



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακιάκης

Γεωθερμία

Πρόγραμμα Διά Βίου Μάθηση

Καινοτόμες Τεχνολογίες Εφαρμογών Α.Π.Ε.
και Εξοικονόμησης Ενέργειας



Συνδιοργάνωση:

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.Ι. Κρήτης
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.Ι. Πειραιά
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.Ι. Αθήνας

Η γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμία

- Με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια» περιγράφεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης.
- Όμως με τον όρο «γεωθερμική ενέργεια», που συνήθως χρησιμοποιούμε, εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού, ατμού ή θερμών πετρωμάτων σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, δηλαδή περιορίζεται στα πρώτα τρία περίπου χιλιόμετρα από την επιφάνεια της γης.

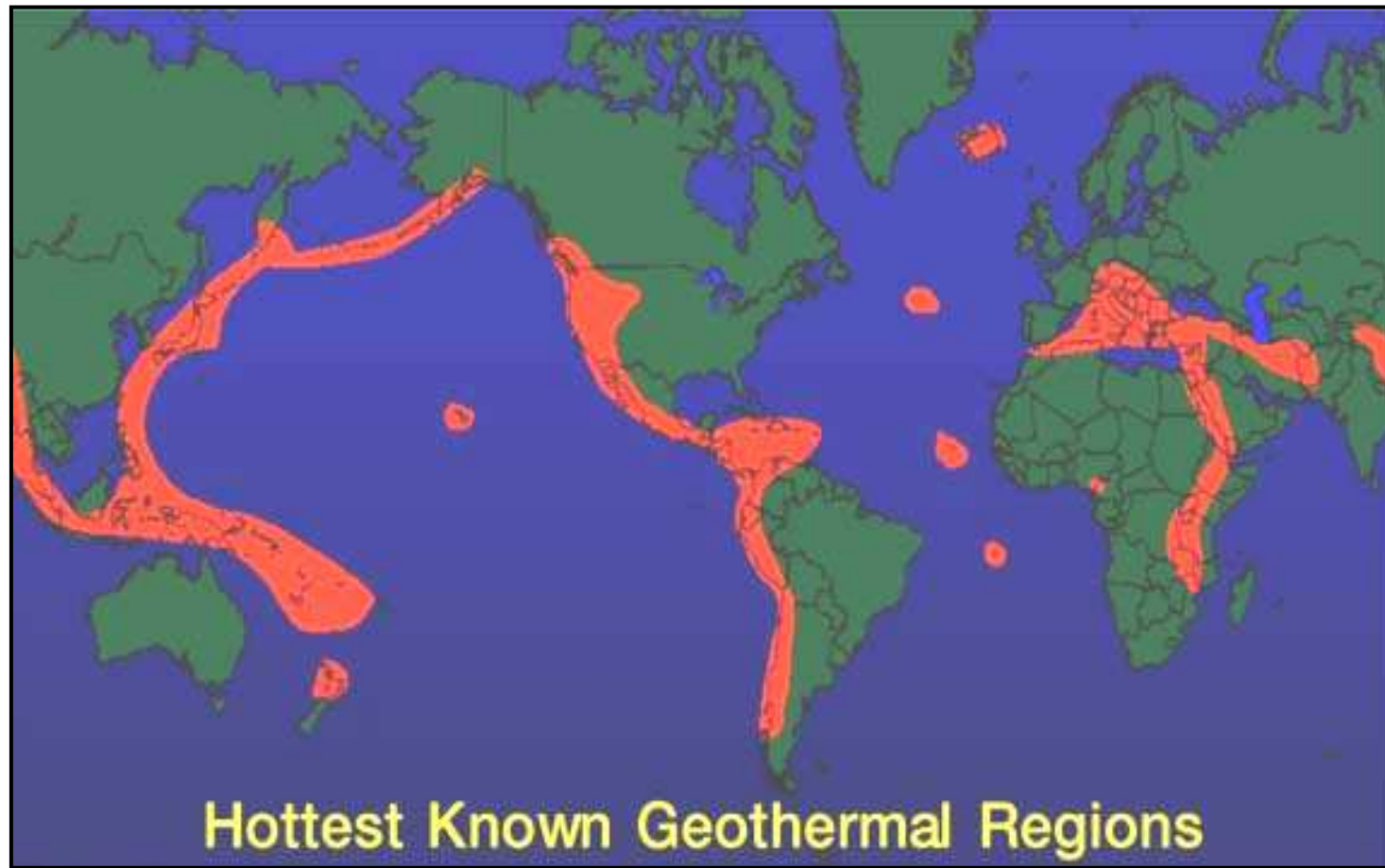
Ενδείξεις της γεωθερμικής ενέργειας

- Η πλέον εντυπωσιακή απόδειξη της θερμότητας που υπάρχει στο εσωτερικό της γης αποτελεί η ηφαιστειακή δραστηριότητα.
- Άλλες γεωθερμικές ενδείξεις είναι οι ατμοί, τα θερμά νερά και τα αέρια που σχηματίζουν θερμοπίδακες (γκέιζερ), θερμές πηγές και ατμίδες.



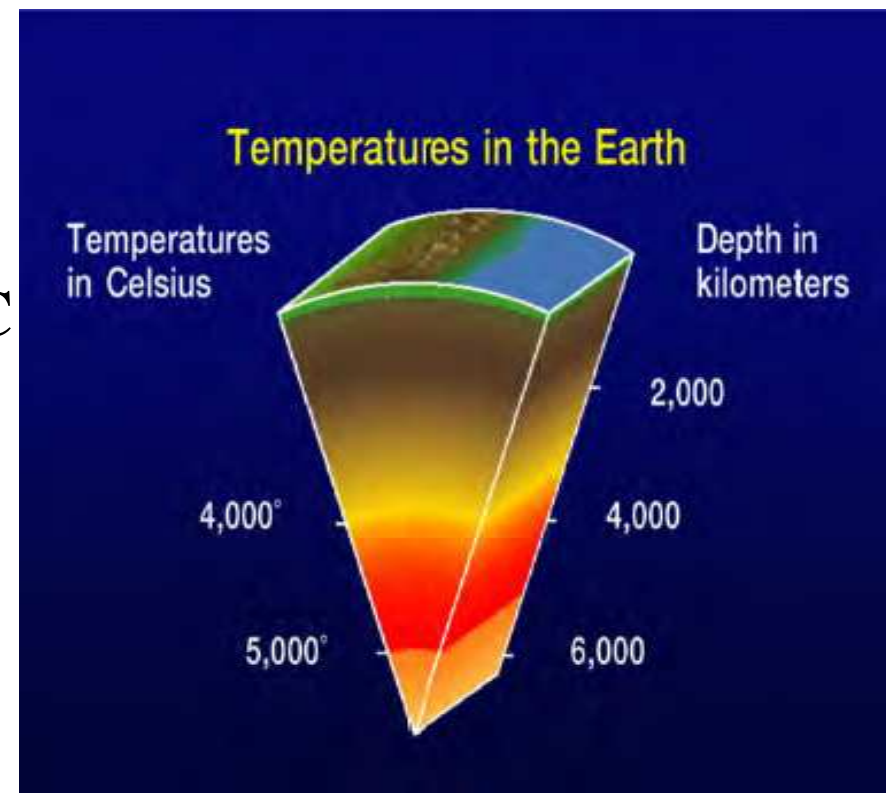
Προέλευση γεωθερμικής ενέργειας

Χάρτης θερμότερων γεωθερμικών περιοχών.



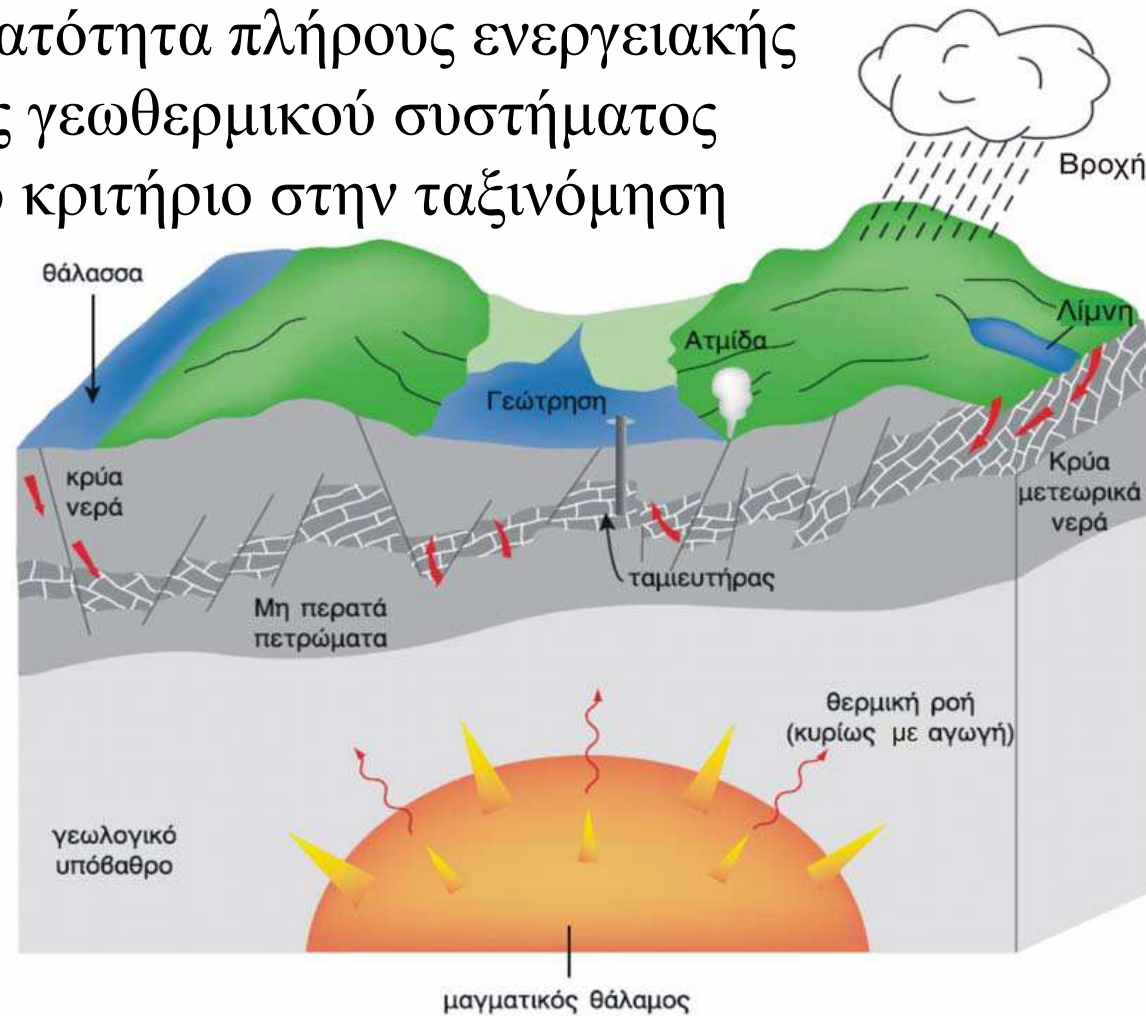
Είναι η γεωθερμία ανανεώσιμη πηγή;

- Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της Γης και αυτή η θερμότητα είναι βασικά απεριόριστη.
- Σύμφωνα με τη σημερινή επιστημονική γνώση, το εσωτερικό της Γης έχει θερμοκρασίες 1.000-3.000°C στο μανδύα και > 4.000°C στον πυρήνα.



Είναι η γεωθερμία ανανεώσιμη πηγή;

- Ο ρυθμός και η δυνατότητα πλήρους ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πόρου ως ανανεώσιμου ή όχι.



Γεωθερμική βαθμίδα

- Η θερμοκρασία του εδάφους αυξάνεται με το βάθος του από την επιφάνειά του.
- Ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας με το βάθος από την επιφάνεια της γης είναι γνωστός με το όνομα γεωθερμική βαθμίδα.
- Η γεωθερμική βαθμίδα κυμαίνεται από 5 μέχρι 70°C/km, με μέση τιμή τους 30°C/km ή 1°C ανά 30m.
- Περιοχές με γεωθερμικό ενδιαφέρον είναι οι περιοχές που διαθέτουν γεωθερμική βαθμίδα μεγαλύτερη από τη μέση τιμή.

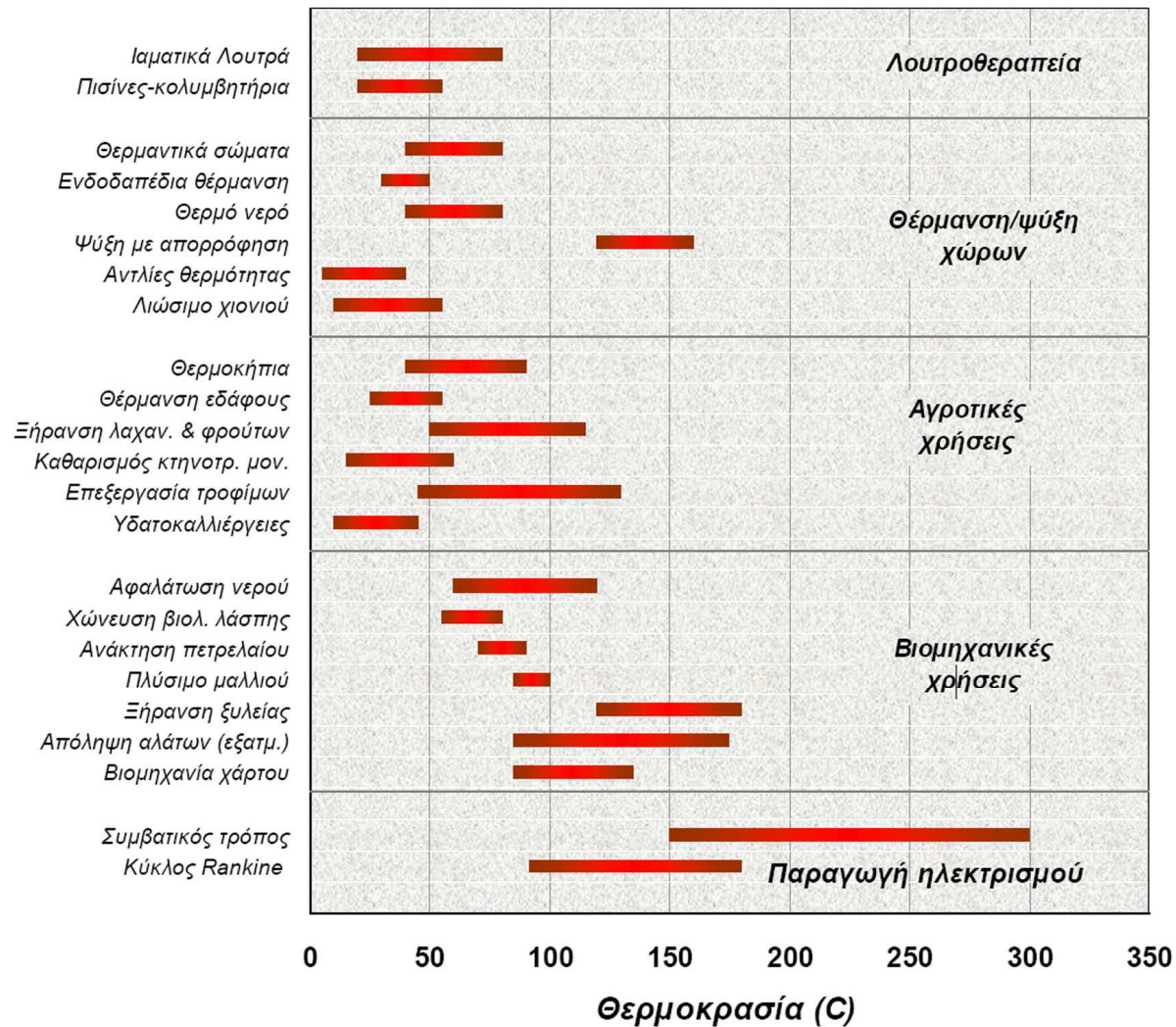
Περιορισμοί αξιοποίησης γεωθερμικού δυναμικού

- Περιορισμοί αξιοποίησης γεωθερμικού δυναμικού:
 - τεχνικής φύσεως (διάβρωση, δημιουργία επικαθίσεων)
 - περιβαλλοντικής φύσεως (εκπομπές τοξικών αερίων, θερμική ρύπανση)
 - οικονομικής φύσεως, που παίζουν σπουδαίο ρόλο σε κάθε προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας.
- Γενικά είναι πιθανότερη η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές, αστικές ή αγροτικές περιοχές, ή όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η γεωθερμία ως μορφή Α.Π.Ε.

- Σημαντικό πλεονέκτημα της «Γεωθερμίας» έναντι των λοιπών Α.Π.Ε. είναι η μόνιμη «παροχή» ενέργειας καθ' όλο το έτος, χωρίς διακυμάνσεις και με μικρό λειτουργικό κόστος καθώς και η δυνατότητα πλήρους ανάκτησης και εκμετάλλευσης της υπάρχουσας υπεδαφικής θερμότητας.
- Συγκρινόμενη με άλλες εφαρμογές εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η ηλεκτροπαραγωγή μέσω γεωθερμικών ρευστών παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο ετήσιο συντελεστή απασχόλησης – της τάξης του 0,98 (98%), αντίθετα με τα αιολικά που έχουν συντελεστή 0,25 ~ 0,40 και τα φωτοβολταϊκά με συντελεστή 0,15 ~ 0,18.

Κυριότερες εφαρμογές γεωθερμίας



Τα γεωθερμικά συστήματα

Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού, διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων:

- Υψηλής Ενθαλπίας. Όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150°C . Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.
- Μέσης Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ $90 - 150^{\circ}\text{C}$.
- Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ $25 - 90^{\circ}\text{C}$.

Κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων

Ανάλογα με τη θερμοκρασία του υπεδάφους ή του ρευστού, διακρίνονται οι ακόλουθοι τύποι γεωθερμίας:

- Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας (Κανονική, Ομαλή ή Αβαθής) με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετησίων του αέρα περιβάλλοντος (μικρότερες των 25°C).
- Πάρα Πολύ Χαμηλής Ενθαλπίας με θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C (Αρνητική ή Permafrost).

Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα τυπικά υποσυστήματα:

- 1. Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης. Το πλέον συνηθισμένο σχήμα αξιοποίησης είναι το σύστημα των διπλών γεωτρήσεων («δίπολο»), στο οποίο το σύνολο του γεωθερμικού ρευστού επανεισάγεται στον ταμιευτήρα.

Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

- 2. Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών 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.

Βασικά μέρη ενός γεωθερμικού συστήματος

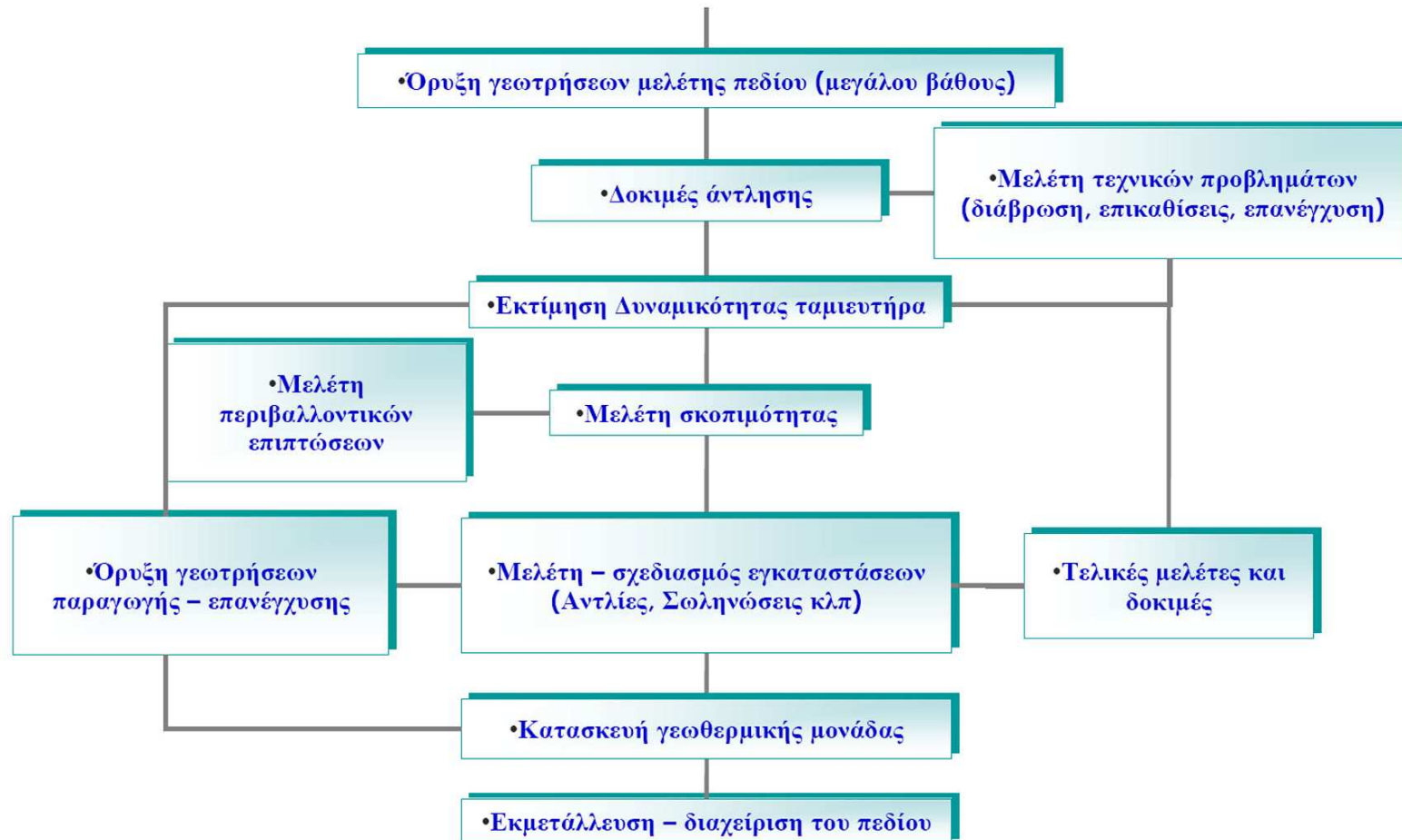
- 3. Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας). Οι εναλλάκτες πλακών είναι οι κατ' εξοχήν εναλλάκτες που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης όταν η χημεία των νερών δεν επιτρέπει την απ' ευθείας εφαρμογή. Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια επιτελείται με τη διέλευση του θερμού νερού μέσω των μετατροπέων θερμότητας αέρα-υγρού (converters), κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης.
- 4. Το σύστημα διάθεσης των ρευστών.

Έρευνα γεωθερμικού πεδίου

Στάδια ανάπτυξης γεωθερμικών εφαρμογών



Στάδια ανάπτυξης γεωθερμικών εφαρμογών



Γεωθερμικός χάρτης Μήλου

Γεωθερμικές γεωτρήσεις
 Βάθος: 1 – 1.4 km
 T = 300-320 °C

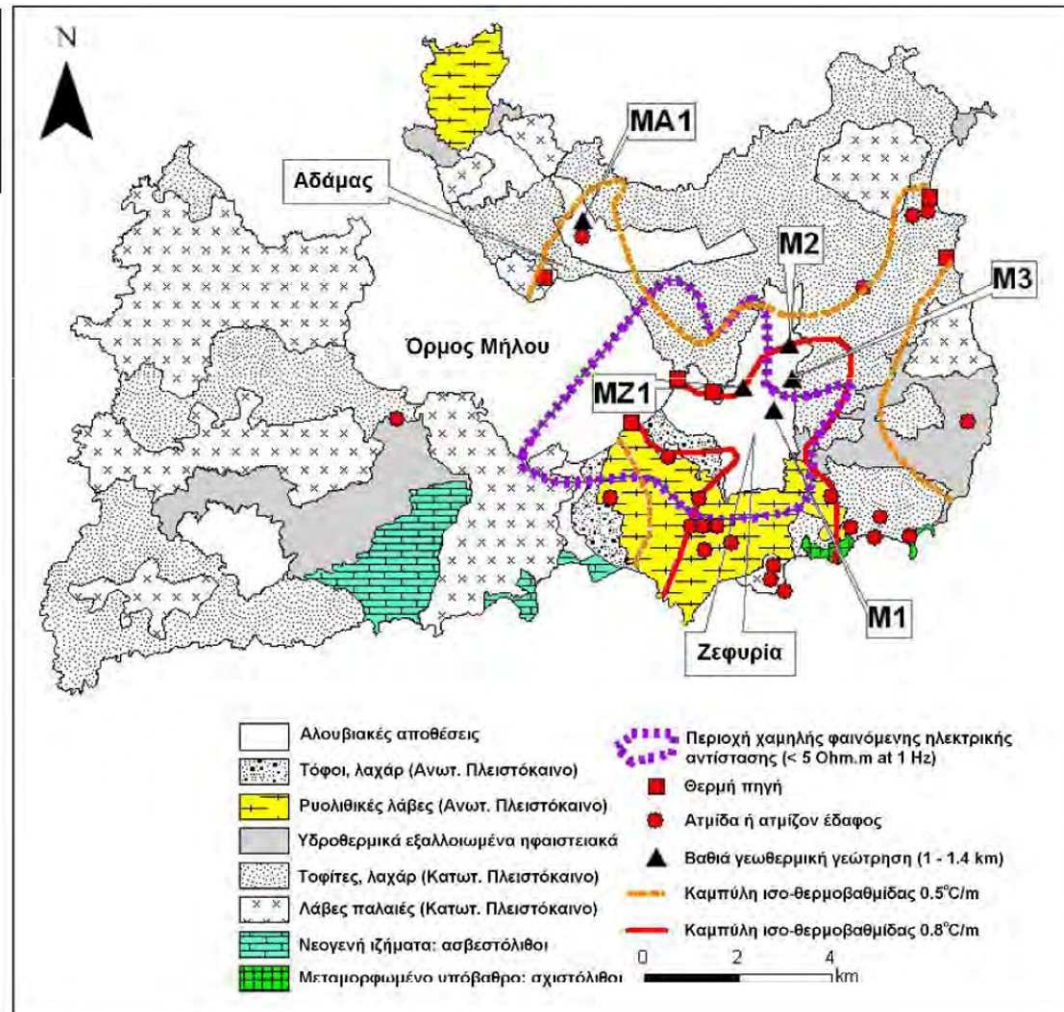
&

Γεωφυσική έρευνα



Γεωθερμικό δυναμικό

Βεβαιωμένο = 150 MWe



Γεωθερμικός χάρτης Νισύρου

Γεωθερμικές γεωτρήσεις
 Βάθος: 1.5 – 2 km
 T = 250-350 °C

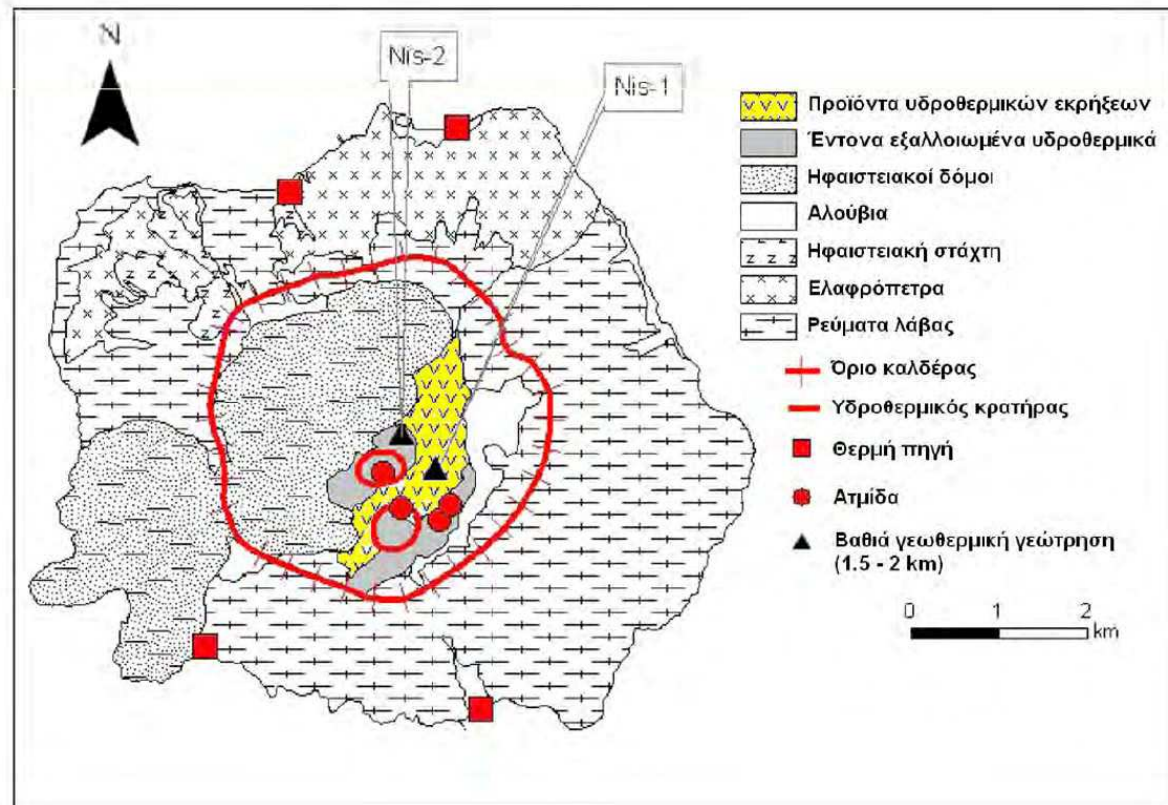
&

Γεωφυσική έρευνα

⇓

Γεωθερμικό δυναμικό

Βεβαιωμένο = 50 MWe



Γεωθερμία υψηλής και μέσης ενθαλπίας

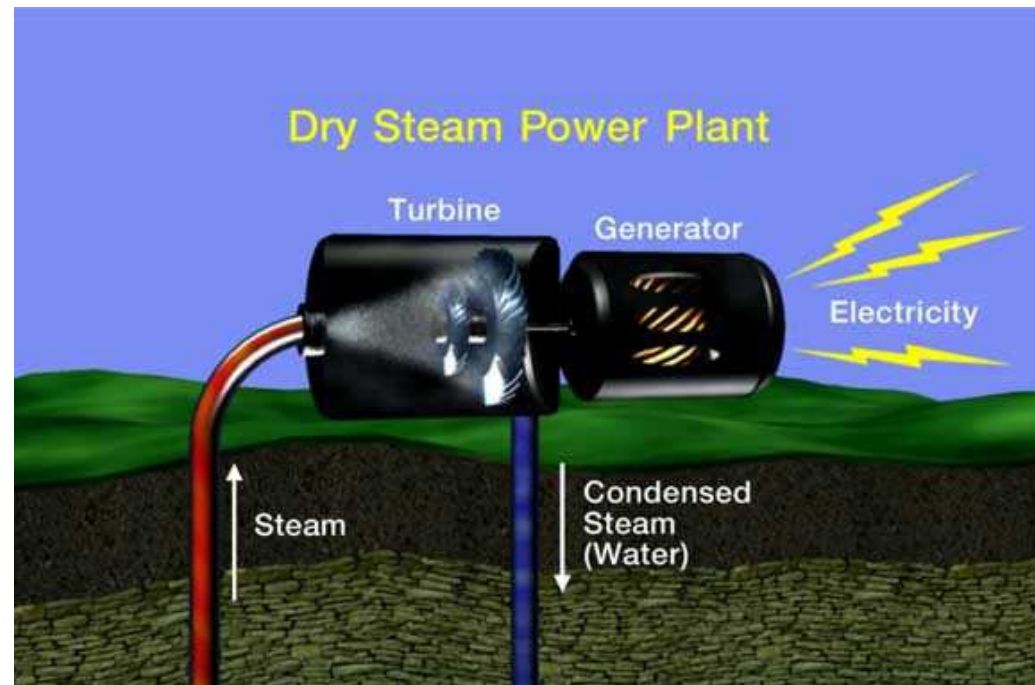
Γεωθερμία υψηλής και μέσης ενθαλπίας

- Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μπορεί να προσφέρει θέρμανση, ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.
- Είναι από τις πιο καθαρές για το περιβάλλον μορφές ενέργειας.
- Διακρίνονται οι ακόλουθες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας:
 - χρήση ξηρού ατμού
 - χρήση ακαριαίου ατμού
 - δυαδικός κύκλος ή κύκλος Rankine

Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

Χρήση ξηρού ατμού

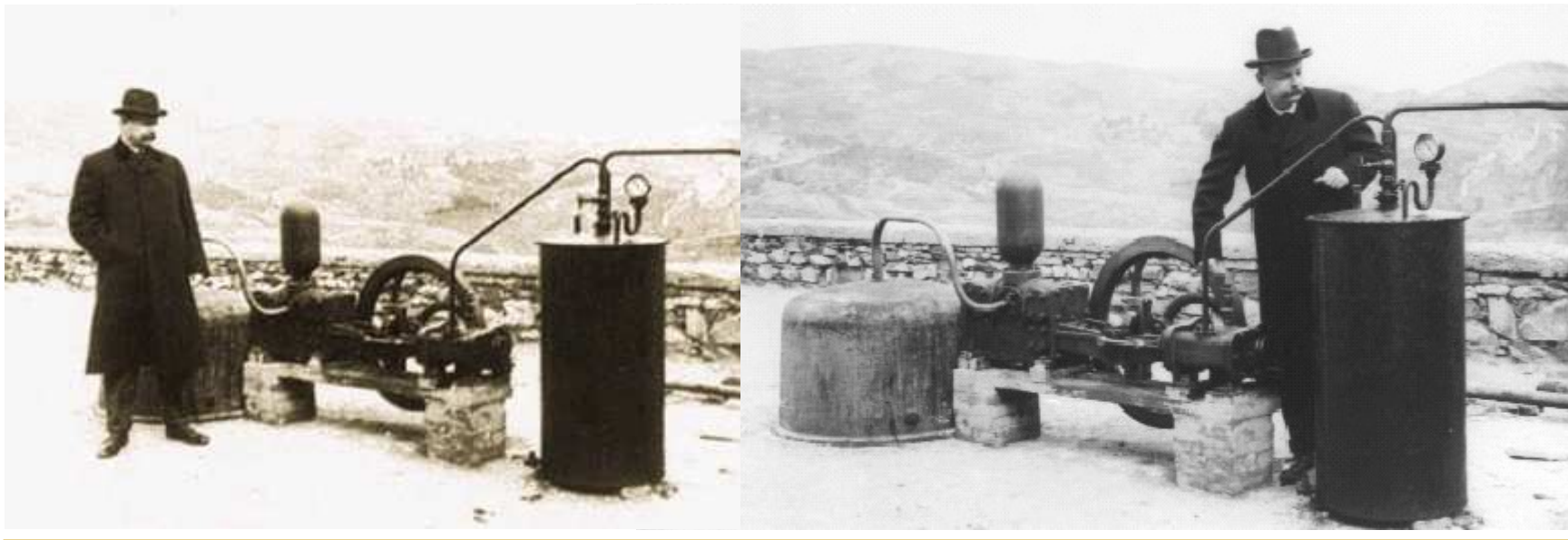
- Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται απευθείας σε στρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.



Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

Χρήση ξηρού ατμού

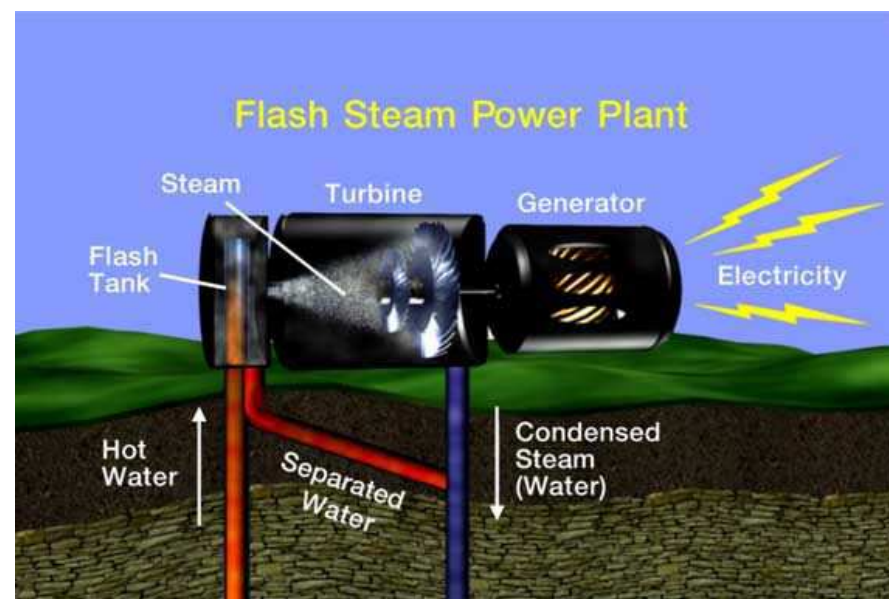
- Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο Larderello στην Ιταλία το 1904, που σήμερα αριθμεί 504MW εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος.



Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

Χρήση υγρού ατμού

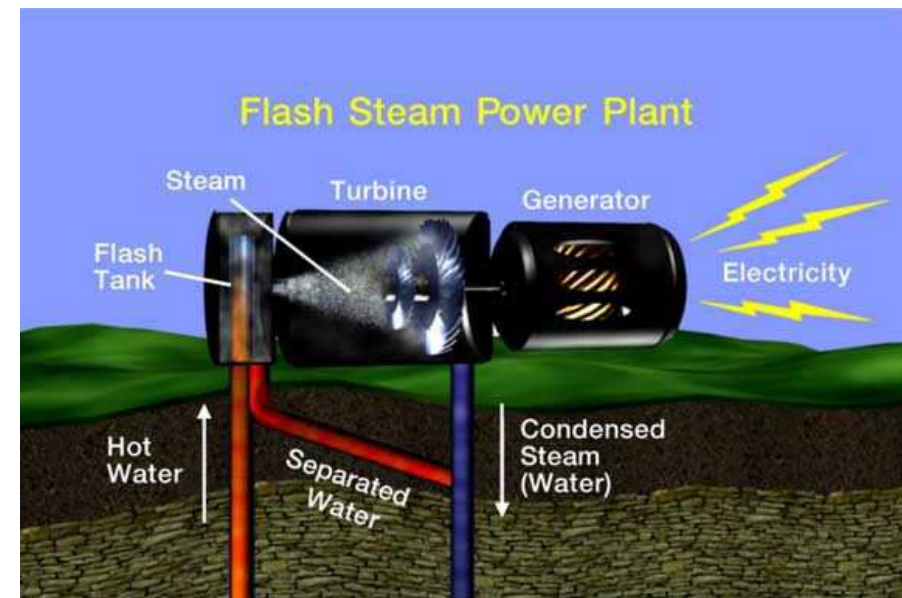
- Το γεωθερμικό ρευστό είτε έρχεται ως διφασική ροή από τη γεώτρηση είτε εκτονώνεται σε πίεση χαμηλότερη από την πίεση που επικρατεί στην κεφαλή της γεώτρησης και μετατρέπεται σε διφασικό μίγμα.
- Το μίγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος.



Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

Χρήση υγρού ατμού

- Εάν η θερμοκρασία και η πίεση του γεωθερμικού υγρού το επιτρέπουν, τότε το υγρό μπορεί να εκτονωθεί για δεύτερη φορά ή και περισσότερες φορές, ώστε να παραχθεί επιπλέον ατμός, που θα αυξήσει σημαντικά την απόδοση της μονάδας.



Γεωθερμία υψηλής ενθαλπίας

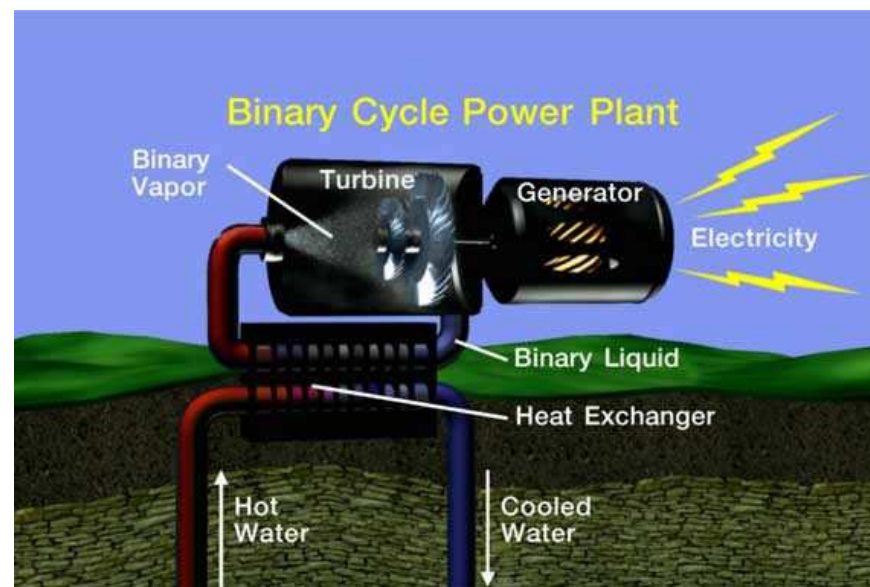
Χρήση υγρού ατμού

- Τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Imperial Valley, στην Καλιφόρνια.



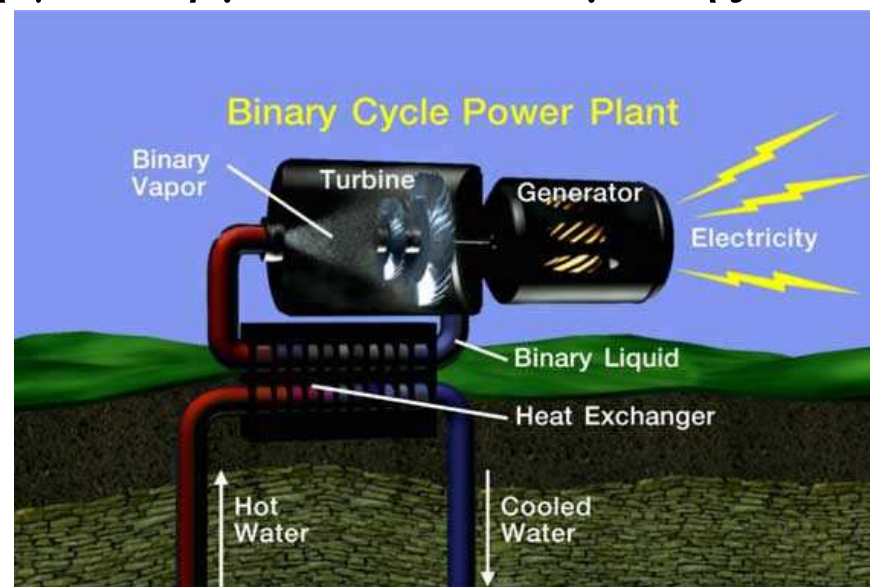
Δυναμικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

- Το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό & αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO₂ κλπ) το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως σε σχέση με το νερό.
- Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στο στρόβιλο και εν συνεχεία στο συμπυκνωτή.



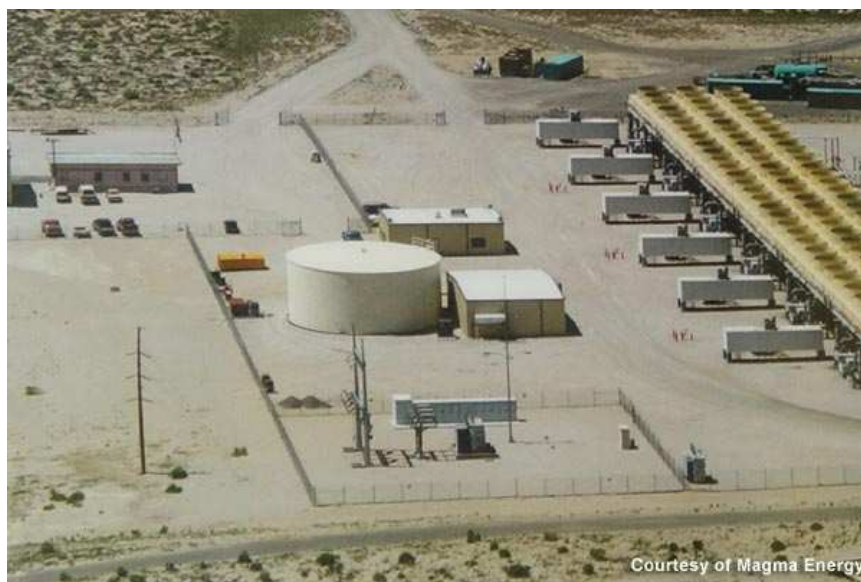
Δυναμικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

- Το ρευστό από το συμπυκνωτή συμπιέζεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου.
- Ουσιαστικά πρόκειται για χρήση γεωθερμικού πεδίου μέσης ενθαλπίας, αφού η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να υπερβαίνει μόνο τους 90°C.

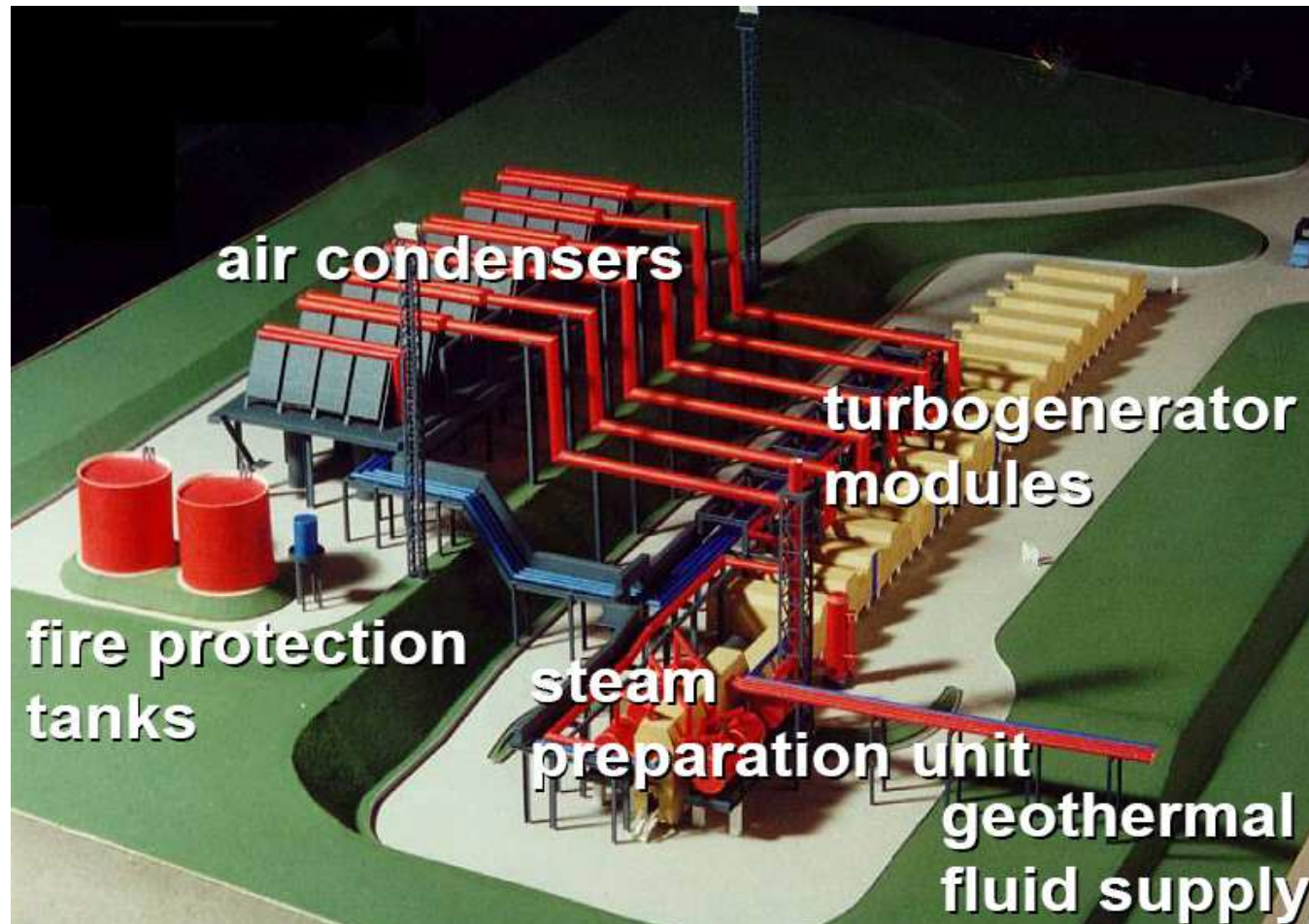


Δυναμικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό

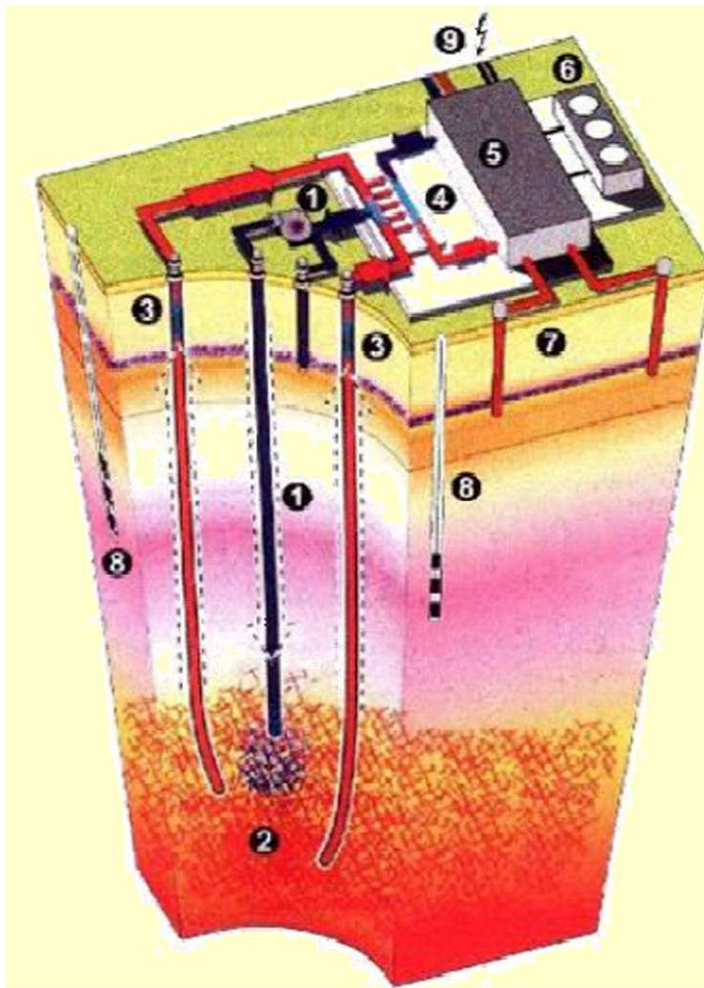
- Τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Soda Lake, στη Νεβάδα.



Γεωθερμικός σταθμός ισχύος



Γεωθερμικός σταθμός ισχύος



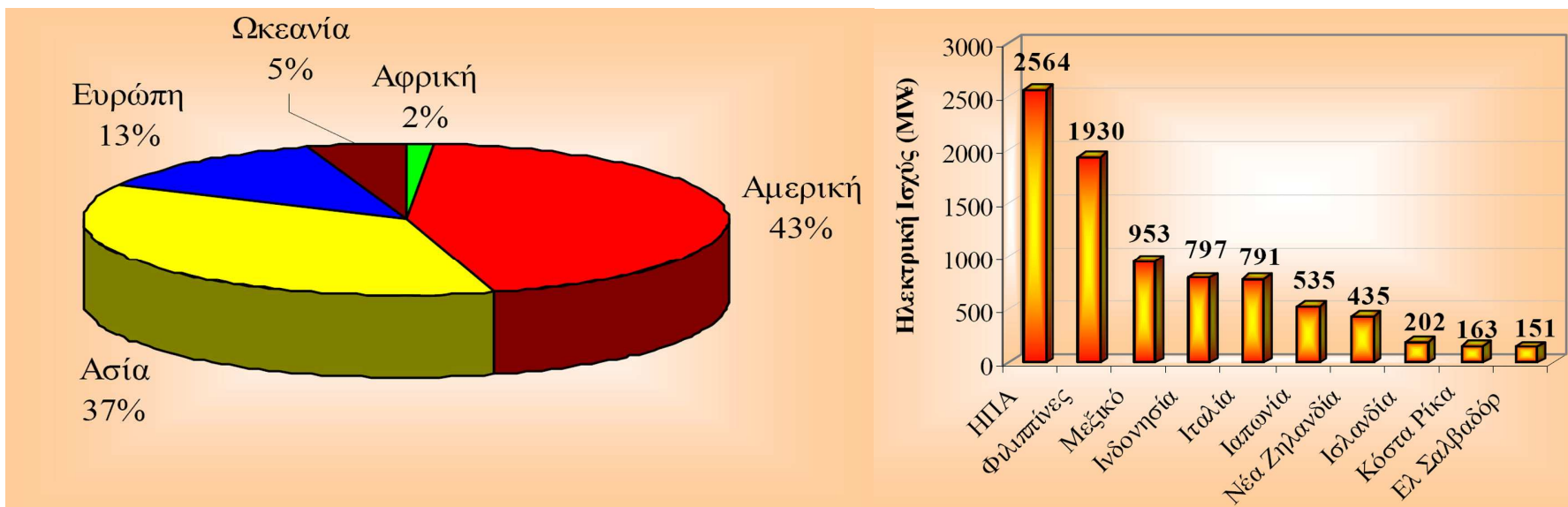
1. Injection Drill Hole and Injection Pumps
2. Stimulated Joint System
3. Production Drill Holes
4. Heat Exchanger
5. Turbines and Generators
6. Cooling Cycle
7. High Temperature Underground Storage
8. Seismic Monitoring Drill Holes
9. Consumers of Electricity and Heat

Κόστος γεωθερμικών εγκαταστάσεων για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

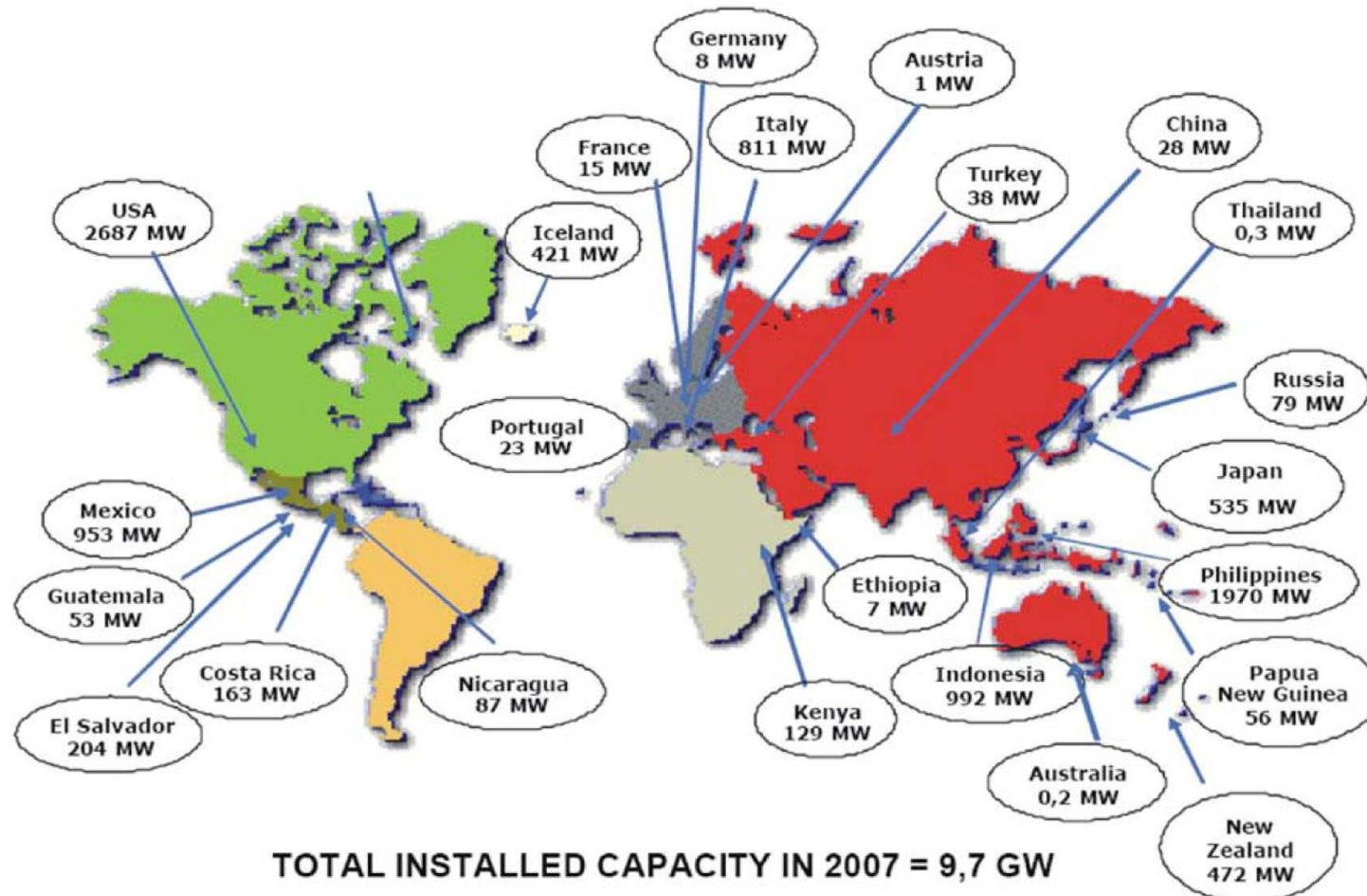
- Οι τελικές δαπάνες επένδυσης για τις γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλλουν μεταξύ 900 και 1.500€ανά εγκατεστημένο kW_e.
 - Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 0,04 και 0,07€/kWh_e συμπεριλαμβανομένης της απόσβεσης.
-

Γεωγραφική κατανομή γεωθερμικών έργων μέσης & υψηλής ενθαλπίας

- Η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής κατά το 2005, ανήλθε σε 8.927,63MWe.
- Στην Ευρώπη η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι 1.124,43MWe (2005).



Παγκόσμια κατανομή γεωθερμικών έργων μέσης & υψηλής ενθαλπίας



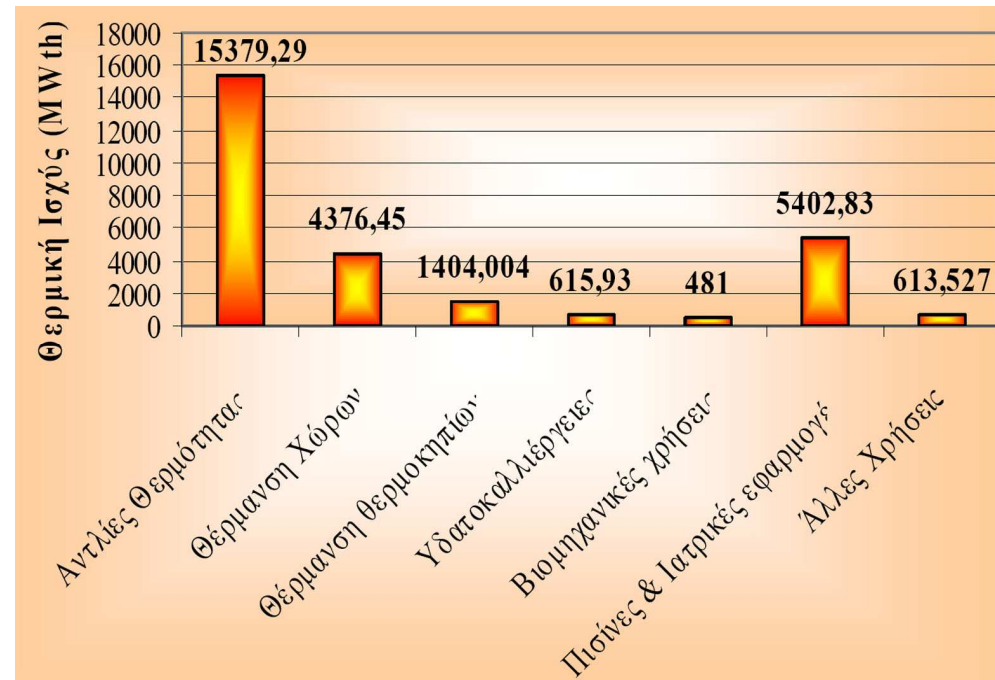
Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

- Οι άμεσες χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας είναι:
 - άμεση θέρμανση χώρων
 - θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών
 - ιχθυοκαλλιέργειες
 - βιομηχανικές εφαρμογές
 - θέρμανση πισίνων και ιατρικές εφαρμογές
 - άλλες χρήσεις.

Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

- Παγκοσμίως, η συνολική εγκατεστημένη θερμική ισχύς το 2005 ανήλθε σε 28.273MWth, σημειώνοντας αύξηση κατά 85% σε σχέση με το 2000.
- Από την ισχύ αυτή τα 13.629MWth προέρχονται από την Ευρώπη.
- Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς στην Ελλάδα κατά το 2005 ανήλθε μόλις σε 74,8MWth.

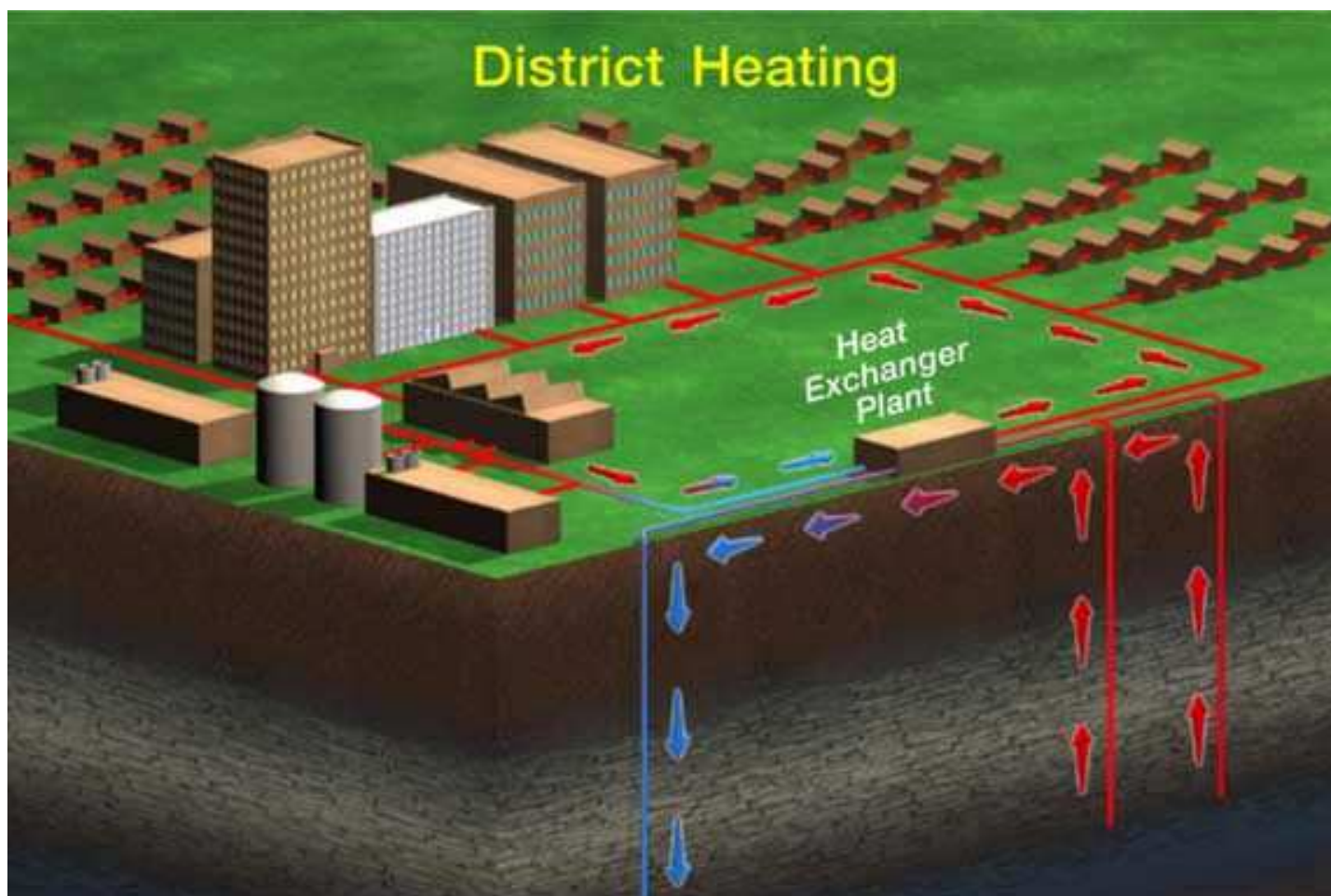


Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

Άμεση θέρμανση χώρων

- Η άμεση θέρμανση χώρων είναι η παλαιότερη μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας και η πλέον διαδεδομένη στην Ευρώπη.
- Περιλαμβάνει επίσης την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές χρήσεις.
- Το γεωθερμικό ρευστό από μία ή δύο γεωτρήσεις αποδίδει θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του ενεργειακού χρήστη, είτε άμεσα, είτε μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας.
- Γι' αυτή την εφαρμογή απαιτούνται γεωθερμικά ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45°C.

Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας Άμεση θέρμανση χώρων



Γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας

Άμεση θέρμανση χώρων

- Η θέρμανση χώρων από τη γεωθερμία είναι πολύ ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Κόστος κεφαλαίου 200-1.400€ανά εγκατεστημένο kWh.
- Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2-3% του κόστους κεφαλαίου.
- Κόστος παραγόμενης ενέργειας 0,005-0,035€/kWhth συμπεριλαμβανομένων των αποσβέσεων των κεφαλαίων και του κόστους χρήματος.

Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών



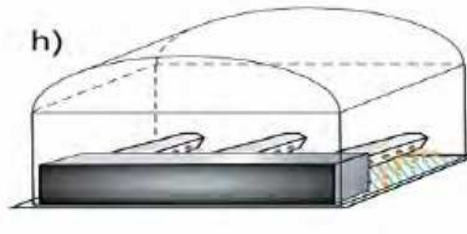
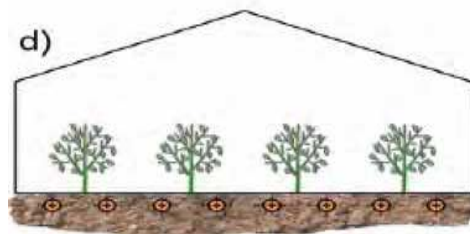
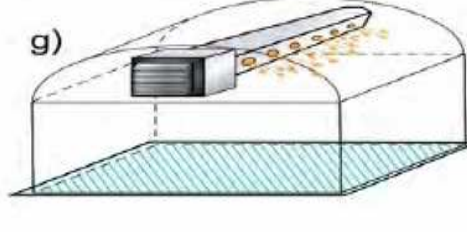
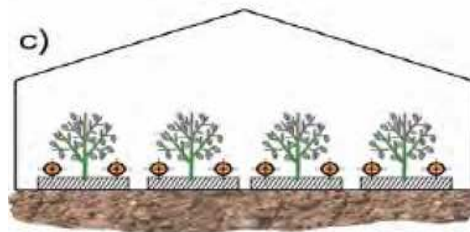
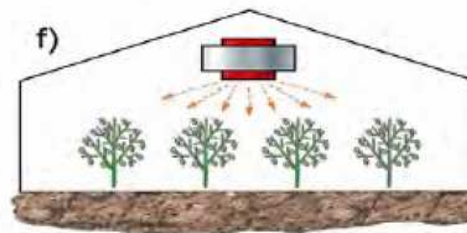
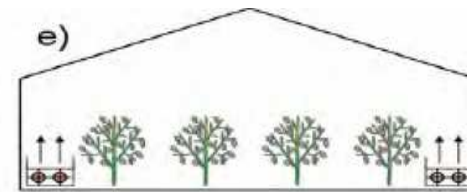
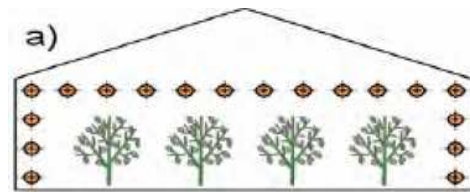
- Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και εδάφη χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και την πρωίμιση καλλιεργειών.
 - Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της.
 - Τα θερμοκήπια και η θέρμανση εδαφών απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C.
-

Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών



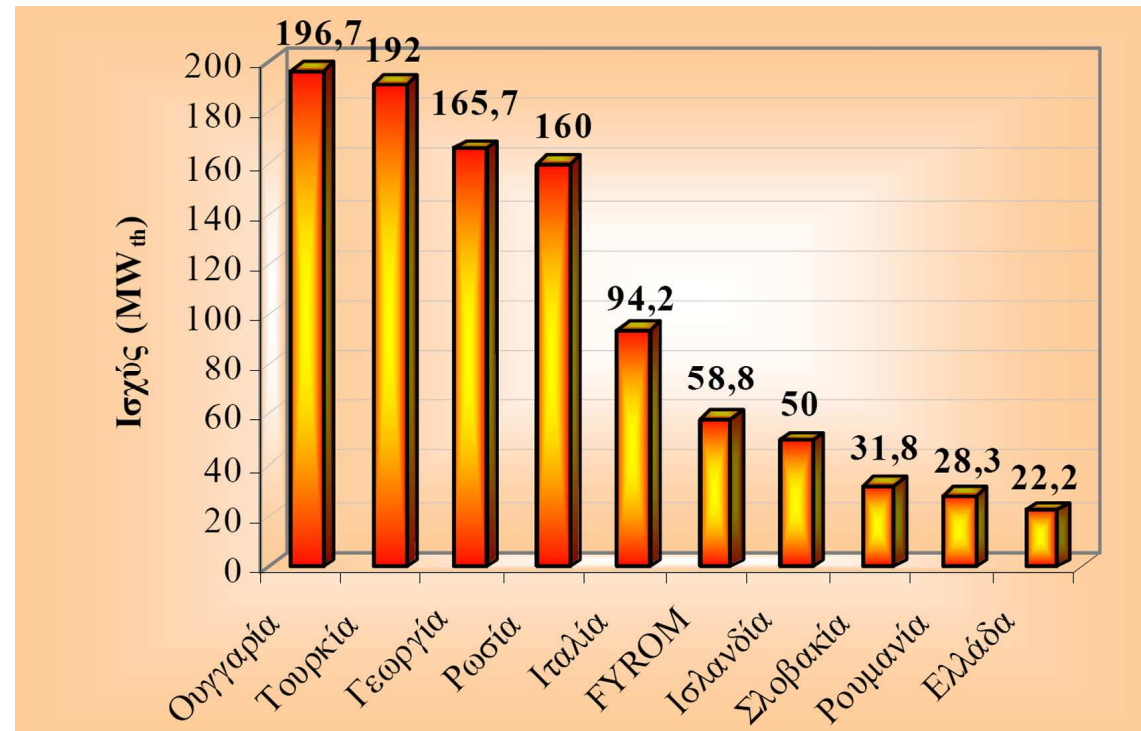
- Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί, ανάλογα με τη θερμοκρασία και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά του γεωθερμικού ρευστού:
 - ❑ α. με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm)
 - ❑ β. με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού (αερόθερμο)
 - ❑ γ. με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου
 - ❑ δ. με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία)
 - ❑ ε. με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων.

Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών



Εφαρμογές θέρμανσης θερμοκηπίων και εδαφών στην Ευρώπη

Η θέρμανση θερμοκηπίων από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχεί σε 1.072,9 MWth, πάνω από το 75% του συνόλου παγκοσμίως.



Εφαρμογές θέρμανσης θερμοκηπίων και εδαφών στην Ελλάδα



άμεση θέρμανση
με σωλήνες PP
Λέσβος



άμεση θέρμανση
με σακούλες PE
Μήλος

Εφαρμογές θέρμανσης θερμοκηπίων και εδαφών στην Ελλάδα



Υπεδαφική θέρμανση εδαφών για πρωίμιση σπαραγγιών
N. Εράσμιο Ξάνθης

Εφαρμογές θέρμανσης θερμοκηπίων και εδαφών στην Ελλάδα



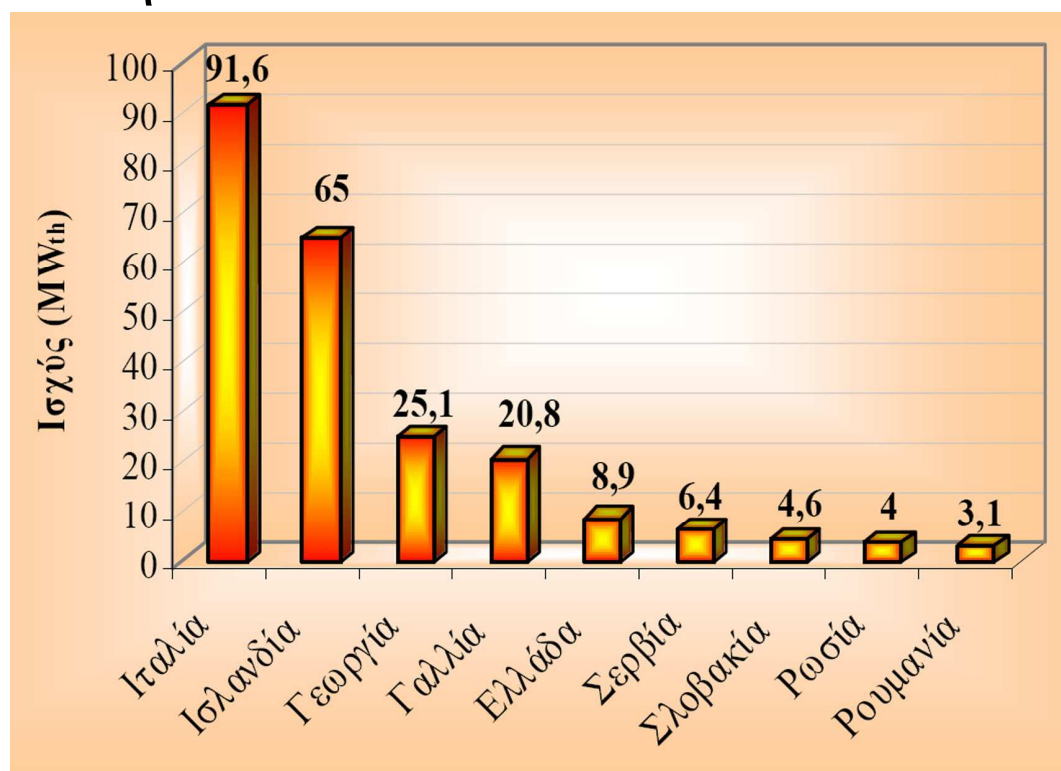
Καλλιέργεια του μικροφύκου Spirulina με τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας στη Νιγρίτα Σερρών

Εφαρμογές στις ιχθυοκαλλιέργειες

- Η γεωθερμία συμβάλλει με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε ιχθυοκαλλιέργειες ψαριών, θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδας) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες).
- Η θέρμανση πραγματοποιείται είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού.
- Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού απαιτείται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (π.χ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κλπ).
- Οι υδατοκαλλιέργειες απαιτούν την παρουσία γεωθερμικού ρευστού σε θερμοκρασίες που υπερβαίνουν τους 20°C.

Εφαρμογές θέρμανσης ιχθυοκαλλιεργείων στην Ευρώπη

Η εγκατεστημένη ισχύς για υδατοκαλλιέργειες στην Ευρώπη κατά το 2005 ανήλθε σε 230 MW_{th}.



Εφαρμογές στις ιχθυοκαλλιέργειες στην Ελλάδα



Καλλιέργεια σπιρουλίνας
Νιγρίτα Σερρών

Εφαρμογές στις ιχθυοκαλλιέργειες στην Ελλάδα



Αντιπαγετική προστασία και θέρμανση τεχνητών λιμνών
Πόρτο Λάγος Ξάνθης & Νιγρίτα Σερρών

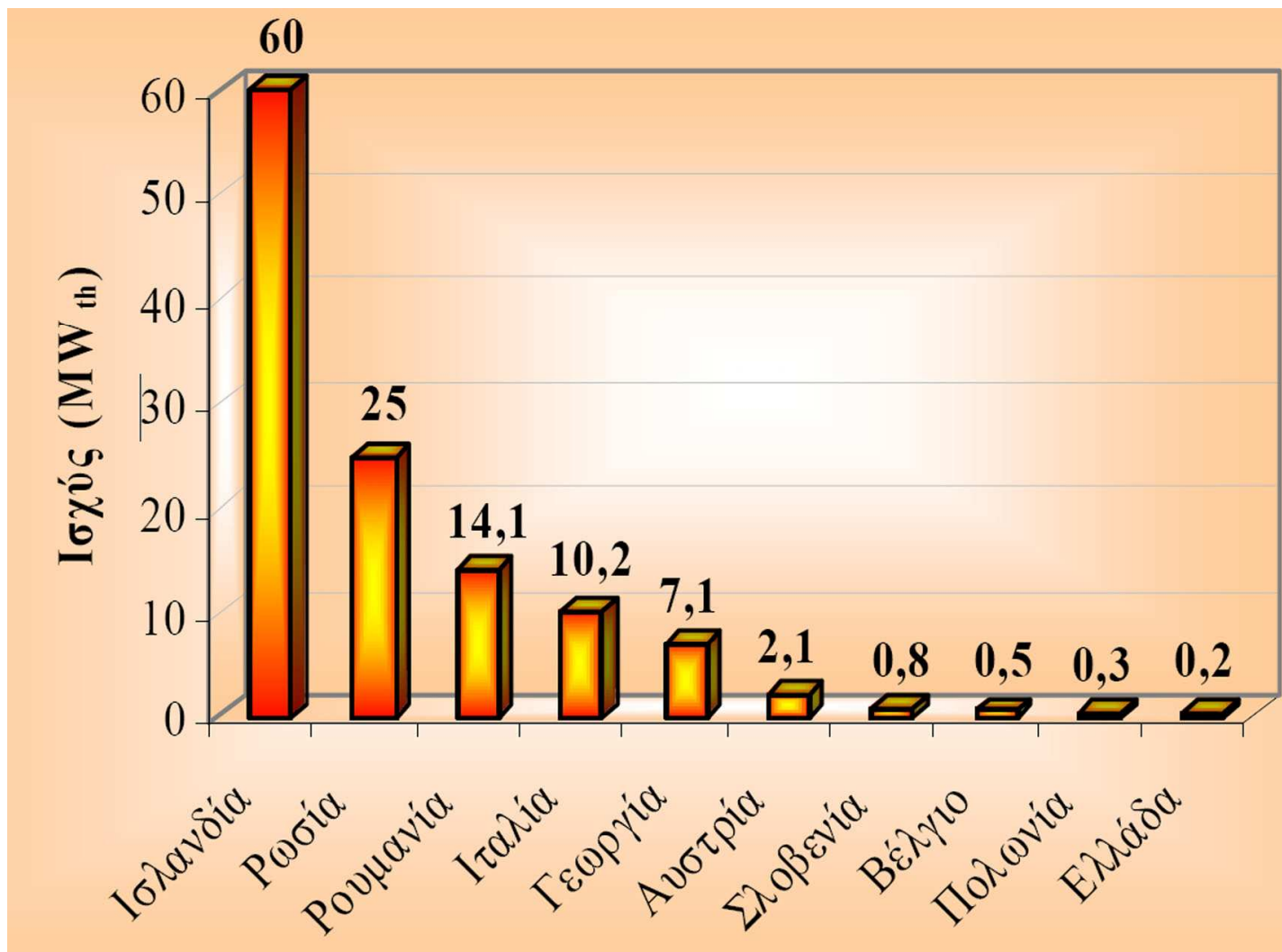
Εφαρμογές στη βιομηχανία

- Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να είναι οικονομικώς αποδοτική και αξιόπιστη στις βιομηχανικές εφαρμογές.
- Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών, χρησιμοποιείται για προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, εμφιάλωση ποτών, ξήρανση αγροτικών προϊόντων, τροφίμων, δερμάτων.
- Αν η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρήση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με αντλίες θερμότητας ή με θέρμανση από συμβατικά καύσιμα.
- Αναγκαία προϋπόθεση για τη χρήση των γεωθερμικών ρευστών σε βιομηχανίες είναι η γειννίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο.

Εφαρμογές στη βιομηχανία

- Οι βιομηχανικές εφαρμογές από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχούν σε 120,3MWth, περίπου το 25% του συνόλου παγκοσμίως.
 - Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10η θέση της Ευρώπης, με εγκατεστημένη ισχύ 0,2MWth, όλη σε μία μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης (η πρώτη στον κόσμο).
-

Εφαρμογές στη βιομηχανία



Άλλες εφαρμογές γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας



Προξήρανση βαμβακιού
Νέα Κεσσάνη Ξάνθης

Ξήρανση ντομάτας
Νέο Εράσμιο Ξάνθης

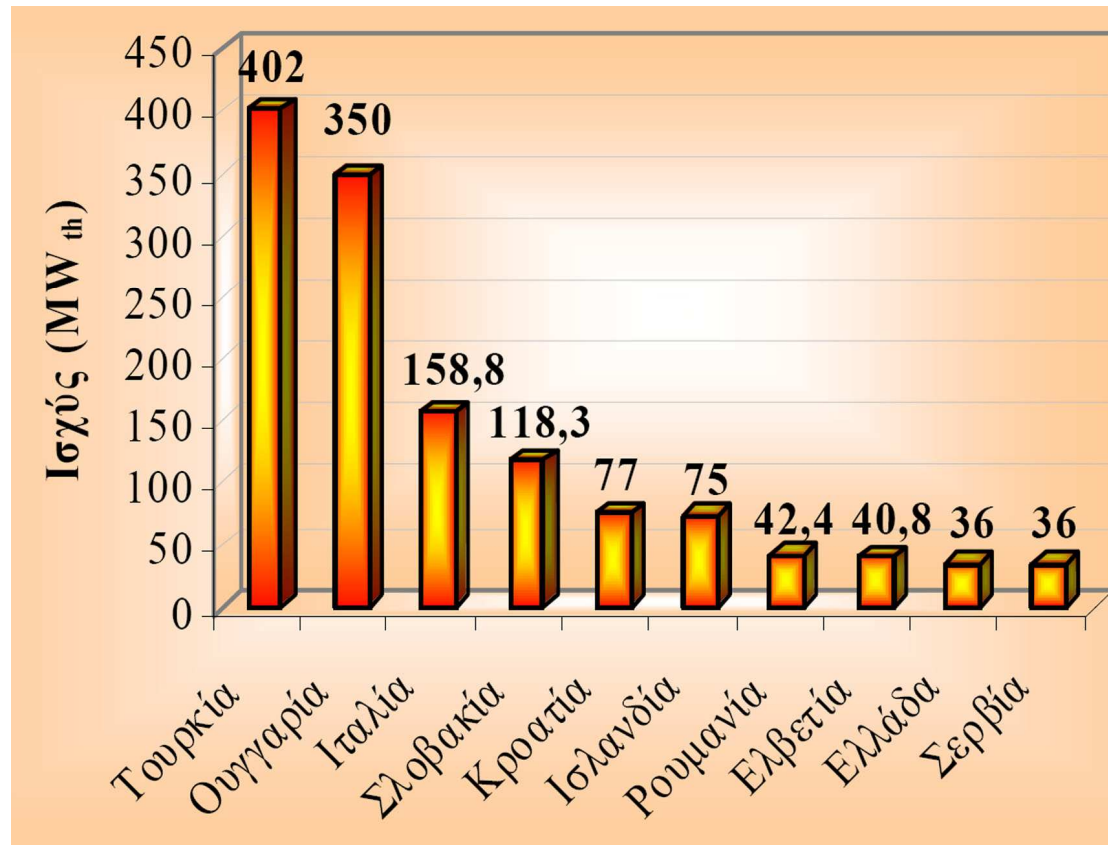


Θέρμανση πισίνων και ιατρικές εφαρμογές

- Μία από τις πλέον δημοφιλείς χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισίνων και οι ιατρικές εφαρμογές.
- Σήμερα υπάρχει μία πληθώρα από λουτροπόλεις που χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπεία είτε για αναζωογόνηση.
- Σε ότι αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (θερμοκρασία, μεταλλικά στοιχεία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους.
- Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία.

Ιατρικές εφαρμογές στην Ευρώπη

- Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση πισίνων και ιατρικές εφαρμογές στην Ευρώπη το 2005 ανήλθε σε 1.476,43MW_{th}.



Θέρμανση πισίνων και ιατρικές εφαρμογές



Θερμά λουτρά

Υδροθεραπευτήριο
«Θερμαί Σύλλα»
Αιδηψός, Εύβοια



Κανονική γεωθερμία

Κανονική γεωθερμία

- Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια καλείται η ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων, που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος.
- Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η ομαλή γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25°C.
- Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για αβαθή υπεδαφική θερμότητα, η οποία είναι μία περιβαλλοντική ενέργεια, όταν μάλιστα μέρος αυτής, κυρίως στα βάθη των 0-30m περίπου, είναι ηλιακής προέλευσης.

Κανονική γεωθερμία

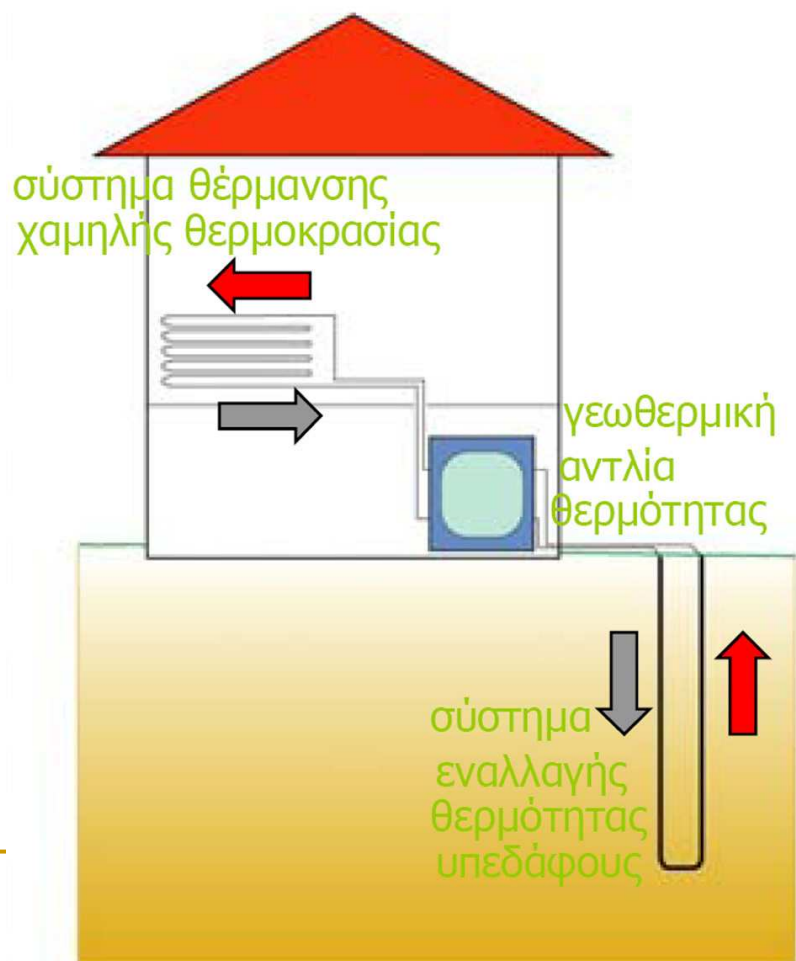
- Στα βάθη 0-15m το ποσοστό της θερμότητας ηλιακής προέλευσης γίνεται εμφανές, αυξανόμενο καθώς μικραίνει η απόσταση από την εδαφική επιφάνεια και καθώς μεγαλώνει το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.
- Η περιβαλλοντική θερμική ενέργεια αξιοποιείται με τις αντλίες θερμότητας, οι οποίες αποτελούν σήμερα σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας και περιορισμού των ρυπογόνων καυσίμων.

Αξιοποίηση αβαθούς γεωθερμίας

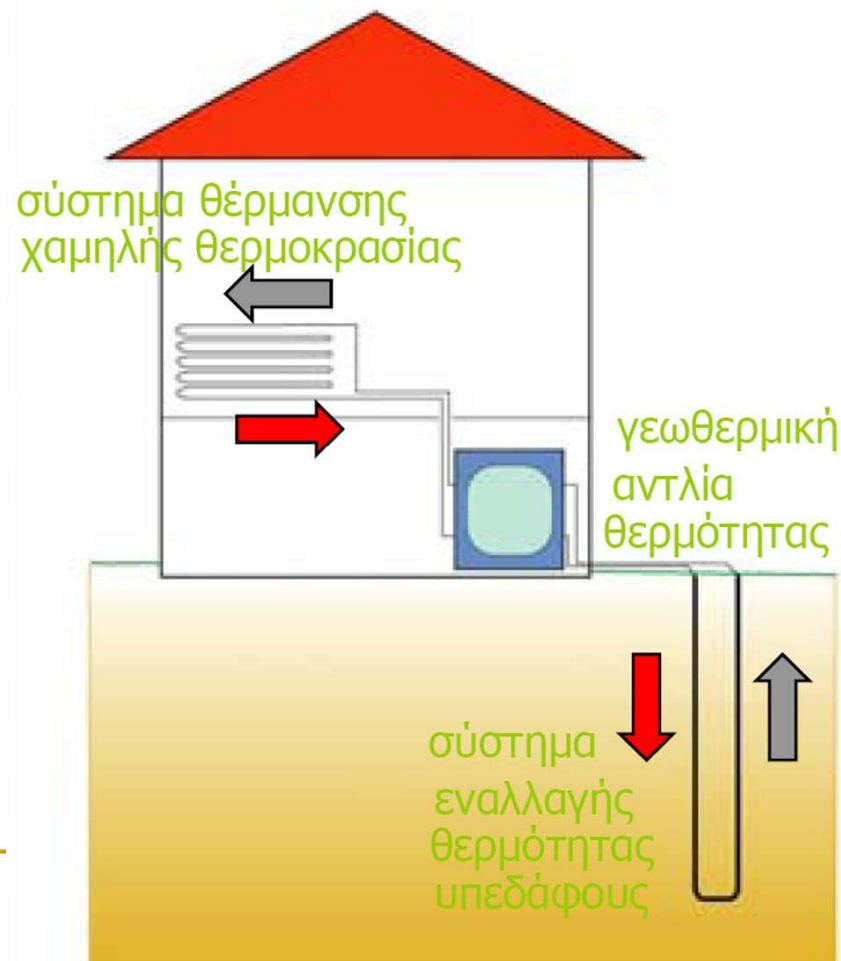
- Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται σήμερα εμπορικά με αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος για θέρμανση και ψύξη κτηρίων και παραγωγή ζεστού νερού.
- Η εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας γίνεται χρησιμοποιώντας ως πηγή ενέργειας:
 - τα αβαθή υπόγεια νερά
 - τη θερμοκρασία των πετρωμάτων μικρού βάθους.
- Πλεονέκτημα των αβαθών γεωθερμικών πηγών είναι οι σταθερές θερμοκρασίες καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, αφού δεν επηρεάζονται από τις θερμοκρασιακές και μετεωρολογικές μεταβολές που συμβαίνουν στην επιφάνεια της Γης.

Αρχή λειτουργίας

Χειμώνας – θέρμανση

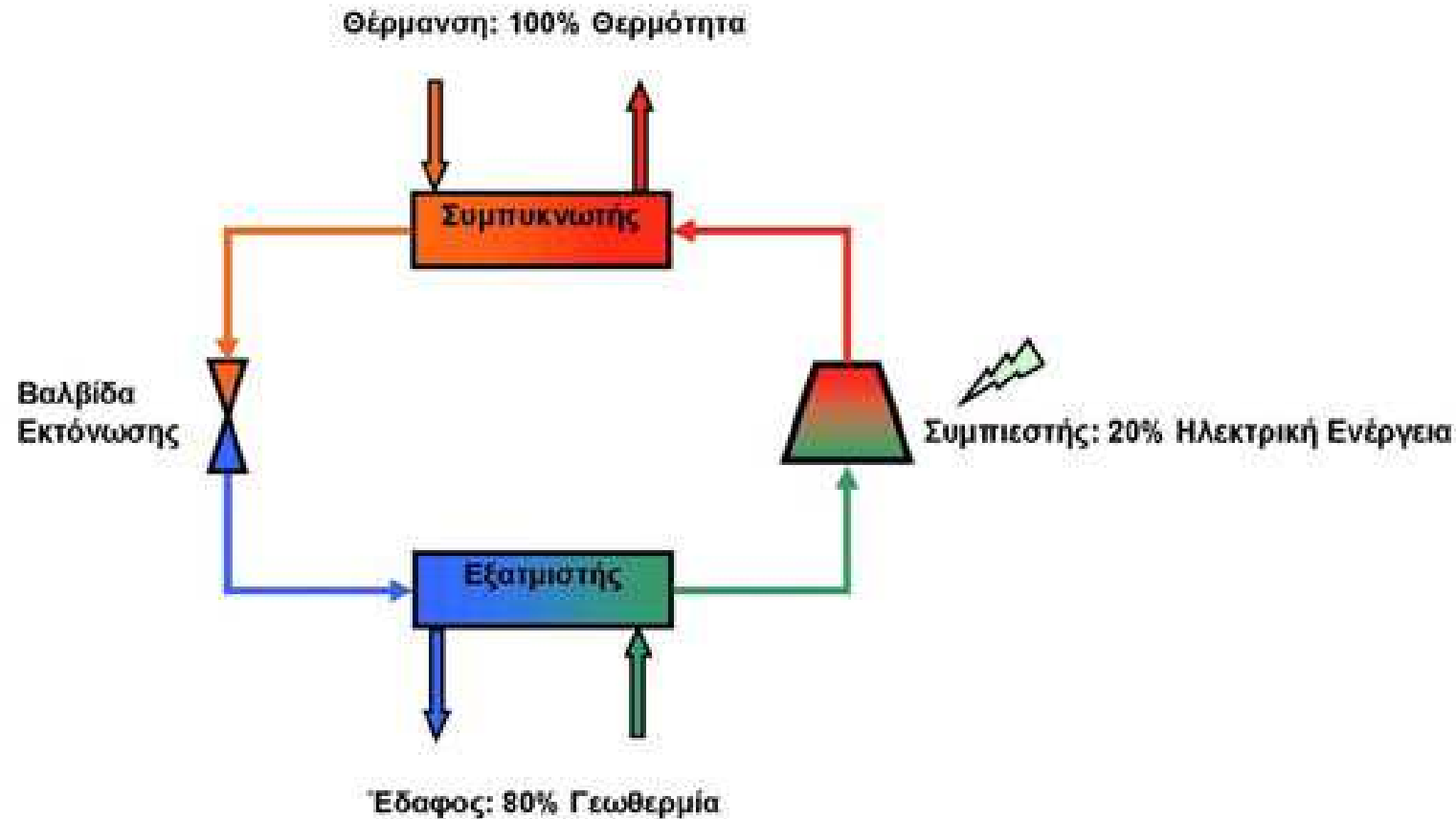


Καλοκαίρι - ψύξη



Ισοζύγιο ενέργειας

- 20% της συνολικής αποδιδόμενης ενέργειας από ΓΑΘ προέρχεται από ηλεκτρική ενέργεια



Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος

- Περιλαμβάνουν μηχανικές αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν το νερό το οποίο προέρχεται από υπόγειες πηγές (κρύες, χλιαρές ή θερμές γεωτρήσεις, εγκαταλειμμένα ορυχεία, κλπ) με θερμοκρασία 10-30°C, επιφανειακές πηγές (λίμνες, ποταμοί, θάλασσα) θερμοκρασίας 5-25°C.
- Χαρακτηρίζονται από αποδοτικότητα υψηλής ενέργειας με ένα μέσο συντελεστή απόδοσης (COP) 3 για τις εγκατεστημένες μονάδες και μεγαλύτερο του 4 για τις νέες μονάδες.

Αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος

- Ένα σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) αποτελείται από:
 - 1. τη μηχανική μονάδα της αντλίας θερμότητας
 - 2. τον εναλλάκτη θερμότητας κλειστού ή ανοικτού συστήματος
 - 3. το σύστημα κυκλοφορίας νερού στο κτήριο.
- Οι αντλίες θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος μπορούν να παράγουν νερό θερμοκρασίας 40-60°C
- Συνεπώς συνδυάζονται με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας (fan coils), τη θέρμανση δαπέδων κλπ.
- Μπορούν επίσης να παρέχουν ψύξη κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου για τα θερμότερα κλίματα.

Αντλίες θερμότητας



Ανοιχτό κύκλωμα



Οριζόντιο
κλειστό
κύκλωμα



Οριζόντιο
κλειστό
κύκλωμα σε
λίμνη ή
θάλασσα



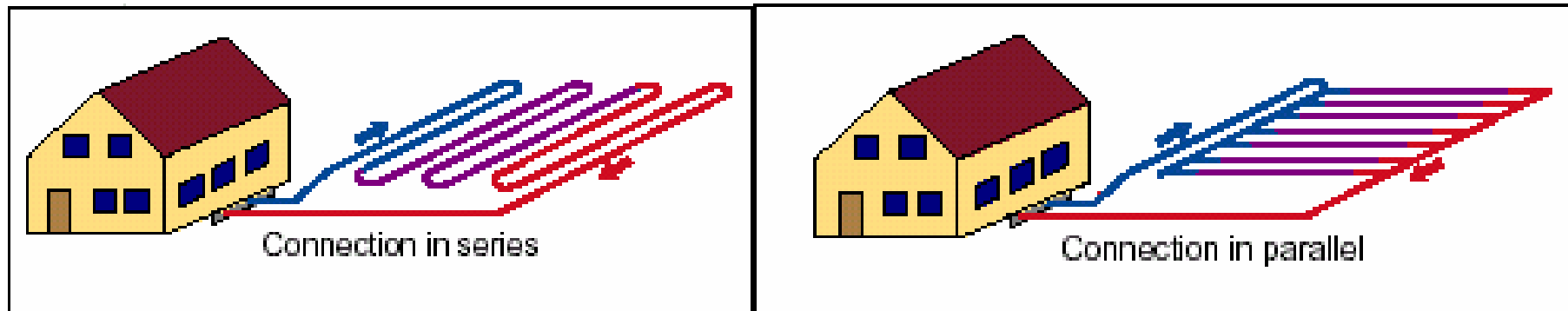
Κατακόρυφο κλειστό κύκλωμα

ΓΑΘ κλειστού βρόγχου

- Στα συστήματα κλειστών βρόγχων, νερό ή μίγμα νερού με αντιψυκτικό περιβαλλοντικά ασφαλές, κυκλοφορούν μέσω ενός σωλήνα, απάγουν θερμότητα από ή απορρίπτουν θερμότητα στο έδαφος.
 - Δεν υπάρχει καμία επαφή μεταξύ του σωλήνα κλειστών βρόγχων και του υπόγειου νερού ή του εδάφους.
 - Τα κλειστά συστήματα διακρίνονται σε **οριζόντια**, **κατακόρυφα** και **σπειροειδή**.
-

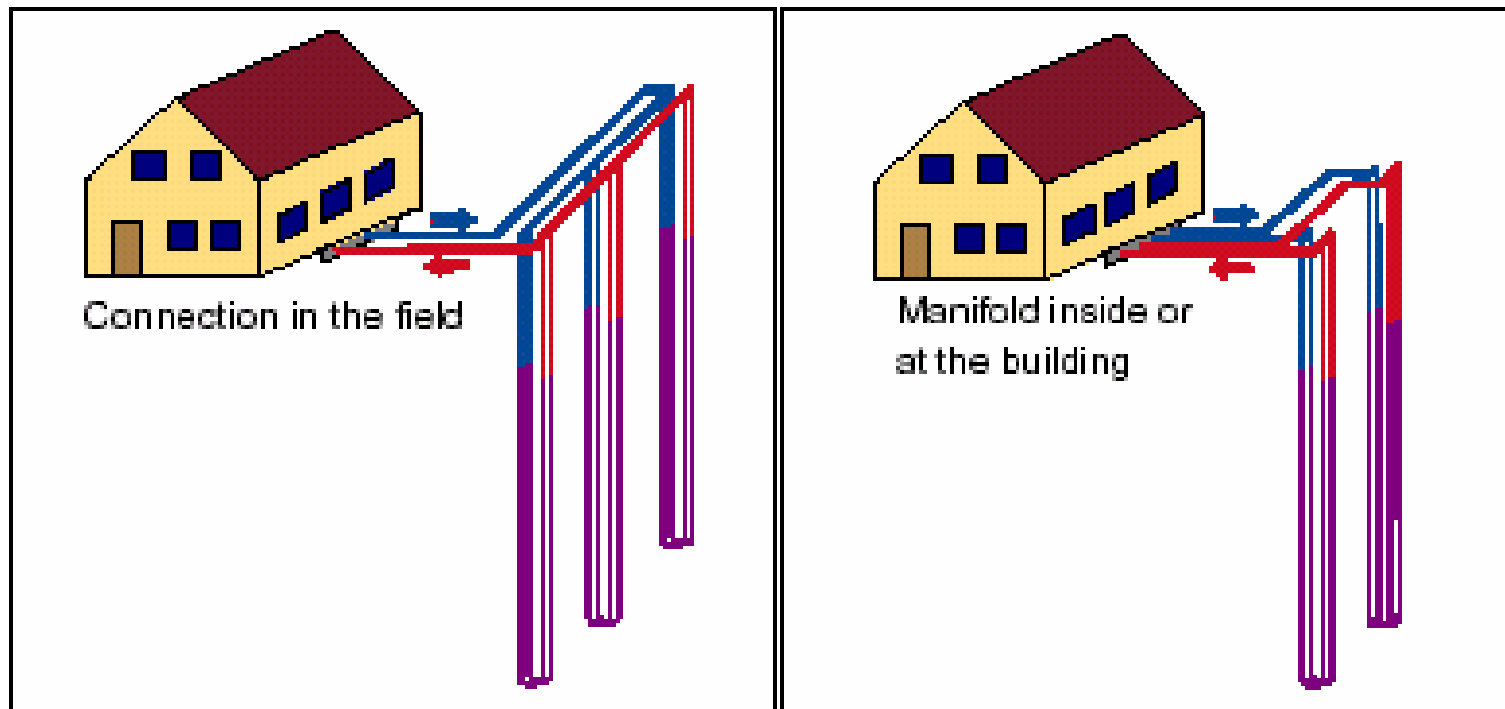
ΓΑΘ κλειστού βρόγχου

- Σε μία **οριζόντια** εγκατάσταση, οι βρόγχοι του εναλλάκτη θερμότητας μπορεί να είναι συνδεδεμένοι είτε εν σειρά είτε εν παραλλήλω.



ΓΑΘ κλειστού βρόγχου

- Σε μία **κατακόρυφη** εγκατάσταση, ο βρόγχος του εναλλάκτη θερμότητας είναι σωλήνας σχήματος U, ο οποίος τοποθετείται σε μία γεώτρηση βάθους 50 έως 150 μέτρα.



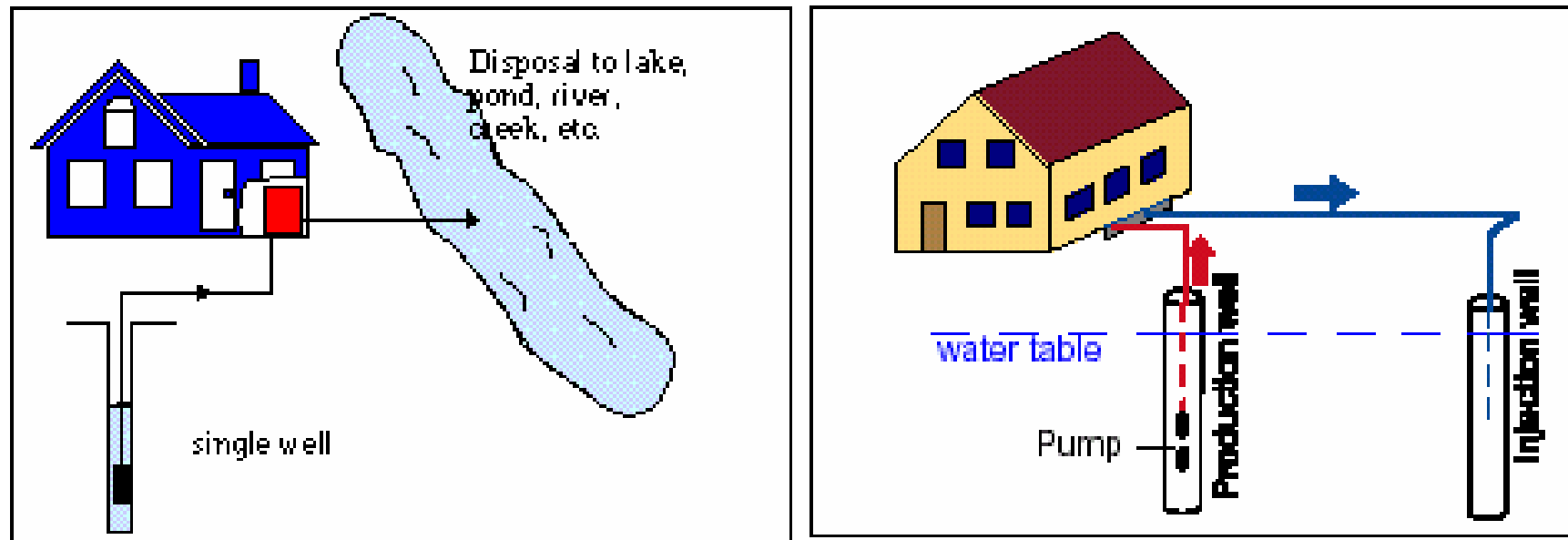
ΓΑΘ κλειστού βρόγχου

- Σε μία **σπειροειδή** εγκατάσταση, ο εύκαμπτος σωλήνας σπειροειδούς σχήματος (συννά αποκαλείται «Slinky») τοποθετείται μέσα σε όρυγμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αυξήσει την απόδοση του επιφανειακού εναλλάκτη θερμότητας κατά 40%.



ΓΑΘ ανοιχτού βρόγχου

- Το ανοικτό κάθετο σύστημα χρησιμοποιεί μία γεώτρηση για να παρέχει το υπόγειο νερό στην αντλία θερμότητας και ανάλογα με τις ανάγκες, το νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί μέσα στο κτήριο, να εκφορτιστεί στην επιφάνεια ή να εισαχθεί σε μία δεύτερη γεώτρηση.



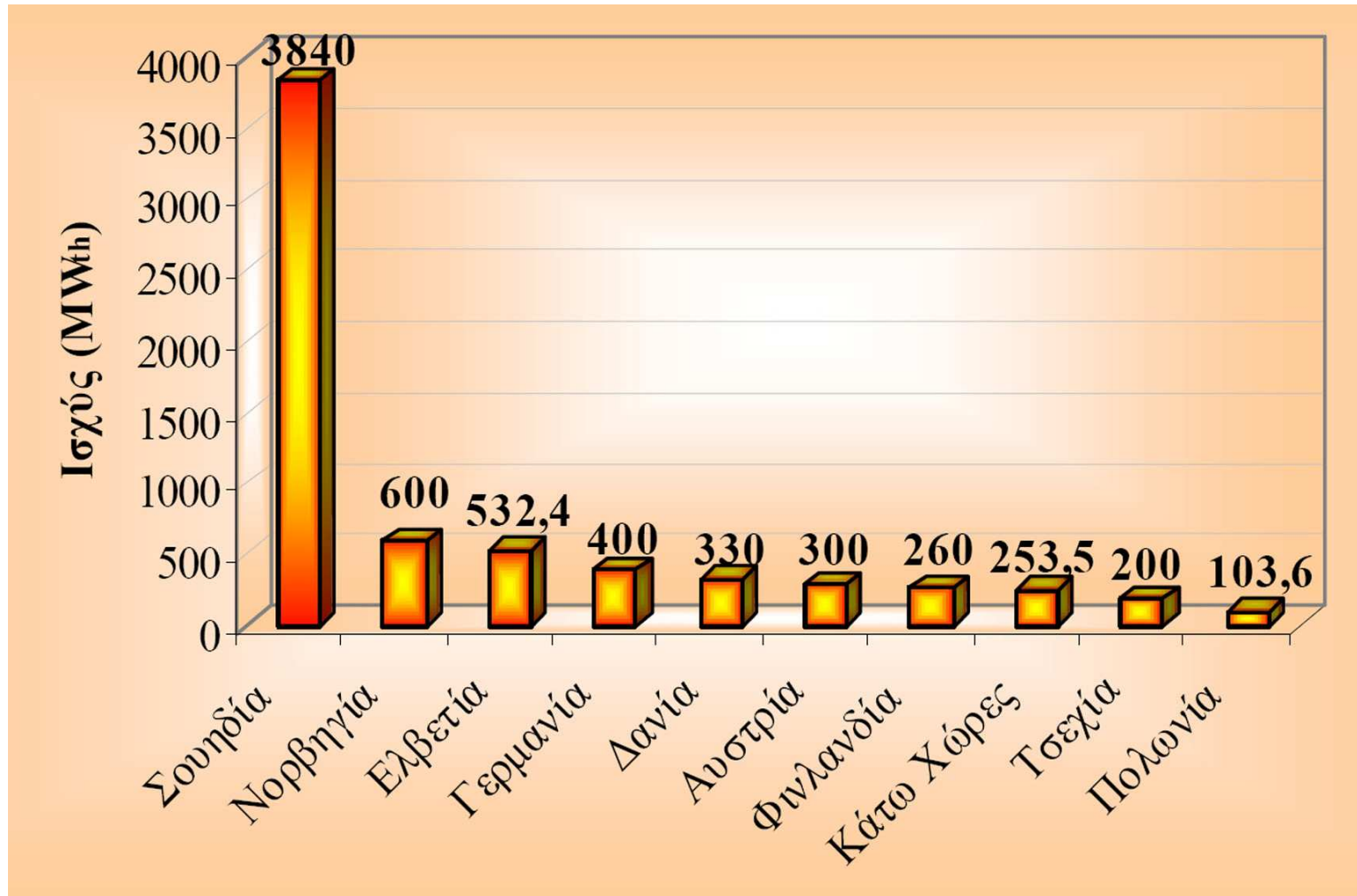
Κόστος εγκατάστασης ΓΑΘ

- Το κόστος κεφαλαίου ποικίλλει από 500-1.000€ εγκατεστημένο kWh για τις μονάδες που χρησιμοποιούν υπόγειο ή επιφανειακό νερό, και από 1.000-1.500€ εγκατεστημένο kWh για τις μονάδες που συνδέονται με γεωτρήσεις και εναλλάκτες θερμότητας.
 - Το κόστος παραγωγής ποικίλλει από 0,015-0,055€ /kWh για τις μονάδες που χρησιμοποιούν υπόγειο ή επιφανειακό νερό, έως 0,03-0,10€ /kWh για τις μονάδες που συνδέονται με γεωτρήσεις και εναλλάκτες θερμότητας. Στις τιμές αυτές περιλαμβάνονται και οι αποσβέσεις.
-

Εφαρμογές ΓΑΘ

- Παγκοσμίως, η εγκατεστημένη ισχύς για αντλίες θερμότητας το 2005 ανήλθε σε 15.379,29MWth.
 - Στην Ευρώπη έχουν εγκατασταθεί 7.100,39MWth αντλιών θερμότητας συνδεδεμένες στο έδαφος και λειτουργούν κυρίως για θέρμανση.
 - Στην Ελλάδα, η εγκατεστημένη ισχύς γεωθερμικών αντλιών θερμότητας περιλαμβάνει λίγες πιλοτικές εφαρμογές και αντιστοιχεί σε 4MWth περίπου.
-

Εφαρμογές ΓΑΘ



Τρόποι σύνδεσης με τη γη

Κάθετες

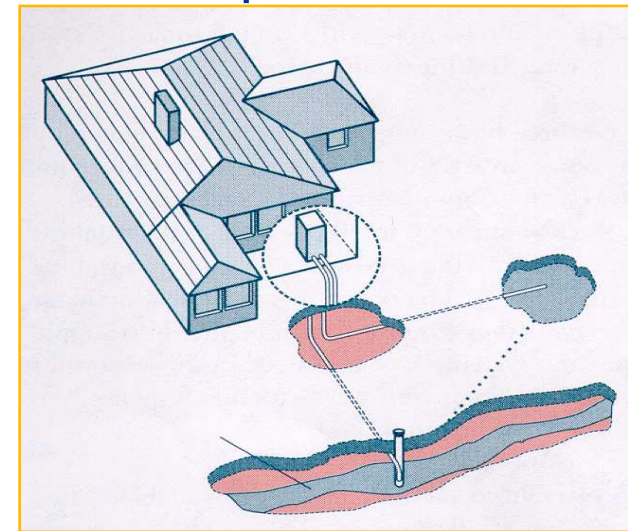
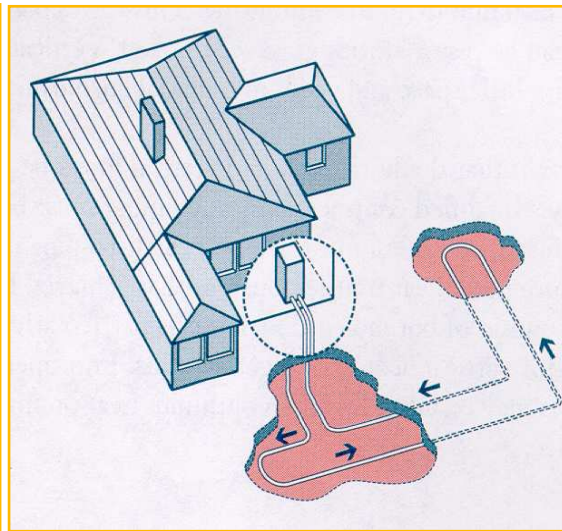
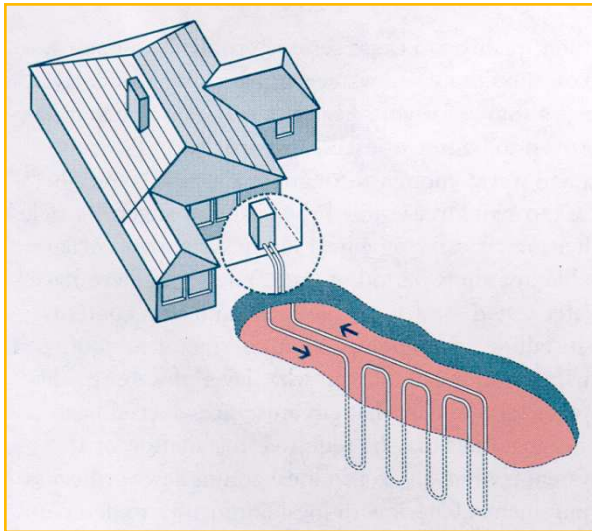
- Πετρώδες έδαφος
- Αυξημένο κόστος
- Μικρή χρήση γης
- Υψηλή αποδοτικότητα

Οριζόντια

- Μεγάλη χρήση γης
- Μειωμένο κόστος
- Μικρά κτήρια
- Μεταβολή θερμοκρασίας

Υπόγειων ή επιφανειακών υδάτων

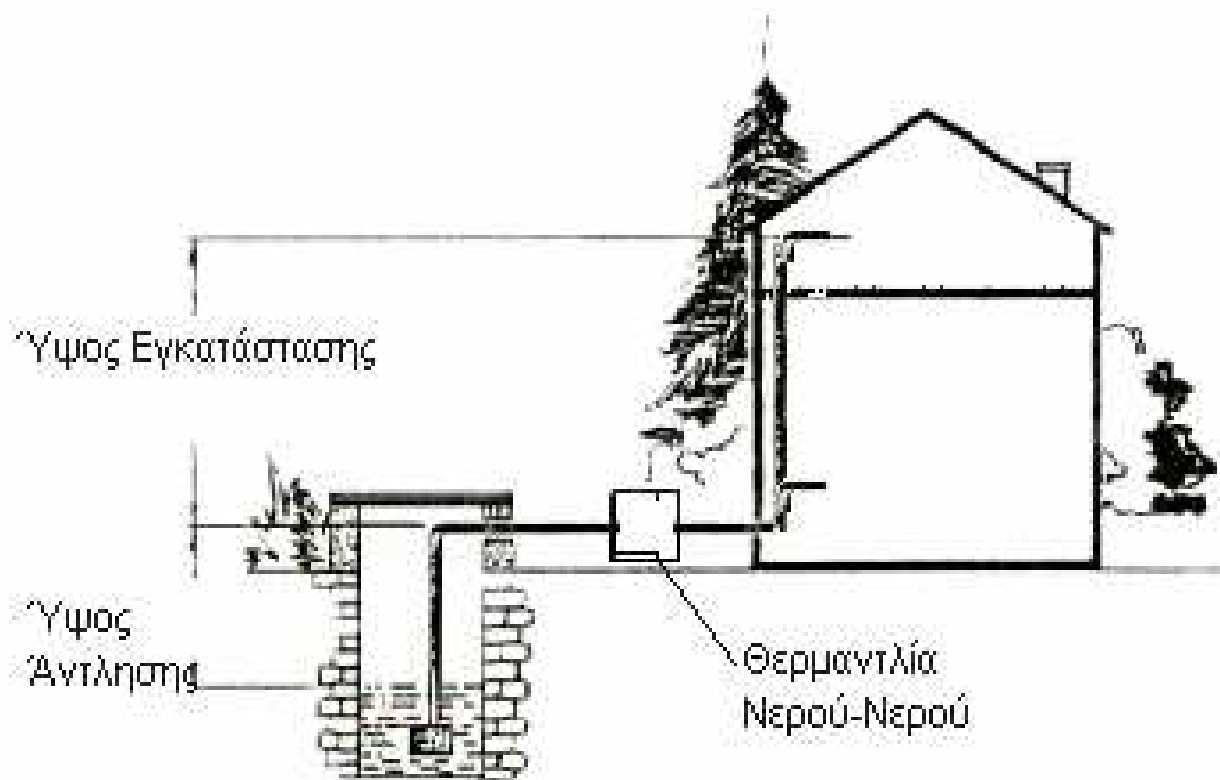
- Υδροφόρος οριζοντας
- Μικρότερο κόστος
- Διατάξεις - Νόμοι
- Ρύπανση εναλλακτών



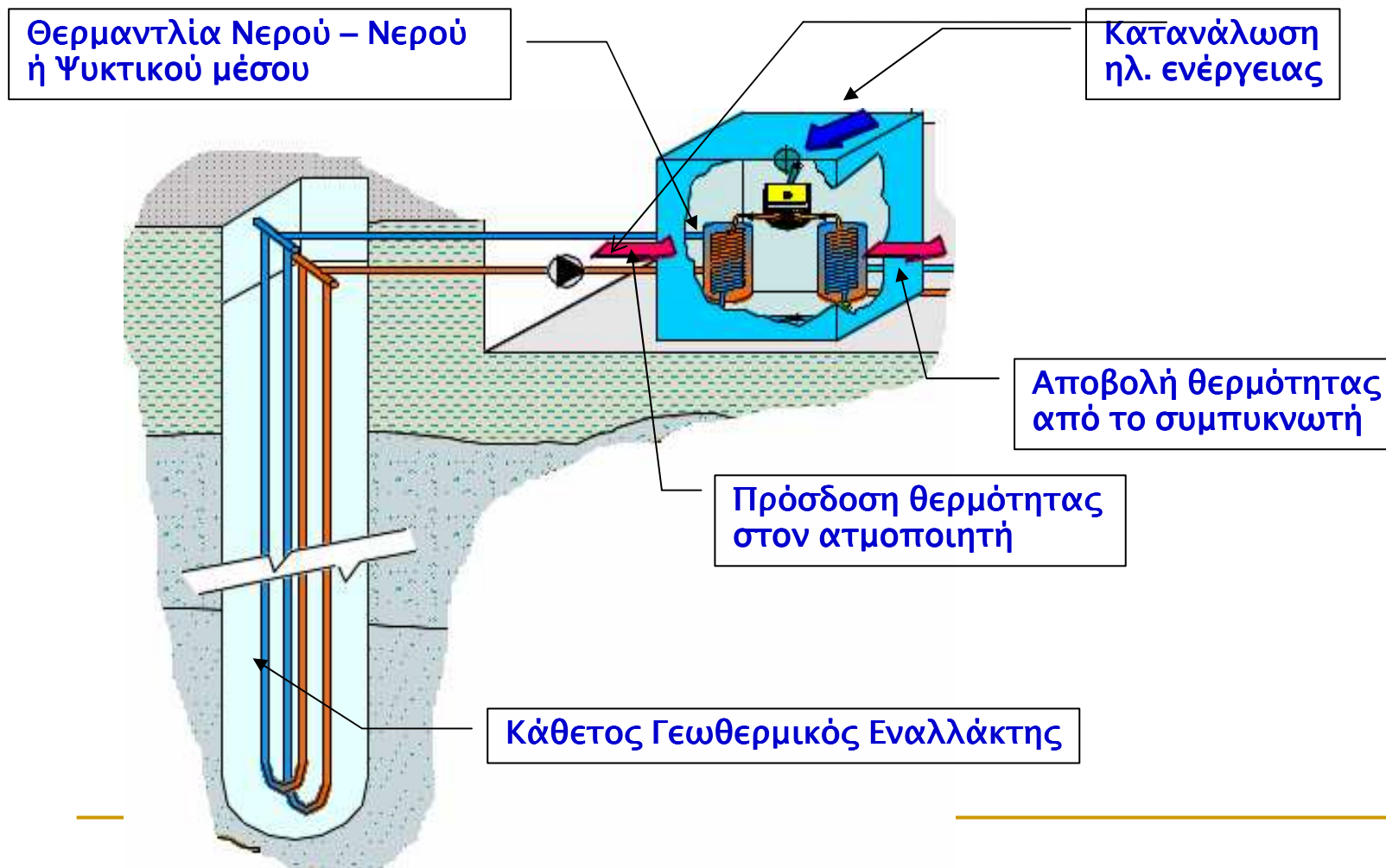
Κριτήρια επιλογής συστήματος Κανονικής Γεωθερμίας (GSHP)

- Βέλτιστη οικονομικότητα:
 - Απαιτείται θέρμανση και ψύξη
 - Μεγάλες εποχιακές αλλαγές θερμοκρασίας
 - Νέα κατασκευή ή αλλαγή - αντικατάσταση συστημάτων
 - Για θέρμανση μόνο: χαμηλή τιμή ηλεκτρισμού και υψηλή τιμή πετρελαίου, αερίου
 - Για ψύξη μόνο: υψηλή τιμή ηλεκτρισμού και χρέωση αιχμής.
 - Διαθεσιμότητα σκαπτικού και διατρητικού εξοπλισμού.
-

Ανοικτό σύστημα



Κατακόρυφος Γεωθερμικός Εναλλάκτης (Vertical Earth Heat Exchanger – VEHE)



Οριζόντιος Γεωθερμικός Εναλλάκτης (Horizontal Earth Heat Exchanger – ΗΕΗΕ)



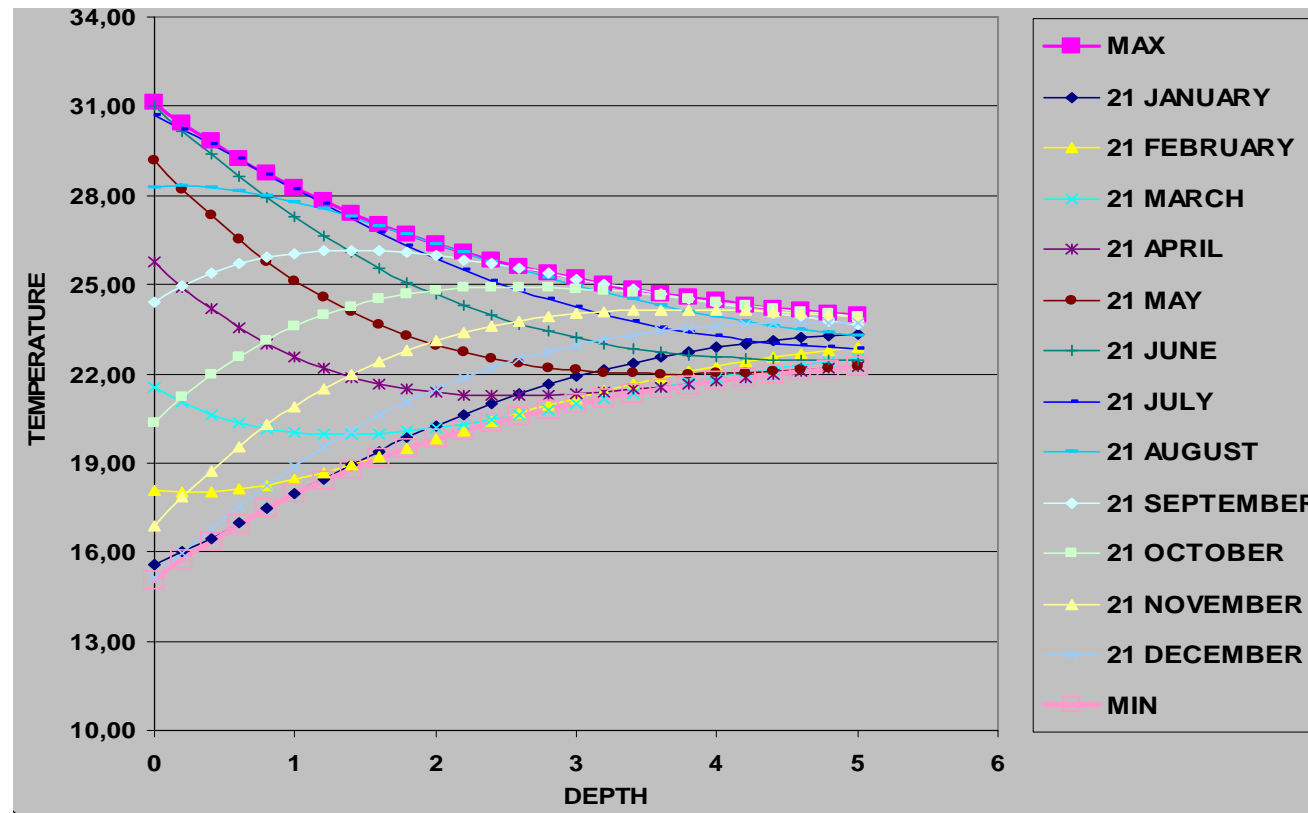
Οριζόντιος Γεωθερμικός Εναλλάκτης (Horizontal Earth Heat Exchanger – ΗΕΗΕ)



Μεταβολή θερμοκρασίας εδάφους συναρτήσει του βάθους

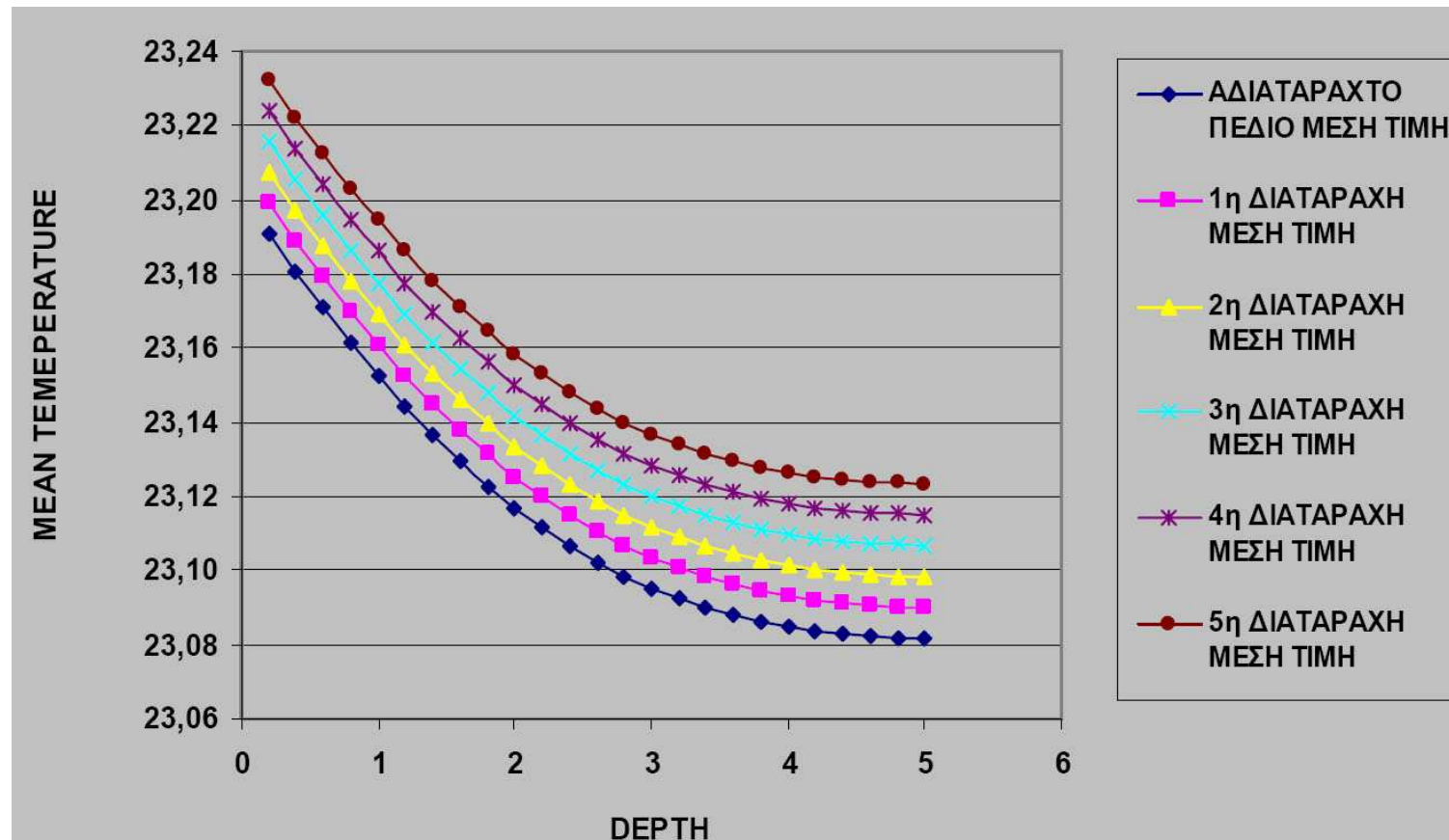
- Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31m.
- Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.
- Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους.

Καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπεδάφους



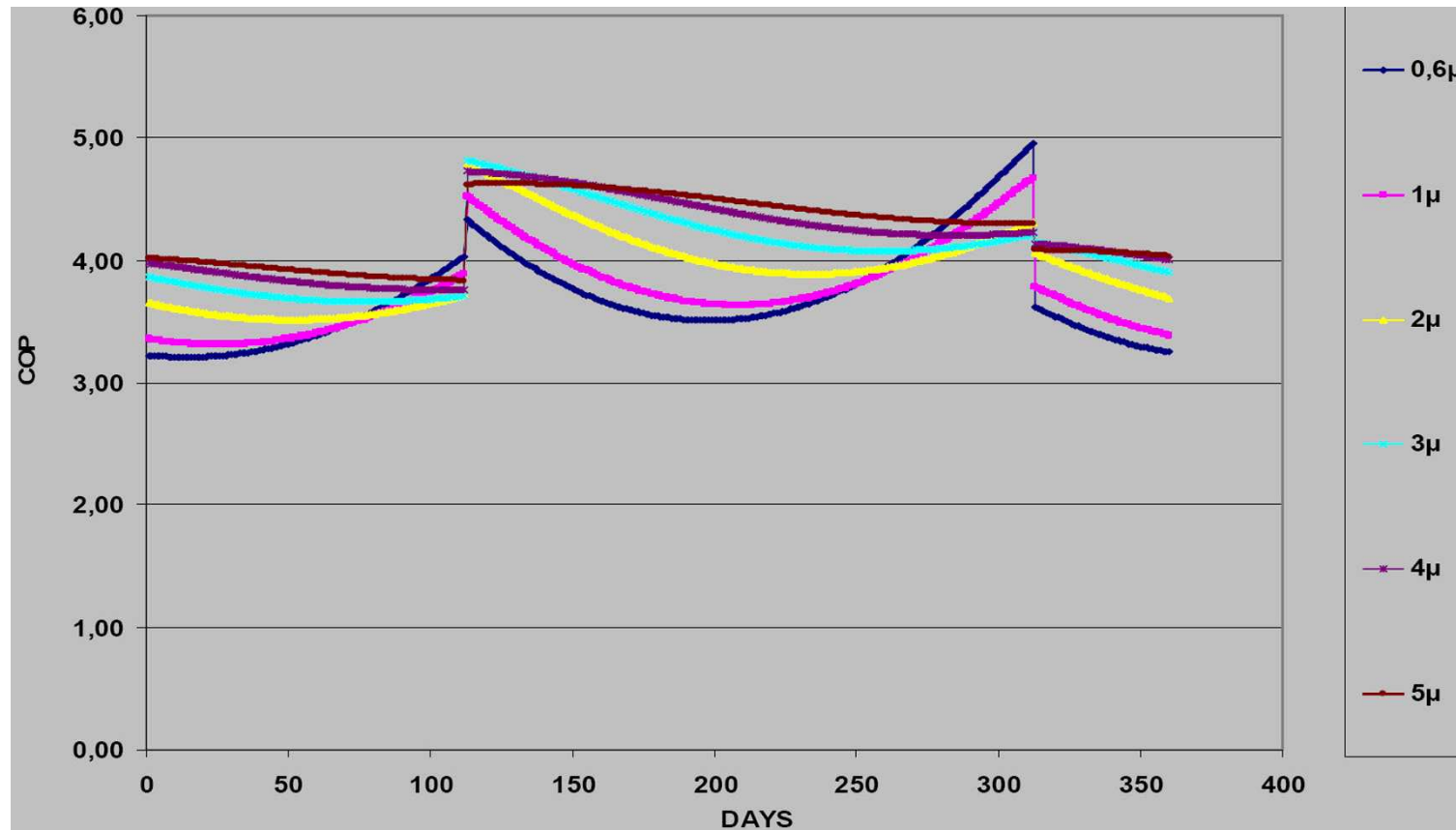
Καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπεδάφους αναλόγως του βάθους, (μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα 23°C)

Μεταβολή της θερμοκρασίας του υπεδάφους



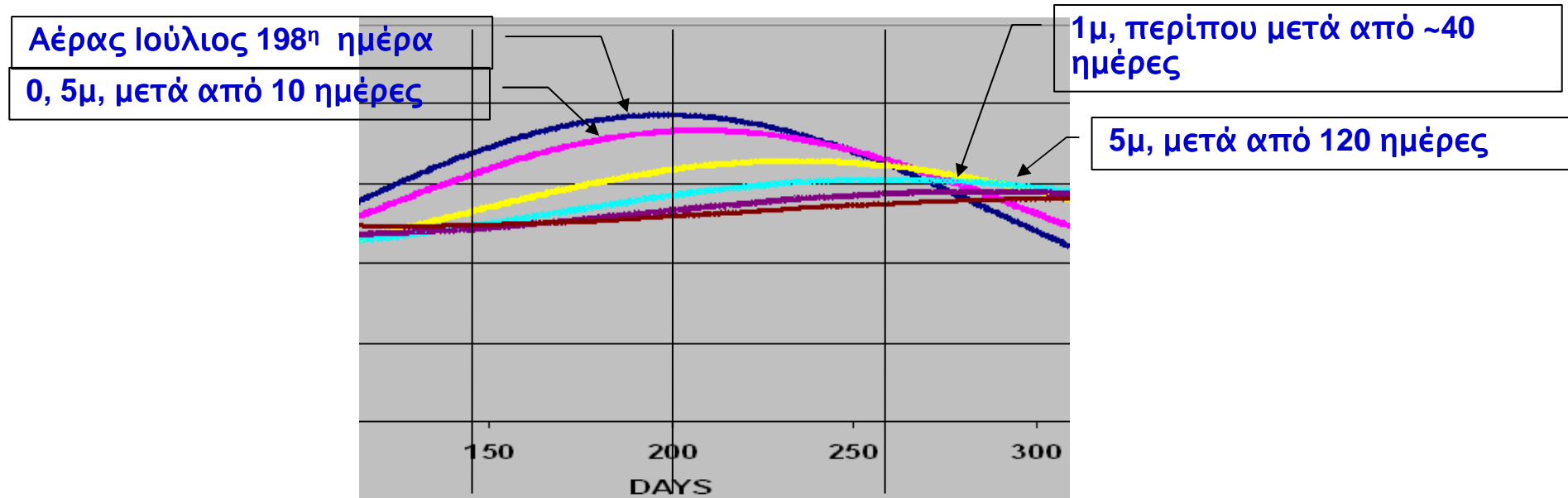
Υλικά υπεδάφους με $\lambda=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$, υγρασία 25%

Ετήσια μεταβολή COP συναρτήσει του βάθους οριζόντιου εναλλάκτη



Υλικά υπεδάφους με $\lambda=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$, υγρασία 25%

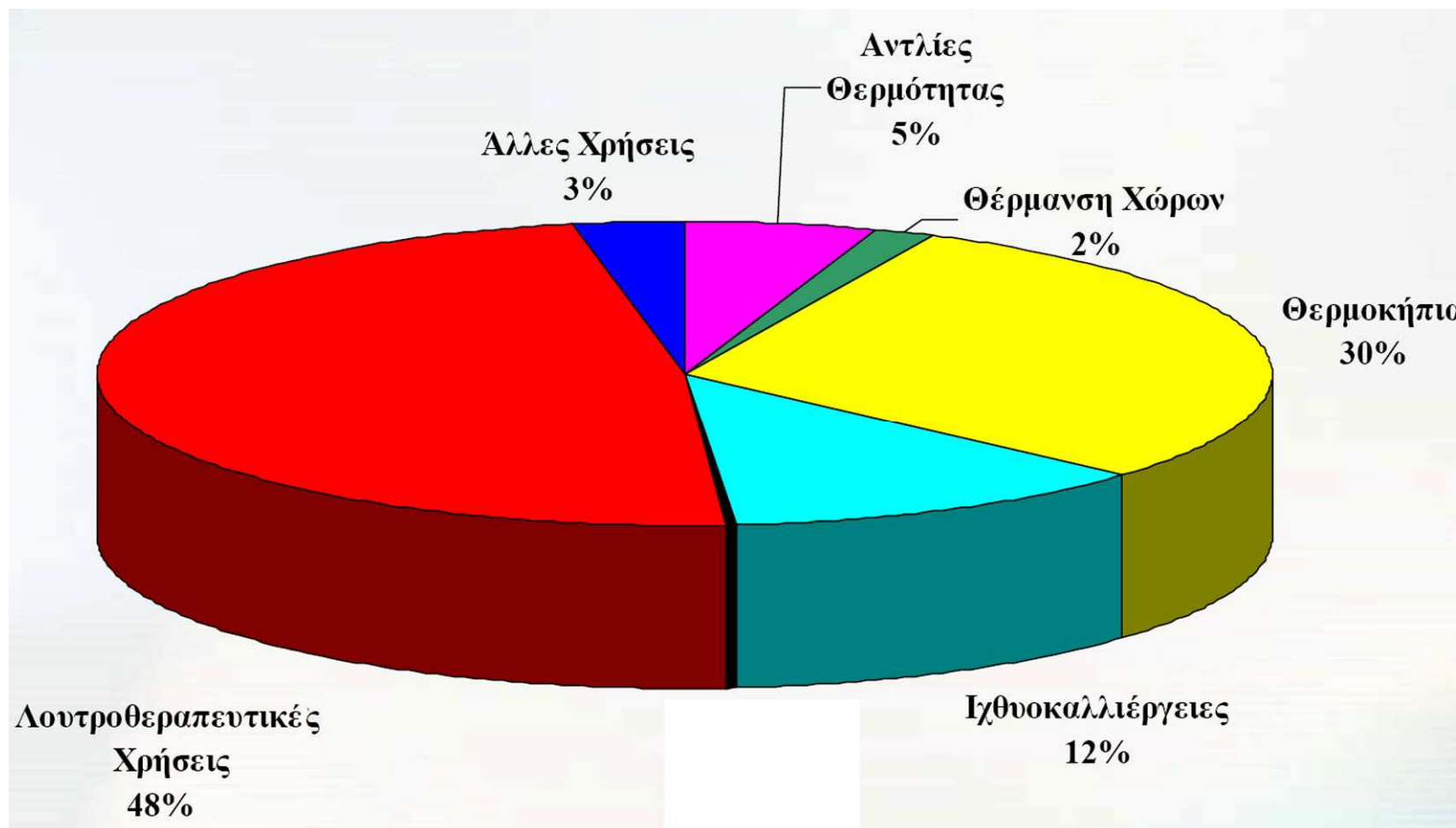
Χρονική υστέρηση των εποχών σαν συνάρτηση του βάθους



Υλικά υπεδάφους με $\lambda=1,0\text{W/mK}$, $c=800\text{kJ/kgK}$, $\rho=200\text{kg/m}^3$, υγρασία 25%

- Η αναπτυσσόμενη χρονική υστέρηση 10-120 ημερών συνεπάγεται σημαντική υποβοήθηση στα εποχικά φορτία.
- Το μέγεθός της εξαρτάται από το υπέδαφος

Ποσοστιαία κατανομή γεωθερμικών εφαρμογών στην Ελλάδα



Ευχαριστώ πολύ

Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης