

Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία

Γεωθερμική Ενέργεια



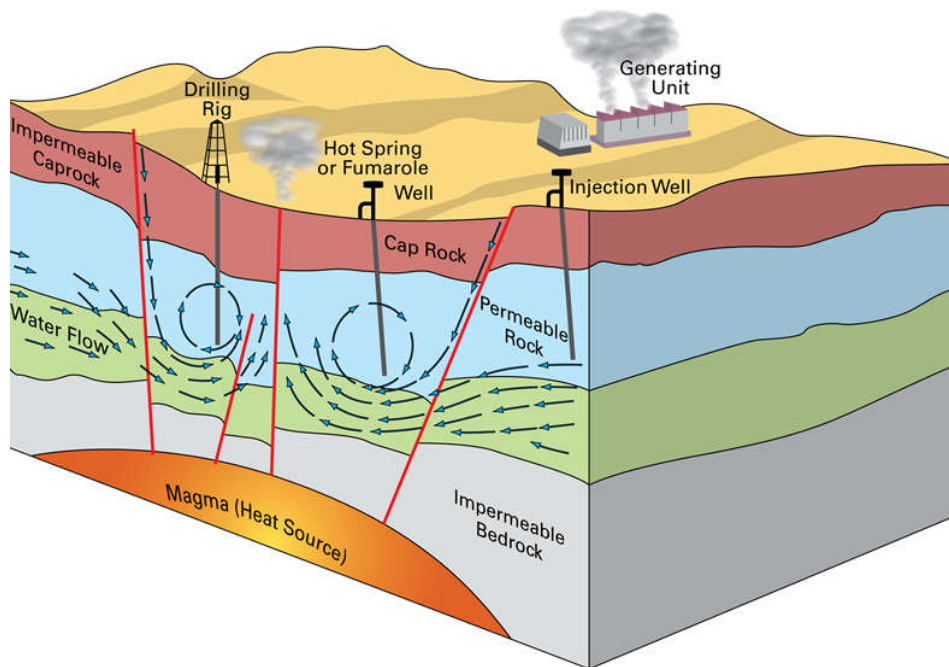
Νίκος Μαμάσης και Ανδρέας Ευστρατιάδης
Τομέας Υδατικών Πόρων & Περιβάλλοντος - Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Αθήνα 2024

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 Γης. 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 $3-10 \text{ km}$



Πηγή σχήματος: British Geological Survey

- 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
- **Νίσυρος**, 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

Το 2024 έγιναν μετρήσεις σε βάθος 3 km στη βόρεια Λέσβο για τον εντοπισμό ρηγμάτων γεωθερμικής ροής. Σκοπός ήταν να εντοπιστεί η θέση όπου θα πραγματοποιηθούν οι γεωτρήσεις και η κατασκευή γεωθερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής ισχύος **8 MW**, από την ΔΕΗ Ανανεώσιμες.

Η Γεωθερμία στην Ελλάδα

Γεωθερμικός φούρνος (Παλαιοχώρι, Μήλος)

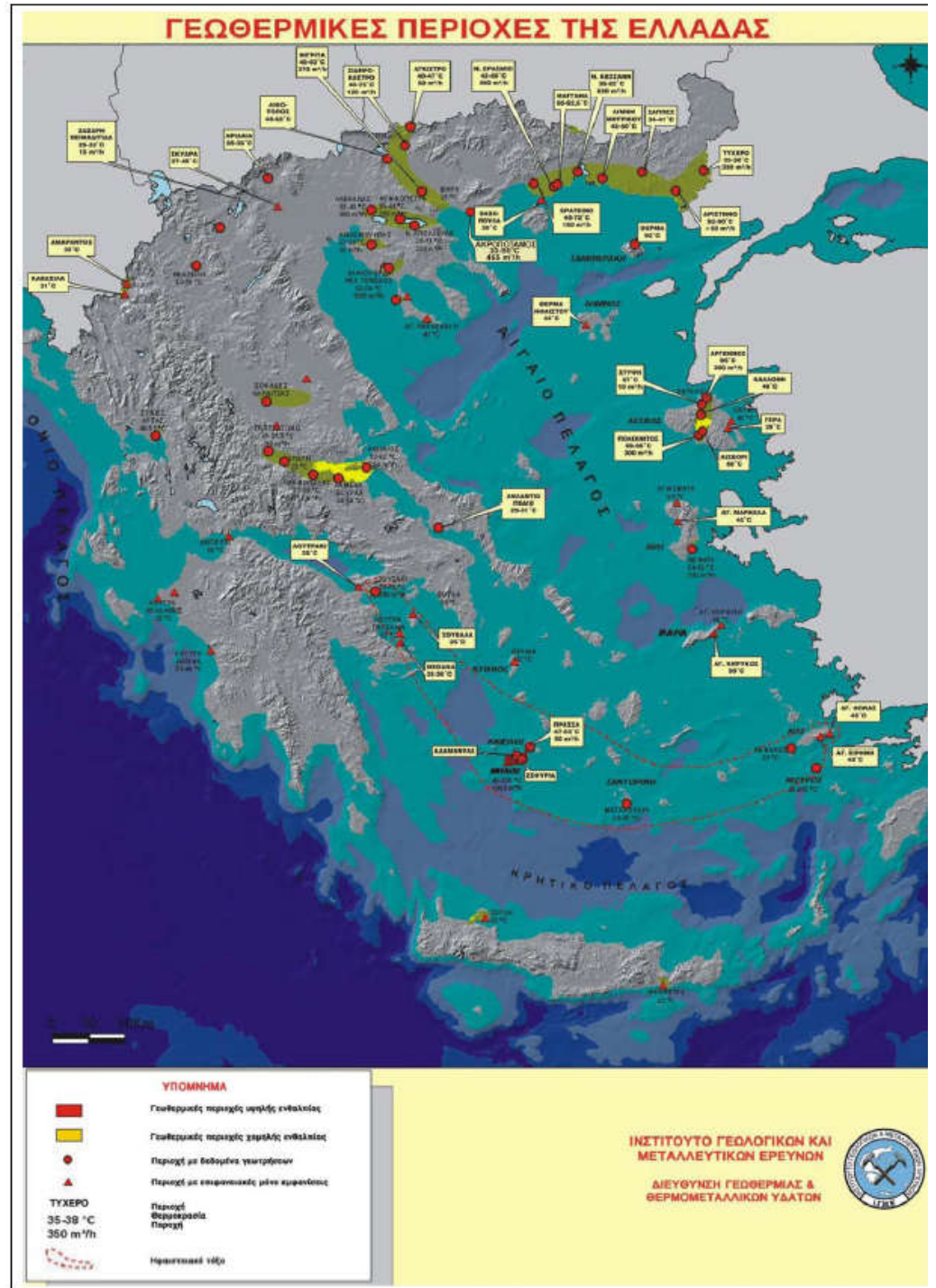


Έρευνα - Ανάπτυξη Γεωθερμικού Πεδίου

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

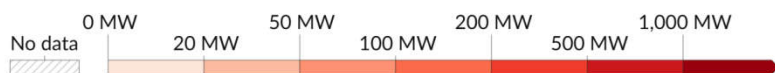
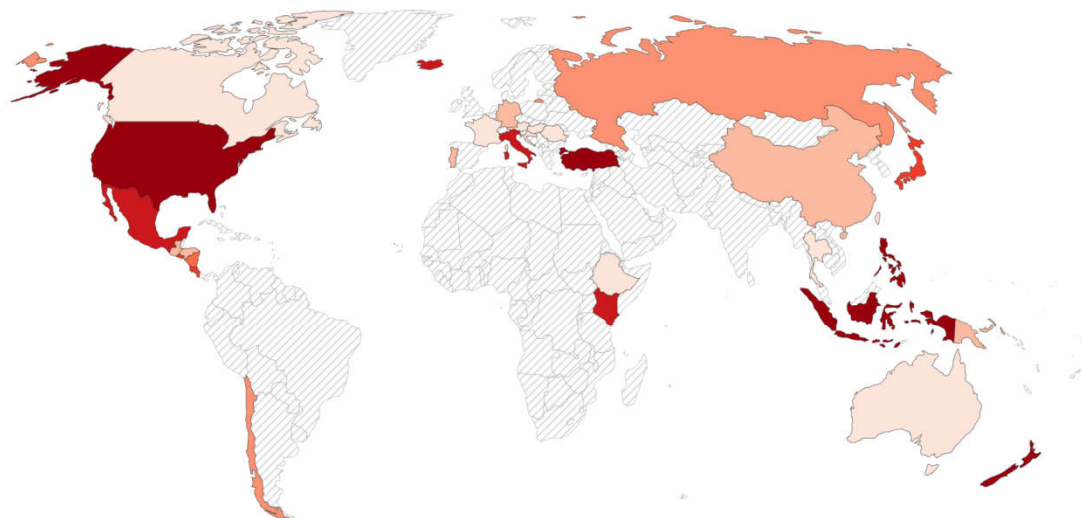
Περιβαλλοντικά Θέματα

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



Τεχνικά χαρακτηριστικά

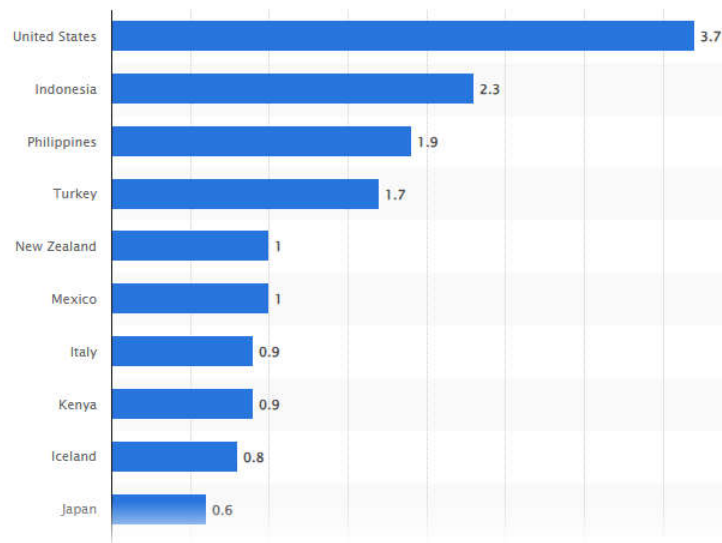
Εγκατεστημένη ισχύς το 2023



Εγκατεστημένη ισχύς (MW) το 2023

ΗΠΑ:	3900
Ινδονησία:	2418
Φιλιππίνες:	1952
Τουρκία:	1691
Νέα Ζηλανδία:	1042
Κένυα:	985
Μεξικό:	976
Ιταλία:	916
Ισλανδία:	754
Ιαπωνία:	576

Παραγωγή το 2021 (GWh)

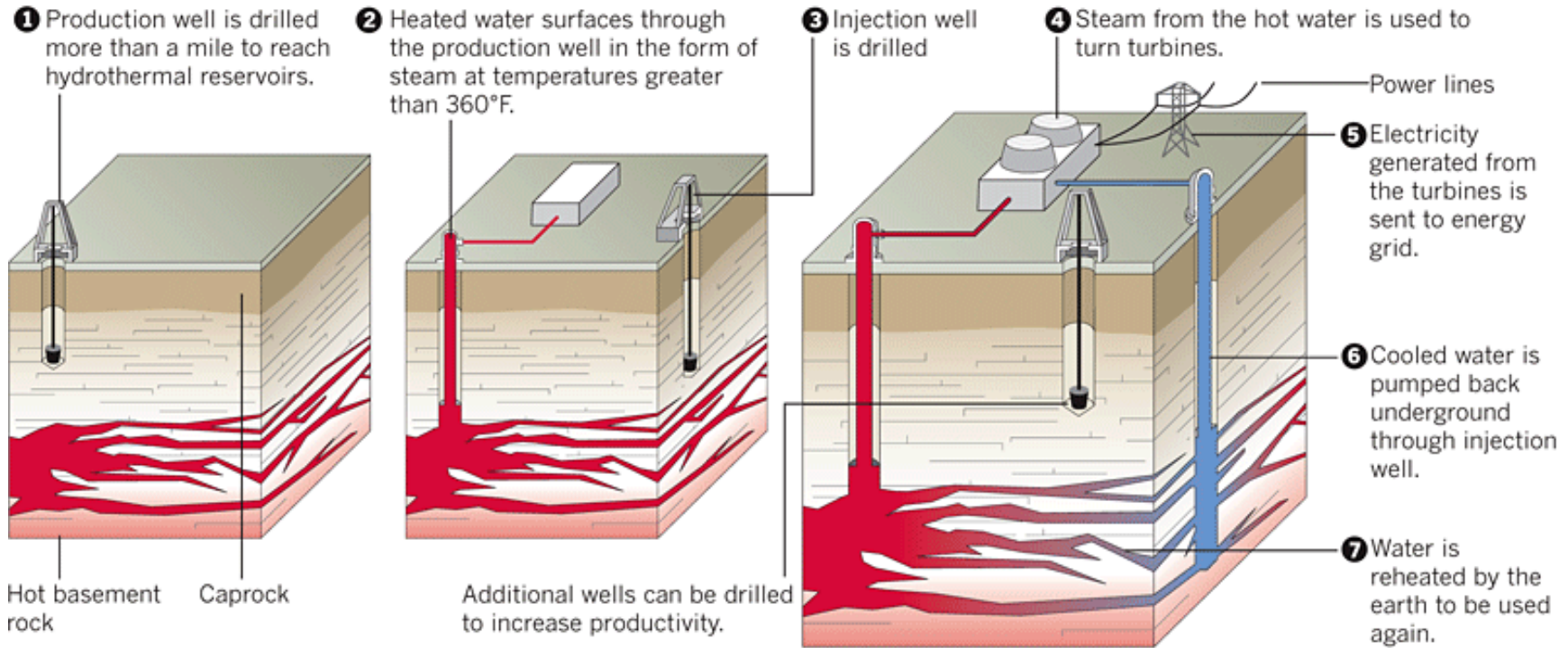


Συνολική εγκατεστημένη ισχύς στον πλανήτη: **15 GW**

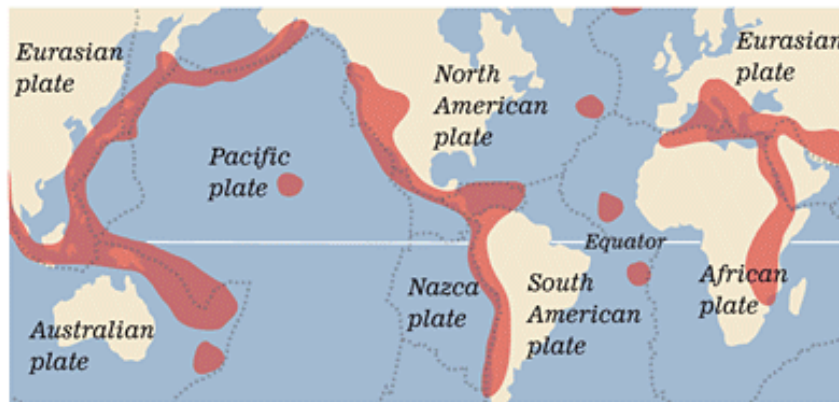
Πηγή: <https://ourworldindata.org/>

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:



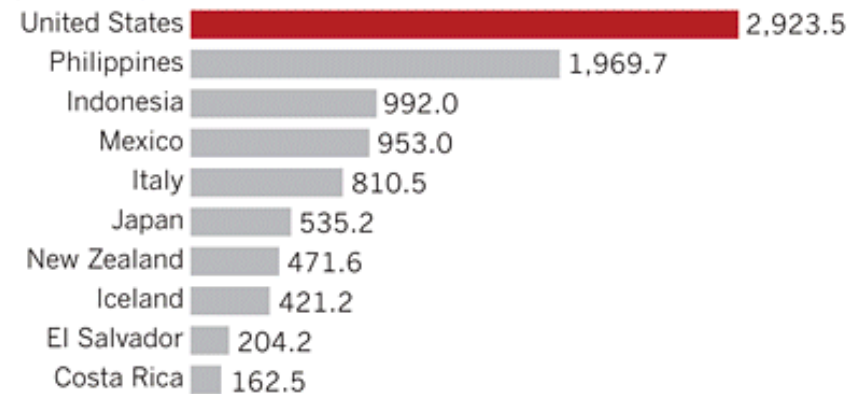
Hottest known geothermal regions



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

Top 10 countries in installed geothermal power capacity, 2007

(In megawatts)



Βάθη γεωθερμικών πηγαδιών

Otaniemi, Finland

Το βαθύτερο γεωθερμικό πηγάδι του κόσμου,

Έτος: 2019 Βάθος: 6.4 km Ισχύς: 40 MW



Falmouth, England.

Έτος: 2019

Βάθος: 5 km

Κόστος 22 εκατομμύρια \$

Θερμοκρασία: 195° C

Ισχύς: 3 MW

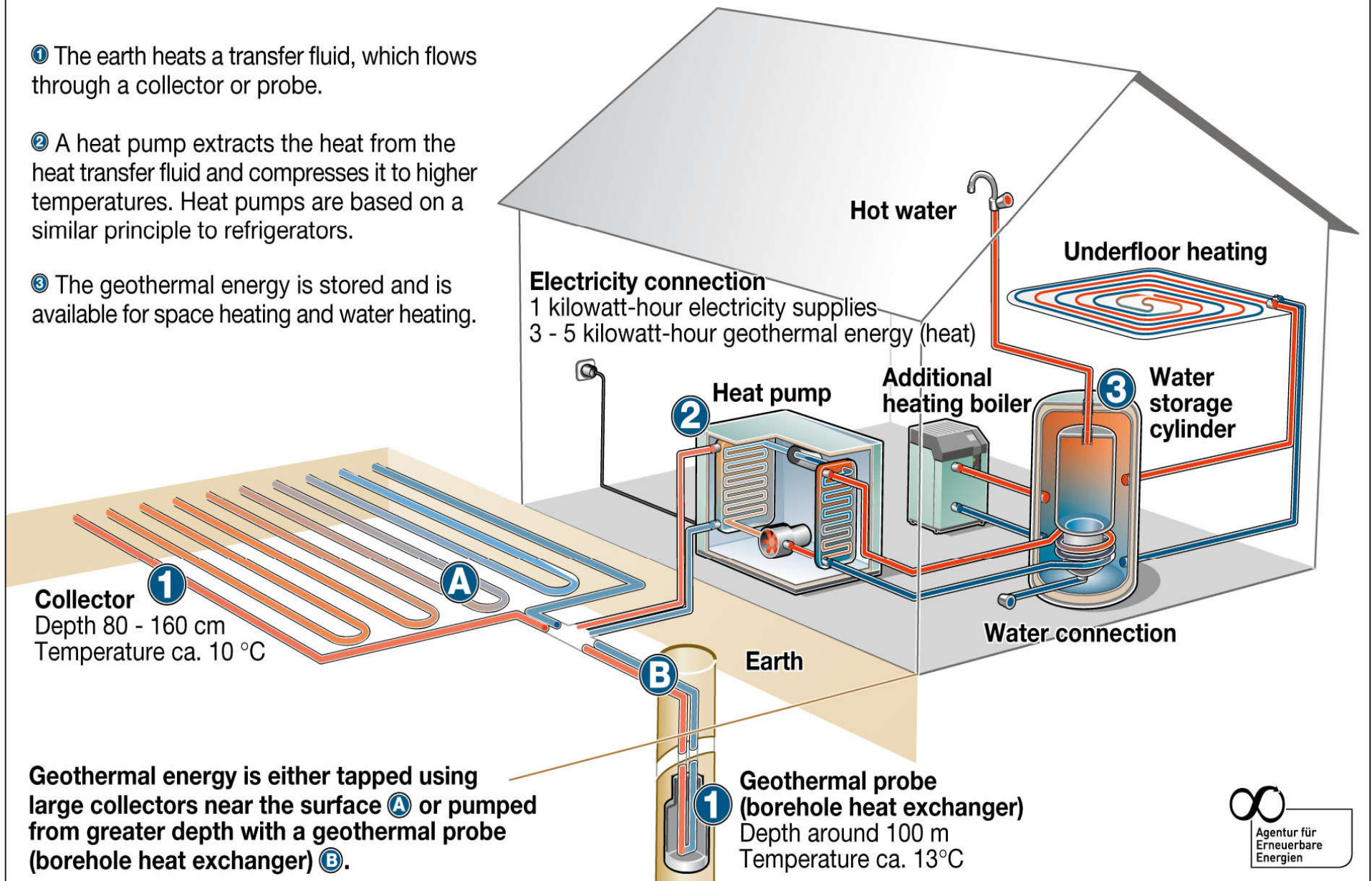


Βαθύτερα πηγάδια του κόσμου

Τοποθεσία	Έτος	Βάθος (m)
Kola (Russia)	1970-1989	12 262
Al Shaheen Qatar	2008	12 289
Sakhalin (Russia)	2011	12 345
Sakhalin (Russia)	2012	12 376

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.



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