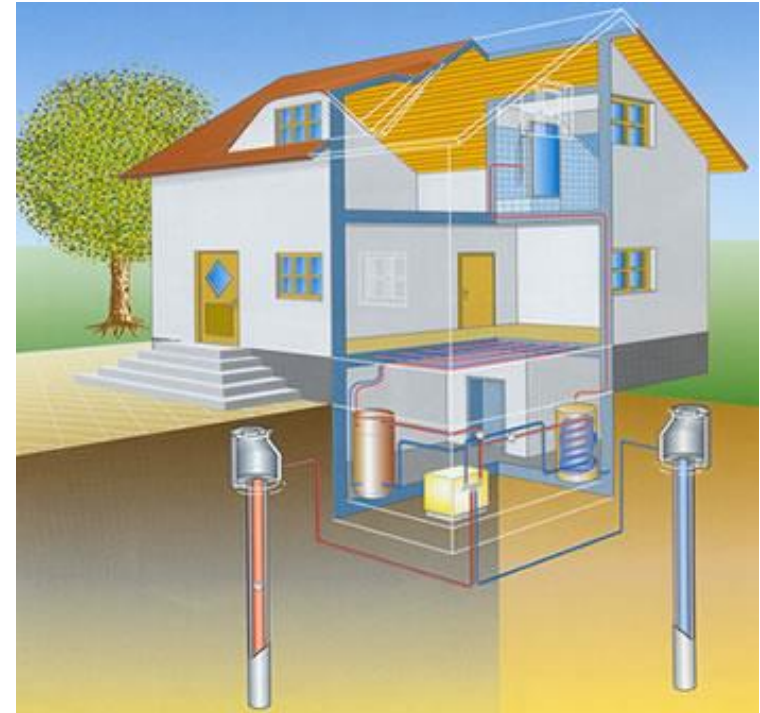
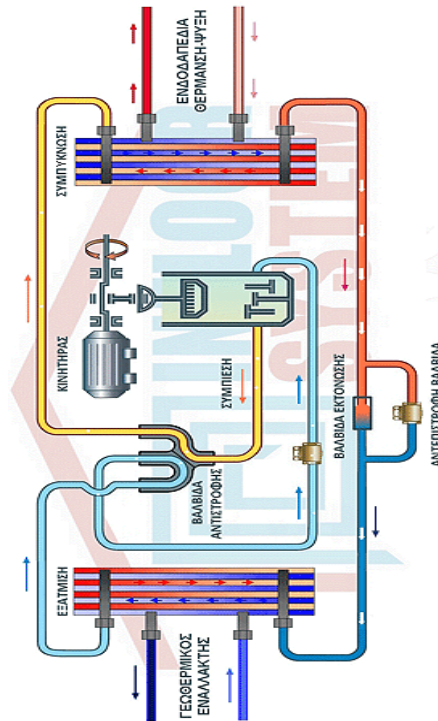


Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

1^ο και 5^ο εξάμηνο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών

Γεωθερμική ενέργεια



Νίκος Μαμάσης & Ανδρέας Ευστρατιάδης

Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

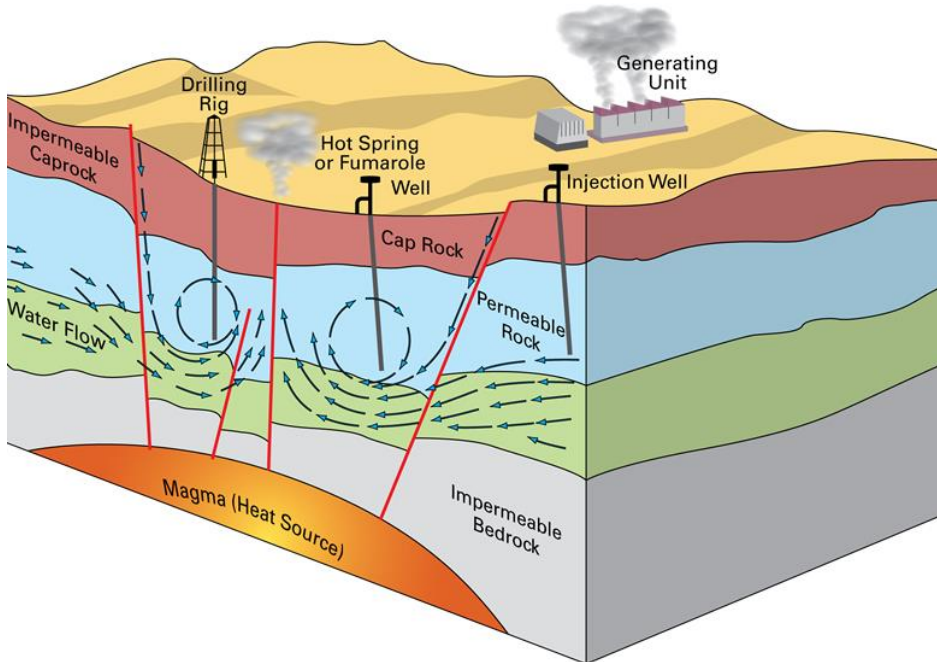
Ακαδημαϊκό έτος 2018-19

Διάρθρωση παρουσίασης: *Γεωθερμική Ενέργεια*

- **Εισαγωγή**
- **Εφαρμογές της Γεωθερμικής Ενέργειας**
- **Η Γεωθερμία στην Ελλάδα**
- **Έρευνα - Ανάπτυξη Γεωθερμικού Πεδίου**
- **Εφαρμογές - Δυναμικό**
- **Τεχνικά, Οικονομικά και Περιβαλλοντικά Θέματα**

Εισαγωγή

- Θερμική ενέργεια από το διάπυρο εσωτερικό της Γής. Ο πλανήτης εκδηλώνει με ενεργητικό τρόπο την θερμική αυτή ενέργεια που περικλείει στο εσωτερικό του (σεισμοί - ηφαιστειακές εκρήξεις - θερμές πηγές - ατμίδες κλπ)
- Το μεγαλύτερο μέρος της γήινης ενέργειας μεταδίδεται προς την ψυχρότερη επιφάνεια με την αγωγιμότητα και με αργό ρυθμό της τάξης των $0.2-0.35 \text{ kWh/m}^2/\text{year}$
- Σε κατάλληλες συνθήκες επιφανειακά νερά εισδύουν μέσω ρωγμών, θερμαίνονται και ανεβαίνουν προς τα πάνω (γεωθερμικά ρευστά) μέσω φυσικών διόδων ή γεωτρήσεων
- Μαγματική μεταφορά θερμότητας ($600-1.200 \text{ }^\circ\text{C}$) και υδροθερμική στην συνέχεια. Εστία θερμότητας σε βάθος $3-10 \text{ km}$



- Δημιουργία ταμιευτήρων ρευστών μεγάλης θερμοκρασίας σε βάθη $300-3.000 \text{ m}$. Προστασία από στεγανό γεωλογικό κάλυμμα
- Μέσα στον ταμιευτήρα κυκλοφορούν τα γεωθερμικά ρευστά (συνήθως θερμό νερό και σπάνια ατμός, σε συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κοντά στο σημείο βρασμού)

Γεωθερμικά ρευστά

- χαμηλής ενθαλπίας έως $100 \text{ }^\circ\text{C}$
- μέσης ενθαλπίας $100-170 \text{ }^\circ\text{C}$
- υψηλής ενθαλπία $170-350 \text{ }^\circ\text{C}$

Εφαρμογές της Γεωθερμικής Ενέργειας

Οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ποικίλουν ανάλογα με τη θερμοκρασία και περιλαμβάνουν:

1. Ηλεκτροπαραγωγή ($\theta > 90 \text{ }^\circ\text{C}$),
2. Θέρμανση χώρων (με καλοριφέρ για $\theta > 60 \text{ }^\circ\text{C}$, με αερόθερμα για $\theta > 40 \text{ }^\circ\text{C}$, με ενδοδαπέδιο σύστημα $\theta > 25 \text{ }^\circ\text{C}$),
3. Ψύξη και κλιματισμό (με αντλίες θερμότητας απορρόφησης για $\theta > 60 \text{ }^\circ\text{C}$, ή με υδρόψυκτες αντλίες θερμότητας για $\theta < 30 \text{ }^\circ\text{C}$)
4. Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα και γίνονται μεγαλύτερα με τη θερμότητα ($\theta > 25 \text{ }^\circ\text{C}$), ή και για αντιπαγετική προστασία
5. Ιχθυοκαλλιέργειες ($\theta > 15 \text{ }^\circ\text{C}$) επειδή τα ψάρια χρειάζονται ορισμένη θερμοκρασία για την ανάπτυξή τους
6. Βιομηχανικές εφαρμογές όπως αφαλάτωση θαλασσινού νερού ($\theta > 60 \text{ }^\circ\text{C}$), ξήρανση αγροτικών προϊόντων, κλπ
7. Θερμά λουτρά για $\theta = 25\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$
8. Ξήρανση Αγροτικών Προϊόντων
9. Αφαλάτωση

Η Γεωθερμία στην Ελλάδα

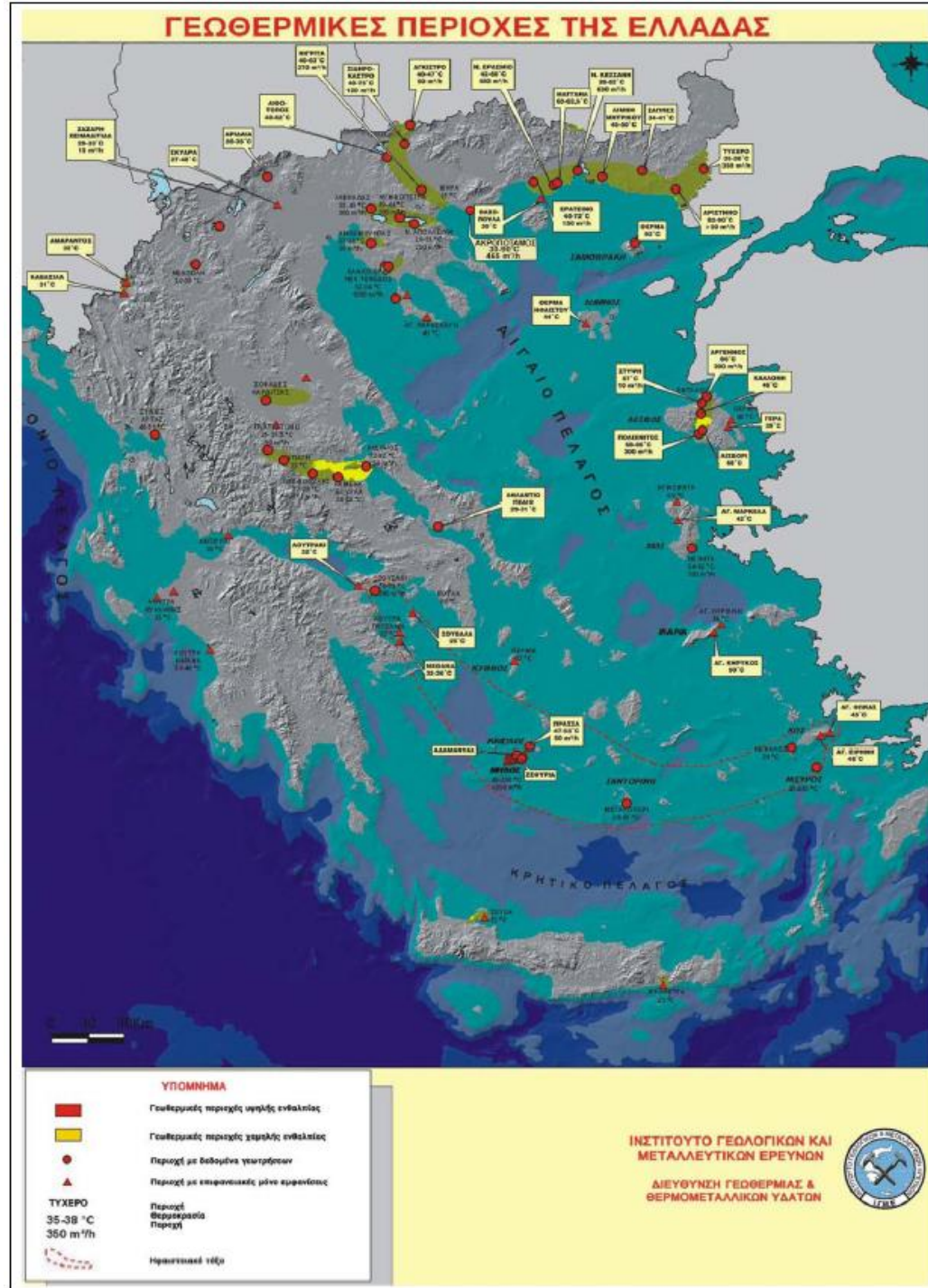
- Γεωθερμικό δυναμικό: 700-1.200 MW υψηλής ενθαλπίας, 2.500 MW μέσης και χαμηλής ενθαλπίας
- **Μήλος**, δυναμικό 120-200 MW, 5 συνολικά γεωτρήσεις σε βάθους 1.000-1.400 m, 350 t/h μίγμα ρευστών νερού-ατμού, θερμοκρασίας 300-325 °C στον ταμιευτήρα, 200-220 °C στην κεφαλή των γεωτρήσεων. Πειραματικός σταθμός 2 MW το 1984. Λειτουργήσε μόνο 9 μήνες, διαρροή H₂S και λάθος χειρισμοί δημιούργησαν αρνητικό κλίμα στους κατοίκους
- **Νίσσυρος**, δυναμικό 40 MW, 2 συνολικά γεωτρήσεις 1.800 και 1.500 m, 350 °C, παραγωγή 23 t/h ~ 3 MW. Προβλέπονται αρχικά 2 μονάδες των 5 MW η κάθε μία
- Πιθανά πεδία υψηλής ενθαλπίας σε Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο και μέσης ενθαλπίας σε Μέθανα, Σουσάκι, Σαντορίνη, Κω, Λέσβο

Έρευνα - Ανάπτυξη Γεωθερμικού Πεδίου

- Επιφανειακή γεωλογική έρευνα
- Γεωχημική έρευνα
- Γεωφυσική έρευνα
- Αβαθείς γεωτρήσεις για μετρήσεις
- Βαθείς γεωτρήσεις και δοκιμές παραγωγής
- Γεωτρύπανο, εκτίμηση δυναμικού, δίκτυο αγωγών και σωληνώσεων, εναλλάκτης θερμότητας, διαβρωτικά γεωθερμικά ρευστά, σωληνωτοί εναλλάκτες, εναλλάκτες πλακών
- Πολυσύνθετη διαδικασία

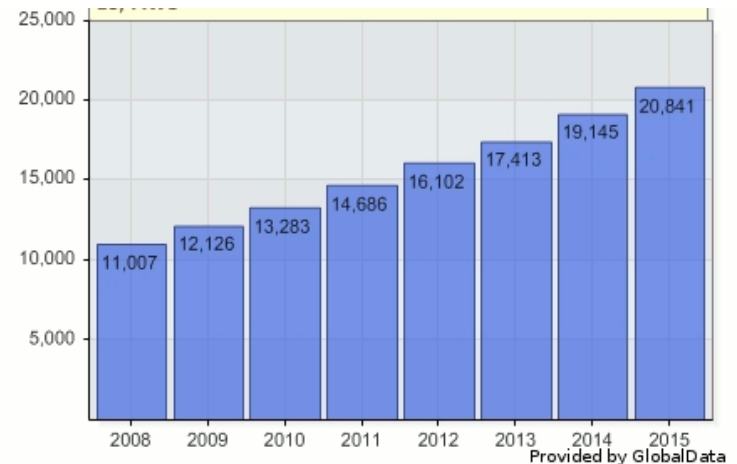
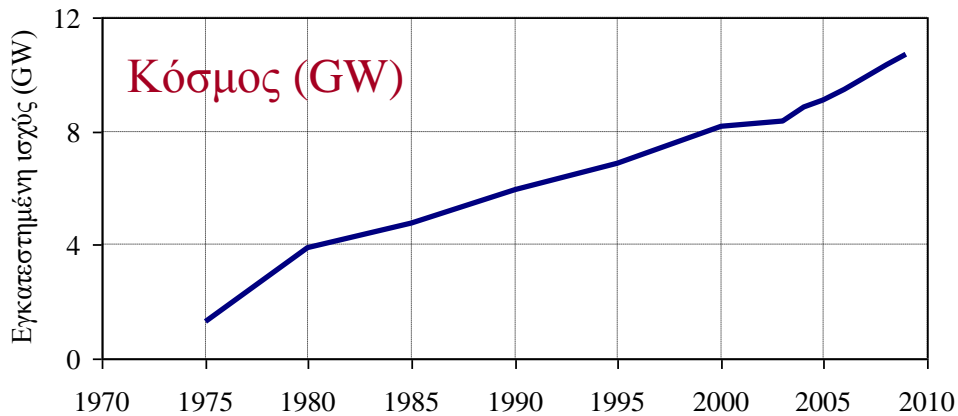
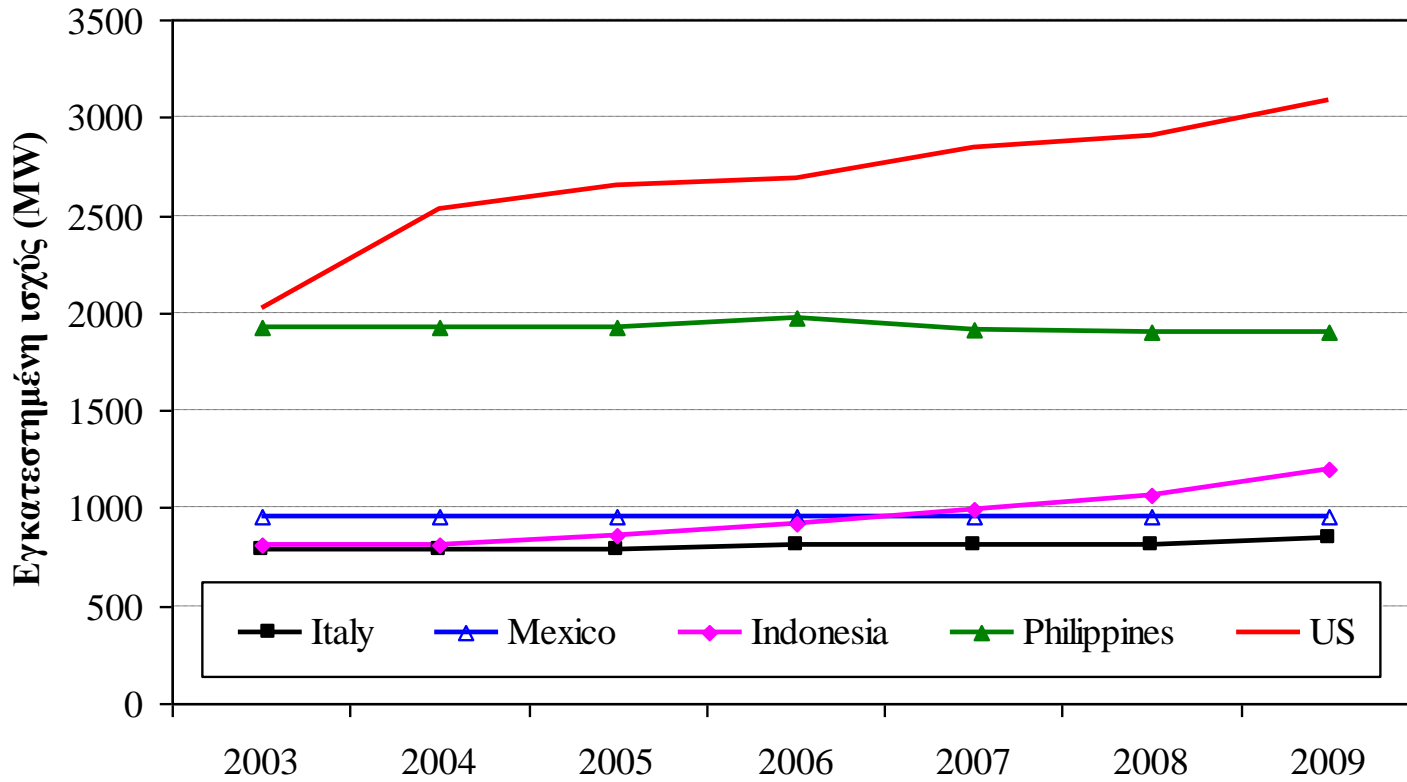
Περιβαλλοντικά Θέματα

- Ρύποι (υδρόθειο, αλμόλοιπο)
- Καθαρισμός Γεωθερμικών Αποβλήτων
- Διάθεση Γεωθερμικών Αποβλήτων (επαναφορά στον ταμιευτήρα, διάθεση στη θάλασσα ή ποτάμι, χημική επεξεργασία).



Χρονική εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος

Οι πέντε μεγαλύτερες, το 74.6 % της παγκόσμιας το 2009



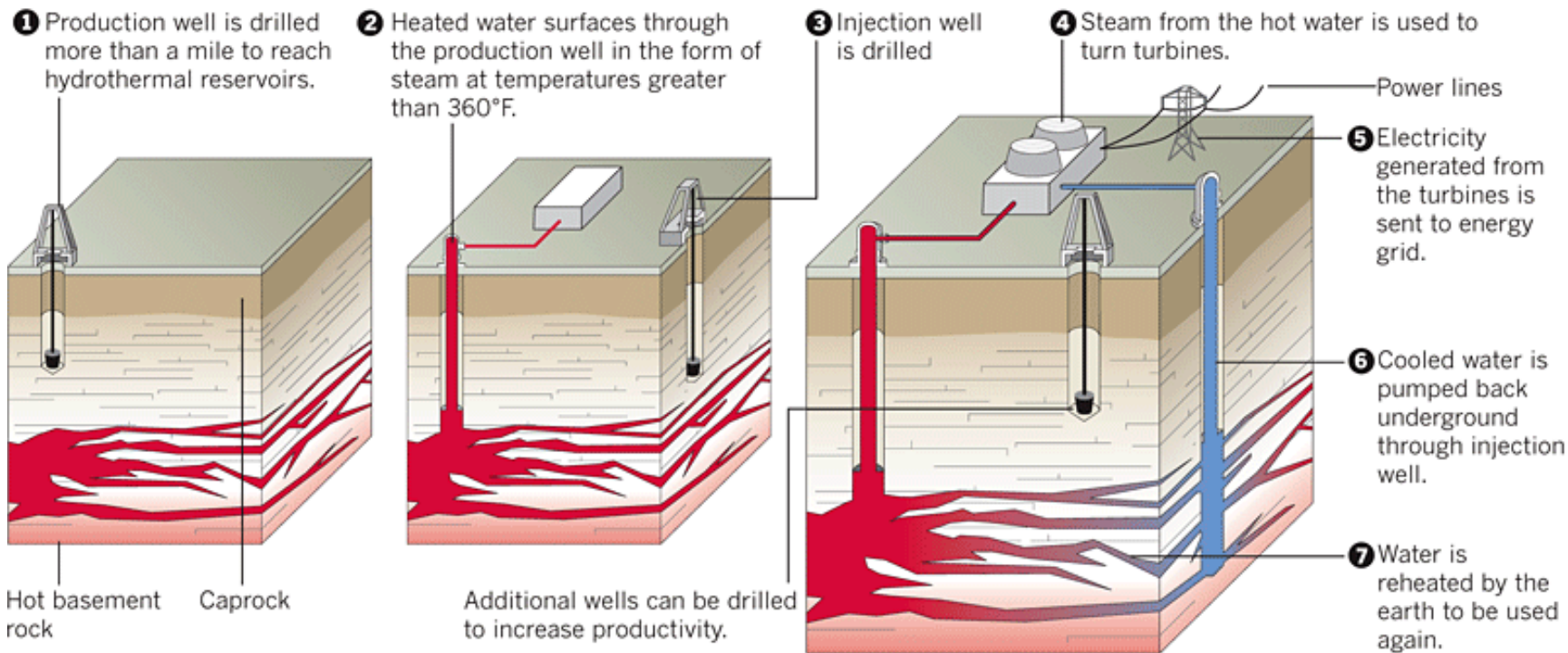
Εγκατεστημένη ισχύς το 2015

Χώρα	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Συμμετοχή στο ηλεκτρικό μίγμα (%)
USA	3450	0.3
Philippines	1870	27.0
Indonesia	1340	3.7
Mexico	1017	3.0
New Zealand	1005	14.5
Italy	916	1.5
Iceland	665	30.0
Kenya	594	51.0
Japan	519	0.1
Turkey	397	0.3
Costa Rica	207	14.0
El Salvador	204	25.0
Nicaragua	82	9.9

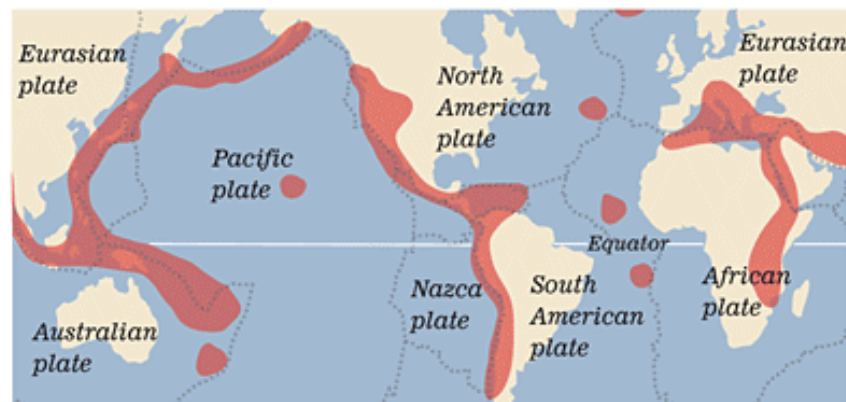
Χώρα	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Papua New Guinea	50
Guatemala	52
Portugal	29
Russia	82
China	27
Germany	27
France	16
Ethiopia	7.3
Austria	1.2
Australia	1.1
Thailand	0.3
Σύνολο	12,635.9

Geothermal energy

This source provides a small fraction of the power used in the United States, but interest is growing. How the energy is generated:



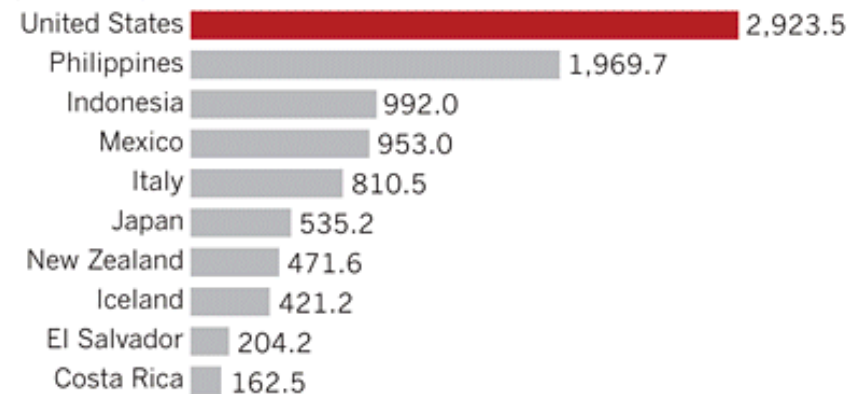
Hottest known geothermal regions



Sources: U.S. Department of Energy, Geothermal Education Office, Earth Policy Institute

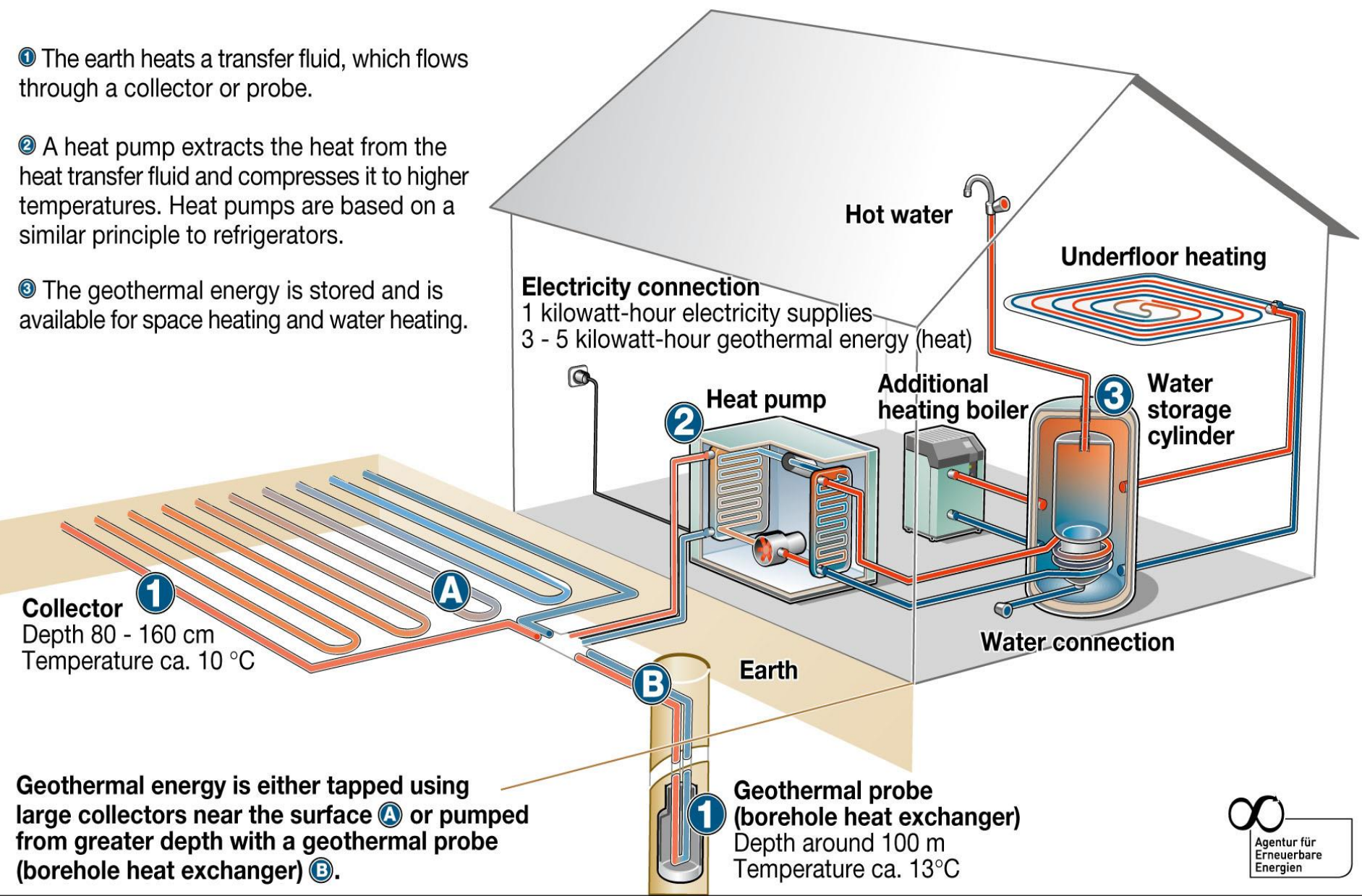
Top 10 countries in installed geothermal power capacity, 2007

(In megawatts)



Heat from the earth: How to heat with near-surface geothermal energy

- ① The earth heats a transfer fluid, which flows through a collector or probe.
- ② A heat pump extracts the heat from the heat transfer fluid and compresses it to higher temperatures. Heat pumps are based on a similar principle to refrigerators.
- ③ The geothermal energy is stored and is available for space heating and water heating.



Collector ①
Depth 80 - 160 cm
Temperature ca. 10 °C

Geothermal energy is either tapped using large collectors near the surface ①A or pumped from greater depth with a geothermal probe (borehole heat exchanger) ①B.

Geothermal probe (borehole heat exchanger) ①
Depth around 100 m
Temperature ca. 13°C