



ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

Αλεξάνδρα Μπαρμπατζά



Γεωθερμία Υψηλής και Μέσης Ενθαλπίας

-Εφαρμογές

- Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας ($>150^{\circ}\text{C}$) τα ρευστά χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού με πολύ ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες .

- Θέρμανση, Ψύξη, Ζεστό νερό χρήσης

Από τις πιο καθαρές για το περιβάλλον μορφές ενέργειας

-Τρόποι Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

(Απαιτούνται διαφορετικοί τύποι εγκαταστάσεων προκειμένου να γίνει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του εκάστοτε γεωθερμικού πεδίου)

- Χρήση Ξηρού Ατμού
- Χρήση Υγρού Ατμού
- Δυαδικός Κύκλος ή Κύκλος Rankine

-Υγρός ατμός: Ατμός που περιέχει νερό

- Ξηρός ατμός: Ατμός που δεν περιέχει νερό



Είδη Γεωθερμικών Ρευστών για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

- **Ατμός:** Συμβατικές τουρμπίνες ατμού χρησιμοποιούνται με υδροθερμικά ρευστά τα οποία είναι είτε ολικώς είτε μερικώς σε μορφή ατμού.
- **Υψηλής θερμοκρασίας νερό:** Για υδροθερμικά ρευστά πάνω από 180°C τα οποία είναι αρχικά σε μορφή νερού, χρησιμοποιείται συνήθως η τεχνολογία της απότομης εξάτμισης ενός σταδίου μιας βαθμίδας (flash evaporation).
- **Μέτριας θερμοκρασίας νερό:** Για τα νερά τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία κατώτερη των 180°C , χρησιμοποιείται η τεχνολογία των δυαδικών κύκλων η οποία γενικά είναι πιο αποδοτική.

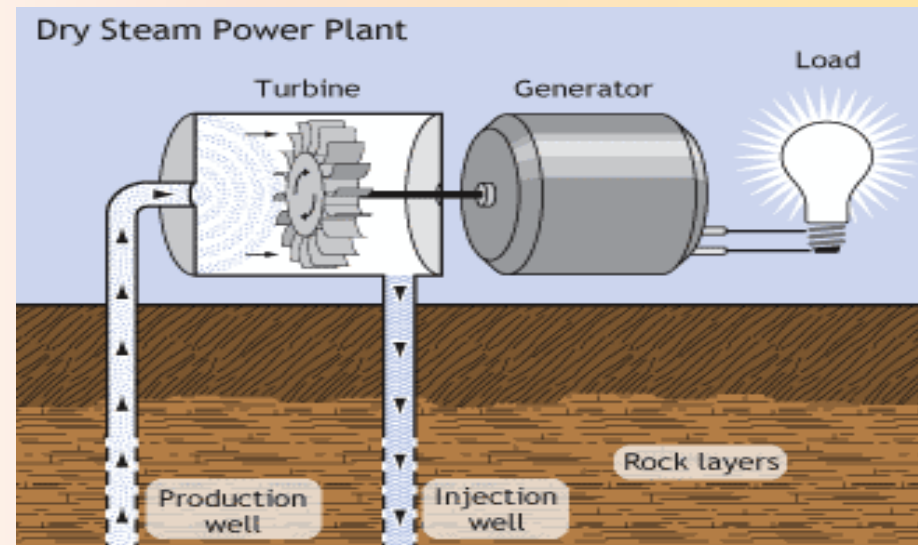


Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας

Χρήση Ξηρού Ατμού (Dry steam power plant)

-Αρχή Λειτουργίας

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



Συμπύκνωση: Η διαδικασία μετατροπής μιας ουσίας από αέρια σε υγρή κατάσταση.

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ξηρού ατμού



Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας

Χρήση Ξηρού Ατμού (Dry steam power plant)

Αποτελεί τον παλιότερο τύπο Γεωθερμικού Συστήματος για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

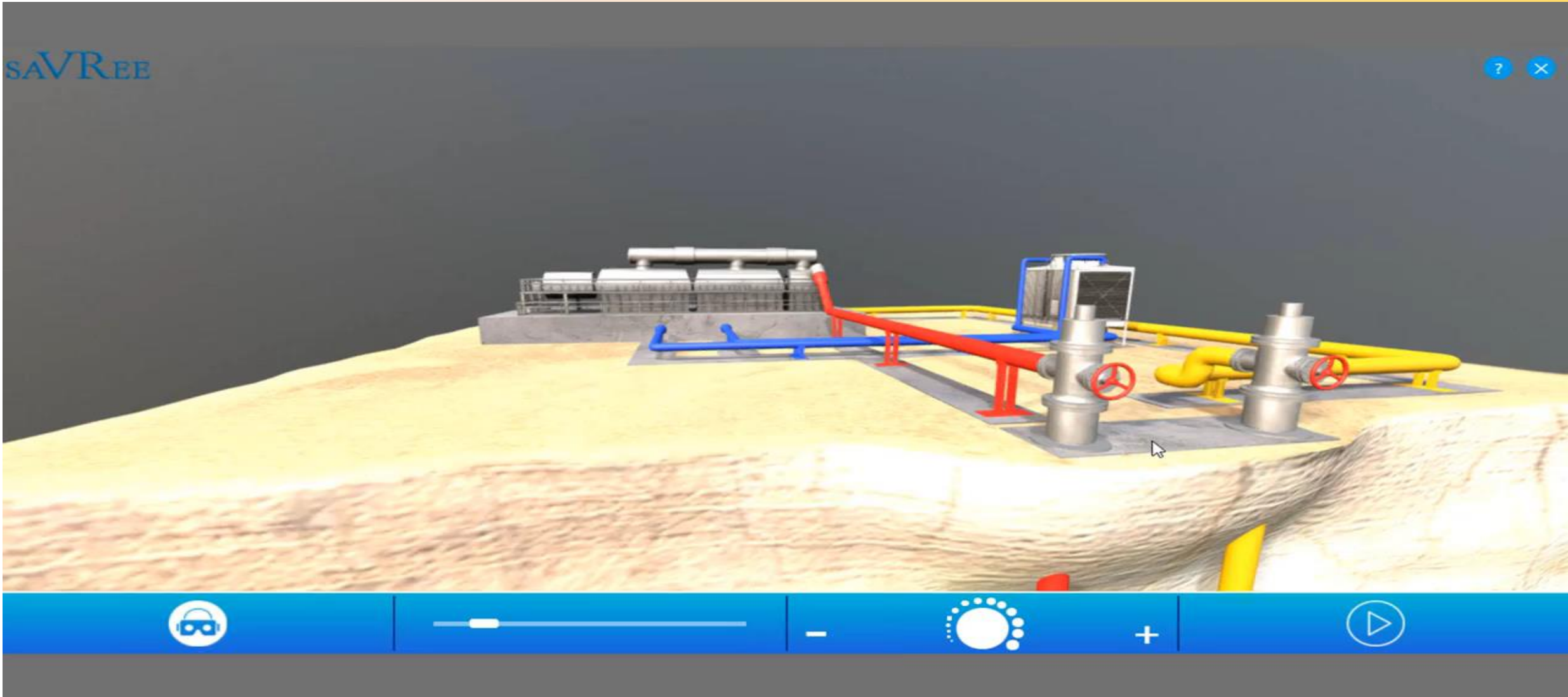
Ο πρώτος σταθμός δημιουργήθηκε στο Larderello της Ιταλίας το 1904 και σήμερα αριθμεί 504 MW εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος.

-Πλεονεκτήματα

- Χρήση ατμού απ' ευθείας από τον γεωθερμικό ταμιευτήρα
- Μόνη απαίτηση η απομάκρυνση θραυσμάτων πετρωμάτων προ της εισόδου του ατμού στους αεριοστροβίλους
- Μοναδικές εκπομπές: υδρατμοί



Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας Χρήση Ξηρού Ατμού (Dry steam power plant)





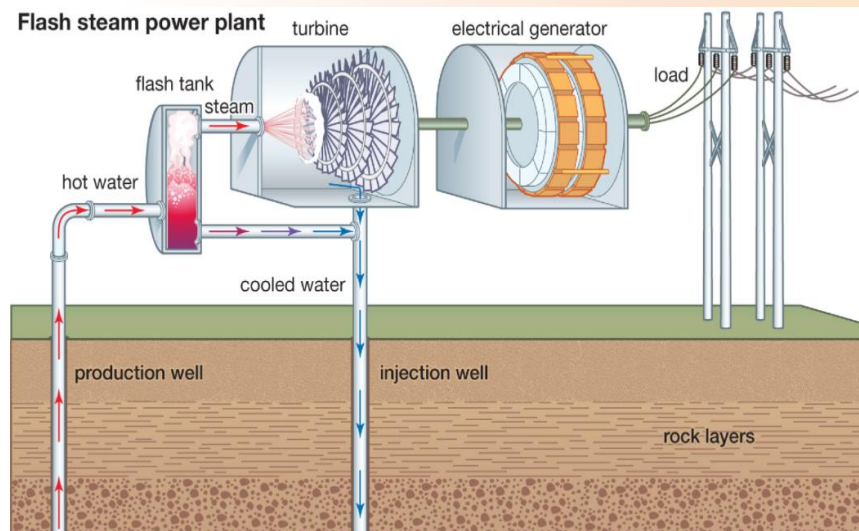
Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας

Χρήση Υγρού Ατμού (Flash steam power plant)

-Αρχή Λειτουργίας

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 μείγμα. Το μείγμα αυτό διαχωρίζεται σε κατακόρυφο διαχωριστή και ο ατμός οδηγείται στο στρόβιλο για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. (Imperial Valley στην Καλιφόρνια)

Flashing=Evaporation (εξαέρμιση με ελληνικούς όρους)



Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση υγρού ατμού

Έγχυση νερού από βάθος, νερό σε υψηλή πίεση εκτονώνεται σε δεξαμενές χαμηλής πίεσης. Το νερό “εξατμίζεται απότομα” και ο ατμός διοχετεύεται σε στρόβιλους.

Η περίσσεια του νερού επιστρέφεται προκειμένου να διατηρηθεί η πίεση στον ταμιευτήρα



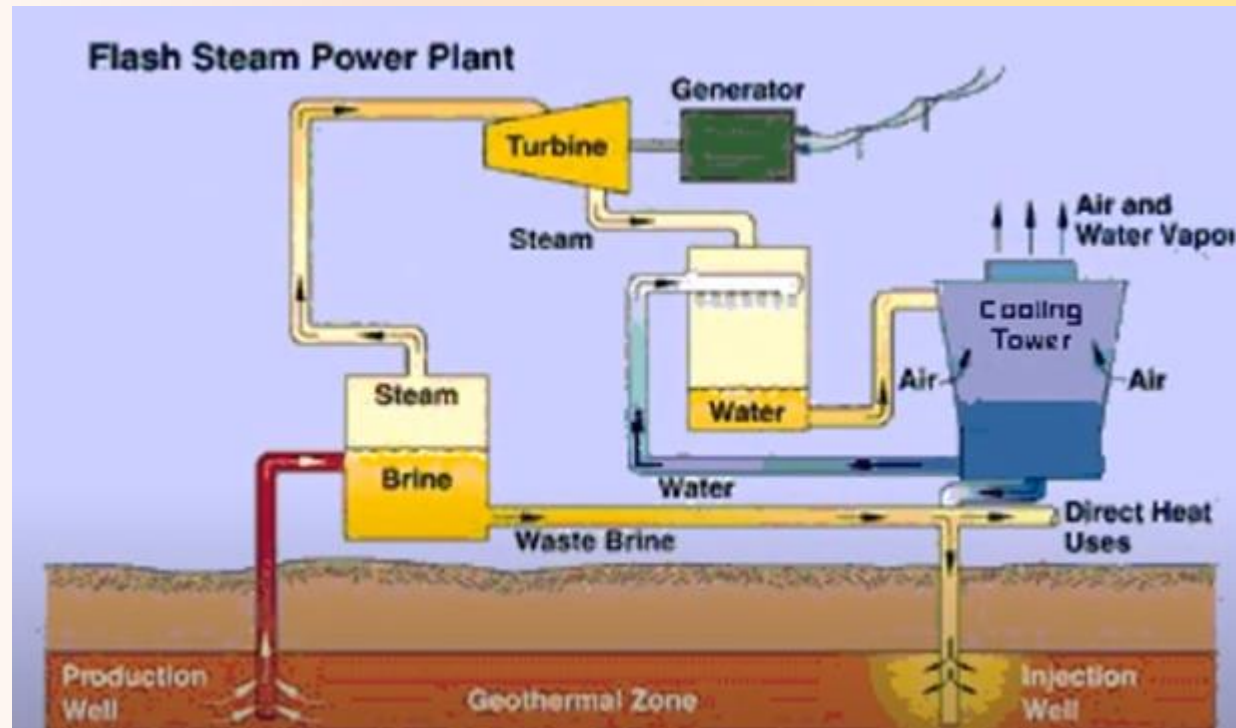
Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας

Χρήση Υγρού Ατμού (Flash steam power plant)

-Αρχή Λειτουργίας

Χρήση διαχωριστή ατμού από γεωθερμικό νερό. Το γεωθερμικό νερό και ατμός που συμπυκνώνεται με τη βοήθεια του νερού του πύργου ψύξης γυρίζουν πίσω στον ταμιευτήρα.

Flashing=Evaporation (εξάτμιση με ελληνικούς όρους)





Γεωθερμία Υψηλής Ενθαλπίας Χρήση Υγρού Ατμού (Flash steam power plant)





Γεωθερμία Μέσης Ενθαλπίας Δυαδικός Κύκλος με Πτητικό Ρευστό ή Κύκλος Rankine με Οργανικό Ρευστό (Binary Cycle Power Plant)

-Αρχή Λειτουργίας

- Το νερό βαθιά στα έγκατα της γης θερμαίνεται από τη φυσική θερμότητα της γης. Το θερμό νερό ανεβαίνει στην επιφάνεια και μεταφέρεται στα εργοστάσια μέσω σωληνώσεων.
- Στο δυαδικό σύστημα το θερμό νερό δεν έρχεται σε επαφή με την τουρμπίνα, αλλά η θερμότητά του μεταφέρεται σε ένα δευτερεύον υγρό μέσω ενός εναλλάκτη.
- Επειδή το δευτερεύον υγρό έχει σημείο βρασμού πολύ χαμηλότερο από το θερμό νερό, το υγρό μετατρέπεται σε ατμό γρήγορα και κινείται προς τα πάνω περνώντας στην τουρμπίνα την οποία περιστρέφει με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
- Μετά από αυτή τη διαδικασία το γεωθερμικό νερό έχει θερμοκρασία περίπου 21 °C χαμηλότερη, περνάει στο πηγάδι έγχυσης και στέλνεται-αντλείται πίσω στον υδροφόρο ορίζοντα. Εκεί ζεσταίνεται ξανά από τα πετρώματα του υπεδάφους ώστε να επαναληφθεί ο κύκλος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Όταν ο ατμός αφήσει την τουρμπίνα μετακινείται στο συμπυκνωτή.
- Παράλληλα εισάγεται στο συμπυκνωτή κρύο νερό από τους πύργους ψύξης, το οποίο ψυχραίνει τον ατμό επιτρέποντάς του να συμπυκνωθεί ξανά σε υγρό που θα συλλεχθεί στη βάση της δεξαμενής του συμπυκνωτή.



Γεωθερμία Μέσης Ενθαλπίας Δυαδικός Κύκλος με Πτητικό Ρευστό ή Κύκλος Rankine με Οργανικό Ρευστό (Binary Cycle Power Plant)

-Αρχή Λειτουργίας

- Το κρύο νερό, από τους πύργους ψύξης, εισάγεται στο συμπυκνωτή με περίπου $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, αλλά αφού ψύξει το δευτερεύον υγρό, αφήνει το συμπυκνωτή με θερμοκρασία περίπου $30\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Το δευτερεύον υγρό τώρα ρέει κάτω από το συμπυκνωτή στην αντλία όπου επανα-πιέζεται και εισάγεται πίσω στον εναλλάκτη για να επαναληφθεί η διαδικασία.
- Προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθεί ξανά το νερό, επιστρέφει στον πύργο ψύξης όπου ψύχεται πάλι στους $19\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Γεωθερμία Μέσης Ενθαλπίας Δυαδικός Κύκλος με Πτητικό Ρευστό ή Κύκλος Rankine με Οργανικό Ρευστό (Binary Cycle Power Plant)

Συνεπώς έχουμε 3 συστήματα ρευστών:

1. Ζεστό γεωθερμικό νερό
2. Κρύο νερό ψύξης από τον Πύργο ψύξης
3. Δευτερεύον υγρό

Τα οποία παραμένουν σε ξεχωριστούς βρόχους και δεν αναμειγνύονται ποτέ.

Συνεπώς δεν υπάρχει ρύπανση και εκπομπές

-Γεωθερμική μονάδα δυαδικού κύκλου

- Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης
- Συσκευές υψηλής αποδοτικότητας
- Το νερό δεν έρχεται σε επαφή με στροβιλογεννήτριες
- Το νερό επιστρέφεται κατ' ευθείαν στον ταμιευτήρα
- Δεν υπάρχουν εκπομπές

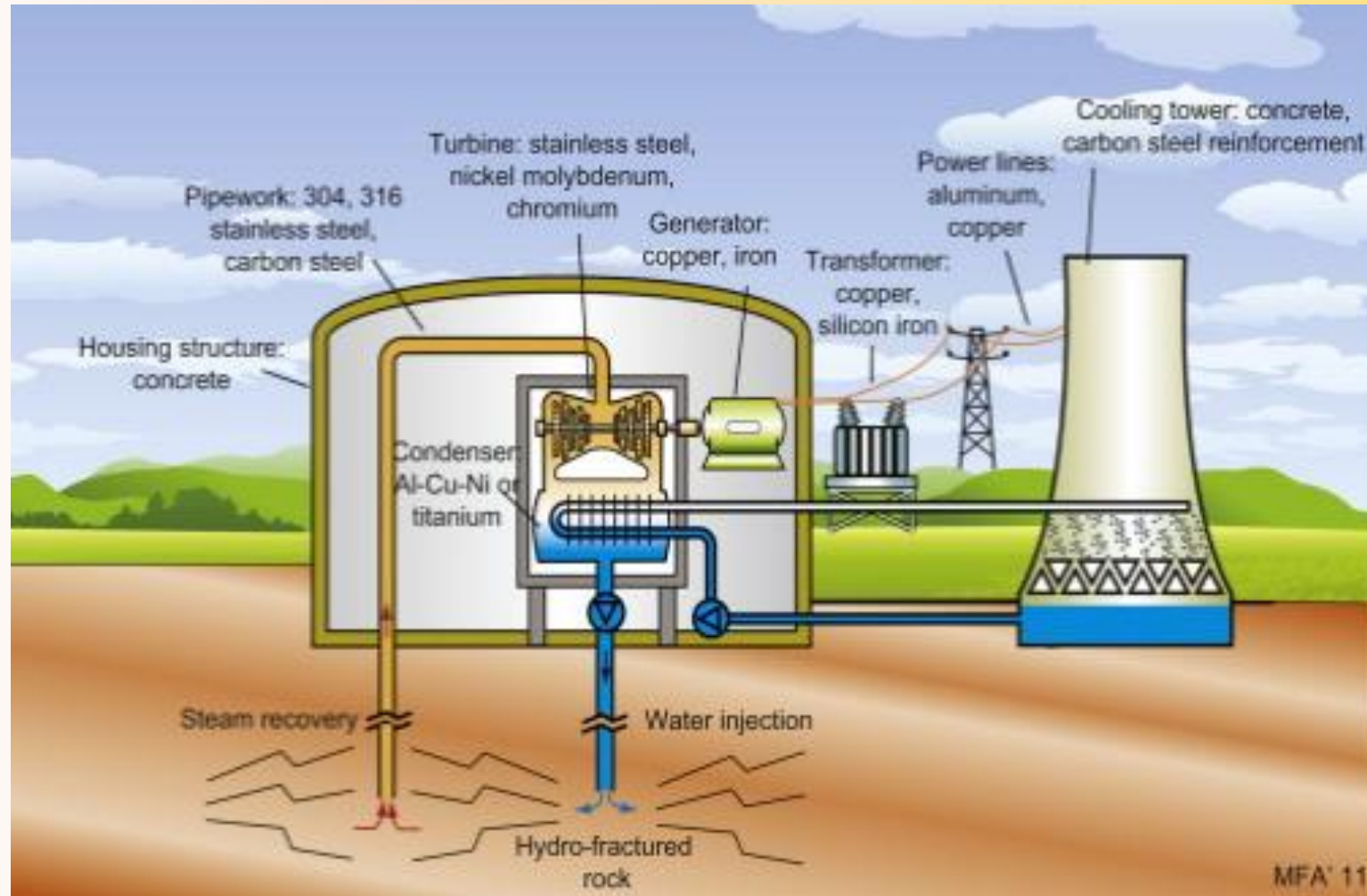


Γεωθερμία Μέσης Ενθαλπίας Δυαδικός Κύκλος με Πτητικό Ρευστό ή Κύκλος Rankine με Οργανικό Ρευστό (Binary Cycle Power Plant)





Γεωθερμικός Σταθμός Ισχύος



Γεωθερμικός Σταθμός Ισχύος



Κόστος Γεωθερμικών Εγκαταστάσεων για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας

-Οι τελικές δαπάνες επένδυσης για τις Γεωθερμικές Εγκαταστάσεις Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας ποικίλουν μεταξύ 900 – 1500 ευρώ ανά εγκαταστημένο kWe.

-Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ 0,04 – 0,07 ευρώ/kWhe συμπεριλαμβανομένης της απόσβεσης.

-Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς κατά το 2005: 8.927,63 MWe.

-Εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη κατά το 2005: 1.124,43 MWe.



Γεωγραφική Κατανομή της Χρήσης Γεωθερμίας



Εγκατεστημένη Ισχύς σε διάφορα μέρη του πλανήτη



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας

-Εφαρμογές

- Άμεση θέρμανση χώρων
- Θέρμανση εδαφών και θερμοκηπίων
- Ιχθυοκαλλιέργειες
- Βιομηχανικές εφαρμογές
- Θερμαινόμενες πισίνες
- Ιατρικές εφαρμογές

-Συμβάλλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη και προσφέρει το μέσον για εναλλακτικές & σύγχρονες μορφές τουρισμού (κολυμβητήρια, ιαματικός τουρισμός, spa, κλπ)

-Συνολική εγκατεστημένη ισχύς το 2005 28.273 MWth. Δηλαδή αύξηση κατά 85% σε σχέση με το 2000.

-Εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη το 2005 13.629 MWth και στην Ελλάδα 74,8 MWth.



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Άμεση Θέρμανση Χώρων

- Αποτελεί την παλιότερη εφαρμογή της γεωθερμίας και την περισσότερο διαδεδομένη στην Ευρώπη. Περιλαμβάνει επίσης την παραγωγή ζεστού νερού για οικιακές χρήσεις.
- Το γεωθερμικό ρευστό από μια ή δύο γεωτρήσεις αποδίδει θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του ενεργειακού χρήστη, είτε άμεσα, είτε μέσω εναλλάκτη θερμότητας.
- Χρήση γεωθερμικών ρευστών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 45 °C.
- Κόστος Κεφαλαίου 200-1400 ευρώ ανά εγκατεστημένο kWth.
- Ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας 2-3% του κόστους κεφαλαίου.
- Κόστος παραγόμενης ενέργειας 0,005-0,035 ευρώ/kWhth συμπεριλαμβανομένου των αποσβέσεων των κεφαλαίων και του κόστους χρήματος.



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Άμεση Θέρμανση Χώρων

-Σύμφωνα με τα στοιχεία του 2010, το μερίδιο της θέρμανσης χώρων στη συνολική χρήση άμεσης γεωθερμικής ενέργειας ανερχόταν στο 14,4% (από το οποίο το 85% αφορούσε τηλεθέρμανση).

-Οι κυριότερες χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμία χαμηλής ενθαλπίας για άμεση θέρμανση χώρων είναι οι: Ισλανδία, Κίνα, Τουρκία, Γαλλία.

-Η πρώτη τεκμηριωμένη χρήση για θέρμανση χώρων αναφέρεται το 14ο αιώνα, όπου κατασκευάστηκε ένα μικρό σύστημα τηλεθέρμανσης στο Chaudes-Aigues Cantal στη Γαλλία.

-Γενικά, απαιτούνται θερμοκρασίες νερού μεγαλύτερες από 40°C, ενώ με τη χρήση ΓΑΘ μπορούν να αξιοποιηθούν νερά (ή το έδαφος) με θερμοκρασία μικρότερη από 10°C.



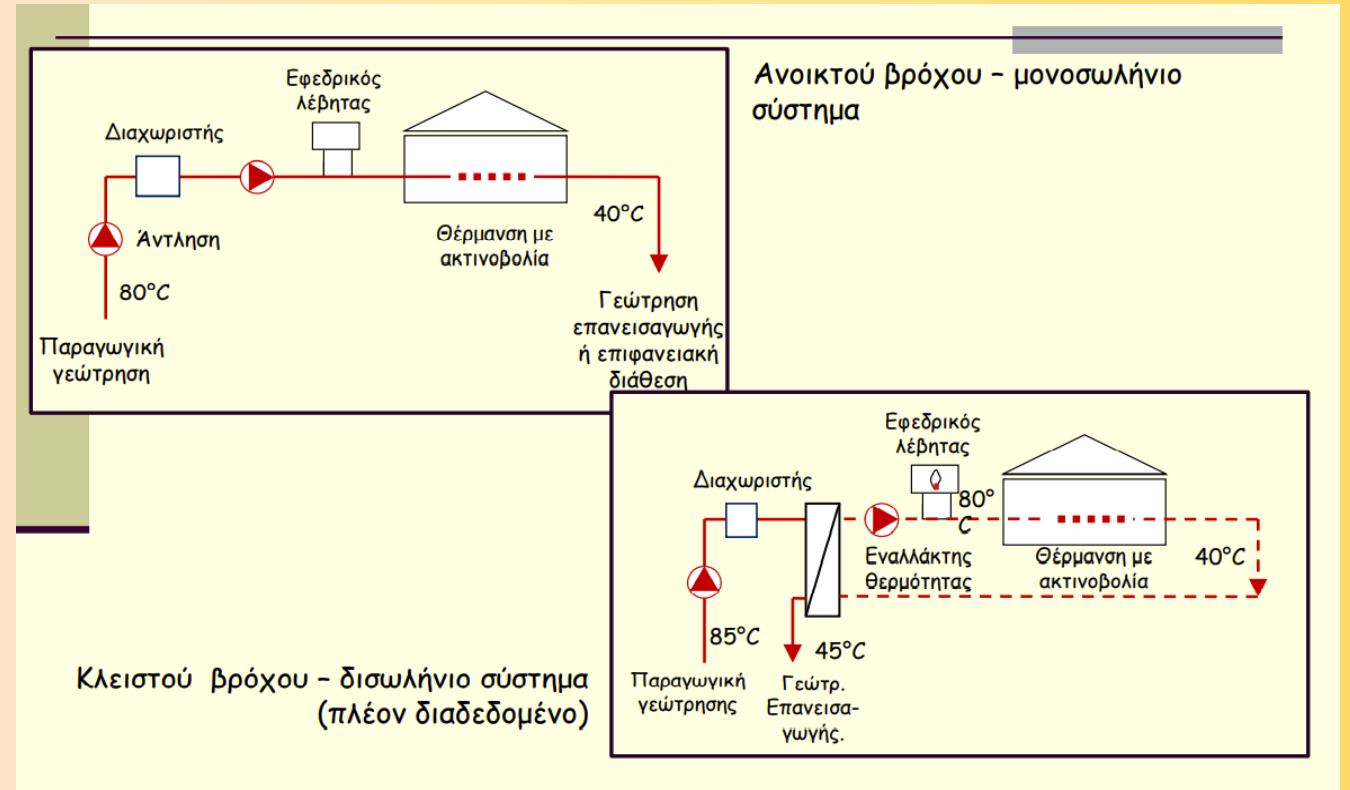
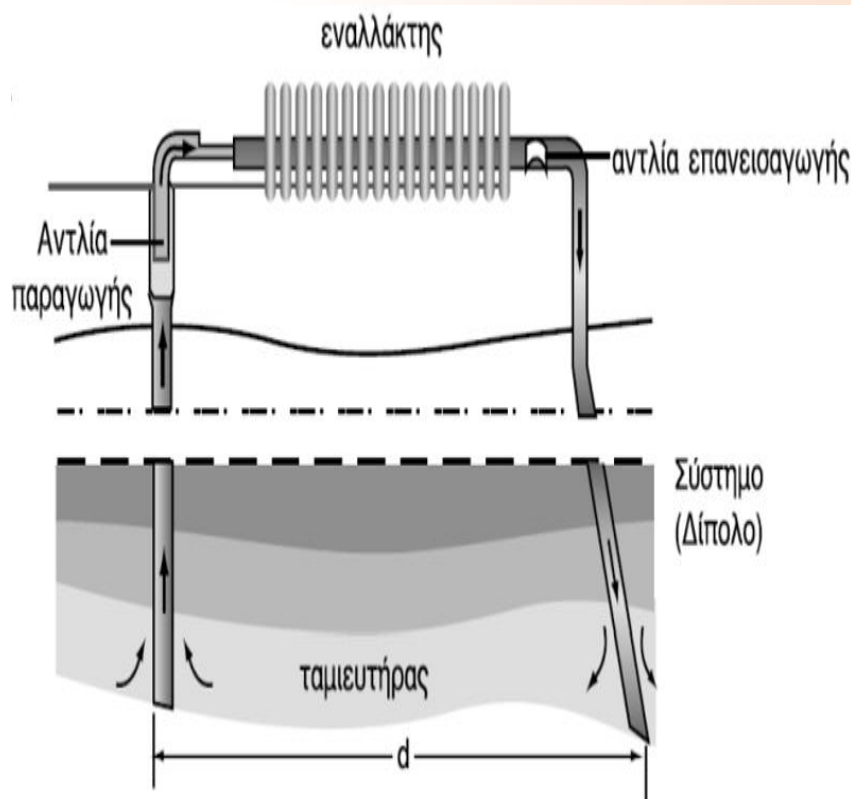
Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Άμεση Θέρμανση Χώρων

-Θέρμανση χώρων (και ζεστό νερό) μπορεί να επιτευχθεί με:

- Ροή γεωθερμικού νερού απευθείας ή με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας
- Χρήση υπόγειων εναλλακτών θερμότητας
- Χρήση συστημάτων Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού)



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Άμεση Θέρμανση Χώρων



Σχήματα ανάκτησης της θερμότητας από ένα γεωθερμικό ταμιευτήρα
(α) Σύστημα μονής γεώτρησης και διάθεση υγρού (ανοικτού βρόχου)
(β) Σύστημα «δίπολο» (κλειστού βρόχου)



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Άμεση Ψύξη Χώρων

-Ψύξη χώρων μπορεί να επιτευχθεί με:

- Με τη μέθοδο της απορρόφησης. Απαιτούνται θερμοκρασίες ρευστών $> 100-110^{\circ}\text{C}$ (Ελάχιστες εφαρμογές μέχρι τώρα)
- Χρήση συστημάτων Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (Η αντλία θα λειτουργήσει αντίστροφα αυτή τη φορά)



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Θέρμανση Θερμοκηπίων

-Τρόποι Θέρμανσης

- Με εναέριους, επιδαπέδιους ή σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm)
- Με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού (αερόθερμο)
- Με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου
- Με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για προστασία από τους πάγους)
- Με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Θέρμανση Θερμοκηπίων

-Οφέλη

- Μείωση κόστους παραγωγής
- Μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα
- Μείωση της αρνητικής επίδρασης της καλλιέργειας στις κλιματικές αλλαγές
- Παροχή επίσης καλής ποιότητας νερού για άρδευση του θερμοκηπίου και όχι εξάρτηση από εξωτερική πηγή



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Θέρμανση Θερμοκηπίων



άμεση θέρμανση
με σωλήνες PP
Λέσβος



άμεση θέρμανση
με σακούλες PE
Μήλος



Γεωθερμία Χαμηλής Ενθαλπίας Ιχθυοκαλλιέργειες

-Τρόποι Θέρμανσης

- Άμεσα με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης
- Έμμεσα ύστερα από τη θέρμανση του γλυκού ή του θαλασσινού νερού

-Προκειμένου επιτευχθεί άμεση θέρμανση δεν πρέπει να υπάρχουν τοξικές ουσίες στο νερό όπως υδρόθειο, βαρέα μέταλλα, αρσενικό κ.ο.κ.

-Χρήση γεωθερμικών ρευστών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 °C.

-Εγκατεστημένη ισχύς για υδατοκαλλιέργειες στην Ευρώπη το 2005 230 MWth.