της γης και των υποκείμενων αβαθών και θερμών ρευστών. Έχουν θερμοκρασίες που φτάνουν μέχρι και 100°C στην επιφάνεια του εδάφους.

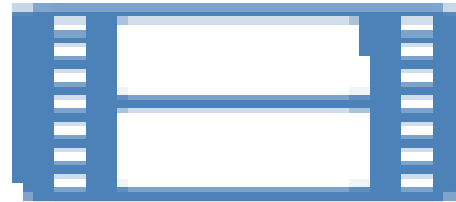


# Εισαγωγή στη Γεωθερμική Ενέργεια

- **Θερμοπίδακες (geysers):** αποτελούν ειδική περίπτωση ζέουσων θερμών πηγών και δημιουργούνται από την κυκλοφορία υπέρθερμων υπόγειων νερών σε μικρό βάθος.

**Geyser στην Ισλανδία (το μεγαλύτερο στον κόσμο)**

[youtube.com/watch?v=TIK4wEdMwQM](https://www.youtube.com/watch?v=TIK4wEdMwQM)





# Εισαγωγή στη Γεωθερμική Ενέργεια

- **Ατμίδες (fumaroles):** αναδύσεις υπέρθερμων ατμών και αερίων που βγαίνουν από ρωγμές ή τρύπες του εδάφους χωρίς πίεση

**Mount Griggs – Αλάσκα**

<https://www.youtube.com/watch?v=qZ3WQ7A6hpl>





# Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

- **Λεκάνες ιλύος (mud pools):** σχηματίζονται όταν δεν υπάρχει μεγάλη ροή και πίεση του νερού μιας θερμής πηγής, ώστε να μεταφέρει μακριά τα αργιλοπυριτικά σωματίδια που συμπαρασύρονται από το νερό. Αυτά συσσωρεύονται στην έξοδο ή τη «λεκάνη» της θερμικής εκδήλωσης, ενώ οι υδρατμοί, μαζί με τα μη συμπυκνώσιμα αέρια, συσσωρεύονται στην επιφάνεια της πηκτής ιλύος.

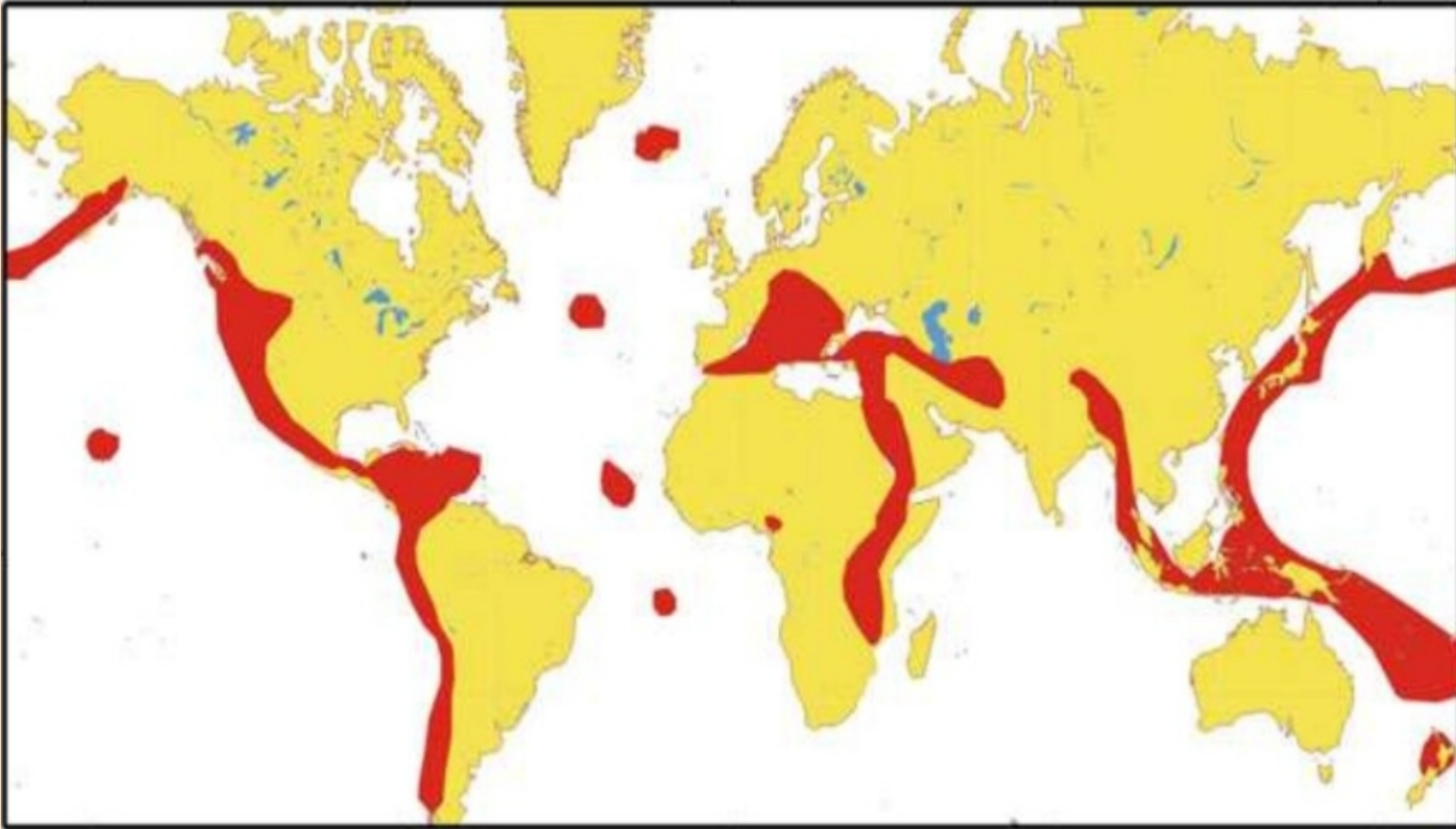
- Αποτελούν μεταβατικό τύπο μεταξύ ζέουσας θερμής πηγής και ατμίδας.

<https://www.youtube.com/watch?v=dDY4NN-Fqgw>





# Ύπαρξη Γεωθερμικών Πηγών στον Πλανήτη



Χάρτης κυριότερων Γεωθερμικών Περιοχών: ΓΙΑΤΙ ΑΥΤΕΣ ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΟΥΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ?



# Δομή της Γης

**-Η γήινη σφαίρα αποτελείται από τρεις κύριες στιβάδες:**

- Φλοιός
- Μανδύας
- Πυρήνας

▪ Πάχος φλοιού:

20-60 km στις ηπειρωτικές περιοχές,  
6-7 km στις θαλάσσιες.

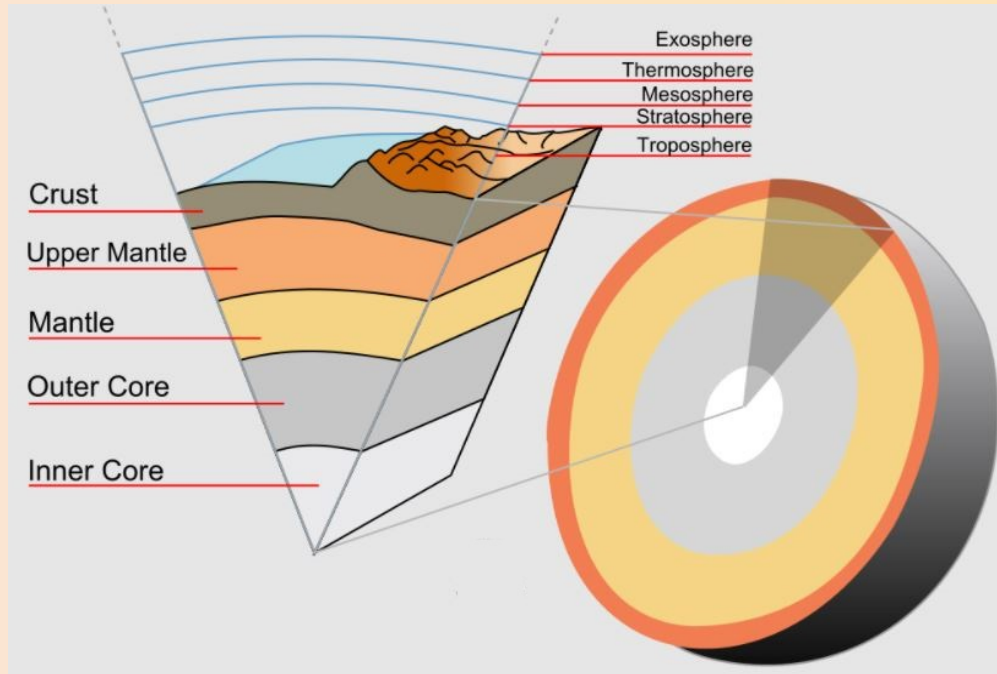
▪ Πάχος μανδύα: 2900 km

▪ Μέση ακτίνα της γης: 6370 km.

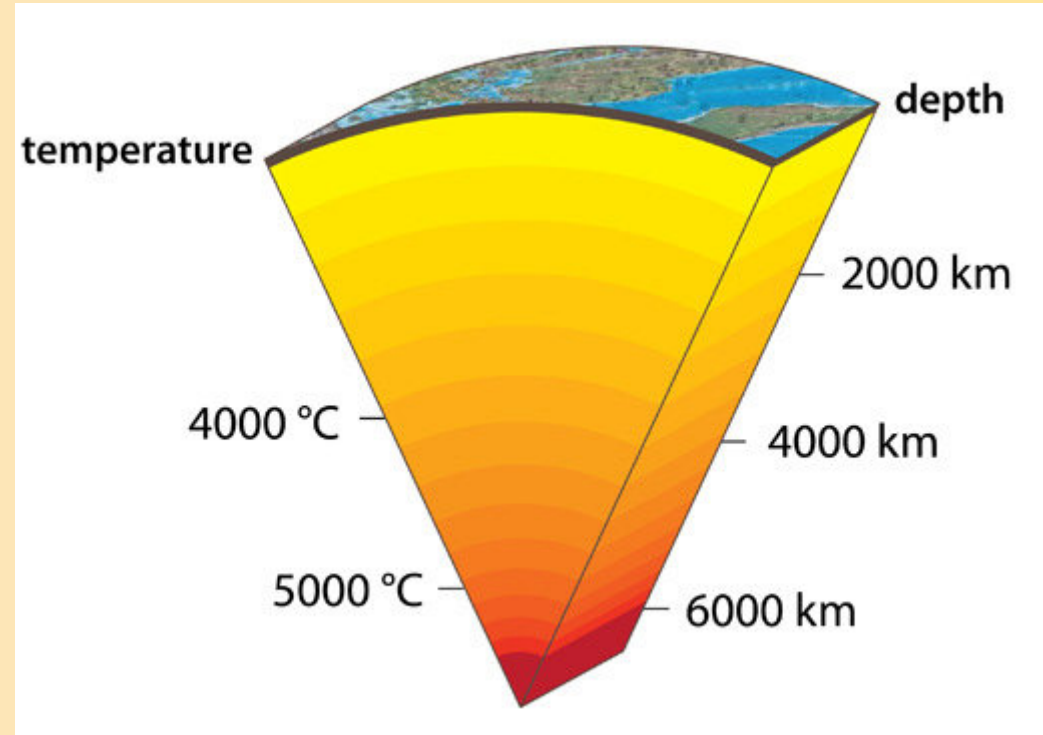
# Δομή της Γης

-Θερμοκρασίες στο εσωτερικό της γης:

- Μανδύας (1000 – 3000 °C)
- Πυρήνας (>4000 °C)



Δομή του εσωτερικού της Γης



Θερμοκρασία στο εσωτερικό της Γης



# Γεωθερμική Βαθμίδα

## -Τι καλούμε Γεωθερμική Βαθμίδα?

Το ρυθμό αύξησης της θερμοκρασίας συναρτήσει του βάθους από την επιφάνεια της γης.

→ όσο αυξάνεται το βάθος, τόσο αυξάνεται και η θερμοκρασία του εδάφους

Η Γεωθερμική Βαθμίδα εμφανίζει τιμές από 5 έως 70 °C/Km με μέση τιμή 30 °C/Km ή 1°C ανά 30m.

## -Ποιες περιοχές θεωρούμε ότι διαθέτουν Γεωθερμικές Πηγές?

Εκείνες με Γεωθερμική Βαθμίδα μεγαλύτερη από το μέσο όρο. Επίσης περιοχές με πολύ πρόσφατη και ενεργό ηφαιστειακή δραστηριότητα.



# Γεωθερμία ως Α.Π.Ε.

-Η γεωθερμία είναι ενέργεια που προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της γης, συνεπώς είναι απεριόριστη και μπορεί να συγκαταλεχθεί στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

## **-Γεωθερμικοί πόροι (geothermal resources)**

Οι ποσότητες της θερμικής ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη ανάμεσα στην επιφάνεια της γης και σε κάποιο προσβάσιμο βάθος και μπορεί να ανακτηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας.



# Πλεονεκτήματα της Γεωθερμίας ως Α.Π.Ε.

- Συνεχής και Σταθερή πηγή ενέργειας όλο το χρόνο. Πιο συγκεκριμένα η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ.
- Απουσία διακυμάνσεων
- Χαμηλό λειτουργικό κόστος
- Χρησιμοποιεί απλή και γνωστή τεχνολογία
- Δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου επίδραση από καιρικές συνθήκες όπως συμβαίνει κατά τη χρήση της αιολικής και ηλιακής ενέργειας
- Δυνατότητα πλήρους ανάκτησης
- Δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης
- Όσον αφορά τις εκπομπές στο περιβάλλον, δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια, ενώ με τον κύκλο Rankine έχουμε μηδενικές εκπομπές



# Πλεονεκτήματα της Γεωθερμίας ως Α.Π.Ε.

- Μικρές απαιτήσεις γης καθώς δεν απαιτούνται αποθηκευτικοί χώροι
- Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών
- Τοπική μορφή ενέργειας
- Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, μιας και μειώνεται η εξάρτηση από την εισαγόμενη ενέργεια
- Υψηλή αξιοπιστία της μονάδας
- Προσφέρεται έτοιμη για χρήση ως θερμικό προϊόν



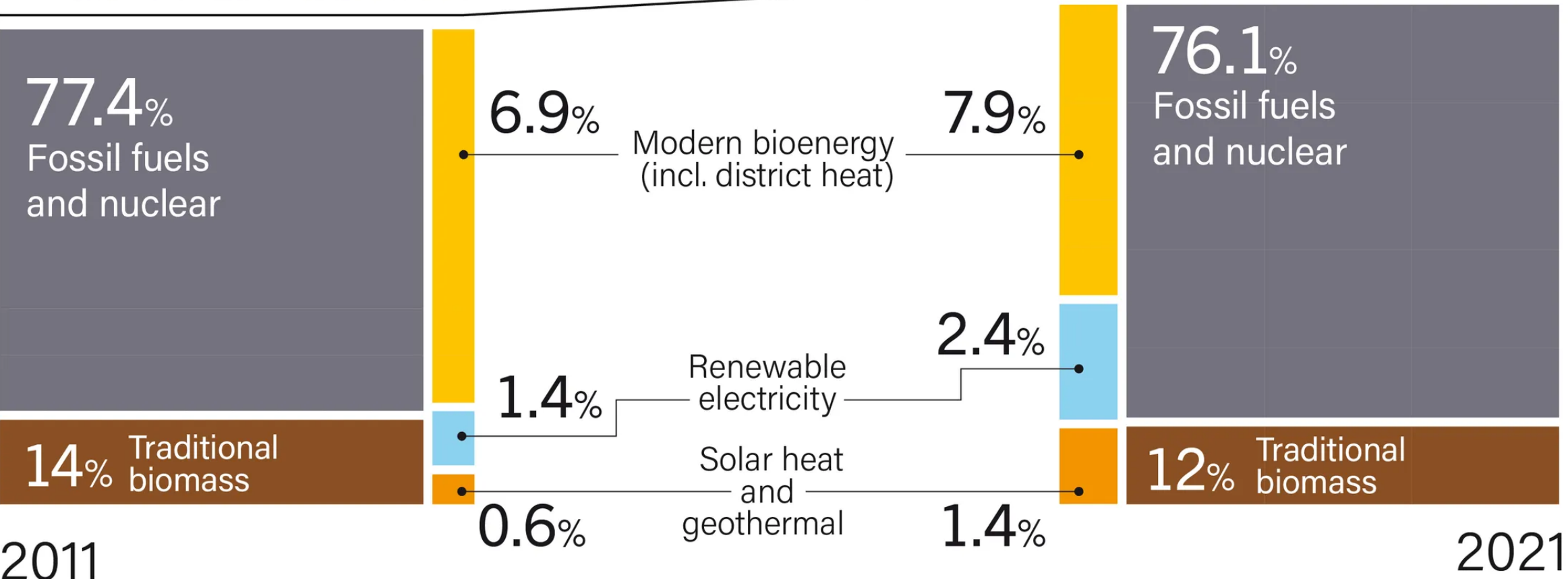
# Χρήση μορφών ΑΠΕ 2011-2021

8.9%

Share of renewable heat

11.6%

Share of renewable heat



2011

2021



# Μειονεκτήματα της Γεωθερμικής Ενέργειας

## -Τεχνικά Ζητήματα

- Διάβρωση
- Σχηματισμός επικαθίσεων (καθαλατώσεις) σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό. Στην ουσία ως επικαθίσεις καλούμε τη συσσώρευση ανεπιθύμητων υλικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό.

## -Περιβαλλοντικά Ζητήματα

- Εκπομπές Τοξικών Αερίων οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις προκαλούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις (για παράδειγμα εκπομπή υδρόθειου ( $H_2S$ )-έντονη οσμή και τοξικότητα, διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ) κ.ο.κ.)
- Θερμική Ρύπανση
- Το ζήτημα της διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους

## -Οικονομικά Ζητήματα



# Τεχνικά Ζητήματα - Διάβρωση

## -Από τι προκαλείται η διάβρωση;

- Συστατικά των γεωθερμικών ρευστών όπως: οξυγόνο ( $O_2$ ), ιόντα υδρογόνου,  $H^+$  (ή pH), χλωριόντα ( $Cl^-$ ), φθοριόντα ( $F^-$ ), διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ ), τα ανθρακικά ιόντα, θειικά ιόντα ( $SO_4^{2-}$ ), υδρόθειο ( $H_2S$ ) ή τα θειούχα ιόντα ( $S^{2-}$ ,  $HS^-$ ), αμμωνία ( $NH_3$ ) ή τα ιόντα αμμωνίου και τα ιόντα βαρέων μετάλλων
- Το υλικό των αγωγών και των συσκευών
- Την ταχύτητα των ρευστών και τις συνθήκες λειτουργίας

## -Επιπτώσεις της διάβρωσης:

- Μείωση του πάχους και της αντοχής των σωληνώσεων
- Διαρροές
- Περισσότερο τραχιές επιφάνειες
- Δημιουργία δυσθερμαγωγών στιβάδων από προϊόντα διάβρωσης
- Ενεργειακές απώλειες
- Αύξηση κόστους κεφαλαίου εγκατάστασης
- Επιπλέον δαπάνες για καθαρισμό και συντήρηση της εγκατάστασης
- Απώλεια στην παραγωγή



# Τεχνικά Ζητήματα - Διάβρωση

## -Τρόποι Αντιμετώπισης

- Χρήση κατάλληλων υλικών κατασκευής
  1. Χρήση Πολυμερικών Υλικών
  2. Χρήση Εναλλάκτη Θερμότητας από Τιτάνιο, Hastelloy
- Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης
- Ορθός σχεδιασμός της μονάδας (Ρύθμιση του PH του ρευστού)



# Τεχνικά Ζητήματα - Σχηματισμός επικαθίσεων

-Τα Γεωθερμικά Ρευστά δημιουργούν επικαθίσεις (καθαινώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με αυτά.

## -Παράμετροι που καθορίζουν το σχηματισμό επικαθίσεων

- Η πίεση και τη θερμοκρασία του ρευστού
- Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ρευστών και των πετρωμάτων
- Οι λειτουργικές συνθήκες της εγκατάστασης
- Η παρουσία μεγάλου αριθμού χημικών ειδών
- Η πληθώρα των πιθανών φυσικών μηχανισμών

## -Ποια είναι η χημική σύσταση των επικαθίσεων;

Οι επικαθίσεις μπορεί αποτελούνται από ανθρακικό ασβέστιο, άλατα θείου σιδήρου, πυρίτιο και άλατα πυριτίου



# Τεχνικά Ζητήματα - Σχηματισμός επικαθίσεων

## -Επιπτώσεις των επικαθίσεων:

- Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας μειώνεται
- Λειτουργικά προβλήματα, όπως μείωση της διαμέτρου των σωληνώσεων
- Διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και κατ' επέκταση υποβάθμιση του προϊόντος
- Επιπλέον κόστος για άντληση του ρευστού
- Απώλεια στην παραγωγή
- Ενεργειακές απώλειες
- Αύξηση κόστους κεφαλαίου εγκατάστασης
- Επιπλέον δαπάνες για καθαρισμό και συντήρηση της εγκατάστασης



# Τεχνικά Ζητήματα - Σχηματισμός επικαθίσεων

## -Τρόποι Αντιμετώπισης

- Σωστός σχεδιασμός της μονάδας
- Επιλογή κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας
- Κατάλληλη ρύθμιση του pH του ρευστού
- Προσθήκη χημικών ουσιών
- Χρήση ηλεκτρομαγνητικών διατάξεων
- Απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά φυσικά ή μηχανικά μέσα



# Περιβαλλοντικά Ζητήματα - Εκπομπές Τοξικών Αερίων

## -Που οφείλονται οι εκπομπές τοξικών αερίων;

- Στην ιδιόζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών
- Στην αλλαγή των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ρευστών στο στάδιο της εκμετάλλευσής

## -Επιπτώσεις

- Οι μεταλλικές επιφάνειες προσβάλλονται χημικά
- Απελευθερώνονται στο περιβάλλον επιβλαβείς ουσίες και εναποτίθενται ορισμένα διαλυμένα ή αιωρούμενα στερεά

Όλα τα παραπάνω προβλήματα έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι τα περισσότερα Γεωθερμικά Ρευστά, εξ αιτίας της υψηλής τους θερμοκρασίας και της παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα, περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αερίων.

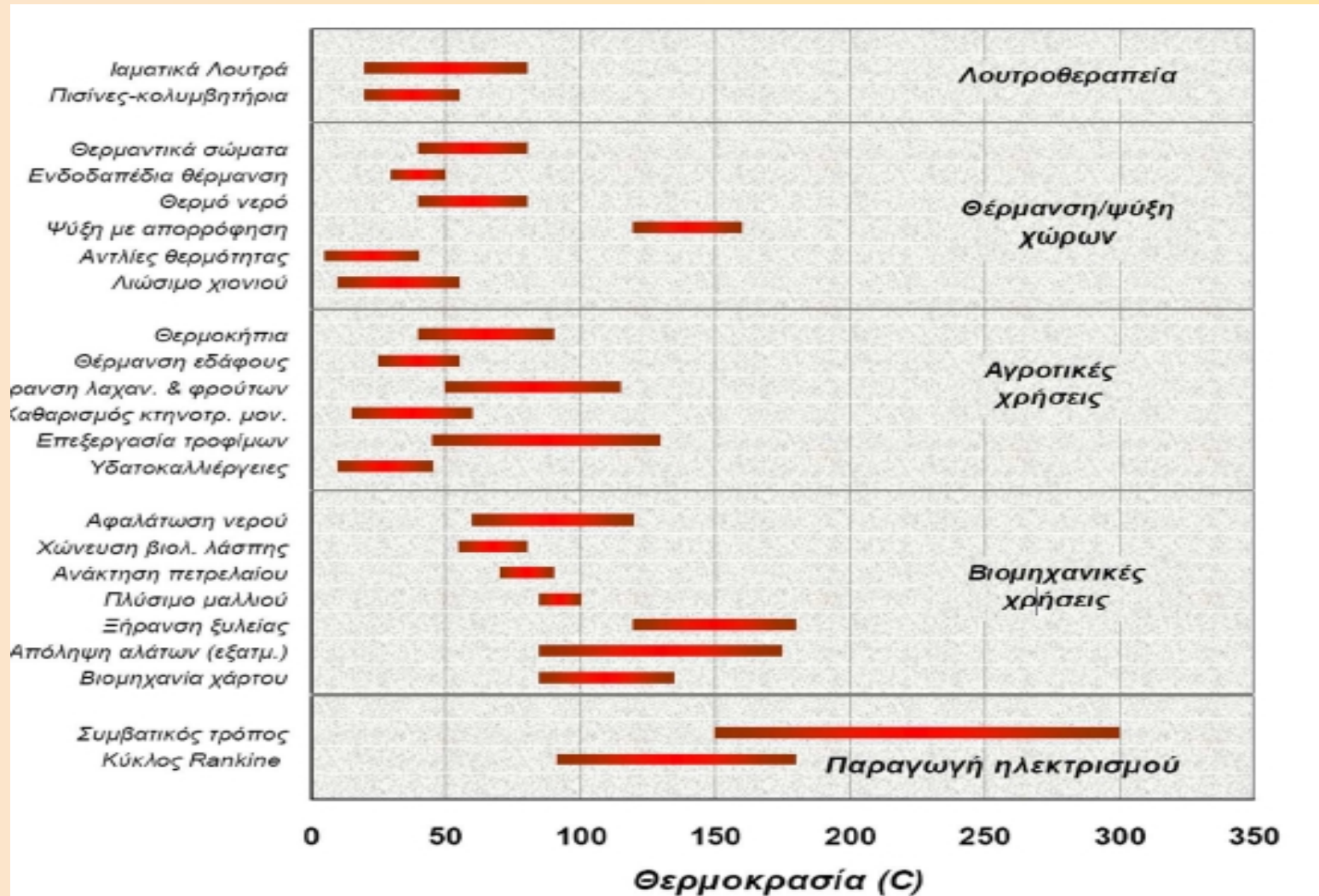


# Οικονομικά Ζητήματα

<b>Πάγιες δαπάνες (capital costs)</b>	
Προετοιμασία	<ul style="list-style-type: none"><li>- γεωθερμική έρευνα</li><li>- ανάπτυξη και προγραμματισμός</li><li>- σχεδιασμός της μονάδας</li><li>- αμοιβή για τη τεχνογνωσία, διπλώματα ευρεσιτεχνίας κτλ.</li></ul>
Κατασκευή – οικοδομικά	<ul style="list-style-type: none"><li>- αγορά-ενοικίαση, προετοιμασία της έκτασης γης</li><li>- κατασκευή γεωτρήσεων</li><li>- κατασκευή μονάδας παραγωγής</li><li>- κατασκευή μονάδων διάθεσης των ρευστών</li></ul>
Ολοκλήρωση	<ul style="list-style-type: none"><li>- εργασίες εγκατάστασης της μονάδας</li><li>- εργασίες παράδοσης ολοκληρωμένου έργου σε λειτουργία (commissioning)</li><li>- σύνδεση με το δίκτυο κτλ.</li></ul>
Κεφάλαιο υποστήριξης	<ul style="list-style-type: none"><li>- εφεδρικό κεφάλαιο</li></ul>
Διαχείριση εγχειρήματος	<ul style="list-style-type: none"><li>- επίβλεψη</li><li>- έλεγχος ποιότητας</li><li>- άλλα</li></ul>
Απρόοπτα	
<b>Τρέχουσες δαπάνες (current costs)</b>	
Λειτουργία	<ul style="list-style-type: none"><li>- κόστος καυσίμων και ηλεκτρισμού</li><li>- κόστος προσωπικού</li><li>- ενοίκια, τέλη, φόροι κτλ.</li><li>- γενικής χρήσης (τηλεφωνία κτλ.)</li><li>- κόστος αντικαθαλατωτικών</li><li>- ασφάλιση</li><li>- ασφάλεια μονάδας</li></ul>
Συντήρηση	<ul style="list-style-type: none"><li>- επιθεώρηση-καταγραφή</li><li>- εργασίες συντήρησης μονάδας και γεωτρήσεων</li><li>- επισκευές, αντικατάσταση τμημάτων</li><li>- χρήση ανταλλακτικών</li></ul>
Γενικά έξοδα	
<b>Δαπάνες διάθεσης – μεταβίβασης (disposal costs)</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>- θέση εκτός λειτουργίας (decommissioning)</li><li>- πώληση</li></ul>



# Εφαρμογές της Γεωθερμικής Ενέργειας

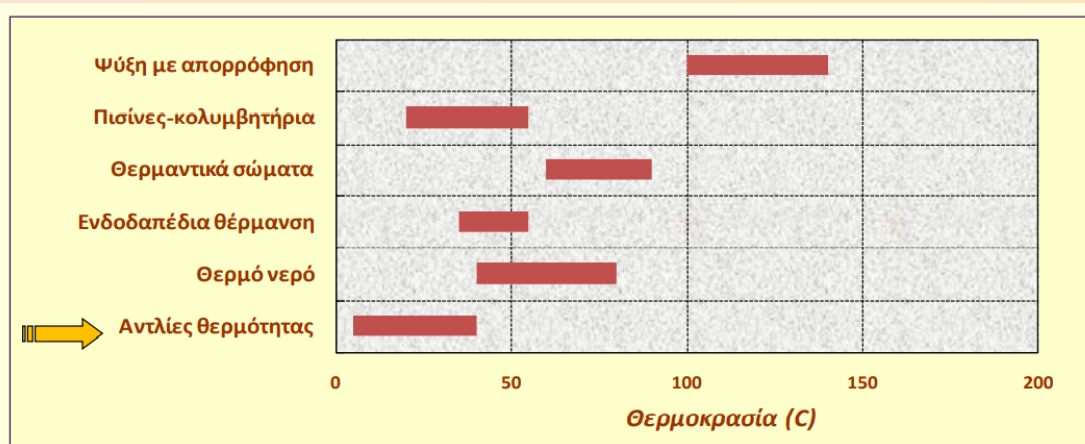


Οι κυριότερες εφαρμογές της Γεωθερμίας



# Κατηγορίες Γεωθερμικών Χρήσεων

- Άμεσες Χρήσεις ( $30^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$ )
- Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ )
- Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος ( $T > 100^{\circ}\text{C}$ )



Απαιτούμενες περιοχές θερμοκρασιών για χρήσεις θέρμανσης

## Οι άμεσες χρήσεις σήμερα

- Αξιοποίηση σε 78 χώρες το 2010 (Lund et al. 2011)
- Εγκατεστημένη θερμική ισχύς  $>50000$  MWt ( $>65\%$  από το 2005)
- Αντιστοιχεί σε  $>9$  εκατ. TTP το χρόνο.
- Η μεγάλη αύξηση αντανακλά τη σημαντική διείσδυση των ΓΑΘ



A district heating system in Klamath Falls, Oregon keeps sidewalks clear

- Θέρμανση χώρων (10,7%\*)
- Αγροτικές χρήσεις (3,1%)
- Υδατοκαλλιέργειες (1,3%)
- Βιομηχανικές χρήσεις (1,8%)
- Λουτροθεραπεία (+ πισίνες) (13,2%)
- Αντλίες θερμότητας (70%)

\* ως προς την εγκατεστημένη ισχύ



Ξήρανση διατομιτών στην Ισλανδία



# Γεωθερμικά Συστήματα με βάση το είδος των Γεωθερμικών Πόρων

## -Υδροθερμικά Συστήματα

Πρόκειται για τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων.

Κατηγοριοποιούνται στα Συστήματα Αγωγής και Συναγωγής

→ Πρόκειται για τα πιο διαδομένα γεωθερμικά συστήματα και τα μοναδικά που αξιοποιούνται.

## -Τι καλούμε ταμιευτήρα (reservoir)

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



# Γεωθερμικά Συστήματα με βάση το είδος των Γεωθερμικών Πόρων

## -Συστήματα Αβαθούς Γεωθερμίας

Με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη:

- Με την ανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100 m από την επιφάνεια της γης ή
- Με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή
- Με την κυκλοφορία νερών από λίμνες, ποτάμια, θάλασσες.

→ Πρόκειται για την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή γεωθερμικής ενέργειας.





# Γεωθερμικά Συστήματα με βάση το είδος των Γεωθερμικών Πόρων

## **-Γεω-πεπιεσμένα Συστήματα**

Πρόκειται για ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, που βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα, και η πίεσή τους υπερβαίνει την υδροστατική.

## **-Μαγματικά Συστήματα**

Πρόκειται για συστήματα στα οποία η πρόσληψη θερμότητας γίνεται με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις, που βρίσκονται σε μικρό σχετικά βάθος.



# Γεωθερμικά Συστήματα με βάση το είδος των Γεωθερμικών Πόρων

Τύπος Συστημάτων	Χαρακτηριστικά	Θερμοκρ. (°C)
<b>1. ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ</b>		
<b>1α. Συστήματα συναγωγής</b>		
A) Συστήματα που περιέχουν ατμό	Περατοί σχηματισμοί με φυσική κυκλοφορία ρευστών Κλειστά κυκλώματα συναγωγής, ατμοί παγιδευμένοι από στεγανά καλύμματα, $T > 200^{\circ}\text{C}$ , μέχρι 1,5 km	-240
B) Συστήματα που περιέχουν θερμό νερό		
i) Υψηλής θερμοκρασίας	Κλειστά ή ανοικτά κυκλώματα συναγωγής, μέχρι τα 3 km	> 150
ii) Μέσης θερμοκρασίας	Σχεδόν οριζόντιοι υδροφόροι με τοπική αποστράγγιση ψυχρού νερού ή κυκλοφορία θερμού νερού υπό πίεση	90-150
iii) Χαμηλής θερμοκρασίας	Όπως προηγούμενο, με χαμηλότερη θερμοκρασία νερού, με μικρή ή καθόλου πίεση	< 90
<b>1β. Συστήματα αγωγής</b>	Μη-περατοί σχηματισμοί, με μεγάλο πορώδες και περατότητα, σε βάθος 1-3 km με εγκλωβισμένα νερά	60-150
<b>2. ΑΒΑΘΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ</b>	Από 1 m βάθος μέχρι 100 m, με ή χωρίς νερό	<40
<b>2. ΘΕΡΜΑ-ΞΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ</b>		
i) Υψηλής θερμοκρασίας	Μη περατοί σχηματισμοί πετρωμάτων χωρίς φυσική κυκλοφορία ρευστών. Τεχνητή κυκλοφορία νερών με σύστημα δύο τουλάχιστον γεωτρήσεων $T > 250^{\circ}\text{C}$ μέχρι 3 km	>250
ii) Μέσης-χαμηλής θερμοκρασίας	$T < 150^{\circ}\text{C}$ μέχρι 3 km	<150
<b>3. ΓΕΩΠΕΠΙΕΣΜΕΝΑ</b>	Έγκλειστα υδροφόρα στρώματα υπό μεγάλη πίεση, παρουσία υδρογονανθράκων (συστήματα αγωγής)	150-200
<b>4. ΜΑΓΜΑΤΙΚΑ</b>	Η θερμοκρασία $> 500^{\circ}\text{C}$ σε μερικά χιλιόμετρα βάθος λόγω μαγματικών διεισδύσεων	>500



# Γεωθερμικά Συστήματα με βάση τη θερμοκρασία του ρευστού

## **-Γεωθερμικά Συστήματα Υψηλής Ενθαλπίας**

Πρόκειται για συστήματα με παραγόμενα ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150 °C. Συνήθως μίγμα ατμού και θερμού νερού.

## **-Γεωθερμικά Συστήματα Μέσης Ενθαλπίας**

Πρόκειται για συστήματα με παραγόμενα ρευστά με θερμοκρασίες 90-150 °C.

## **-Γεωθερμικά Συστήματα Χαμηλής Ενθαλπίας**

Πρόκειται για συστήματα με παραγόμενα ρευστά με θερμοκρασίες 25-90 °C.

## **-Γεωθερμικά Συστήματα πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας (Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής)**

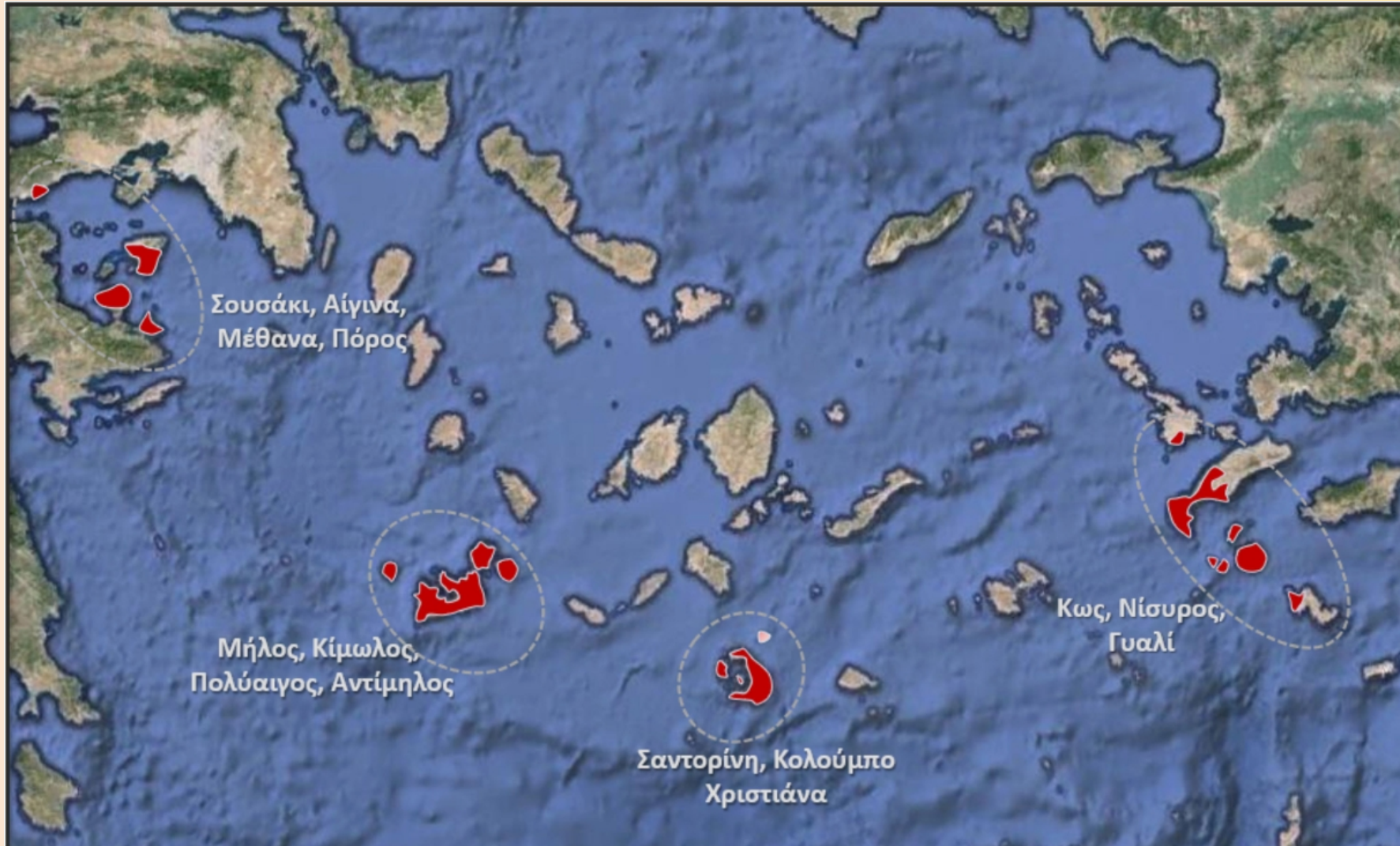
Πρόκειται για συστήματα με θερμοκρασίες μικρότερες από 25 °C.

## **-Γεωθερμικά Συστήματα πάρα πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας**

Πρόκειται για συστήματα με θερμοκρασίες μικρότερες από 0 °C.



# Ηφαιστειακά κέντρα στην Ελλάδα





# Γεωθερμικές Πηγές στην Ελλάδα

## **-Γεωθερμικό πεδίο της Μήλου:**

Η ΔΕΗ το 1985 εγκατέστησε μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος ισχύος 2 MW, που λειτούργησε μέχρι 1989 και στη συνέχεια έκλεισε, λόγω αυξημένων αλάτων στο νερό με αποτέλεσμα, προβλήματα διάβρωσης των υλικών.

Το γεωθερμικό δυναμικό της Μήλου φθάνει τα 120 MW.

Είναι το πλουσιότερο γεωθερμικό δυναμικό της χώρας μας, με θερμοκρασία ρευστού 350 °C.

Στο νησί αυτό υπάρχουν επίσης πηγές αερίων με θερμοκρασίες ατμού από 54 έως 102 °C και θερμές πηγές με θερμοκρασίες ρευστού 22-54 °C.

## **-Γεωθερμικό πεδίο της Νισύρου:**

Πολύ σημαντικό πεδίο υπάρχει στη νήσο Νίσυρο, με γεωθερμικό δυναμικό που φθάνει τα 40 MWe. Είναι το δεύτερο από πλευράς σημασίας γεωθερμικό πεδίο της Ελλάδας με θερμοκρασίες ρευστών μεγαλύτερες των 350 °C.



# Γεωθερμικές Πηγές στην Ελλάδα

## -Γεωθερμικά πεδία στη Βόρεια Ελλάδα:

Στη Βόρεια Ελλάδα υπάρχει επίσης εκτεταμένο δίκτυο από γεωθερμικά πεδία με θερμοκρασίες μικρότερες των 95 °C.

- Στην περιοχή της Φλώρινας και της Πτολεμαΐδας
- Σε ολόκληρη τη λεκάνη που περιλαμβάνει τους νομούς Ημαθίας, Πέλλας, Πιερίας, Θεσσαλονίκης
- Στη Χαλκιδική, περιοχή Τριγλίας και Κασσάνδρας
- Στη λεκάνη Ανθεμούντας
- Στη λεκάνη της Μυγδονίας που περιλαμβάνει την περιοχή Λαγκαδά, Νέας Απολλωνίας, Νυμφόπετρας
- Στη λεκάνη του Στρυμόνα που περιλαμβάνει την περιοχή Νιγρίτας, Ηράκλειας, Σιδηροκάστρου, Ιβήρων, Αχινού, Αγκίστρου
- Στον Στρυμονικό κόλπο στην περιοχή του Ακροποτάμου νομού Καβάλας
- Στο Δέλτα του Νέστου. Τα γεωθερμικά πεδία, Ερατεινού Χρυσούπολης, Ερασμίου νομού Ξάνθης
- Στη λεκάνη Ξάνθης Κομοτηνής στην περιοχή Κεσσάνης, Σαπών, Λίμνης, Μητρικού
- Στη λεκάνη Αλεξανδρούπολης και Εβρου, στην περιοχή Αρίστηνου και Τυχερού



# Γεωθερμικές Πηγές στην Ελλάδα

**-Άλλα Γεωθερμικά πεδία στην Ελλάδα :**

Πολύ μεγάλα γεωθερμικά πεδία έχουν τα νησιά Κίμωλος, Σαντορίνη, Λέσβος, Λήμνος, Κως, Πολύαιγος, Σαμοθράκη.

Στο εσωτερικό της Ελλάδας υπάρχουν επίσης πολλά γεωθερμικά πεδία, όπως είναι στα Καβάσιλα Κόνιτσας με θερμοκρασία νερού 28 °C και στις πηγές Αμάραντου Κόνιτσας με θερμοκρασίες ατμών 32 °C. Επίσης στην Ηπειρο στην περιοχή των Συκιών Αρτας υπάρχει ένα αξιόλογο γεωθερμικό πεδίο.



# Βασικά Μέρη ενός Γεωθερμικού Συστήματος

- **Σύστημα Παραγωγής**
  1. Παραγωγική Γεώτρηση
  2. Αντλία Παραγωγής
  3. Κεφαλή της Γεώτρησης

Το πιο διαδεδομένο σύστημα είναι το σύστημα διπλών γεωτρήσεων (δίπολο), στο οποίο τα σύνολο του γεωθερμικού ρευστού εισάγεται ξανά στον ταμιευτήρα.



# Βασικά Μέρη ενός Γεωθερμικού Συστήματος

- Σύστημα Μεταφοράς των ρευστών από την Κεφαλή της Γεώτρησης μέχρι το Σύστημα Εφαρμογής, μαζί με το Σύστημα Διανομής της Γεωθερμικής Ενέργειας

Για εφαρμογές με θερμοκρασία νερού μικρότερη από 70 °C κυριαρχούν οι πλαστικοί σωλήνες.

- Σύστημα Εφαρμογής (Σύστημα Εναλλαγής της Θερμότητας)

Όταν η χημεία των υγρών δεν επιτρέπει την απευθείας επαφή γίνεται χρήση εναλλακτών.

- Σύστημα Διάθεσης των Ρευστών



# Επιπτώσεις από τη Χρήση της Γεωθερμίας

-Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας περιέχουν περισσότερα διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα γεωθερμικά ρευστά χαμηλής ενθαλπίας.

-Τα προβλήματα από τη διάθεση των υγρών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα (και σχεδόν μηδενικά) σε σχέση με τα προβλήματα από τη διάθεση των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



# Επιπτώσεις από τη Χρήση της Γεωθερμίας

## -Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις από την αξιοποίηση Ρευστών Υψηλής Ενθαλπίας

- Επιπτώσεις από τη χρήση γης
- Εκπομπές Αερίων
- Επιπτώσεις από τη Διάθεση Υγρών Αποβλήτων
- Θόρυβος
- Ύπαρξη Μικροσεισμικότητας
- Καθιζήσεις



# Το ζήτημα της Χρήση Γης

## -Απαιτούμενοι πόροι Γης για Αξιοποίηση της Γεωθερμίας

- Γη για εγκατάσταση της μονάδας
- Χώρος για τις γεωτρήσεις
- Χώρος για τις σωληνώσεις μεταφοράς
- Χώρος για τους δρόμους πρόσβασης

→ Γενικά ένα γεωθερμικό σύστημα απαιτεί λιγότερους πόρους γης από τους αντίστοιχους που απαιτούν οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί και οι συμβατικοί ατμοηλεκτρικοί σταθμοί.



# Το ζήτημα Διάθεσης των Γεωθερμικών Ρευστών

-Επειδή το Γεωθερμικό Ρευστό έχει υψηλή θερμοκρασία και περιεκτικότητα σε διάφορα χημικά συστατικά, πριν διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες, θα πρέπει να επεξεργαστεί και επίσης να μειωθεί η θερμοκρασία του.

-Περιβαλλοντικά ο καλύτερος τρόπος διάθεσης των Γεωθερμικών Ρευστών είναι η επαναεισαγωγή τους στον ταμειυτήρα, με:

→ Μονάδες με δυαδικό κύκλο

→ Ελάχιστες επιπτώσεις.

-Διαρροές και διάθεση Γεωθερμικών Ρευστών σε υδάτινους αποδέκτες, όπως επίσης και θόρυβος, μπορούν να προκύψουν επίσης κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και της κατασκευής της μονάδας.