



ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ



Ακ. Έτος 2017-2018

Π.Κουτσούκος

15 Δεκεμβρίου 2017

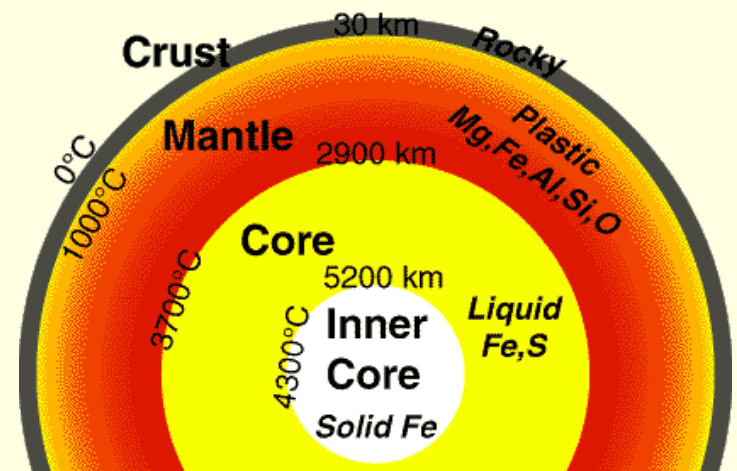
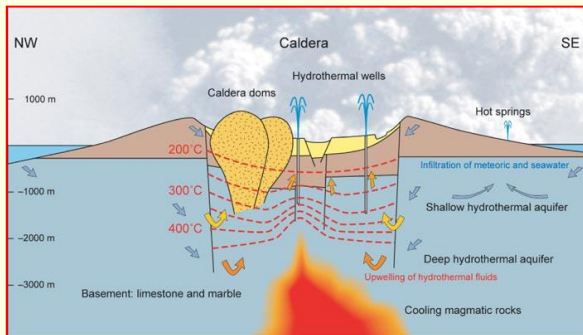
Γεωθερμική Ενέργεια:

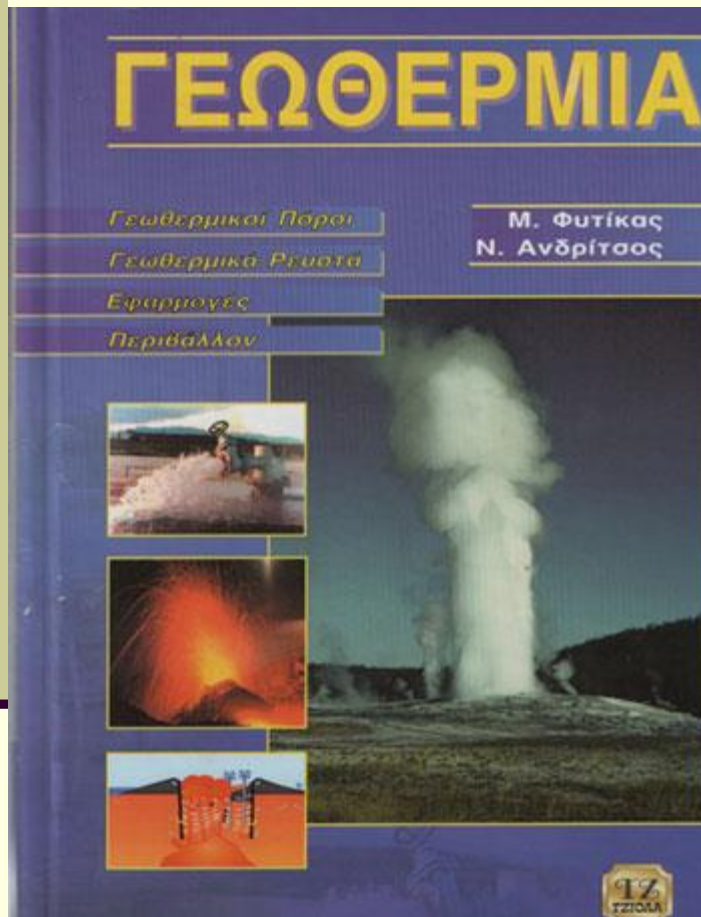
μία καθαρή και αειφορική πηγή ενέργειας

Τι είναι Γεωθερμία (Geothermics);

Ο εφαρμοσμένος επιστημονικός κλάδος που πραγματεύεται μεταξύ άλλων:

- ✦ 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





Το βιβλίο «Γεωθερμία» του Μιχάλη Φυτίκα και του Νίκου Ανδρίτσου, γνωστών και αναγνωρισμένων επιστημόνων σε Ελλάδα και εξωτερικό για το επιστημονικό τους έργο στον τομέα της Γεωθερμίας, είναι το απόλυτο σύγγραμμα, ένα κλασικό reference book στα Ελληνικά για την τόσο σημαντική αλλά ελάχιστα γνωστή και μάλλον αδικημένη Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας που είναι η Γεωθερμία.

Στα πρώτα πέντε κεφάλαια περιγράφονται οι φυσικές εκδηλώσεις της γεωθερμικής ενέργειας, παρουσιάζεται το γεωλογικό υπόβαθρο της δημιουργίας των γεωθερμικών συστημάτων, αναλύονται τα χαρακτηριστικά των γεωθερμικών ρευστών και παρουσιάζεται η μεθοδολογία έρευνας και τα στάδια παραγωγής των ρευστών και ανάπτυξης των πεδίων.

Στα Κεφάλαια 6 με 10 παρουσιάζονται διεξοδικά οι χρήσεις της γεωθερμίας με έμφαση στις άμεσες χρήσεις, καθώς και τα τεχνικά προβλήματα από την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών (δημιουργία επικαθίσεων, διάβρωση μεταλλικών επιφανειών, περιβαλλοντικές επιπτώσεις), και οι τρόποι αντιμετώπισής τους. Επίσης, δίνεται μια συνοπτική εισαγωγή στην τεχνικό - οικονομική αξιολόγηση των γεωθερμικών επενδύσεων και καταγράφεται η κατάσταση της ανάπτυξης και των προοπτικών της γεωθερμικής ενέργειας στην χώρα μας.



Το σύγγραμμα αυτό αποτελεί ένα πλήρες εγχειρίδιο για τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού και απευθύνεται σε οποιονδήποτε ενδιαφέρεται να αποκτήσει τις βασικές γνώσεις περί αβαθούς [ή επιφανειακής] γεωθερμίας. Στόχος του συγγράμματος είναι η κατανόηση των βασικών αρχών λειτουργίας των γεωθερμικών συστημάτων κλιματισμού, αλλά και η ανάλυση των διαφόρων ειδών και χρήσεων των συστημάτων αυτών.

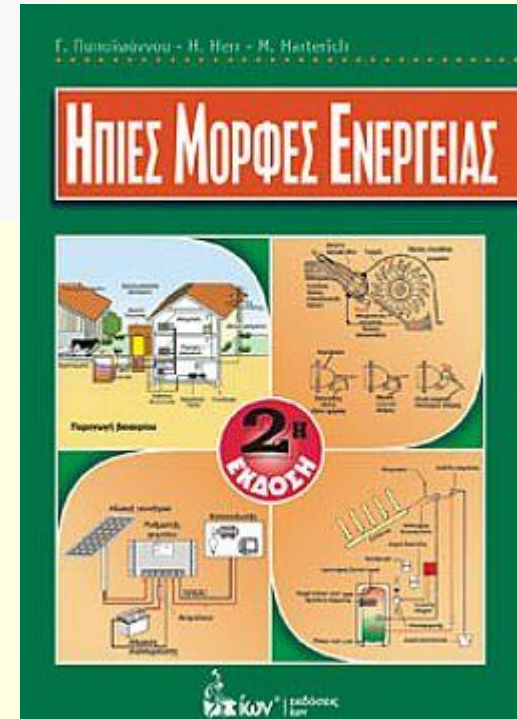
Γεωθερμική Ενέργεια

Συγγραφέας: Γρηγόριος Καρυδάκης

ISBN: 960-7378-65-2

Εκδότης: ΧΡ.ΙΩΑΝΝΟΥ - ΑΙΜ.ΓΟΛΕΜΗΣ Ο.Ε.

Συγγραφέας: Λιώκη - Λειβαδά, Ηρώ
Εκδότης: Συμμετρία



ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ Ιστορία
Ανάπτυξη της Γεωθερμικής Ενέργειας
Γεωθερμικά Πεδία Δυναμικό
Αποθεμάτων Η Γεωθερμική Ενέργεια
στην Ελλάδα Υδραυλικός Θρυμματισμός
Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας για
Θέρμανση και Ψύξη

Geothermal energy

Utilization and technology

Edited by
Mary H. Dickson
and Mario Fanelli



UNESCO

Presenting boundary conditions for the economic and environmental utilization of geothermal technology, this is the first textbook to provide basic knowledge on the topic in such detail.

able Energies series

Urheberrechtlich geschütztes Material

Edited by Ernst Huenges

WILEY-VCH

Geothermal Energy Systems

Exploration, Development, and Utilization



Urheberrechtlich geschütztes Material

Copyrighted Material

ENERGY AND THE ENVIRONMENT

Abbas Ghassemi, Series Editor

GEO THERMAL ENERGY

Renewable Energy and the Environment

William E. Glassley

CRC Press
Taylor & Francis Group

Copyrighted Material

This textbook, published in 2010, is one of the most current books on the market on geothermal energy.



2007

GEOHERMAL ENERGY

AN ALTERNATIVE RESOURCE
FOR THE 21ST CENTURY

HARSH GUPTA AND
SUKANTA ROY



readable and coherent account of all facets of geothermal energy development and summarizes the present day knowledge on geothermal resources, their exploration and exploitation.



Ingrid Stober
Kurt Bucher

Geothermal Energy

From Theoretical Models to Exploration
and Development

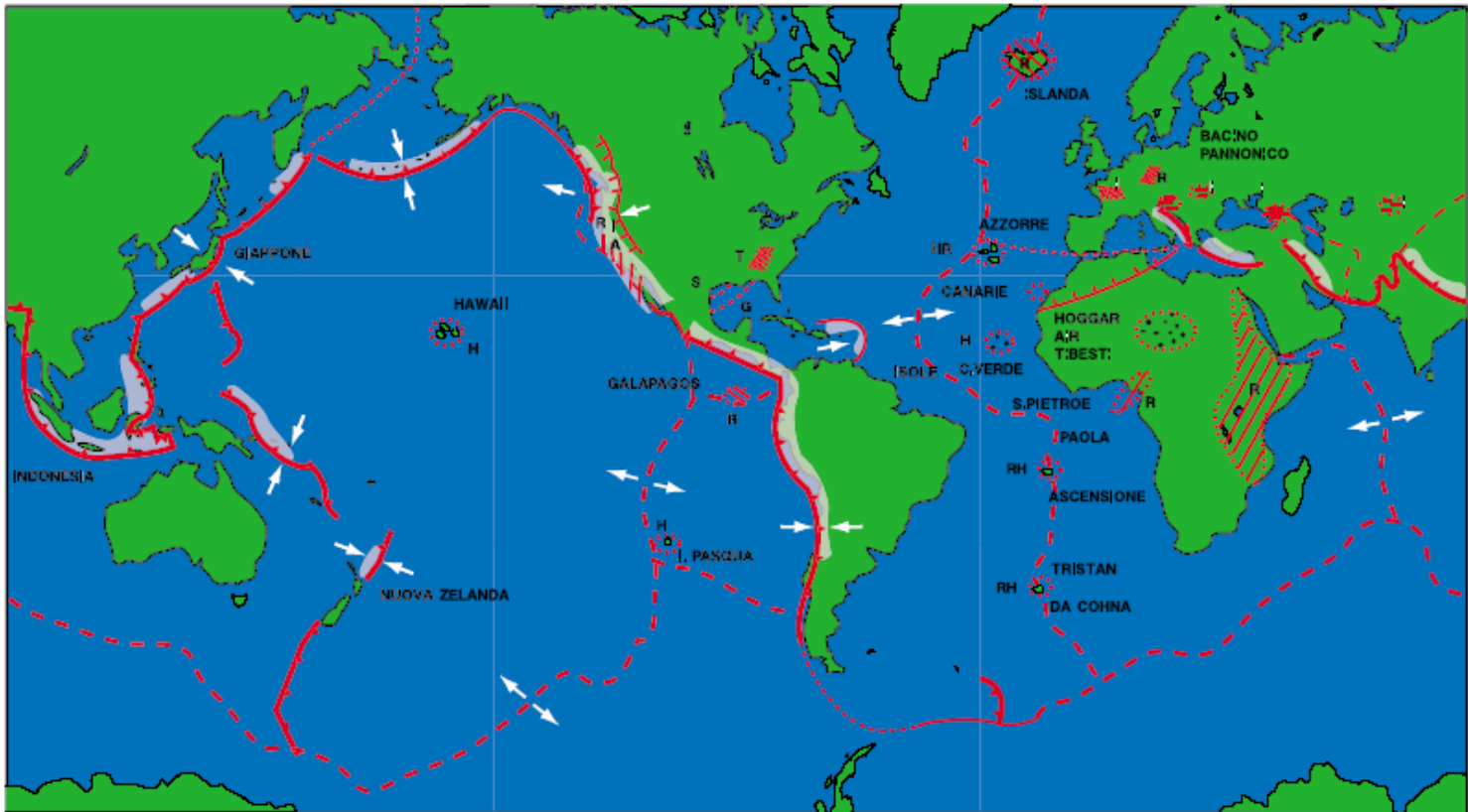
2013

basic knowledge on the Earth's thermal regime and its geothermal energy resources, the types of geothermal energy used -future potential and the perspectives of the industry. Specific chapters of the book deal with borehole heat exchangers and with the direct use of groundwater and thermal water in hydrogeothermal systems. A central topic are **Enhanced Geothermal Systems** (hot-dry-rock systems), a key technology for energy supply in the near future. Pre-drilling site investigations, drilling technology, well logging and hydraulic test programs are important subjects related to the exploration phase of developing Geothermal Energy sites. The chemical composition of the natural waters used as a heat transport medium in geothermal systems can be used as an exploration tool, but chemistry is also important during operation of a geothermal power plant because of potential scale formation and corrosion of pipes and installations, which needs to be prevented.

Γεωθερμική Ενέργεια

- **Γεωθερμική ενέργεια** είναι στην κυριολεξία η θερμότητα που εμπεριέχεται στη γη, είναι τεράστια σε μέγεθος και η οποία δημιουργεί διάφορα γεωλογικά φαινόμενα.
- Συνήθως με τον όρο «**γεωθερμική ενέργεια**», εννοούμε το τμήμα της γήινης θερμότητας που βρίσκεται αποθηκευμένο με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού σε ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες (< 3 km)
- Η ενέργεια αυτή βρίσκεται συνήθως περιορισμένη σε μία **γεωθερμική περιοχή ή πεδίο** (geothermal area ή field) με συγκεκριμένα επιφανειακά όρια.
- Ως **γεωθερμική χρήση** αναφέρεται η οικονομική εκμετάλλευση του ατμού ή των θερμών νερών.

Γεωθερμική βαθμίδα: ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας της γης με το βάθος. Μέση τιμή: 30°C ανά km



Περιοχές που συνδέονται με μαγματισμό και ηφαιστειότητα		Περιοχές που δε συνδέονται με μαγματισμό	
R	Ωκεάνειες τάφροι	I	Διηπειρωτικές λεκάνες
R	Ηπειρωτικές τάφροι	G	Γεωπεπαισμένες περιοχές
	Ηφαιστειακά τόξα, κορδιλιέρες και οπισθοτόξες λεκάνες σε εφελκυσμό	S	Αλατούχοι διάπυροι.
		T	Ραδιοθερμολογικές περιοχές
	Ωκεάνειες ράχες & τάφροι		
	Άλλα όρια πλακών		
	Επωθήσεις, αντίστροφα ρήγματα		

Τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, στα οποία απαντούν τα περισσότερα γεωθερμικά συστήματα.

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.

Ο εντυπωσιακότερος υδροθερμικός κρατήρας, που έγινε σε ιστορικούς χρόνους και έχει το μυθολογικό όνομα του Πολυβώτη, βγάζει ακόμα υπέρθερμους ατμούς και θερμά αέρια



Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Θερμές πηγές (hot springs): φυσικές έξοδοι ζεστού νερού, κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες, με θερμοκρασία μέχρι το σημείο ζέσεως του νερού.

- Μερικές φορές εντυπωσιακή παροχή (π.χ. πηγές των Θερμοπυλών, ~ 1000 m³/h)
- Αποθέσεις αλάτων όπως πυριτικές αποθέσεις, ανθρακικές αποθέσεις και τραβερτίνες (π.χ. Yellowstone National Park Η.Π.Α. και στο Pamukkale της Τουρκίας).



*Φωτογραφία των
Θερμών πηγών στις
Θερμοπύλες.*



Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης



Αποθέσεις ανθρακικών αλάτων από θερμές πηγές με το σχηματισμό εντυπωσιακών αναβαθμίδων στο Mammoth Springs, Yellowstone National Park, Η.Π.Α. και στο Pamukale της Τουρκίας (η Ελληνιστική και Ρωμαϊκή πόλη της Ιεράπολης)

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Ατμίδες (fumaroles): αναδύσεις υπέρθερμων ατμών και αερίων που βγαίνουν από ρωγμές ή τρύπες του εδάφους χωρίς πίεση. Περιέχουν κυρίως CO_2 , SO_2 , H_2S κ.ά. Όταν περιέχουν αρκετές ποσότητες H_2S = θειωνίες (solfataras), όταν περιέχουν μόνο CO_2 = μοφέτες (mofettes).



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. Στη Μήλο έχουμε μια τέτοια περιοχή με έκταση 15000 m^2 , στη θέση «Χάρου Θειάφες» κοντά στον Αδάμαντα.

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Θερμοπίδακες (geysers): αποτελούν

ειδική περίπτωση ζέουσων θερμών πηγών και δημιουργούνται από την κυκλοφορία υπέρθερμων υπόγειων νερών σε μικρό βάθος.

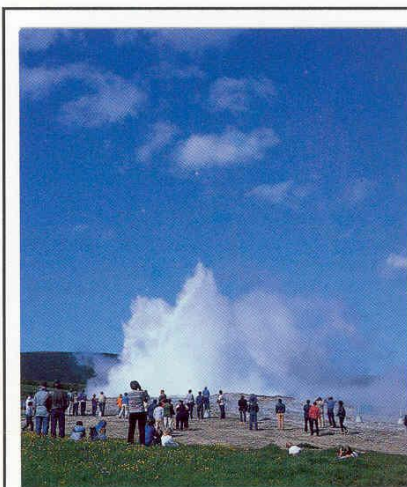
- σχεδόν περιοδική και εντυπωσιακή μερικές φορές έκρηξη νερού και υδρατμών
- ιδιαίτερα σπάνιο φαινόμενο και παρατηρούνται σε ενεργές ηφαιστειακά περιοχές (<1000 θερμοπίδακες σε όλο τον κόσμο, στις Η.Π.Α., Ρωσική Δημοκρατία, Ν. Ζηλανδία, Ισλανδία και Χιλή).



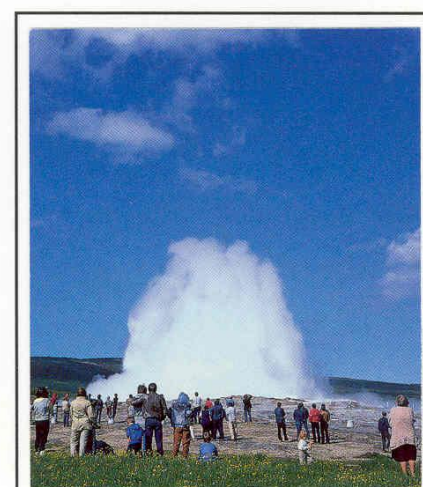
Ο θερμοπίδακας Old Faithful στο Yellowstone National Park, Η.Π.Α

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

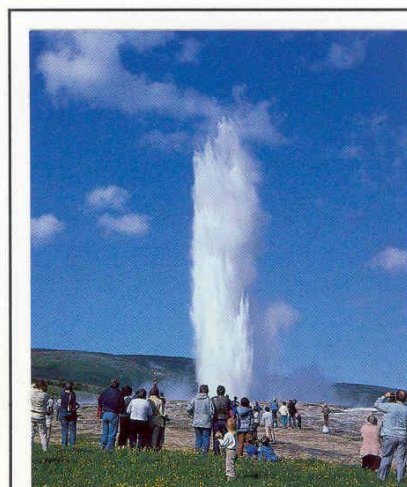
Θερμοπίδακες (geysers)



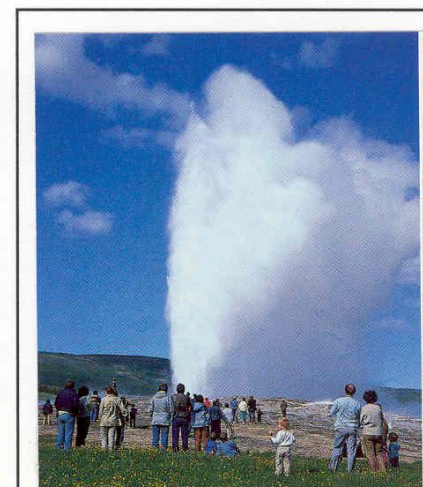
Το γκείζερ βγάζει το νερό



Το γκείζερ στην αρχή της έκρηξης



Το γκείζερ στη διάρκεια της έκρηξης



Η φάση του ατμού

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Θερμοπίδακες (geysers)

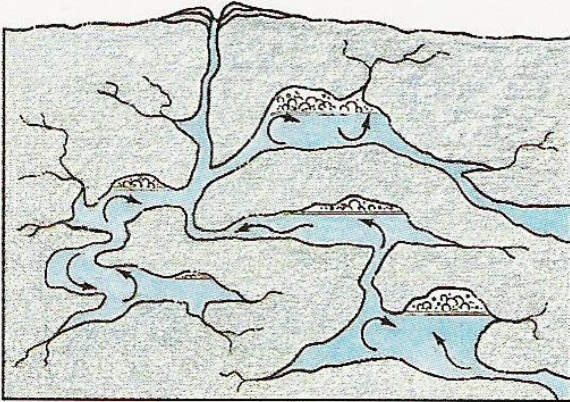


Geysir, Ισλανδία

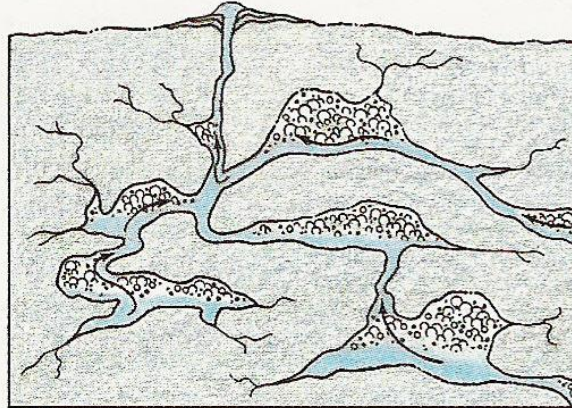
Stokkur,
Ισλανδία

Θερμοπίδακες

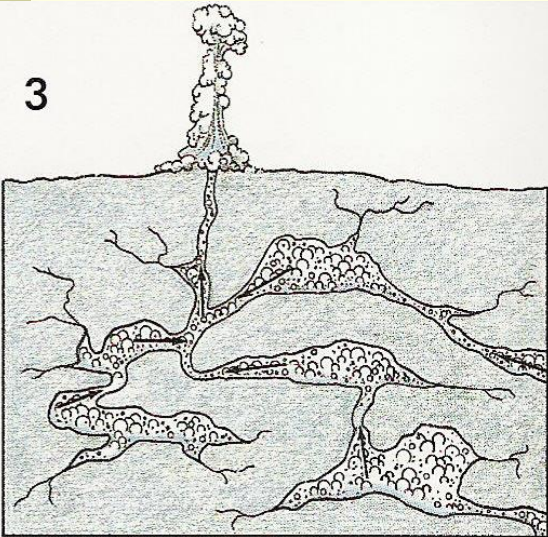
1



2



3



Τα στάδια δημιουργίας πολλών θερμοπιδάκων.

(α) Το νερό ανακυκλοφορεί και πληροί τις υπόγειες κοιλότητες.

(β) Σχηματίζονται φυσαλίδες ατμού που ωθούν μέρος του νερού προς την επιφάνεια.

(γ) Η μείωση της πίεσης οδηγεί σε εκτόνωση του υπέρθερμου νερού

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Λεκάνες ιλύος (mud pools):

σχηματίζονται όταν δεν υπάρχει μεγάλη ροή και πίεση του νερού μιας θερμής πηγής, ώστε τα 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.

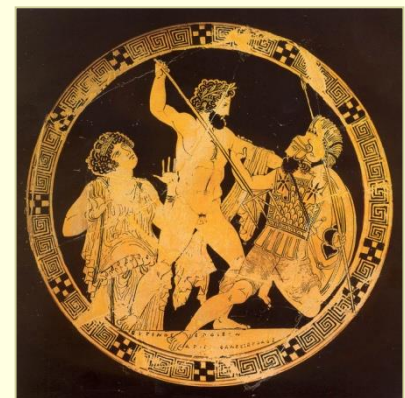
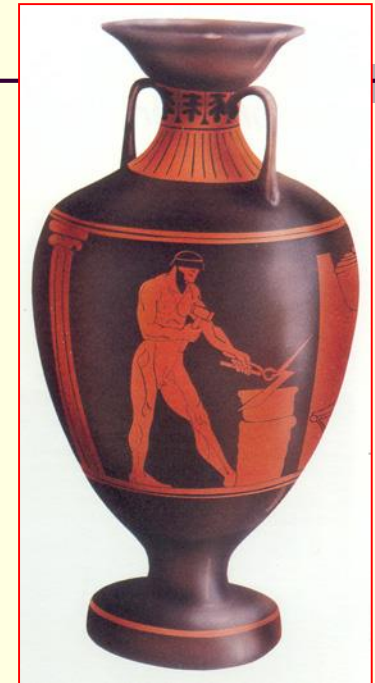


Λεκάνη ιλύος (mud pool) στο Yellowstone National Park, Η.Π.Α.

Ιστορική αναδρομή των γεωθερμικών χρήσεων

Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων

- Η χρήση των θερμών νερών πηγαίνει 10000 χρόνια πίσω
- Οι θερμές πηγές θεωρούνταν από την αρχαιότητα ακόμη ότι είχαν θεραπευτικές και υπερφυσικές ιδιότητες, γι' αυτό και πολλοί ιεροί χώροι ήταν κοντά σε θερμές πηγές.
- Ο Ηρακλής συνδέθηκε και με τα θερμά λουτρά
- οι Ανιγρίδες Νύμφες ζούσαν στη σπηλιά των σημερινών θερμών λουτρών Καϊάφα
- Ο ναός της Αρτέμιδος στη Λέσβο είναι κτισμένος πάνω στο χώρο όπου αναβλύζουν και σήμερα θερμές πηγές (Θερμία Άρτεμις).
- Η χρήση θερμών νερών ήταν γνωστή και στους αρχαίους ανατολικούς λαούς (Κίνα, Ιαπωνία) με πληθώρα μαρτυριών



Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων

- Οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι επίσης χρησιμοποιούσαν τα θερμά νερά όχι μόνο για ιαματικούς σκοπούς αλλά και για τη θέρμανση χώρων
- Ο Γαληνός λέγεται ότι προσέφερε φρούτα εκτός εποχής στους καλεσμένους του, που παρήγαγε προφανώς σε κάποιο γεωθερμικό θερμοκήπιο της εποχής.



Ρωμαϊκά λουτρά στην Πέργη της Μικράς Ασίας



Μεταφορά θερμού νερού στην Ιεράπολη της Μικράς Ασίας.

Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων



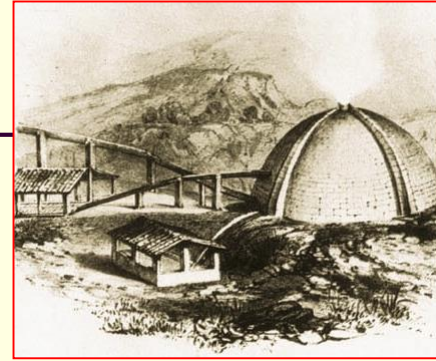
Ρωμαϊκά λουτρά στο Δίο



Ρωμαϊκά λουτρά στο Bath

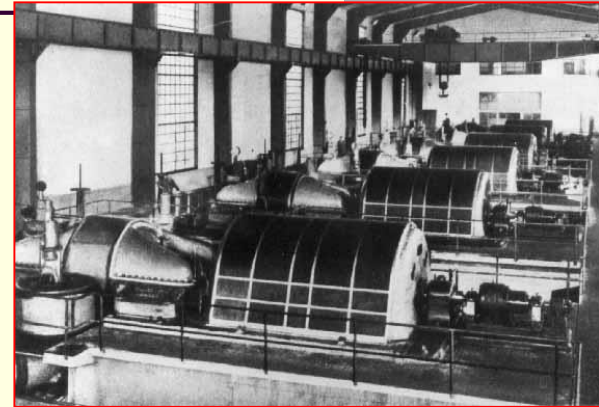
Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων

- Αρχές 1800: απόληψη βορικού οξέος στο Larderello στην Ιταλία
- 1864: θέρμανση ξενοδοχείου στο Oregon
- 1904: πρώτη προσπάθεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello από τον Κόμη Ginori
- 1930: θέρμανση χώρων στην Ισλανδία. Το Reykjavík από «Καπνούπολις» μετατράπηκε σε «άκαπνη» με τη γεωθερμία.

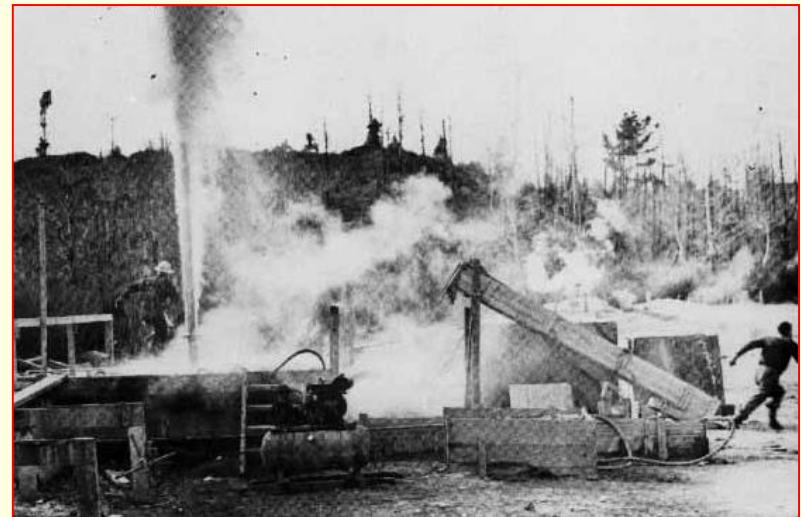


Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων

- Το 1940 η ισχύς των γ/θ μονάδων στο Larderello έφτασε τα 130 MWe, πριν καταστραφούν κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκοσμίου Πολέμου.
- Μέσα 1940: οι πρώτες γ/θ αντλίες θερμότητας
- 1958: η μονάδα στο Wairakei της Νέας Ζηλανδίας και δύο χρόνια αργότερα η πρώτη μονάδα στο πεδίο The Geysers.



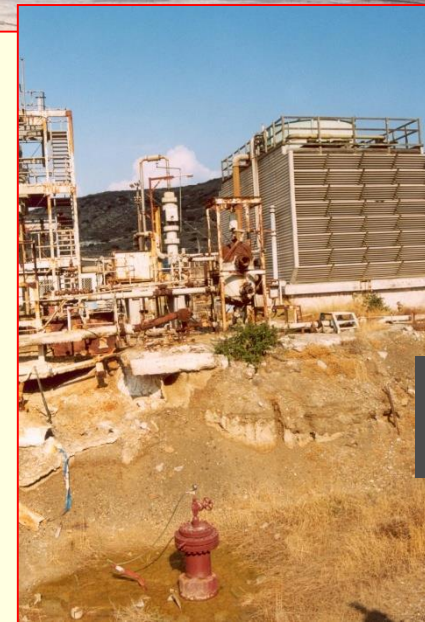
Larderello



Wairakei, Ν. Ζηλανδία, δεκαετία του 50.

Ανασκόπηση των γεωθερμικών χρήσεων

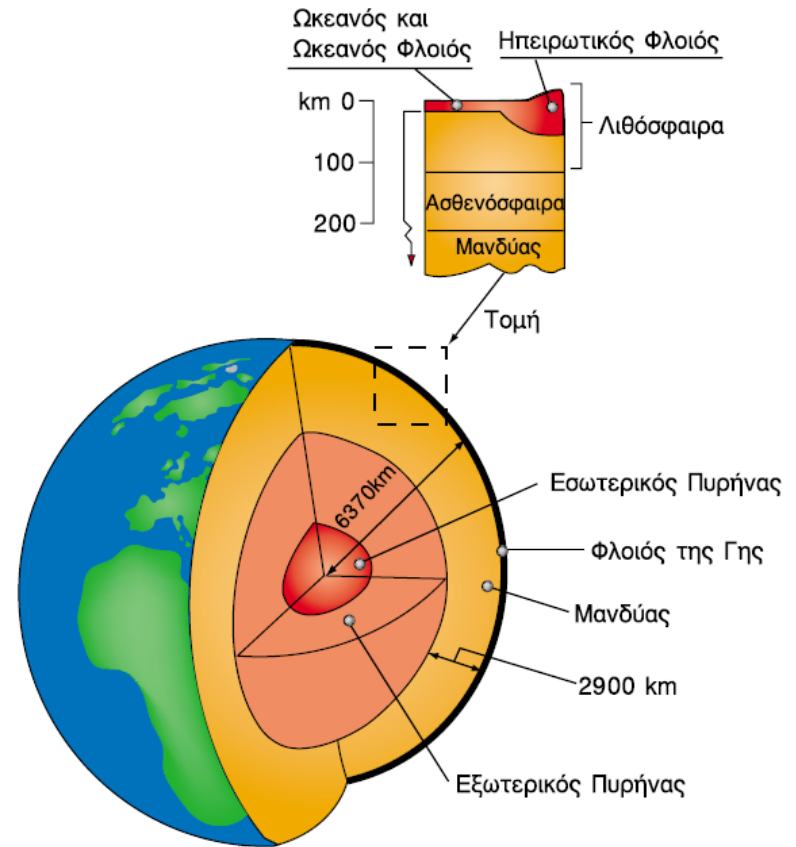
- Αρχές 1970: γ/θ έρευνα σε Μήλο, Νίσυρο, Σουσάκι κ.ά. από ΙΓΜΕ
- Τέλος 1970: πρώτα γ/θ θερμοκήπια
- 1986-1989: λειτουργία της μονάδας Μήλου



2. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

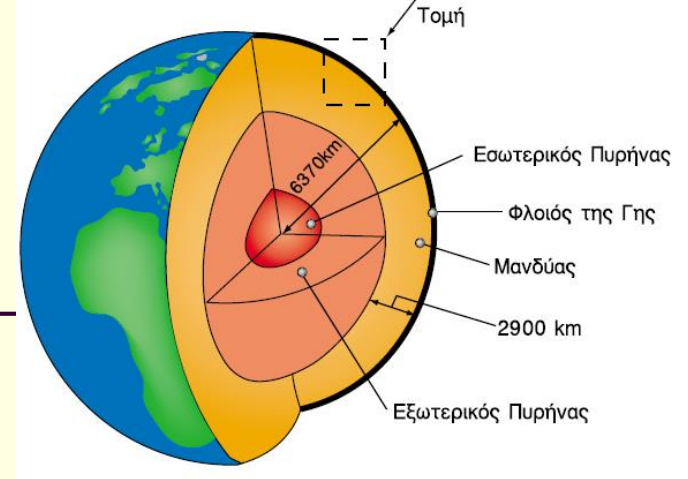
Η δομή της γης

- Η γήινη σφαίρα αποτελείται από τρεις κύριες στιβάδες: ο φλοιός, ο μανδύας και ο πυρήνας.
- Το πάχος του φλοιού: 20-60 km στις ηπειρωτικές περιοχές, 6-7 km στις θαλάσσιες
- Μέση ακτίνα της γης: 6370 km.
- Στις ηπειρωτικές περιοχές η σύσταση είναι κυρίως γρανιτική και εμπλουτισμένη σε ορισμένα ελαφρά (Si, Al, Na, K) και σε αρκετά ραδιενεργά στοιχεία (U, Th κ.ά.).



Η δομή της γης

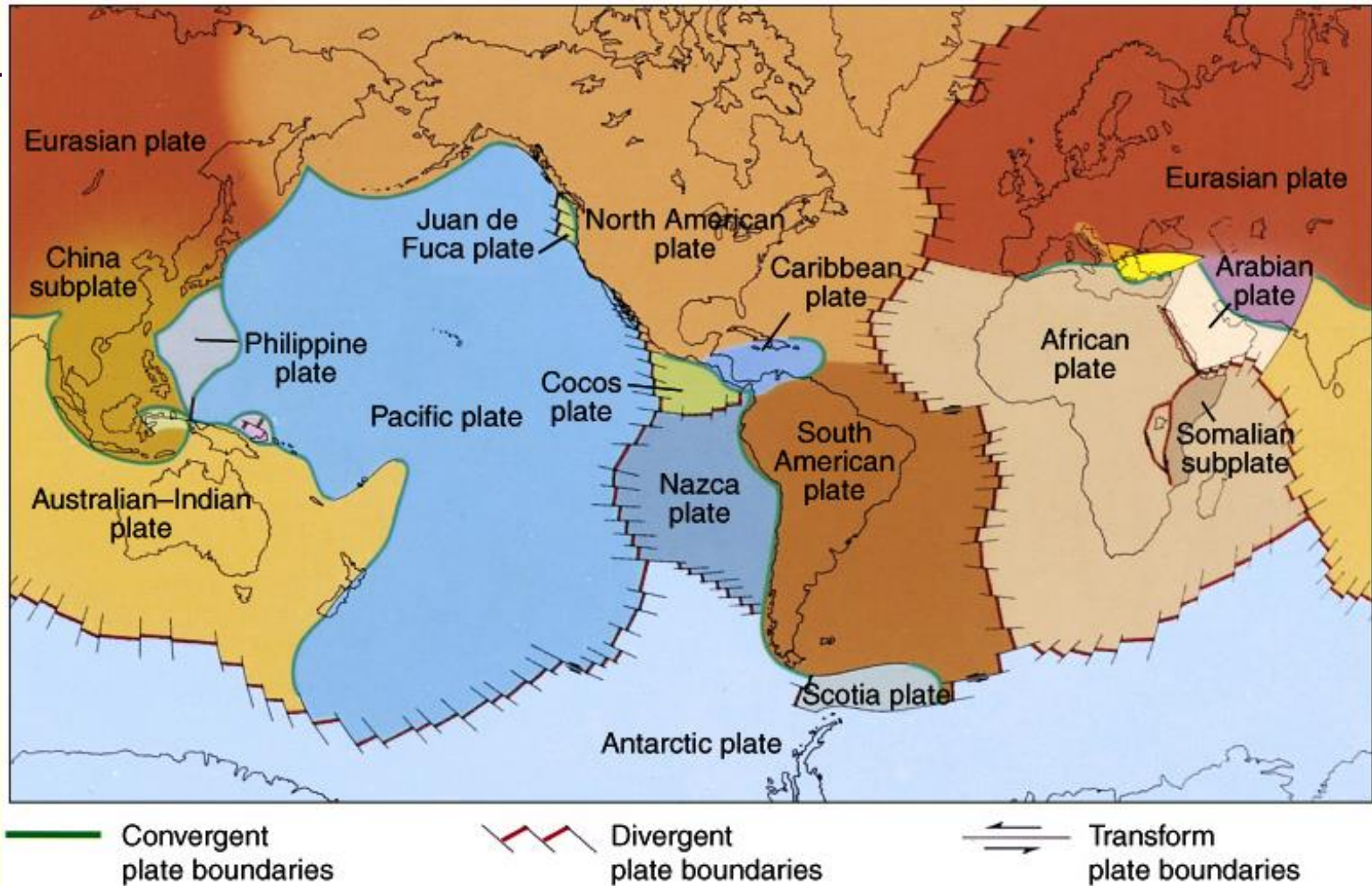
- Ο μανδύας, με πάχος 2900 km, θεωρείται ότι συνίσταται κυρίως από πυριτικά ορυκτά του Mg και Fe και έχει θερμοκρασίες της τάξης των 1000-3000°C.
- Ο πυρήνας, ο οποίος αποτελείται από στερεό στρώμα μεγάλης πυκνότητας 12-13 g/cm³, με θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες των 4000°C.
- Το ανώτερο στερεό τμήμα της γης ονομάζεται λιθόσφαιρα, με πάχος 70-125 km (περιλαμβάνει το φλοιό και τον ανώτερο μανδύα). Συνίσταται από στερεές πλάκες, οι οποίες μετατοπίζονται η μία σε σχέση με την άλλη, όπως θα συζητηθεί παρακάτω.
- Κάτω από τη λιθόσφαιρα βρίσκεται η παχύρρευστη ασθενόσφαιρα, που παρουσιάζει πολύ αργές και κανονικές κινήσεις, τις λεγόμενες μεταφορικές κινήσεις (convection) μεταξύ της στερεάς βάσης αυτού του στρώματος και της βάσης του φλοιού, οι οποίες είναι η αιτία της κίνησης των λιθοσφαιρικών πλακών



Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών

- Η θεωρία διατυπώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1960
- Η λιθόσφαιρα της γης είναι διαιρεμένη σε έξι κύρια μεγάλα τμήματα ή πλάκες, που ονομάζονται τεκτονικές πλάκες, που είναι: η Ευρασιατική, η Αμερικανική, η Αφρικανική, η Ανταρκτική, η Ινδική και η Ειρηνική.
- Υπάρχει και πλήθος δευτερευουσών μικρών πλακών (π.χ. Αιγαίου, Αδριατική).
- Οι πλάκες αυτές κινούνται αργά, με ταχύτητες της τάξης των μερικών εκατοστών ανά έτος (1-15 cm/έτος).

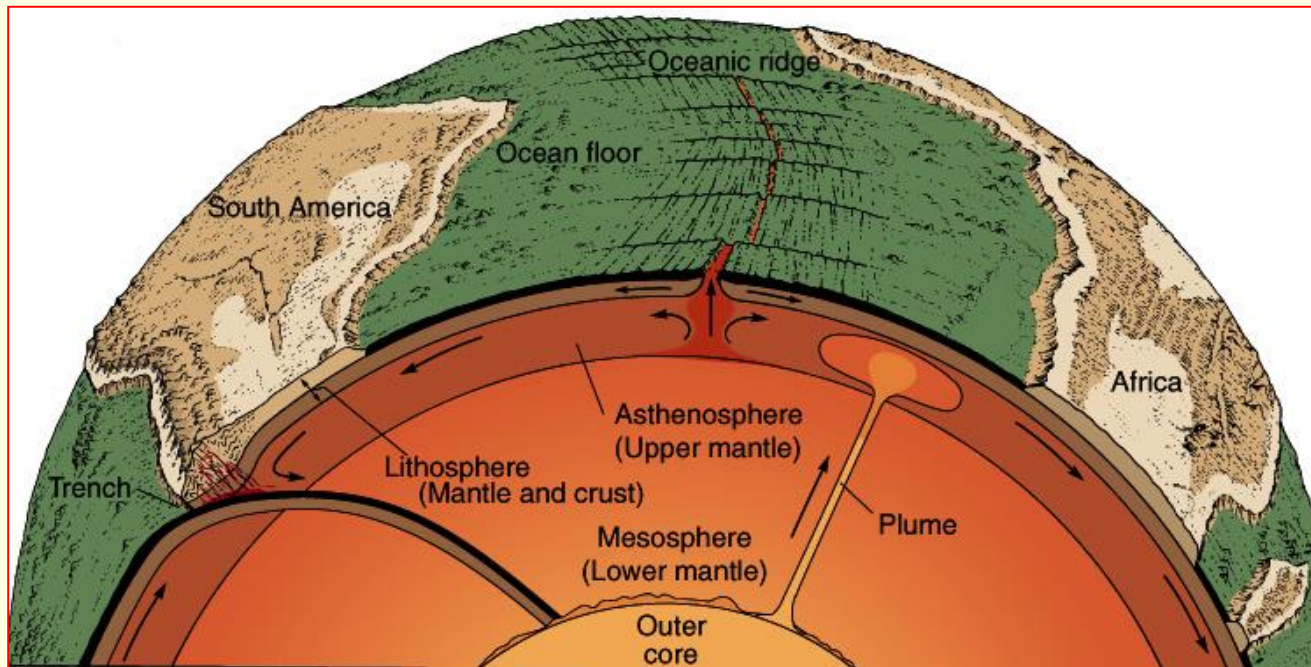
Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών



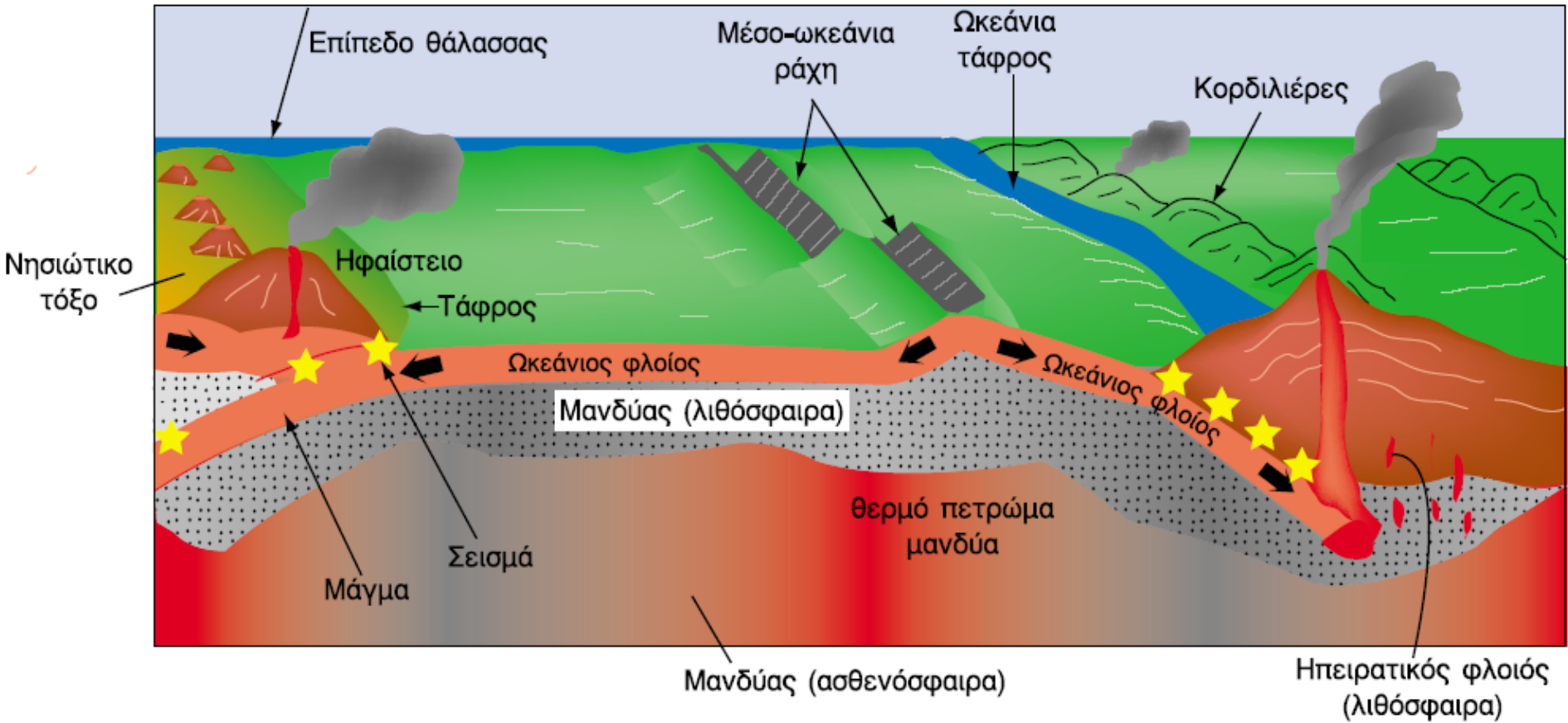
Η θεωρία των λιθосφαιρικών πλακών

Τα όρια των τεκτονικών πλακών προσδιορίζονται από τις περιοχές της επιφάνειας της γης όπου εκδηλώνεται υψηλή σεισμικότητα και ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες:

- 1) Όρια αποκλίνουσων πλακών (π.χ. η Ισλανδία και οι Αζόρες).
- 2) Όρια συγκλίνουσων πλακών
- 3) Όρια ολισθαίνουσων πλακών (π.χ. το ρήγμα του Αγίου Ανδρέα, Καλιφόρ.)



Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών



Μορφές μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η θεωρία των λιθοσφαιρικών πλακών

Το όριο των λιθοσφαιρικών
πλακών με τη μορφή ρήγματος
στην Ισλανδία. Στην
προέκτασή του διακρίνεται το
γεωθερμικό πεδίο
Nesjavellir, από το οποίο
θερμαίνεται η πρωτεύουσα
Reykjavik.



Η Θερμότητα στο Εσωτερικό της Γης

Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι γνωστή με ακρίβεια. Οι κυριότεροι μηχανισμοί είναι δύο:

- Η διάσπαση ορισμένων ραδιενεργών ορυκτών της γης, τα οποία περιέχουν ραδιενεργά ισότοπα με μεγάλο χρόνο ημιζωής, όπως ^{238}U και ^{235}U , ^{232}Th και ^{40}K . Πιθανόν ο σημαντικότερος μηχανισμός παραγωγής θερμικής ενέργειας.
- Η θερμότητα της γης προέρχεται από τις διεργασίες που οδήγησαν στη δημιουργία της, δηλαδή έχει αστρική προέλευση. Το εσωτερικό της γης ήταν πάντα θερμό, και μάλιστα πολύ θερμότερο στην αρχική του κατάσταση.

Άλλοι μηχανισμοί:

- η ενέργεια λόγω της βαρύτητας
- οι απώλειες κινητικής ενέργειας από τις παλίρροιες

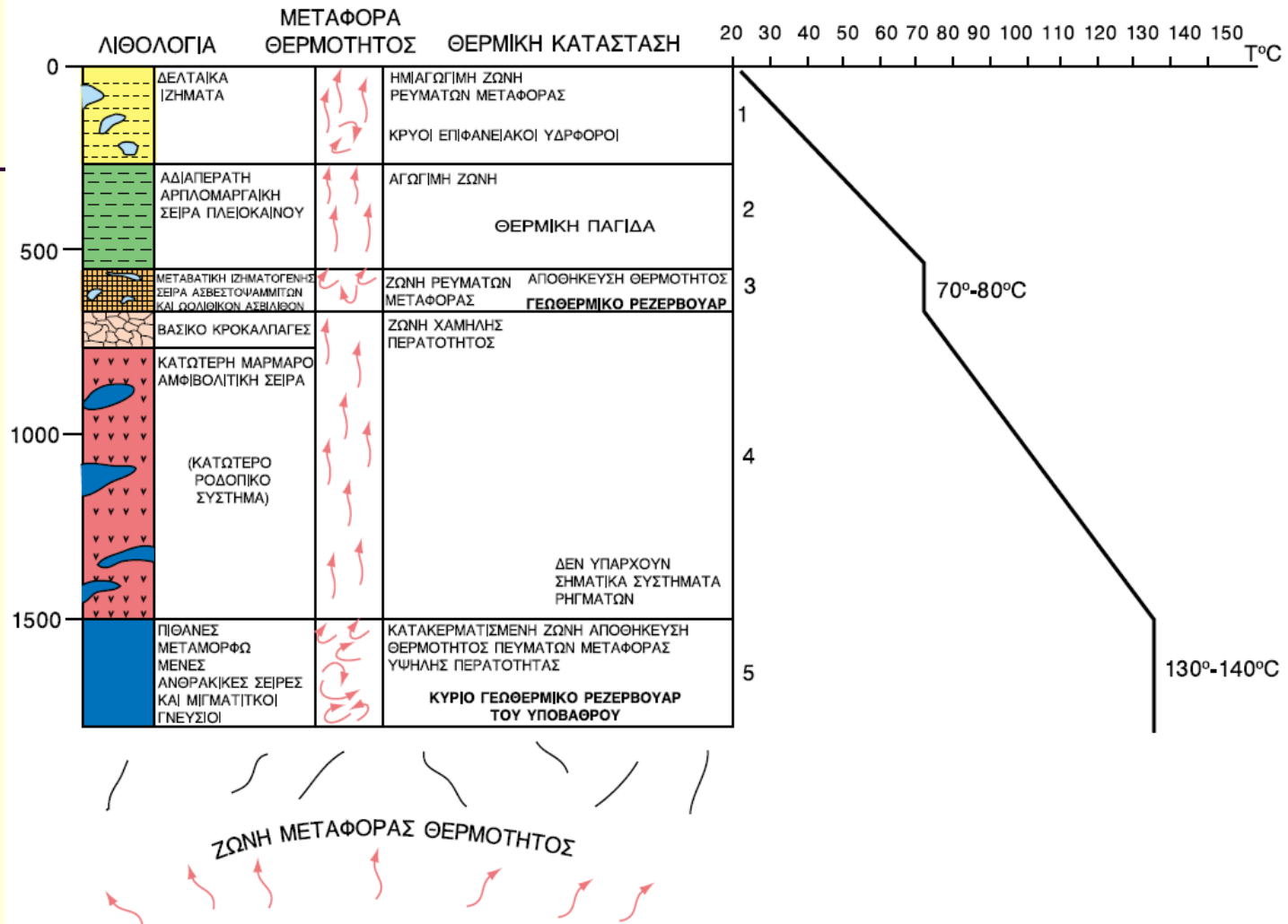
Απώλειες Θερμότητας (ροή θερμότητας) από την επιφάνεια της γης

- Η συνολική ροή θερμότητας στην επιφάνεια της γης γίνεται κυρίως μέσω της αγωγής θερμότητας (ή και της συναγωγής θερμότητας σε μικρότερο βαθμό),
- Άλλοι μηχανισμοί, με μικρότερη όμως συνεισφορά: η θερμότητα που απελευθερώνεται από τα ηφαίστεια (μέσω της εκροής των ηφαιστειακών προϊόντων), η ενέργεια παραμόρφωσης λόγω των σεισμών, η θερμότητα που καταναλώνεται για τη μεταμόρφωση των πετρωμάτων και η δυναμική ενέργεια λόγω βαρύτητας (ανύψωση οροσειράς).

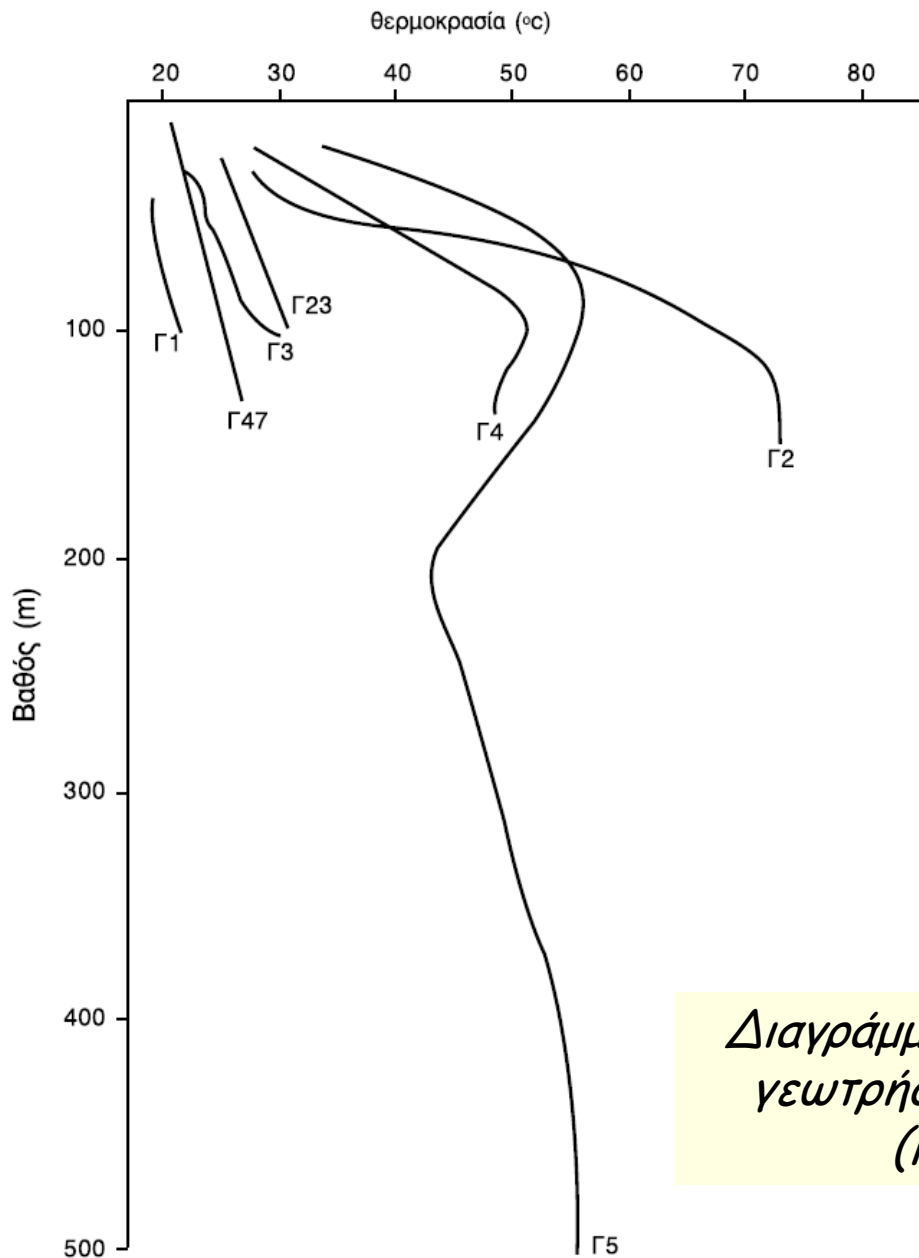
Μηχανισμός απώλειας θερμότητας	Ενέργεια (W)
Επιφανειακή ροή θερμότητας	$3-4 \times 10^{13}$
Θερμότητα από ηφαίστεια	$\sim 8 \times 10^{11}$
Ενέργεια παραμόρφωσης - σεισμοί	$3-10 \times 10^{11}$
Θερμότητα από μεταμόρφωση	8×10^{11}
Δυναμική ενέργεια	7×10^9

Θερμότητα στον φλοιό της γης

- Η θερμότητα που περιέχεται μόνο στο φλοιό της γης θεωρείται ότι είναι τεράστια, της τάξης των $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead, 1983).
- Ο White (1965) υπολόγισε ότι η ολική ποσότητα θερμότητας που περιέχεται στα πρώτα 10 km της γης (βάθος που αποτελεί συνήθως το όριο των ερευνητικών γεωτρήσεων, αν και η βαθύτερη γεώτρηση που έχει γίνει προσέγγισε τα 12 km) είναι περίπου $1,25 \times 10^{27}$ J
- Το ποσό αυτό είναι 2000 φορές μεγαλύτερο από τη συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας, την οποία θα μπορούσαν να προσφέρουν όλα μαζί τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων της γης.

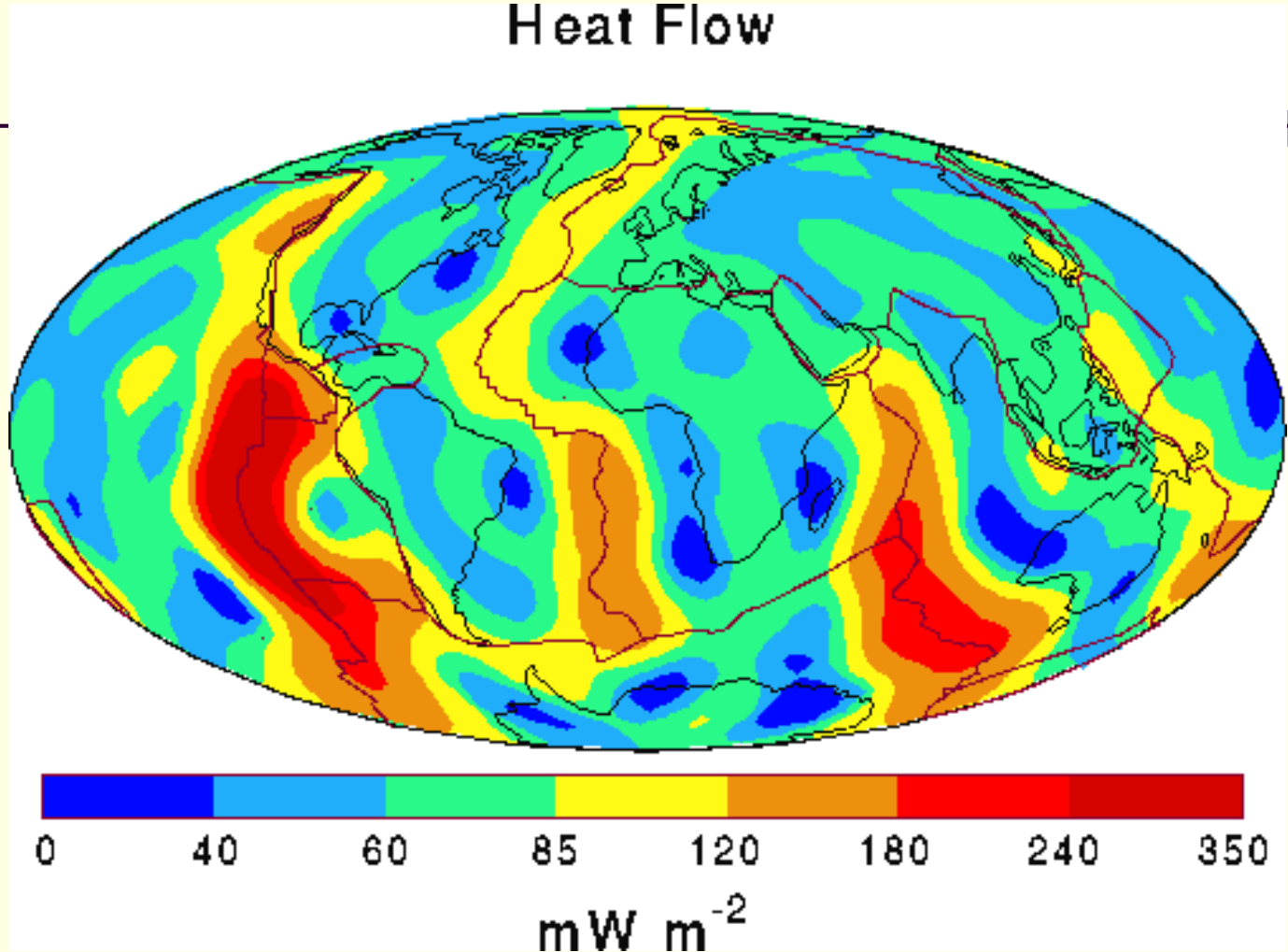


Η γεωθερμική βαθμίδα στο πεδίο Δ. Νέστου. Διακρίνεται επίσης η λιθολογία της γεώτρησης και ο τρόπος μεταφοράς της θερμότητας (Fytikas and Kolios, 1992).



Διαγράμματα γεωθερμικών βαθμίδων από επτά γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου Κορινθίας (Fytikas and Kavouridis, 1985)

Ροή θερμότητας από την επιφάνεια της γης

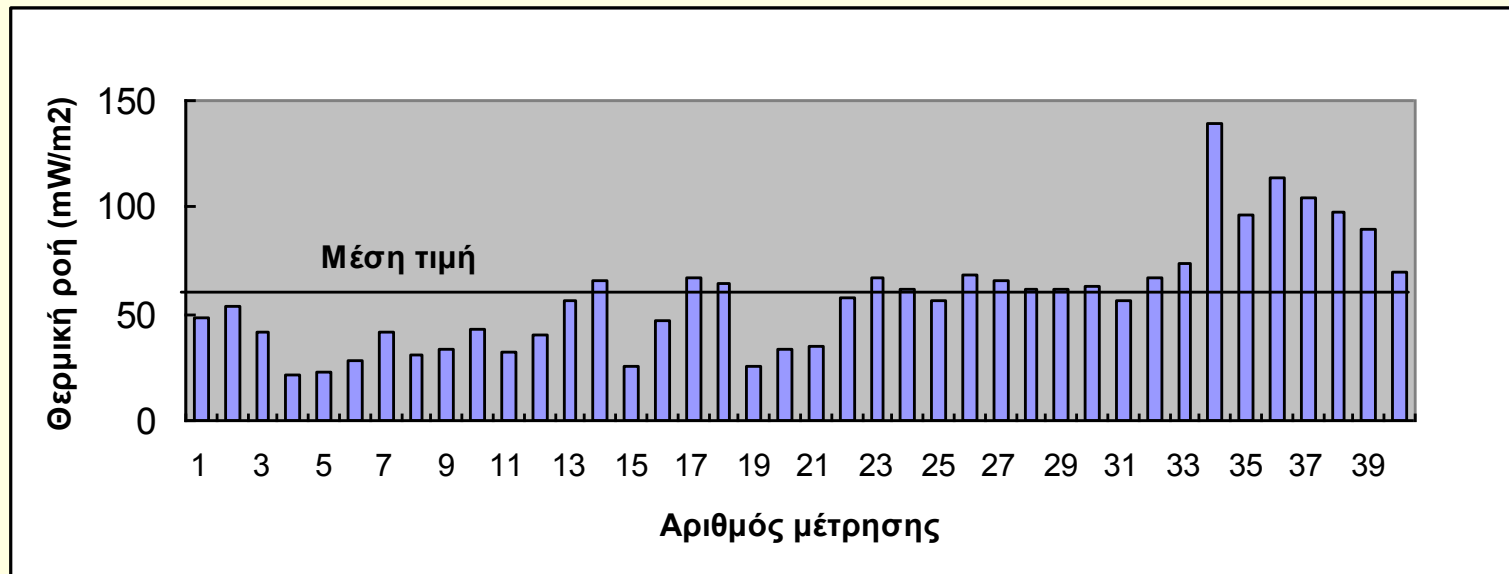


Η ροή θερμότητας, που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης, εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από τη γεωθερμική βαθμίδα.

Παγκόσμια μέση ροή θερμότητας είναι 80 mW/m^2

Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις μετρήσεων θερμικής ροής σε
διάφορες ηπείρους και χώρες.

Περιοχή	Αριθμός μετρήσεων	Μέση θερμική ροή (mW/m ²)	Τυπική απόκλιση (mW/m ²)
Αφρική	612	61	30
Ασία	3144	63	33
Αυστραλία	58	68	26
Ευρώπη	3993	62	24
Β. Αμερική	4290	77	41
Ν. Αμερική	178	65	30
Πρώην Σοβιετική Ένωση	3532	52	20
Ελλάδα	40	58	26
Ιταλία	108	88	123
Ν. Ζηλανδία	124	86	59



*Μετρήσεις Θερμικής ροής στη χώρα μας
(καταχωρισμένες στο US National Geophysical Data Center)*

3. Γεωθερμικά συστήματα & Πεδία

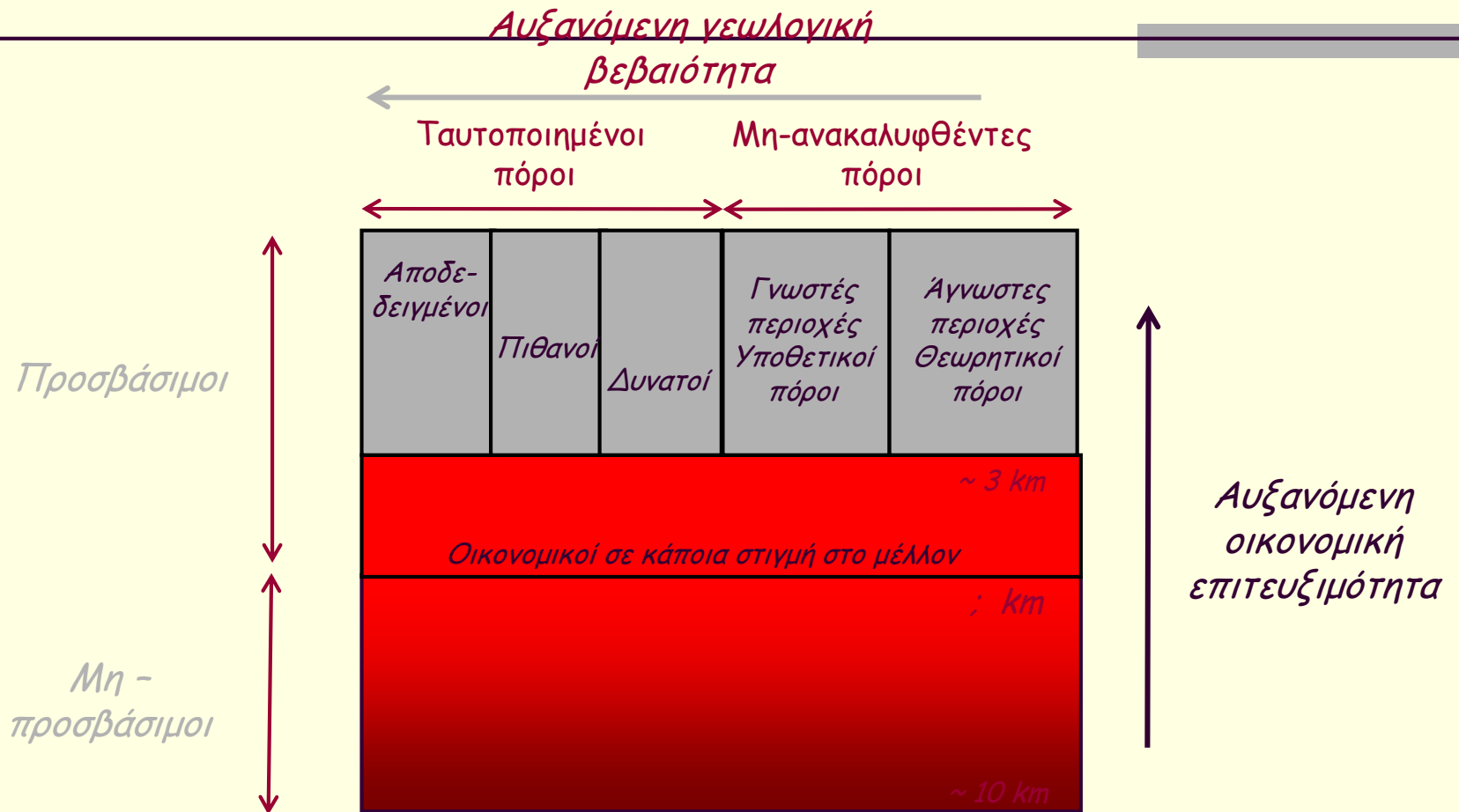
Γεωθερμικοί πόροι

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.

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία φυσική πηγή ενέργειας με γήινη προέλευση, η οποία βρίσκεται σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα **γεωθερμικό σύστημα**.

Η εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι πολύ πιθανή σε εκείνες τις περιοχές της γης όπου μάζες ρευστών ανεβαίνουν προς την επιφάνεια. Τέτοιες περιοχές συνδέονται με γεωλογικά πολύ πρόσφατη ή και ενεργό ηφαιστειότητα όπως και με περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα $> 30^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

Γεωθερμικοί πόροι



Γραφική παράσταση των διαφόρων κατηγοριών γεωθερμικών πόρων.

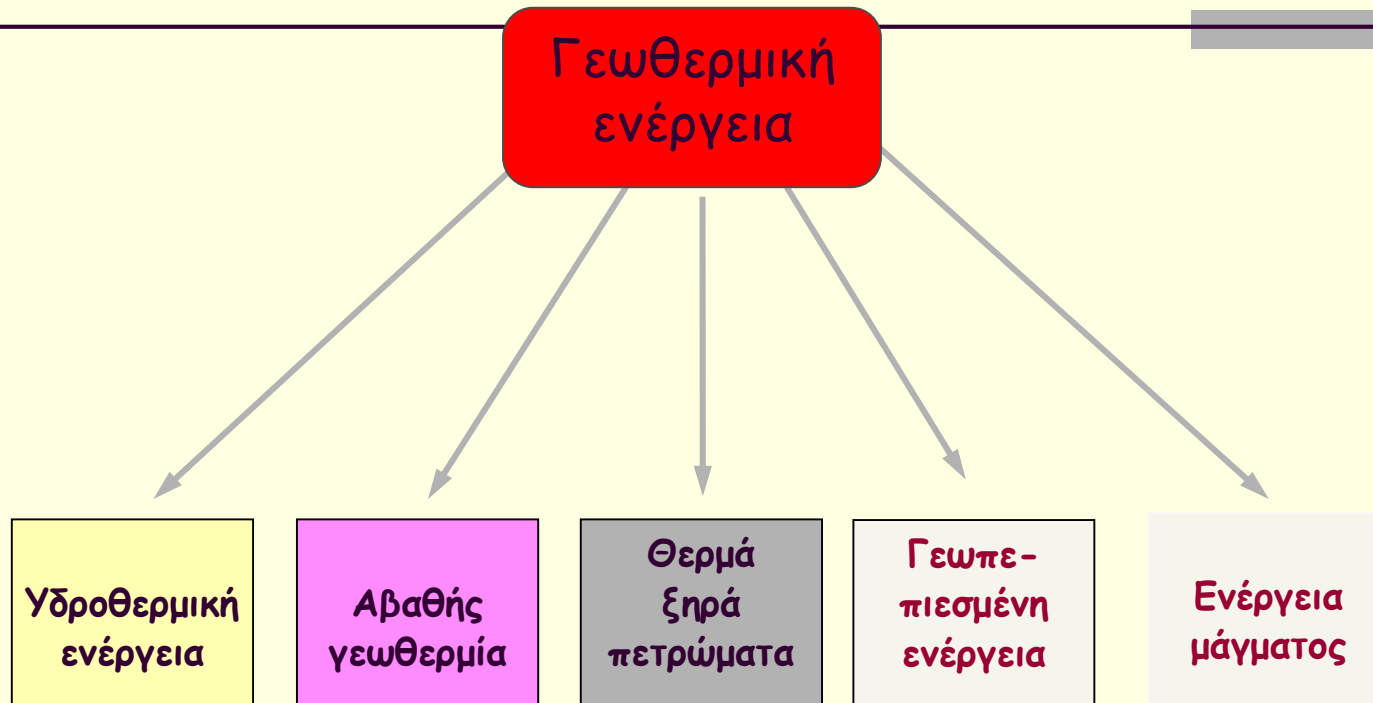
Ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από:

Μία πηγή θερμότητας: μπορεί να είναι είτε μια μαγματική διείσδυση (με θερμοκρασίες 600-1200°C), η οποία έφθασε σε σχετικά μικρά βάθη (3-10 km), είτε η κανονική θερμική ροή της γης, που δημιουργεί όλο και θερμότερους σχηματισμούς όσο πηγαίνουμε στο βάθος

Έναν ταμιευτήρα (reservoir) : αποτελείται ουσιαστικά από ένα σύστημα θερμών διαπερατών πετρωμάτων, που επιτρέπουν την εύκολη κυκλοφορία ή τον εγκλωβισμό των κυκλοφορούντων ρευστών, τα οποία απάγουν θερμότητα.

Τα γ/θ ρευστά, που είναι οι κύριοι φορείς της μεταφοράς της θερμότητας. Είναι μετεωρικής ή επιφανειακής προέλευσης (και σπάνια μαγματικής), σε υγρή ή αέρια φάση και συχνά περιέχουν σημαντικές ποσότητες διαλυμένων στερεών ουσιών και αερίων.

Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων



Μορφές γεωθερμικής ενέργειας κατά σειρά ενδιαφέροντος χρήσεων σήμερα και προοπτικής στο εγγύς μέλος, από αριστερά προς τα δεξιά.

Υδροθερμικά συστήματα

Υδροθερμικά συστήματα ή πόροι (*hydrothermal systems* ή *resources*): τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μία εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Διακρίνονται σε:

- συστήματα συναγωγής (*convective systems*) ή δυναμικά συστήματα
- συστήματα αγωγής (*conductive systems*) ή στατικά συστήματα

Υδροθερμικά συστήματα

	Χαρακτηριστικά	Θερμοκρ. (°C)
1. Συστήματα συναγωγής Α) Συστήματα που περιέχουν ατμό Β) Συστήματα που περιέχουν θερμό νερό <ul style="list-style-type: none"> i) Υψηλής θερμοκρασίας ii) Μέσης θερμοκρασίας iii) Χαμηλής θερμοκρ. 	Περατοί σχηματισμοί με φυσική κυκλοφορία ρευστών Κλειστά κυκλώματα συναγωγής, ατμοί παγιδευμένοι από στεγανά καλύμματα, $T > 200^\circ$, μέχρι 1,5 . . Κλειστά ή ανοικτά κυκλώματα συναγωγής, μέχρι τα 3 km Σχεδόν οριζόντιοι υδροφόροι με τοπική αποστράγγιση ψυχρού νερού ή κυκλοφορία θερμού νερού υπό πίεση Όπως προηγούμενο, με χαμηλότερη θερμοκρασία νερού, με μικρή ή καθόλου πίεση	~240 > 150 90-150 < 90
2. Συστήματα αγωγής	Μη-περατοί σχηματισμοί, με μεγάλο πορώδες και περατότητα, σε βάθος 1-3 km με εγκλωβισμένα νερά	60-150

Larderello και Monte Amiata (Ιταλία), The Geysers

Latera (Ιταλία), Kizildere (Τουρκία), Azores, Μήλος, Νίυρος

Λεκάνη Παρισιού η Παννονική λεκάνη, το Klamath Falls

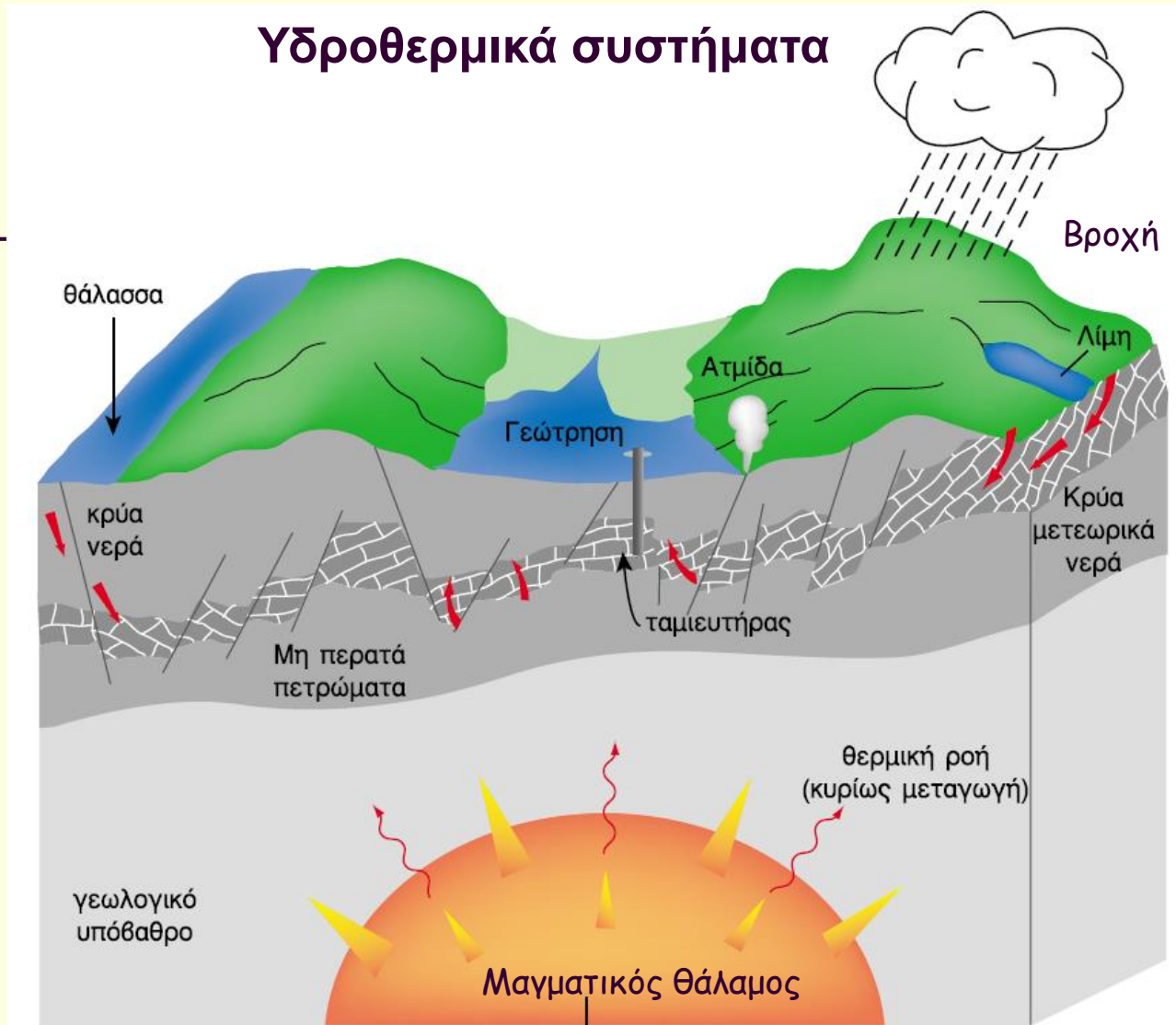
Θερμοκρασίες ταμιευτήρα και ενθαλπίες ρευστών από πεδία υψηλής θερμοκρασίας

Γεωθερμικό πεδίο	Θερμοκρασία ταμιευτήρα, °C (μέγιστη θερμ., °C)	Μέγιστη ενθαλπία (kJ/kg)
Συστήματα Ατμού		
The Geysers (ΗΠΑ)	237 (310)	3000
Larderello (Ιταλία)	200 (420)	3100
Monte Amiata (Ιταλία)	170 (344)	2600
Matsukawa (Ιαπωνία)	220	
Kamojang (Ινδονησία)	175 (248)	2780
Συστήματα Νερού-Ατμού		
Wairakei (Νέα Ζηλανδία)	230 (290)	1175
Broadlands (Νέα Ζηλανδία)	255 (326)	1175
Imperial Valley (Η.Π.Α.)	160 (370)	1000
Cerro Prieto (Μεξικό)	300 (388)	2430
Los Azufres (Μεξικό)	175 (300)	2700
Momotombo (Νικαράγουα)	210 (327)	2700
Tiwi (Φιλιπίνες)	273 (309)	2800
Hatchobaru (Ιαπωνία)	250 (308)	2250
Krafla (Ισλανδία)	205 (344)	2680
Μήλος	225 (320)	
Νίσυρος	240 (350)	

Υδροθερμικά συστήματα

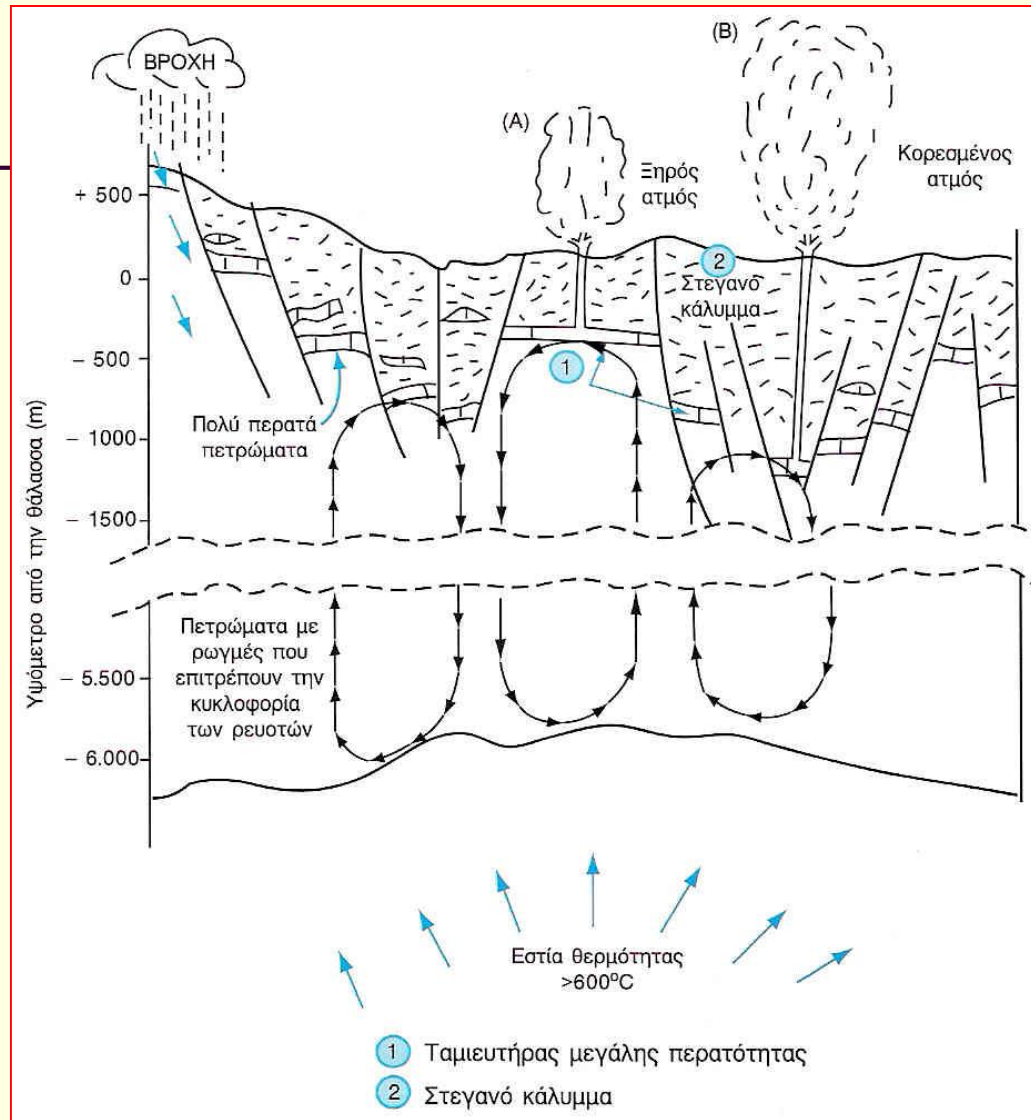


Υδροθερμικά συστήματα



Ένα γεωθερμικό πεδίο που παράγει ατμό και τα κύρια συστατικά του (από πάνω προς τα κάτω): η περιοχή επαναφόρτισης, το μη περατό κάλυμμα, ο ταμιευτήρας ρευστών και η πηγή ενέργειας.

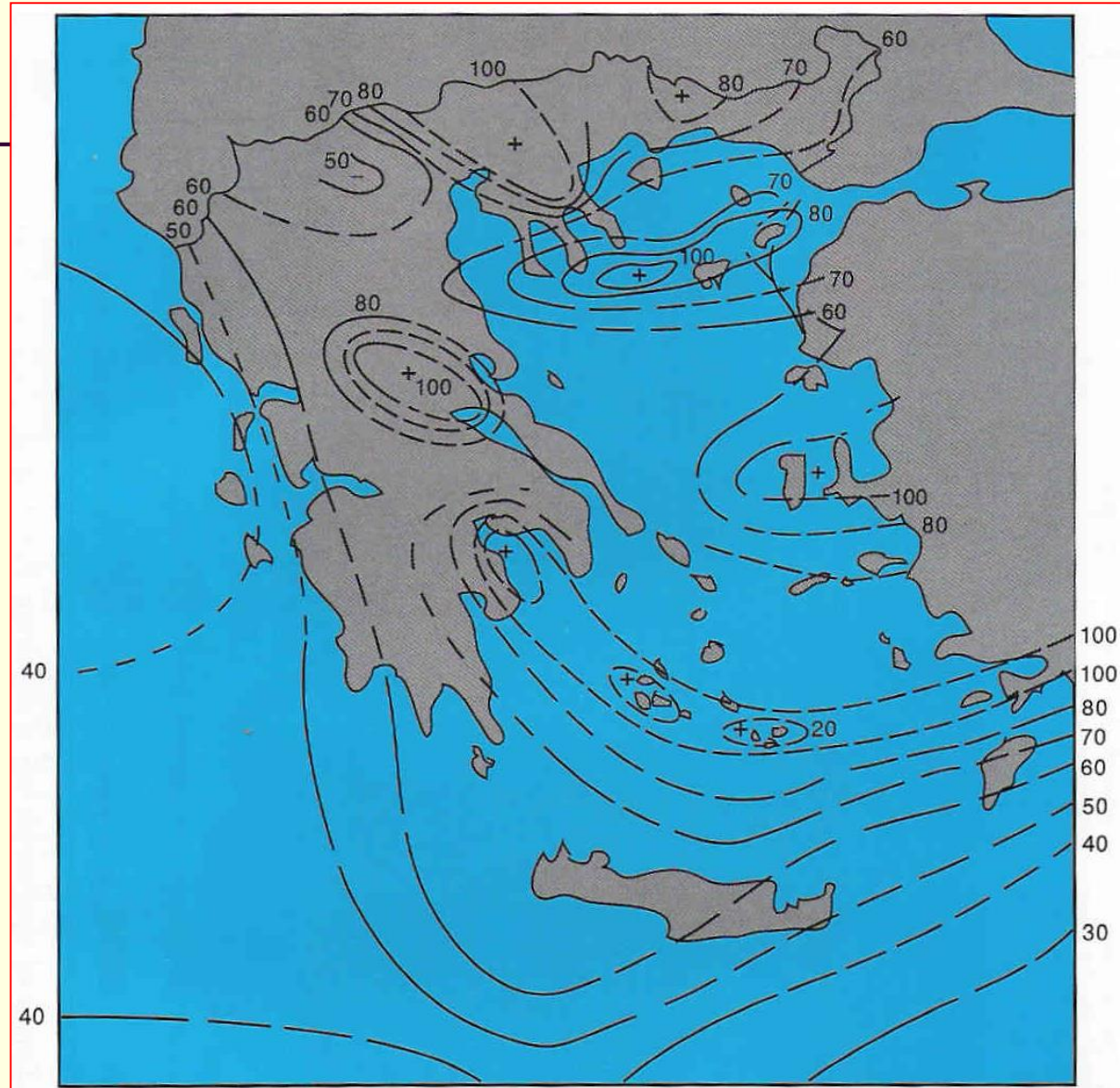
Υδροθερμικά συστήματα



Σχηματική παράσταση ενός πρότυπου γεωθερμικού συστήματος

Υδροθερμικά συστήματα

Προκαταρκτικός
χάρτης θερμικής
ροής Ελλάδας, σε
 mWm^{-2}



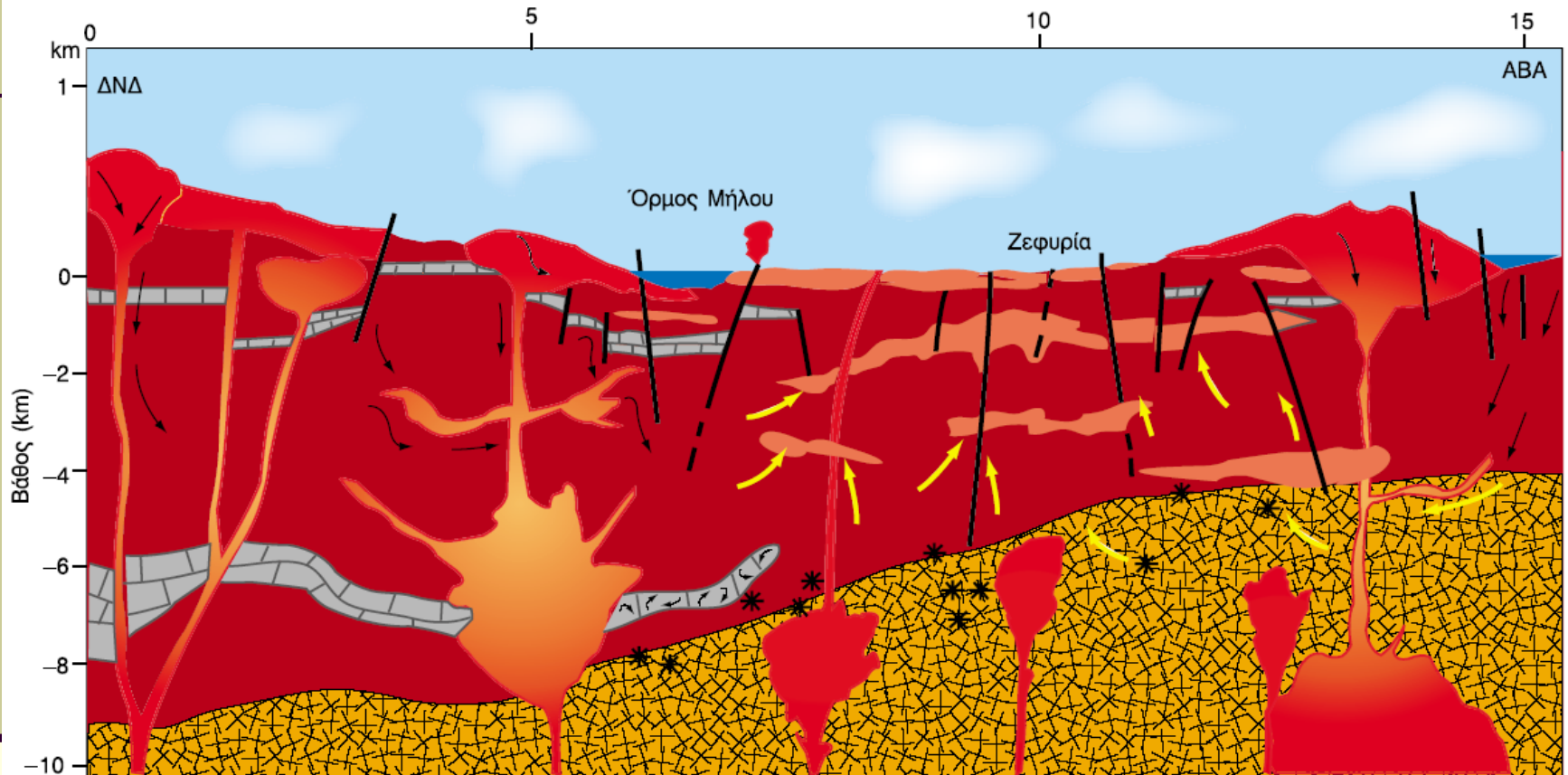
Γεωθερμικά Πεδία στον Ελληνικό χώρο

- Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας(θερμοκρασίας) : , Μήλος, Νίσυρος
- Γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας(θερμοκρασίας): Διάσπαρτα σε όλη την Ελλάδα
- Πιθανά γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας(θερμοκρασίας)



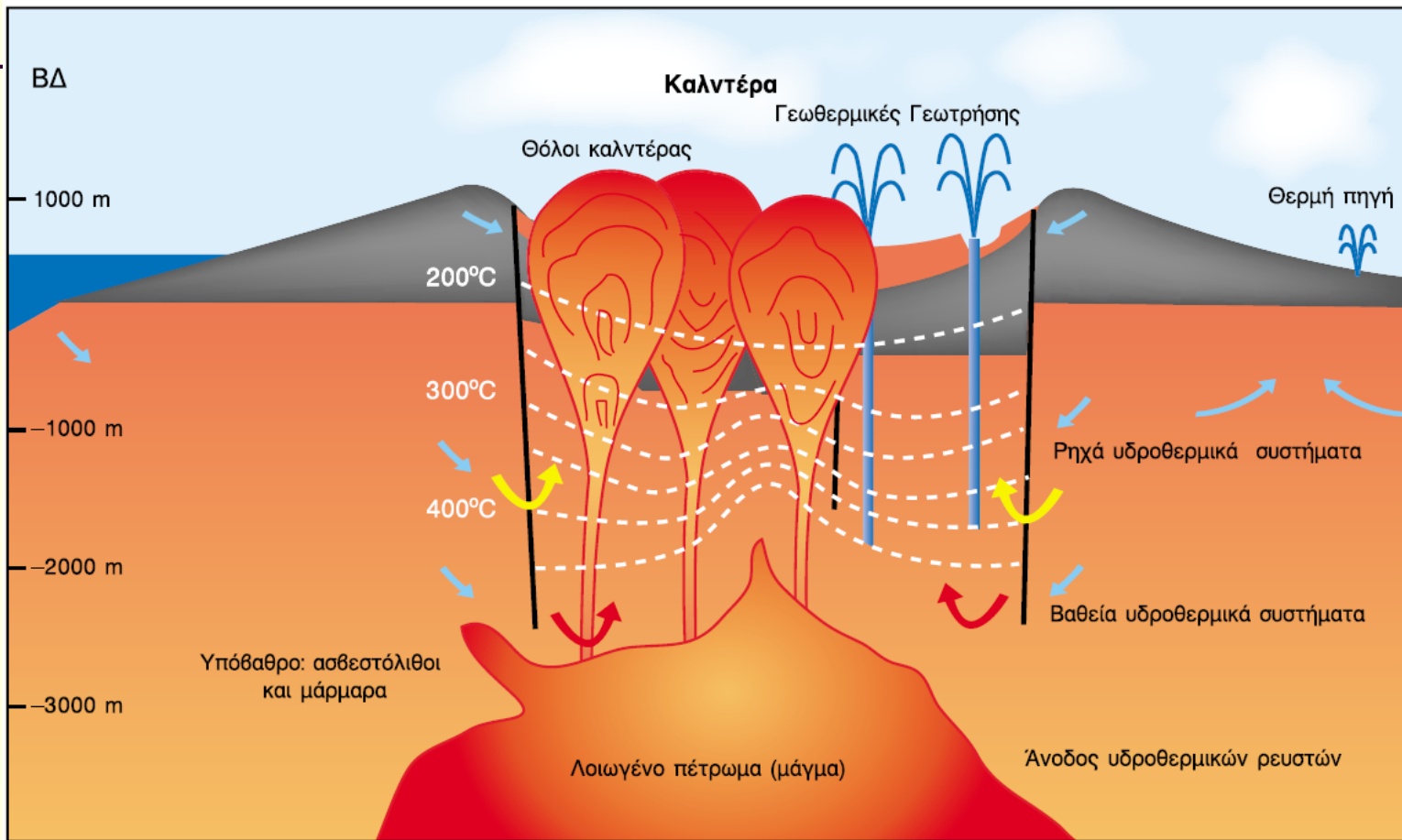
Σχήμα 10.1. Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας (Τροποποίηση χάρτη του ΙΓΜΕ).

Υδροθερμικά συστήματα

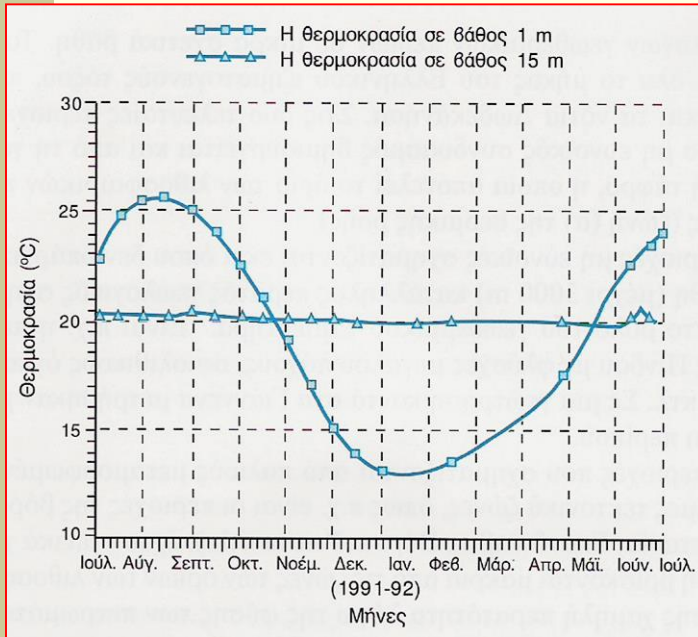


	Ταμιευτήρας από "σκληρά" μεταμορφωμένα και ρωγματωμένα πετρώματα		Σεισμικά υπόκεντρα		Υπόβαθρο απροσδιόριστου τύπου
	Εισροή κρύου νερού		Νεογενή ιζήματα		Μαγματικοί θάλαμοι σε φάση ψύξης
	Θερό νερό από συναγωγή		Μεταμορφωμένο υπόβαθρο		Στερεοποιημένοι μαγματικοί θάλαμοι

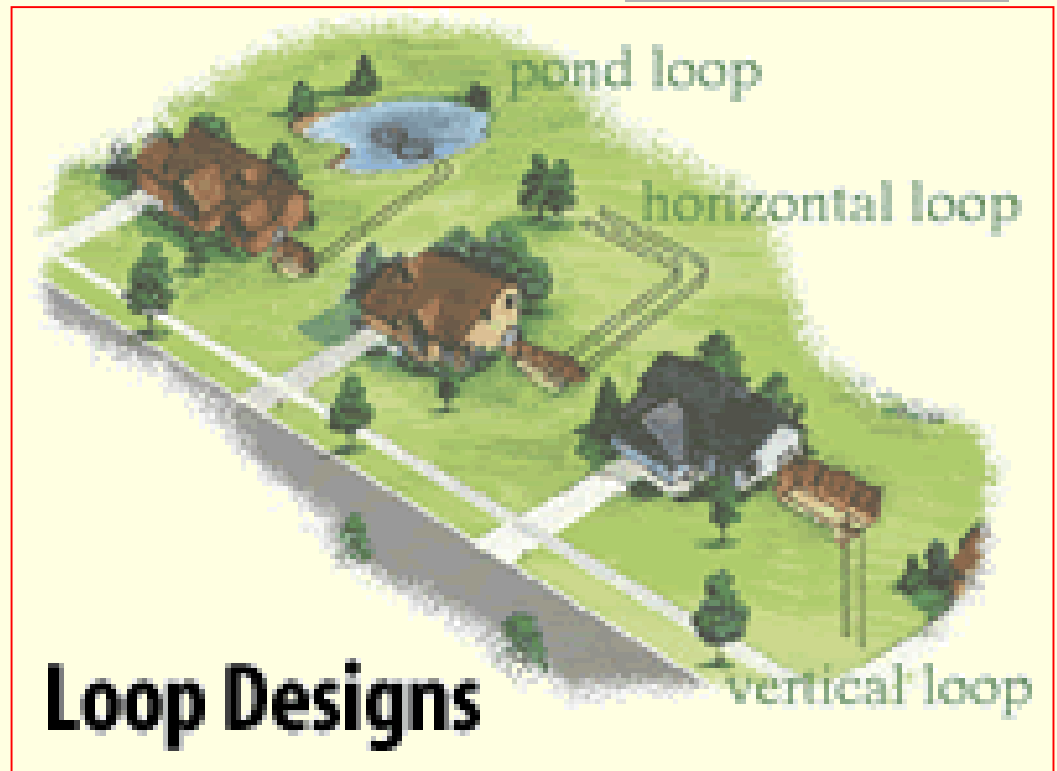
Σχηματική τομή της Μήλου.



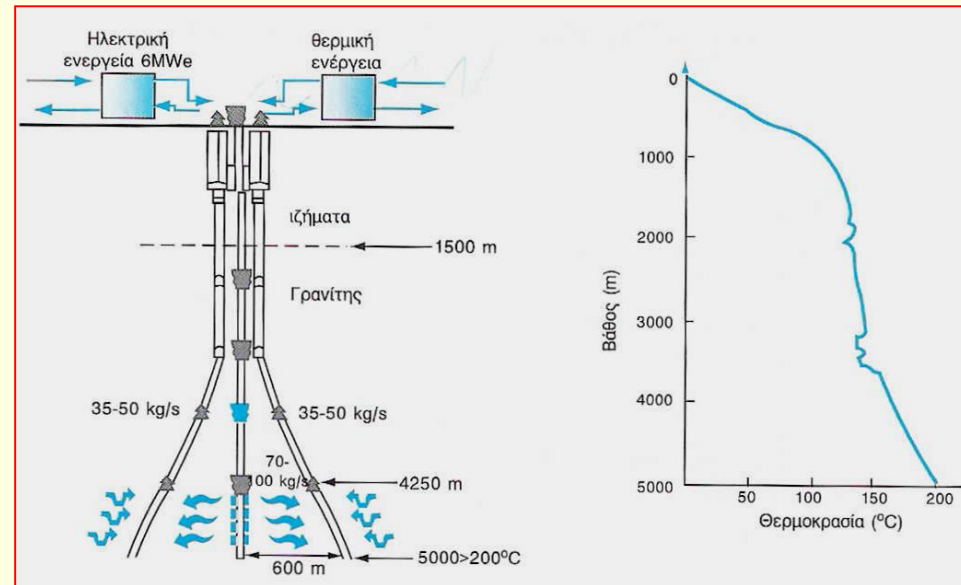
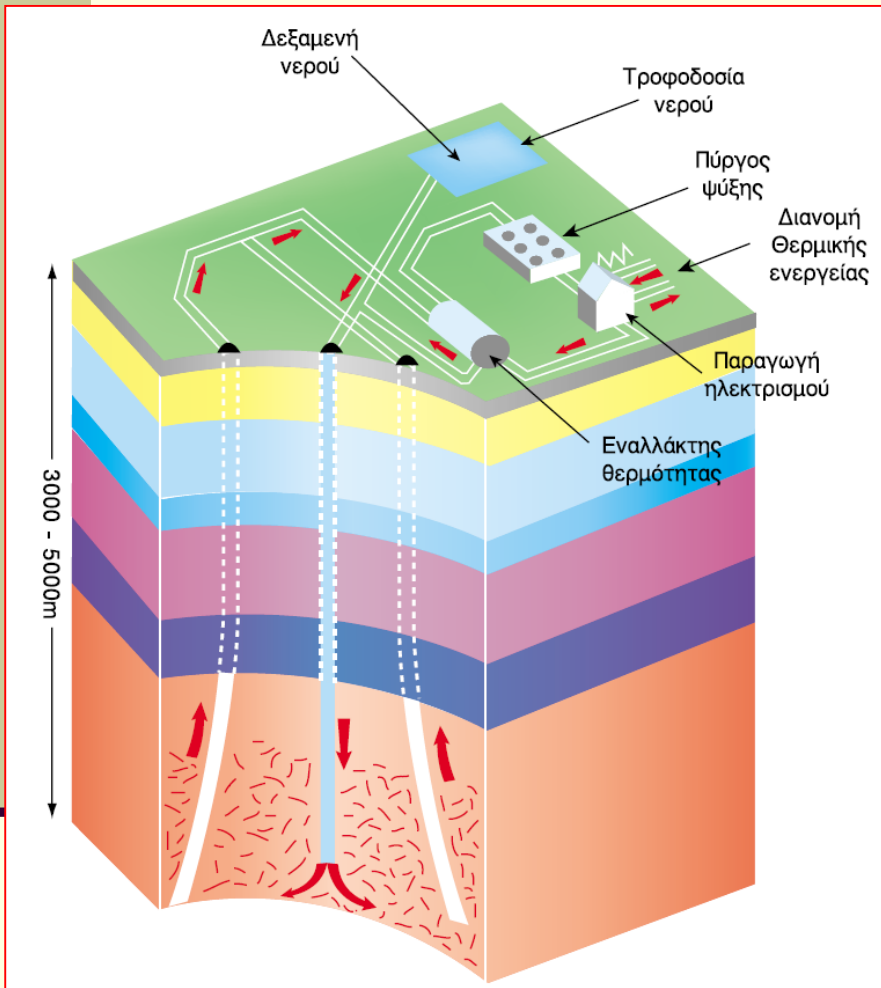
Αβαθής Γεωθερμική Ενέργεια



Μετρήσεις θερμοκρασιών εδάφους σε βάθος 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής (Βραχόπουλος και Παπαγεωργάκης, 1998).



Θερμά Ξηρά Πετρώματα (Hot Dry Rocks)

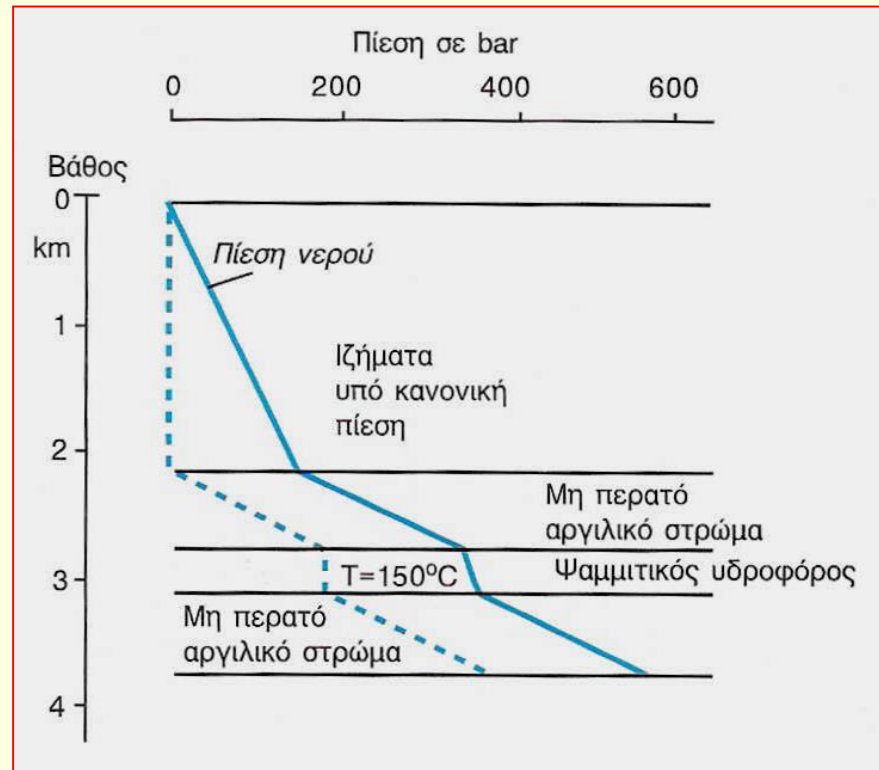


Σχηματική παρουσίαση της αξιοποίησης των θερμών ξηρών πετρωμάτων με μία γεώτρηση τροφοδοσίας και δύο παραγωγικές γεωτρήσεις.

Γεωπεπιεσμένα Συστήματα

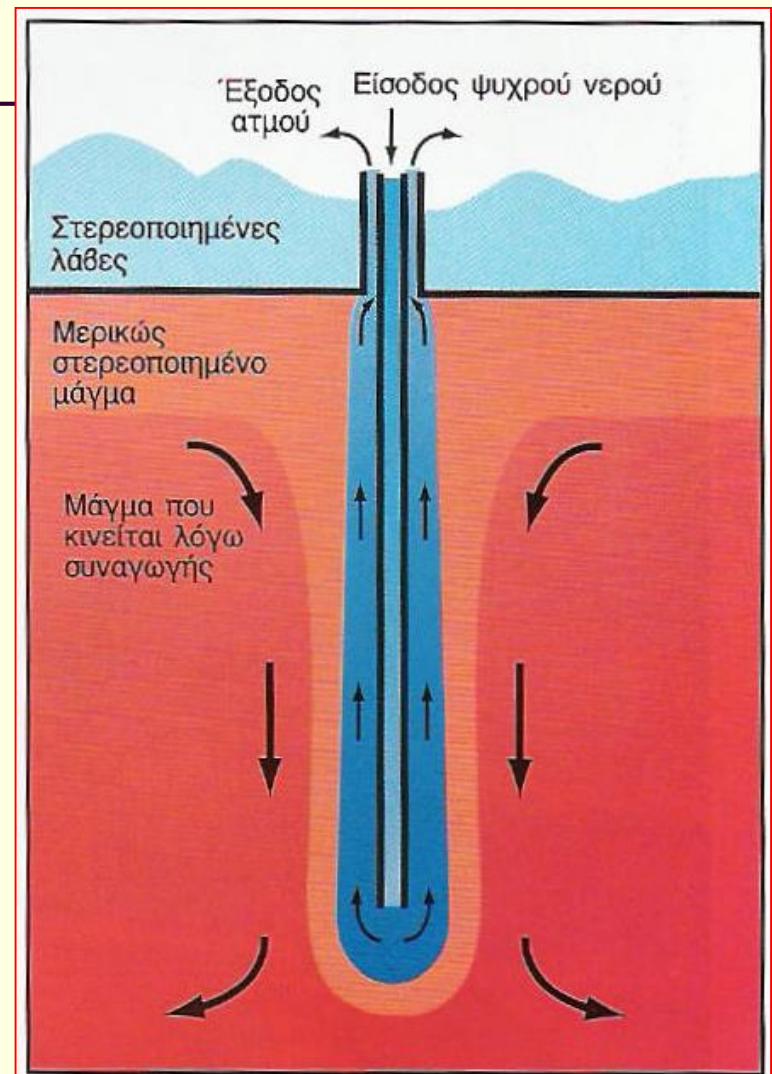
Γεωπεπιεσμένα ρευστά: τα γ/θ ρευστά που βρίσκονται εγκλωβισμένα υπό μεγάλη πίεση (550-1350 bar) μέσα σε παλιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς, πάντα μαζί με μεθάνιο.

Τα ρευστά έχουν υψηλή αλατότητα και θερμοκρασίες στην περιοχή 50-250°C.



Συστήματα Μάγματος

- ✓ Η αξιοποίηση της ενέργειας από μάγματα φαίνεται απλή. Κατασκευάζεται μία ειδική γεώτρηση μέχρι τη διείσδυση του μάγματος, μέσα στην οποία κυκλοφορεί ένα θερμαντικό μέσο.
- ✓ Σημαντικά τεχνικά προβλήματα
- ✓ Πειράματα διάτρησης μάγματος που είχε στερεοποιηθεί σχετικά πρόσφατα στην κορυφή του όρους Kilauea στη Χαβάη



Η Ταξινόμηση των γεωθερμικών πεδίων βάσει της θερμοκρασίας

	Muffler and Cataldi (1978)	Hochstein (1990)	Benderitter and Cormy (1990)	Nicholson (1993)	Axelsson and Gunnlaugsson (2000)
Χαμηλής ενθαλπίας	<90	<125	<100	≤150	≤190
Ενδιάμεσης	90–150	125–225	100–200	—	—
Υψηλής	>150	>225	>200	>150	>190

Υδατικά συστήματα,: συνεχής φάση το νερό, ρυθμιστής της πίεσης, Θερμοκρασίες <125 - > 225 °C, τα πλέον διαδεδομένα

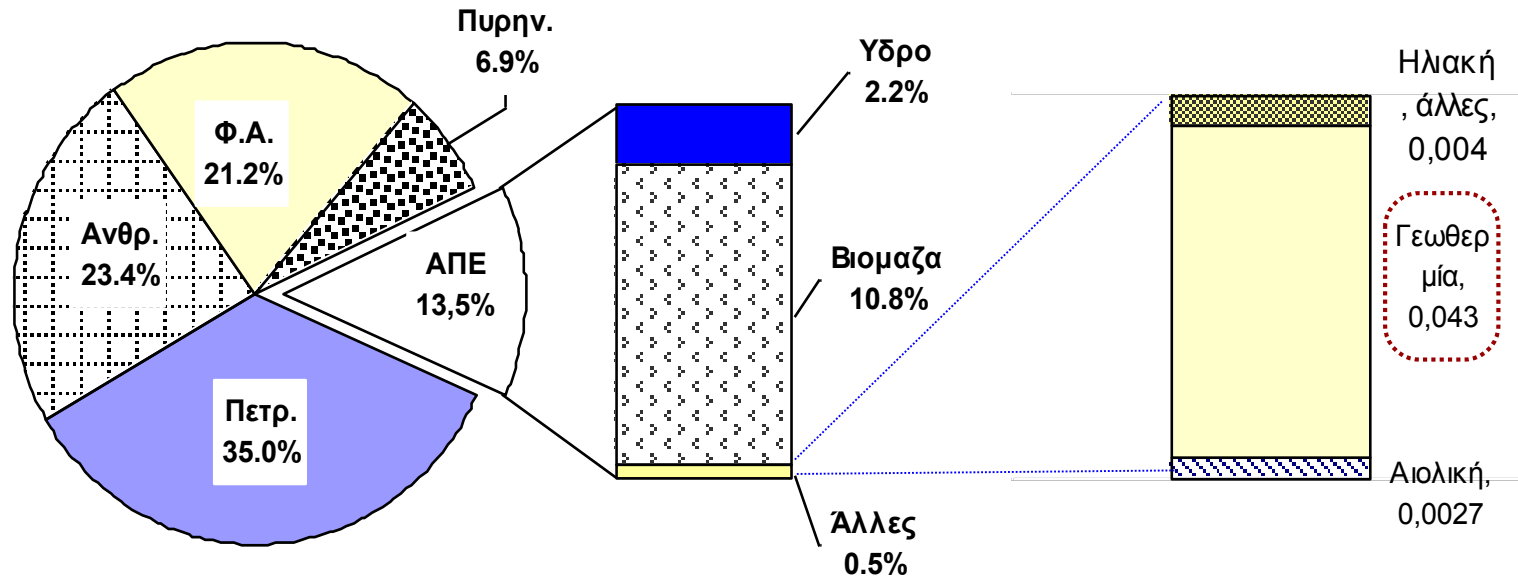
Συστήματα ατμού: Συνύπαρξη υγρού και ατμού με το ατμό να είναι το συστατικό που ρυθμίζει την πίεση (Larderello - Ιταλία- Geysers - California), σπάνια, υψηλής θερμοκρασίας, παράγουν ξηρό έως υπέρθερμο ατμό

Ξηρός, υγρός και υπέρθερμος ατμός

- **Υγρός ατμός:** ο ατμός ο οποίος περιέχει νερό (νερό που βράζει σε δοχείο)
- **Ξηρός ατμός:** ο ατμός ο οποίος δεν έχει περιεκτικότητα σε νερό. Στο προηγούμενο παράδειγμα είναι όταν εξατμισθεί όλο το νερό. Κορεσμένος ατμός
- **Υπέρθερμος ατμός:** Ξηρός ατμός, ο οποίος θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη του ΣΖ στην αντίστοιχη πίεση
- **Ποιότητα ατμού, x , Ποσοστό % κ.β ατμού σε μίγμα ατμού- νερού** (0 (νερό)-100%(ξηρός ατμός))

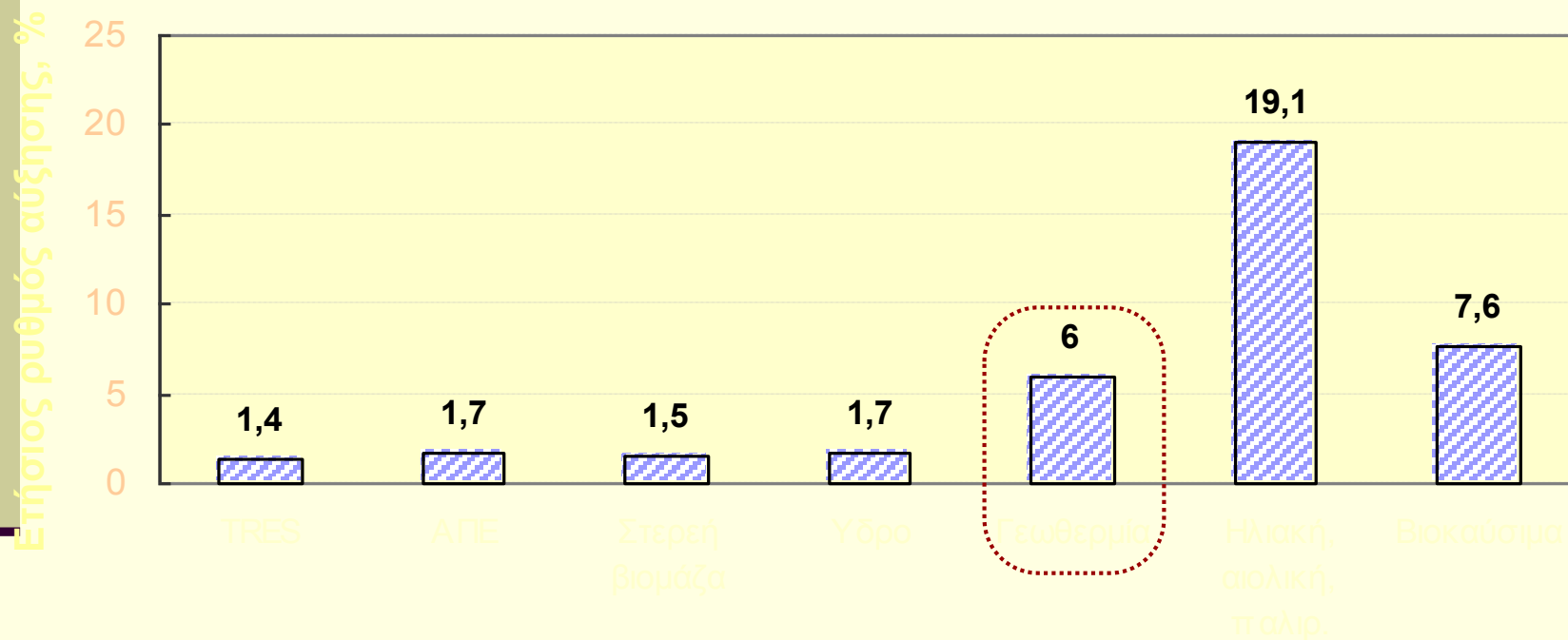
Γεωθερμική ενέργεια και ΑΠΕ

Γεωθερμική ενέργεια και ΑΠΕ



Η συμμετοχή των ΑΠΕ (και της γεωθερμικής ενέργειας) στην παγκόσμια παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας κατά το 2001. Στις άλλες ΑΠΕ περιλαμβάνονται η ηλιακή και η παλιρροϊκή (Πηγή: *IEA Renewables Information, 2003 Edition*).

Ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης των ΑΠΕ (και της γεωθερμίας) κατά τη χρονική περίοδο 1991-2001.

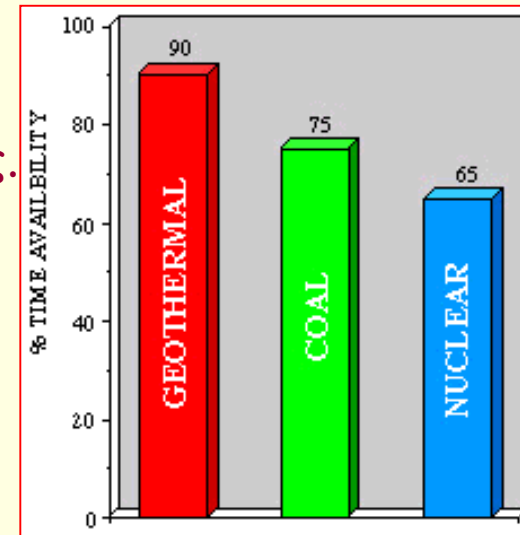


8. Πλεονεκτήματα της Γεωθερμικής Ενέργειας

- ✓ Προσφέρεται έτοιμη προς χρήση ως θερμικό προϊόν
- ✓ Αναπτύσσεται κυρίως σε πεδινές εκτάσεις με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργεια, κλπ.
- ✓ Συμβάλλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη και προσφέρει το μέσον για εναλλακτικές & σύγχρονες μορφές τουρισμού (κολυμβητήρια, ιαματικός τουρισμός, spa, κλπ)
- ✓ Η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας στο θέμα της αβαθούς γεωθερμίας, καθιστά δυνατή τη χρήση της πρακτικά οπουδήποτε και όλες τις εποχές του έτους.
- ✓ Συμβάλλει στην επίτευξη των στόχων Λευκής Βίβλου Ε.Ε & Πρωτοκόλλου Κιότο για περιορισμό εκπομπών CO₂ και επιβλαβών αερίων.

Πλεονεκτήματα στην Ηλεκτροπαραγωγή

- **Συνεχής παροχή ενέργειας.** Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ. Οι γ/θ μονάδες παραγωγής έχουν συντελεστή λειτουργίας (load factor) που μπορεί να φτάσει και το 90% (π.χ. μιας υδροηλεκτρικής μονάδας ~ 70%, ενώ για ηλιακές και αιολικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ 20% και 35%).
- **Μικρό λειτουργικό κόστος.**
- **Εκπομπές στο περιβάλλον.** Δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια, ενώ με τον κύκλο Rankine μηδενικές εκπομπές.
- **Απαιτήσεις γης - δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους**
- **Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών**
- **Τοπική μορφή ενέργειας**
- **Συμβολή στην μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας.**



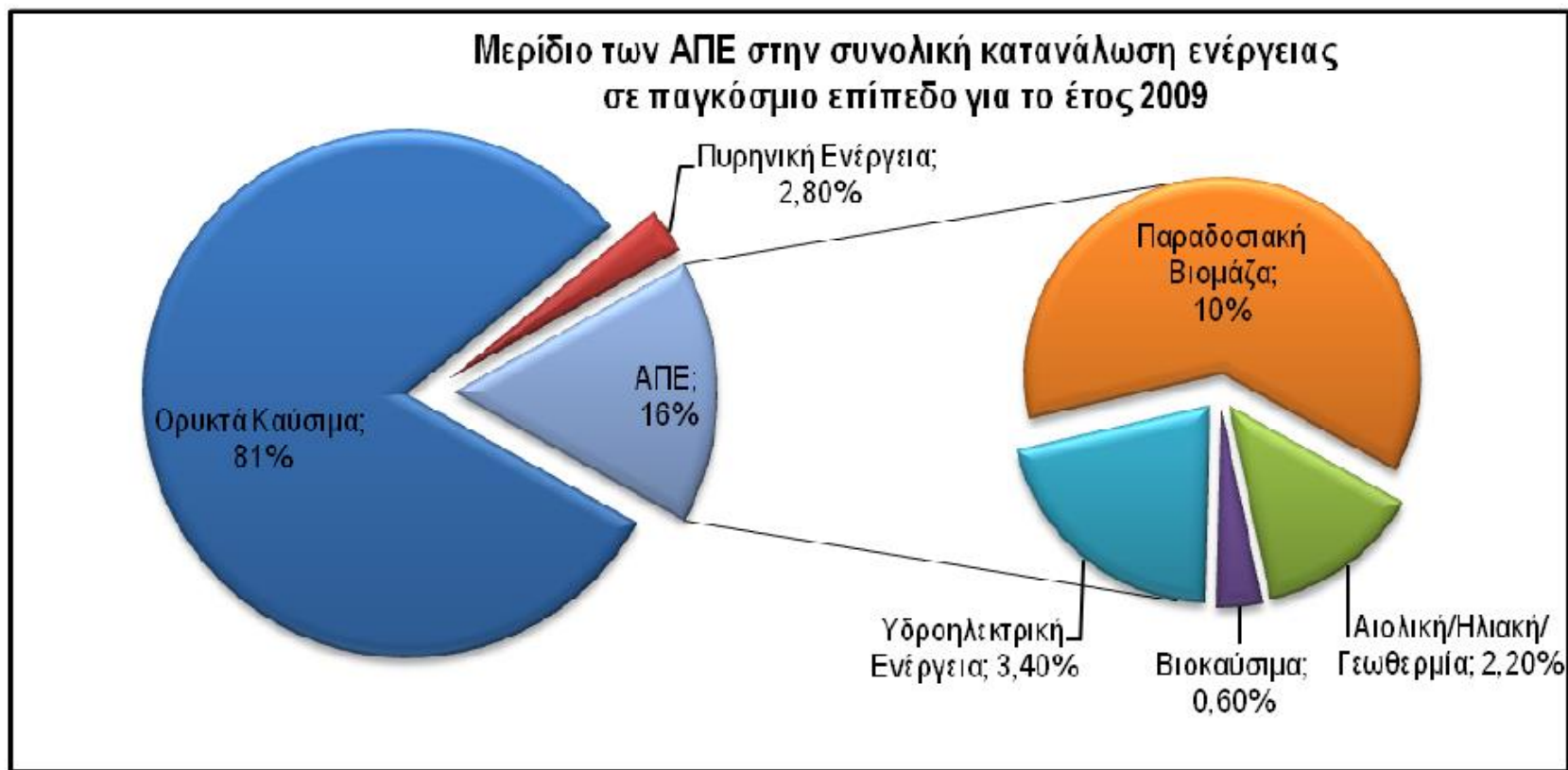
Πλεονεκτήματα της Γεωθερμικής Ενέργειας σε σχέση με τις άλλες ΑΠΕ

- ☑ Συνεχής και σταθερή παροχή ενέργειας
- ☑ Μικρό λειτουργικό κόστος
- ☑ Χρησιμοποιεί γνωστή και απλή τεχνολογία
- ☑ Δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες, όπως η ηλιακή ή η αιολική ενέργεια
- ☑ Παρουσιάζει πρόσθετα πλεονεκτήματα σε σχέση με αγροτικές δραστηριότητες με σημαντική συμβολή στην οικονομική & κοινωνική ανάπτυξη της περιφέρειας.



-
- Σήμερα η τεχνολογία αξιοποίησης είναι αρκούντως ώριμη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και χρήσεις θερμότητας
 - 0.5% των παγκόσμιων αναγκών σε ενέργεια καλύπτονται από την γεωθερμική ενέργεια

Μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης ΑΠΕ 2009



Πηγή: REN21. 2011. Renewables 2011 Global Status Report

Εξερεύνηση για γεωθερμικά Πεδία

Γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες

Γεωχημική μελέτη (περιλαμβανομένης και της γεωχημείας ισοτόπων)

Γεωφυσικές έρευνες :

Θερμοκρασία (Θερμική έρευνα)

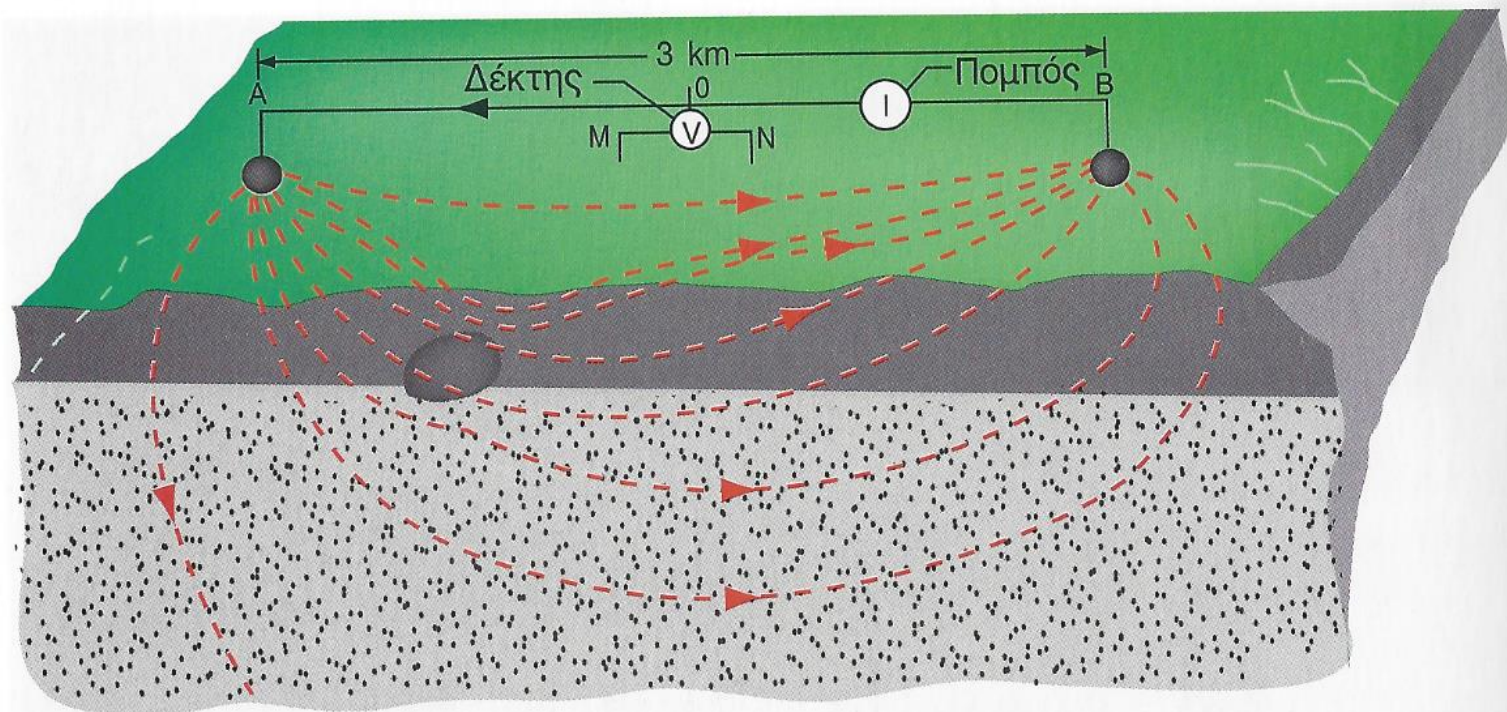
Ηλεκτρική αγωγιμότητα (ηλεκτρικές και ηλεκτρομαγνητικές μέθοδοι)

Ταχύτητα μετάδοσης ελαστικών κυμάτων (σεισμική μελέτη)

Πυκνότητα (Μελέτη πυκνότητας)

Μαγνητική επιδεκτικότητα (Μαγνητική έρευνα).

Υδρογεωλογική έρευνα Γεωφυσική έρευνα



Σχήμα 5.9. Σχηματική παράσταση της γεωηλεκτρικής διασκόπησης. Το ηλεκτρικό ρεύμα διοχετεύεται στο έδαφος με τα ηλεκτρόδια A και B και γίνεται η μέτρηση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στα σημεία M και N (Barbier, 1997).

Γεωθερμικές γεωτρήσεις Ι.Γ.Μ.Ε.



Θερμά Νιγρίτας



Ακροπόταμος Ν. Καβάλας



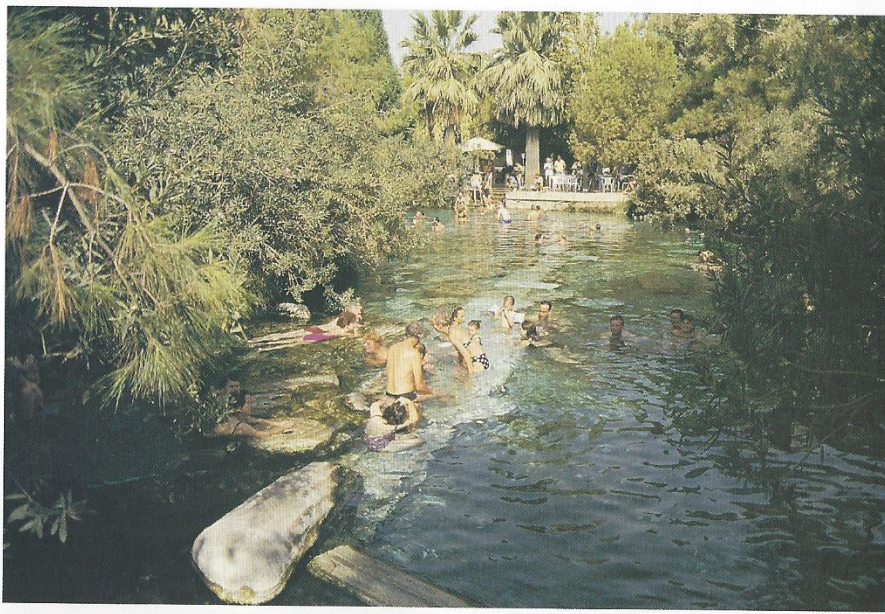
Νέα Κεσσάνη Ξάνθης



Αλεξάνδρεια Ημαθίας



Σωσάνδρα Αλμωπίας



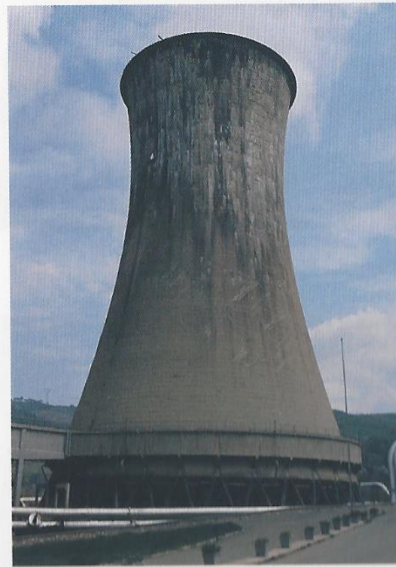
Σχήμα 6.27. Φωτογραφία πισίνας λουτροθεραπευτικού συγκροτήματος με γεωθερμικά νερά στο Pamukkale της Τουρκίας, στα ερείπια της αρχαίας Ιεράπολης.

Μονάδα ξήρανσης γης
διατόμων με γεωθερμία
στην Ισλανδία





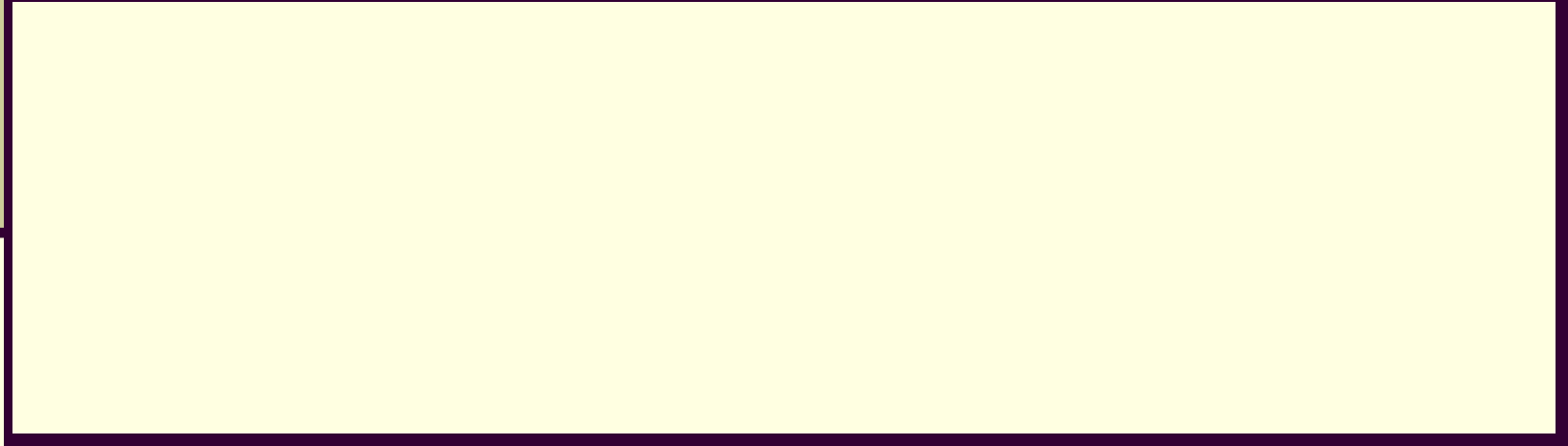
(α)



(β)

Εικόνα 6.40. Φωτογραφίες από το πεδίο ατμού του Larderello. (α) Κεντρικές εγκαταστάσεις και (β) ο πύργος ψύξης της παλαιότερης γεωθερμικής μονάδας στον κόσμο, που σήμερα είναι βιομηχανικό μουσείο.*

Μεταφορά Θερμότητας: Εισαγωγή



Θερμότητα

- Μορφή ενέργειας η οποία συνδέεται με την κίνηση των τόμων ή των μορίων μιας ουσίας.
- Μεταφέρεται από αντικείμενα υψηλότερης σε αντικείμενα χαμηλότερης θερμοκρασίας.

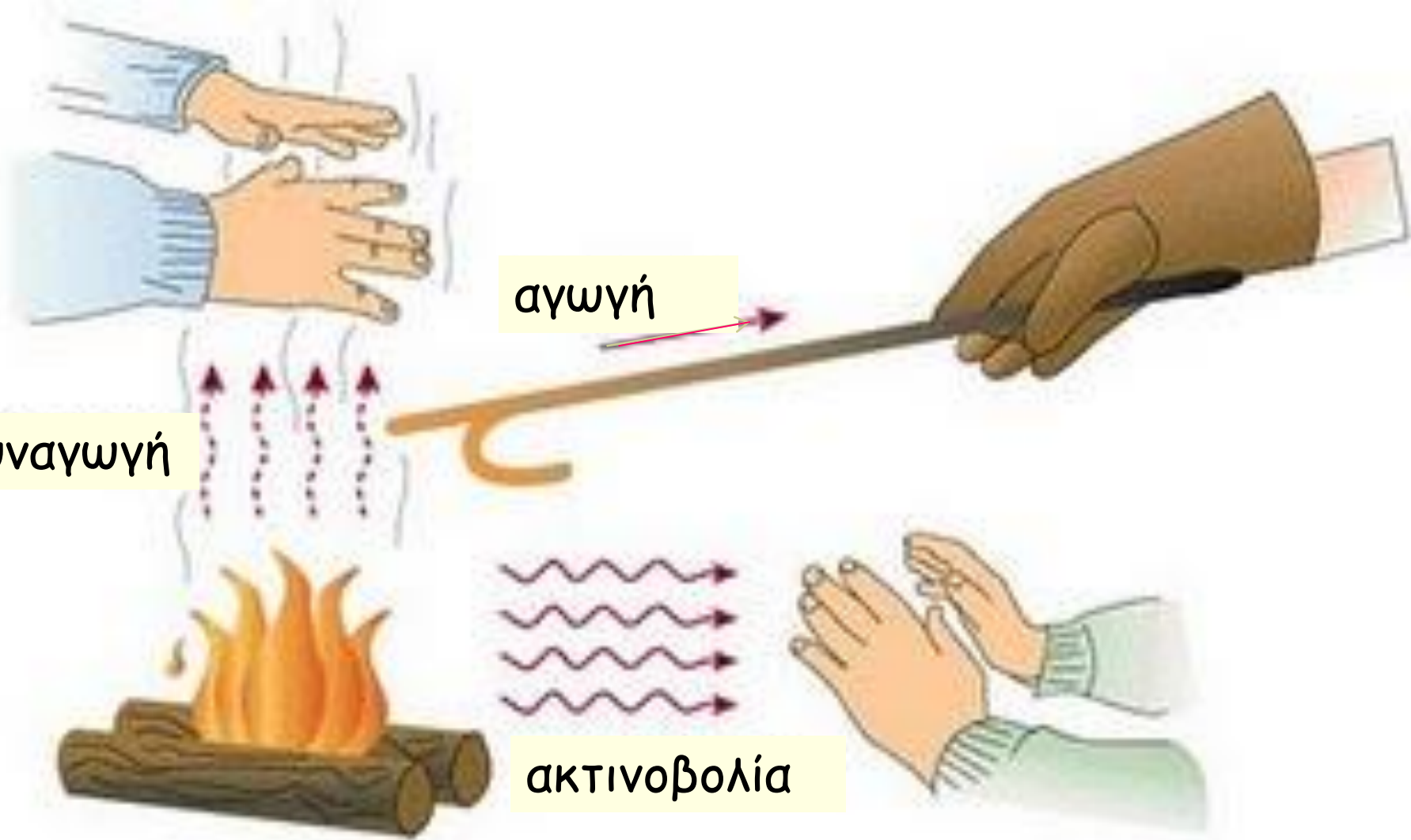
Μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας

- Αγωγή
- Συναγωγή
- Ακτινοβολία

συναγωγή

αγωγή

ακτινοβολία



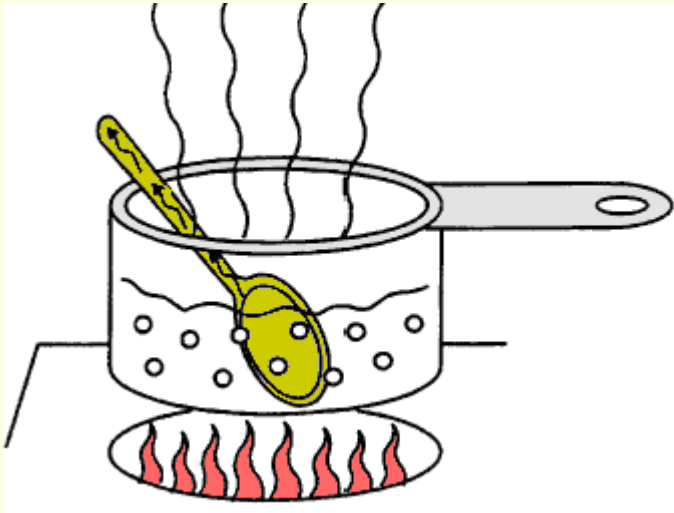
Αγωγή

- Μεταφορά με απ' ευθείας επαφή.
- Συμβαίνει όταν εφάπτονται αντικείμενα με διαφορά θερμοκρασίας.
- Εφόσον τα αντικείμενα εφάπτονται η ροή θερμότητας συνεχίζεται έως ότου εξισωθεί η θερμοκρασία των δύο αντικειμένων.



Αγωγή

- Παράδειγμα: Αν αφήσετε ένα κουτάλι μέσα σε μια σούπα που την ζεσταίνετε στην κουζίνα θα σας κάψει τα δάχτυλα... Μεταφορά θερμότητας από τη σούπα στα δάχτυλά σας .



Νόμος Fourier

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dz}$$

q : Ρυθμός μετάδοσης θερμότητας σε κατεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια A (μονάδες W , με A σε m^2) T : Θερμοκρασία (K), z , απόσταση κάθετη προς την επιφάνεια (m)

k : σταθερά αναλογίας γνωστή ως θερμική αγωγιμότητα ($W m^{-1} K^{-1}$)

Μεταφορά Θερμότητας με αγωγή

- **Θερμική αγωγιμότητα** ξηρών στερεών σταθερή σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών
- Καθαρά μέταλλα, υγρά, αέρια: Η θερμική τους αγωγιμότητα επηρεάζεται από την θερμοκρασία σε σημαντικό βαθμό
- Η **θερμική διαχυτότητα**, σχετίζεται με την θερμική αγωγιμότητα, δείχνει πόσο γρήγορα **διαφορές της θερμοκρασίας** μεταφέρονται μέσα από ένα σώμα

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

ρ : πυκνότητα και c η ειδική του θερμότητα

Μεταφορά Θερμότητας με αγωγή

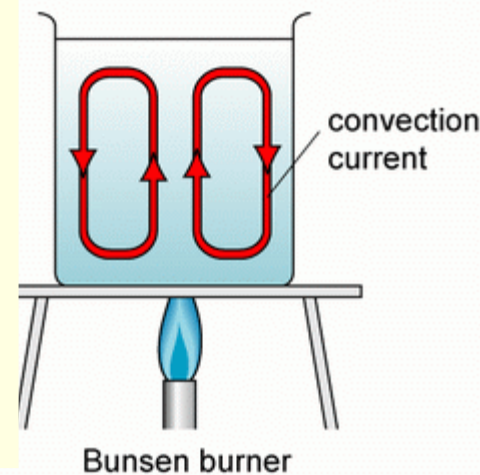
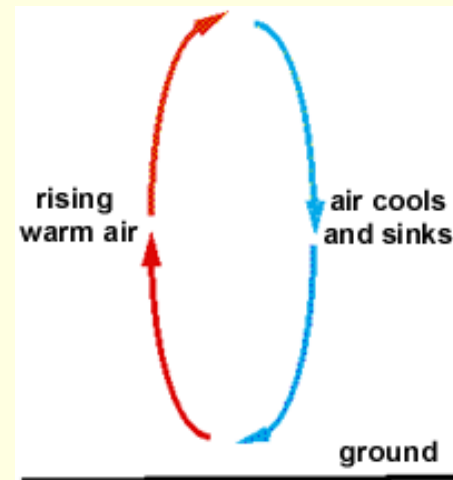
- Στα μέταλλα η αγωγή οφείλεται στην κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων
- Στα στερεά και στα περισσότερα υγρά η θερμική αγωγή οφείλεται στην μεταφορά ορμής ανάμεσα στα γειτονικά δονούμενα άτομα ή μόρια.
- Στα αέρια η αγωγή είναι αποτέλεσμα της τυχαίας κίνησης των μορίων
- **Παραδείγματα:** Ροή θερμότητας σε αδιαφανή στερεά (μεταλλικά τοιχώματα εναλλάκτη, πετρώματα γεωλογικού σχηματισμού)
- Η γεωθερμική ενέργεια μεταφέρεται κυρίως με αγωγή (>90%) στην επιφάνεια της γης

Αγωγοί και μονωτές

- Μερικά υλικά, άγουν την θερμότητα καλύτερα σε σύγκριση με κάποια άλλα.
- Υλικά που είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας ονομάζονται **αγωγοί**.
- Τα μέταλλα είναι κατά κανόνα καλοί αγωγοί.
- Ξύλο, χαρτί, πλαστικά δεν είναι καλοί αγωγοί.
- Υλικά τα οποία παρεμποδίζουν την μεταφορά θερμότητας ονομάζονται **μονωτές** (styrofoam, μαλί, fiberglass).

Συναγωγή

- Κατά την απομάκρυνση των μορίων του αερίου από τα κατώτερα στρώματα, γίνονται λιγότερο πυκνά και ανεβαίνουν ψηλότερα πάνω από τα ψυχρά, πυκνότερα σωματίδια.
- Οι πυκνότερες μάζες του αερίου και του υγρού κινούνται προκειμένου να πληρώσουν το χώρο που έχουν αφήσει τα θερμότερα μόρια.
- Τα σωματίδια απομακρύνονται από την πηγή της θερμότητας, ψυχραίνονται και γίνονται μικρότερης θερμοκρασίας και μεγαλύτερης πυκνότητας



Συναγωγή

- Η συναγωγή αναφέρεται στη ροή θερμότητας που σχετίζεται με την κίνηση ενός ρευστού (θέρμανση χώρων με εκτεινόμενες επιφάνειες-θερμαντικά σώματα- και με τη διοχέτευση ζεστού αέρα)
- Ρυθμός ροής θερμότητας με συναγωγή είναι ανάλογος της διαφοράς της θερμοκρασίας της επιφάνειας από την θερμοκρασία του ρευστού, σύμφωνα με την εξίσωση του Newton:

$$\frac{q}{A} = h(T_s - T_f)$$

T_s : Θερμοκρασία επιφάνειας

T_f : Θερμοκρασία ρευστού μακριά από επιφάνεια

h : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($Wm^{-2}K^{-1}$)

Συναγωγή

- Η γραμμική εξάρτηση από την διαφορά θερμοκρασίας ($T_s - T_f$) είναι ίδια με αυτή που αντιστοιχεί με την απλή αγωγή σε ένα στερεό σταθερής θερμικής αγωγιμότητας (από την ολοκλήρωση της σχέσης)
- Ο συντελεστής όμως της μεταφοράς θερμότητας *δεν είναι εσωτερική ιδιότητα του ρευστού* αλλά εξαρτάται από το πεδίο ροής, τη μορφή της επιφάνειας, τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού
- Αυξάνει με αύξηση συντελεστή διαστολής μειώνεται με αύξηση ιξώδους και της θερμικής αγωγιμότητας του μέσου

Ακτινοβολία

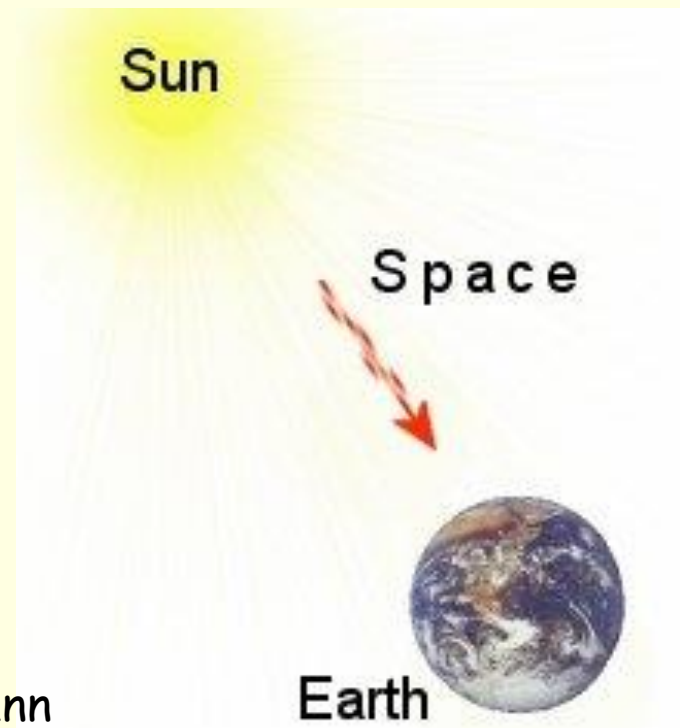
- Μεταφορά ενέργειας με την μορφή ακτίνων, κυμάτων ή σωματιδίων.
- Αναφερόμαστε μόνο στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ως μέσο μεταφοράς της ενέργειας

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα

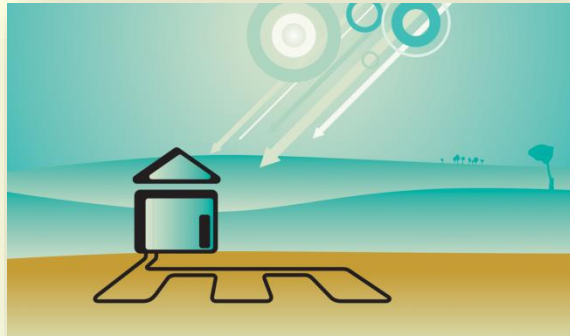
- Συμπεριλαμβάνονται το ορατό φως, μικροκύματα και υπέρυθρο
- Ταξιδεύουν και στο κενό.
- Κύρια πηγή ο ήλιος.

$$\frac{q}{A} = \sigma T^4$$

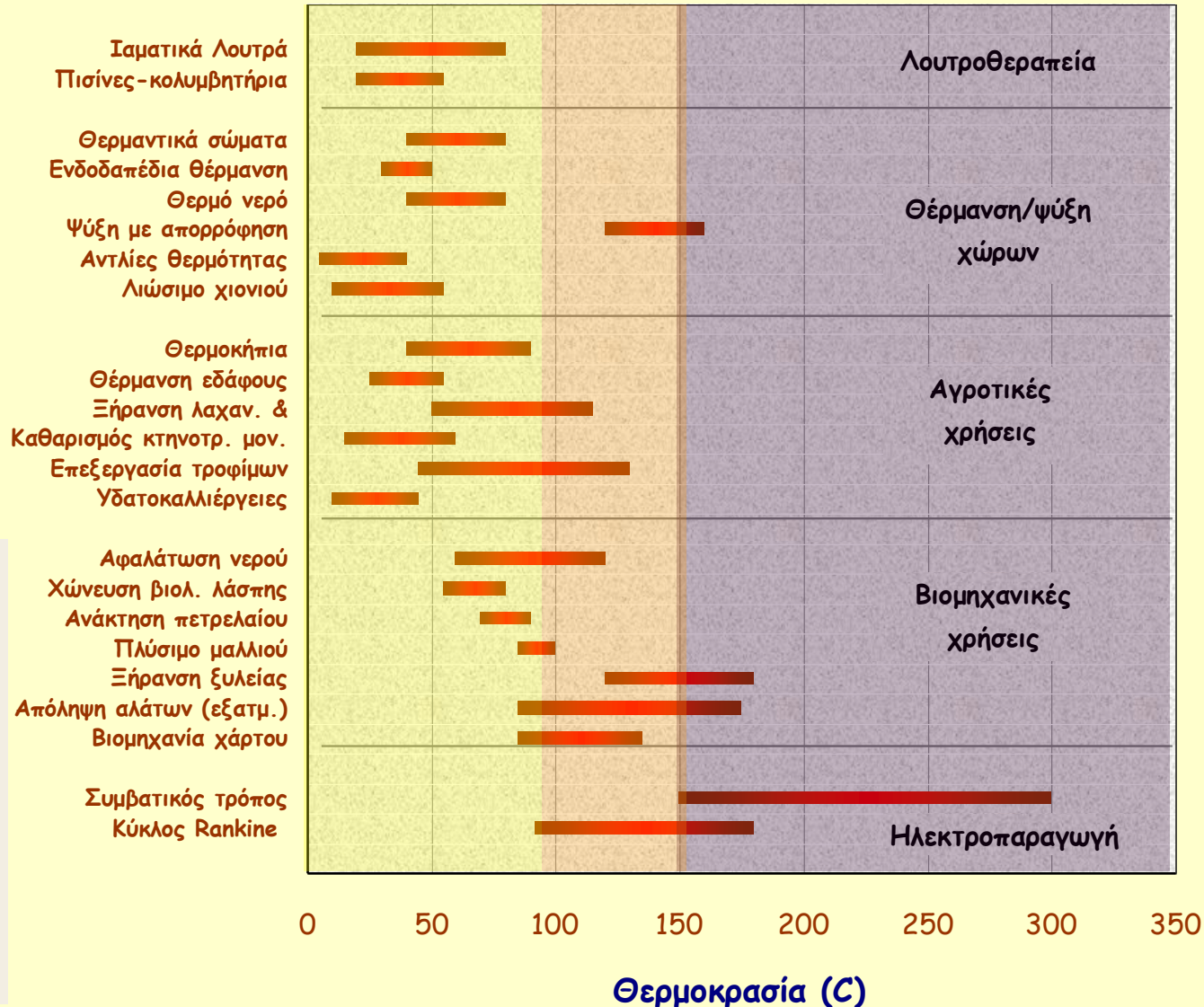
Νόμος Stefan-Boltzmann



Εφαρμογές της Γεωθερμικής Ενέργειας

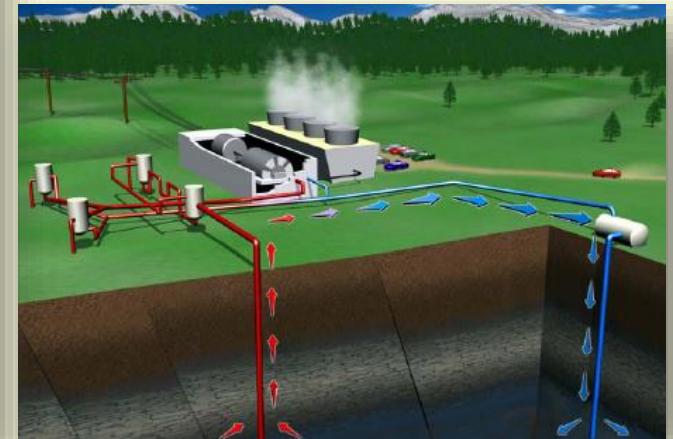
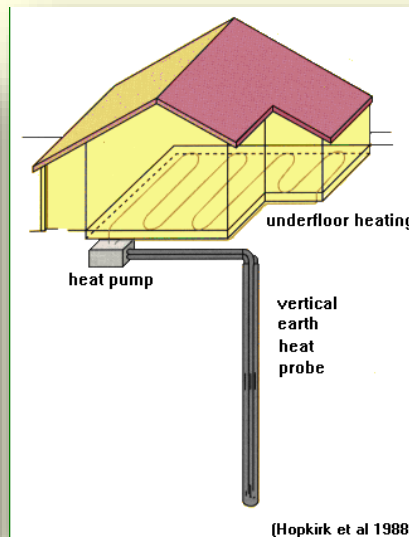
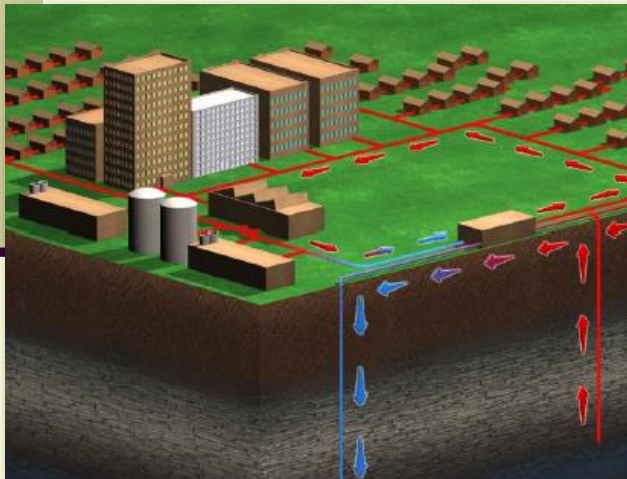


Γεωθερμικές Εφαρμογές



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 ($T > 100^{\circ}\text{C}$)



Οι άμεσες χρήσεις σήμερα

- Αξιοποίηση σε 78 χώρες το 2010 (Lund et al, 2011)
- Εγκατεστημένη θερμική ισχύς >50000 MW† (>65% από το 2005)
- Αντιστοιχεί σε >9 εκατ. ΤΙΠ το χρόνο.
- Η μεγάλη αύξηση αντανακλά τη σημαντική διεύρυνση των ΓΑΘ



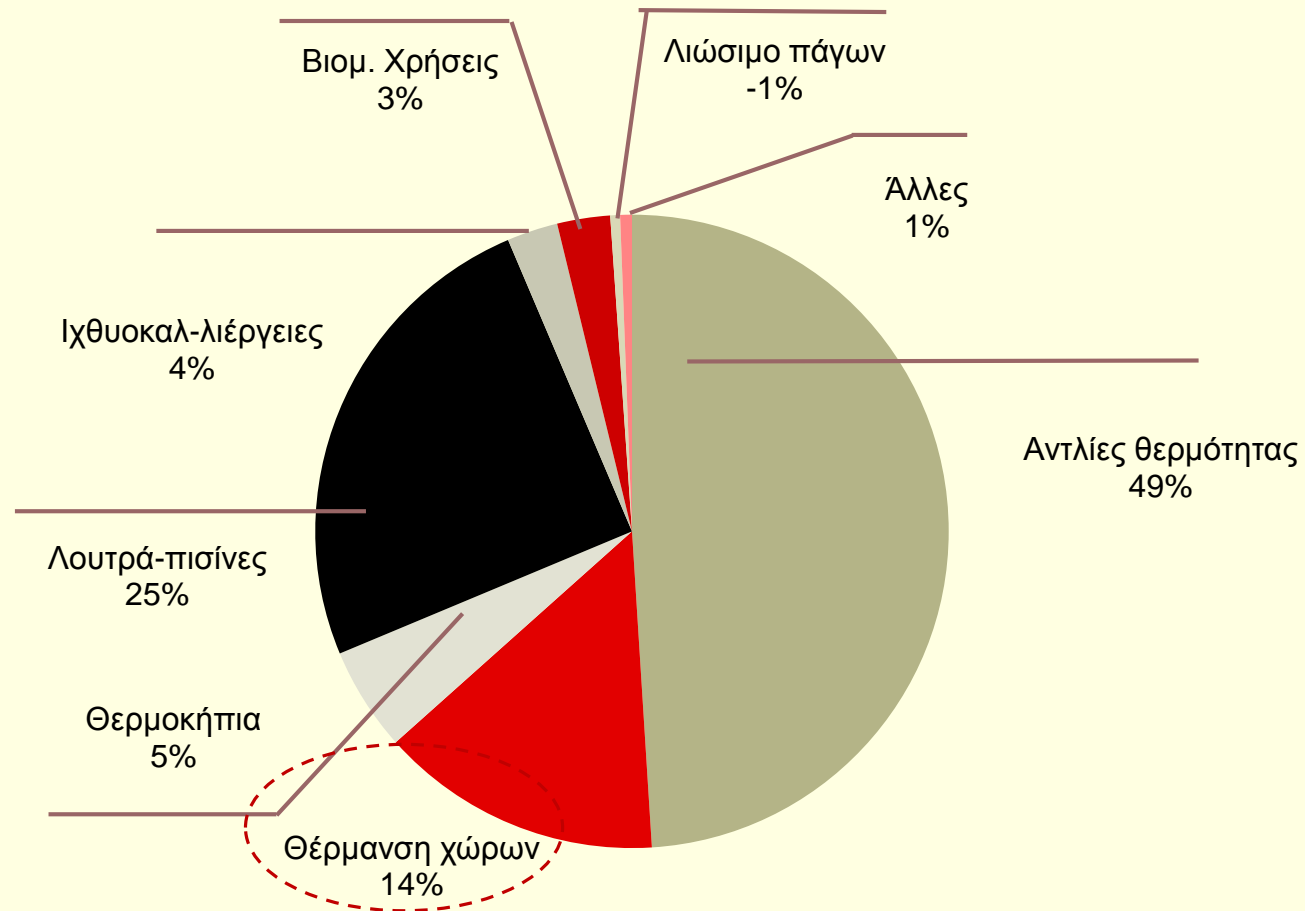
- Θέρμανση χώρων (10,7%*)
- Αγροτικές χρήσεις (3,1%)
- Υδατοκαλλιέργειες (1,3%)
- Βιομηχανικές χρήσεις (1,8%)
- Λουτροθεραπεία (+ πισίνες) (13,2%)
- Αντλίες θερμότητας (70%)

* ως προς την εγκατεστημένη ισχύ



Οι άμεσες χρήσεις σήμερα

- Κατανομή των άμεσων χρήσεων σε παγκόσμιο επίπεδο ως προς την **τελική χρήση ενέργειας** κατά το έτος 2010 (Lund, 2011).



Οι άμεσες χρήσεις σήμερα

- Οι πέντε χώρες με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ άμεσων χρήσεων στον κόσμο (για το 2010), την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ ανά πληθυσμό και τη μεγαλύτερη χρήση ενέργειας ανά πληθυσμό. Για σύγκριση και η χώρα μας.

Χώρα	Εγκατ. Ισχύς, MW	% παγκ.
Η.Π.Α.	12611	24,9
Κίνα	3840	7,6
Σουηδία	3787	7,5
Νορβηγία	3300	6,5
Γερμανία	2485	4,9
Ελλάδα	135	0,3
Παγκόσμια	50583	100

Χώρα	MW/πληθυσμό (x10 ⁶)
Ισλανδία	5706
Νορβηγία	692
Σουηδία	482
Ελβετία	138
Ν. Ζηλανδία	91
Ελλάδα	12
Παγκόσμια	7,4

Χώρα	GWh/πληθυσμό (x10 ⁶)
Ισλανδία	21147
Νορβηγία	1468
Σουηδία	1359
Ν. Ζηλανδία	616
Ελβετία	278
Ελλάδα	23
Παγκόσμια	17,8

- Στη Νορβηγία, Σουηδία και Ελβετία μόνο εφαρμογές ΓΑΘ.

Η «αξία» των γεωθερμικών πόρων εξαρτάται από:

- παροχή του θερμού νερού
- θερμοκρασία

Η θερμική ισχύς που μπορούμε να αξιοποιήσουμε

$$P_g = Q \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_i - T_o)$$

σε J/s (W)

όπου

Q= ογκομετρική παροχή (m³/s)

ρ= πυκνότητα νερού (kg/m³)

c_p= ειδική θερμότητα του νερού (J/kgK)

T_i= θερμοκρασία προσαγωγής του νερού (K)

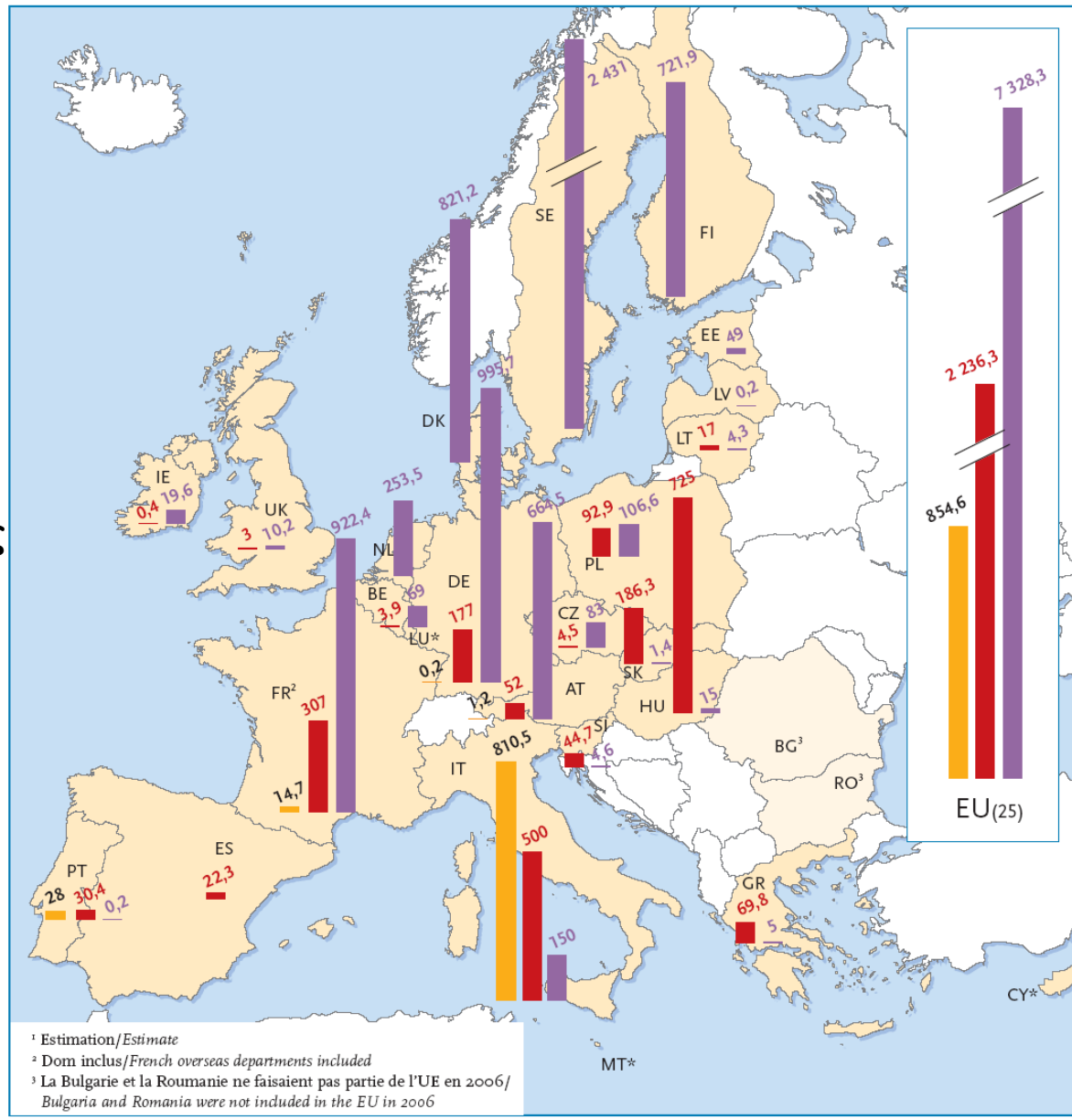
T_o= θερμοκρασία απόρριψης του νερού (K)

PUISSANCES GÉOTHERMIQUES INSTALLÉES DES PAYS DE L'UNION EUROPÉENNE¹
 CUMULATED CAPACITY OF GEOTHERMAL ENERGY IN THE EU COUNTRIES¹

Η Γεωθερμική
 ενέργεια στην Ε.Ε.
 (2006)

Εγκατεστημένη ισχύς
 ανά χώρα

- Ηλεκτρ. Ενεργ.
- άμεση θερμότητα
- ΓΑΘ

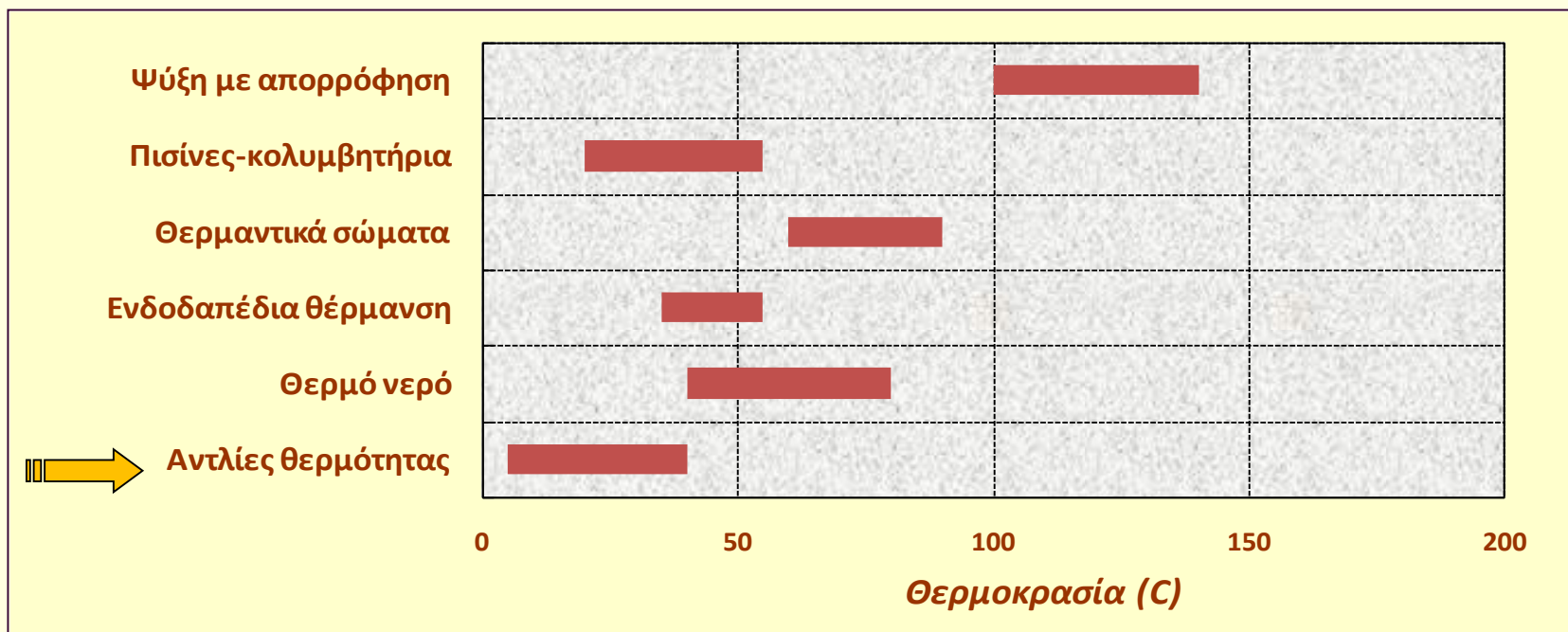


Θέρμανση χώρων

- Η θέρμανση χώρων (εξαιρείται η χρήση ΓΑΘ) αποτελεί μία από τις κυριότερες άμεσες χρήσεις των γ/θ ρευστών.
- 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).
- Κυριότερες χώρες: Ισλανδία, Κίνα, Τουρκία, Γαλλία.
- Η πρώτη τεκμηριωμένη χρήση για θέρμανση χώρων αναφέρεται το 14^ο αιώνα, όπου κατασκευάστηκε ένα μικρό σύστημα τηλεθέρμανσης στο *Chaudes-Aigues Cantal* στη Γαλλία.

Θέρμανση χώρων

- 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.



Απαιτούμενες περιοχές θερμοκρασιών για χρήσεις θέρμανσης

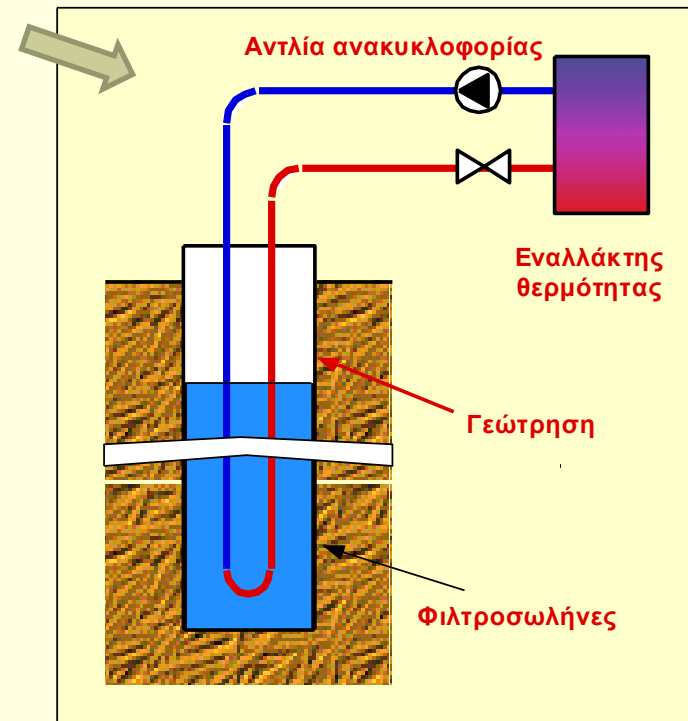
Θέρμανση χώρων

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

(α) ροή γ/θ νερού απευθείας ή με τη χρήση εναλλάκτη θερμότητας

(β) χρήση υπόγειων εναλλακτών θερμότητας

(γ) χρήση συστημάτων ΓΑΘ (για να ενισχύσουν τη θερμοκρασία του νερού)



Ψύξη χώρων

- Ψύξη χώρων μπορεί να επιτευχθεί με:

(α) με τη μέθοδο της απορρόφησης, αλλά απαιτούνται θερμοκρασίες ρευστών $>100-110^{\circ}\text{C}$ (ελάχιστες εφαρμογές μέχρι τώρα)

(β) χρήση συστημάτων ΓΑΘ (αντιστροφή λειτουργίας της αντλίας)

*Σύστημα ψύξης τύπου απορρόφησης
αμμωνίας στην Αλάσκα*

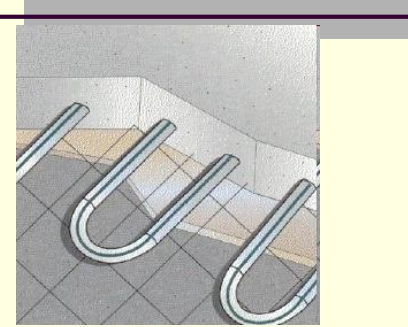


Άμεσες Χρήσεις: εξοπλισμός

- Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τη «γεωθερμική» θέρμανση είναι ο ίδιος με τις μη-γεωθερμικές εφαρμογές. Απλά, συχνά είναι αναγκαία η προσαρμογή στην ιδιαιτερότητα του γ/θ νερού.
- Η **θερμοκρασία** και η **ποιότητα του γ/θ νερού** καθορίζουν την αναγκαιότητα χρήσης εναλλάκτη θερμότητας και το σύστημα θέρμανσης στο χώρο.
- Μετά τον καθορισμό των θερμαντικών απαιτήσεων του χώρου (και λαμβάνοντας υπόψη τα προηγούμενα) γίνεται η επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού.
- Επειδή το κόστος άντλησης είναι συχνά σημαντικό, επιβάλλεται η αξιοποίηση του όσο το δυνατόν μεγαλύτερου θερμικού περιεχομένου των νερών.

Άμεσες Χρήσεις: εξοπλισμός

- Η χρήση εναλλακτών επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας του νερού θέρμανσης κατά 3-5°C.
- Ανάγκη μερικές φορές για εναλλάκτη από τιτάνιο (για διαβρωτικά ρευστά).
- Η θερμοκρασία του θερμού νερού καθορίζει τον τύπο του εξοπλισμού θέρμανσης:
 - (α) Για $T > \sim 60^{\circ}\text{C}$: θερμαντικά στοιχεία ακτινοβολίας
 - (β) Για $T < \sim 50^{\circ}\text{C}$: ενδοδαπέδια θέρμανση ή χρήση στοιχείων «fan-coils», κυρίως για ξενοδοχεία, γραφεία κτλ.

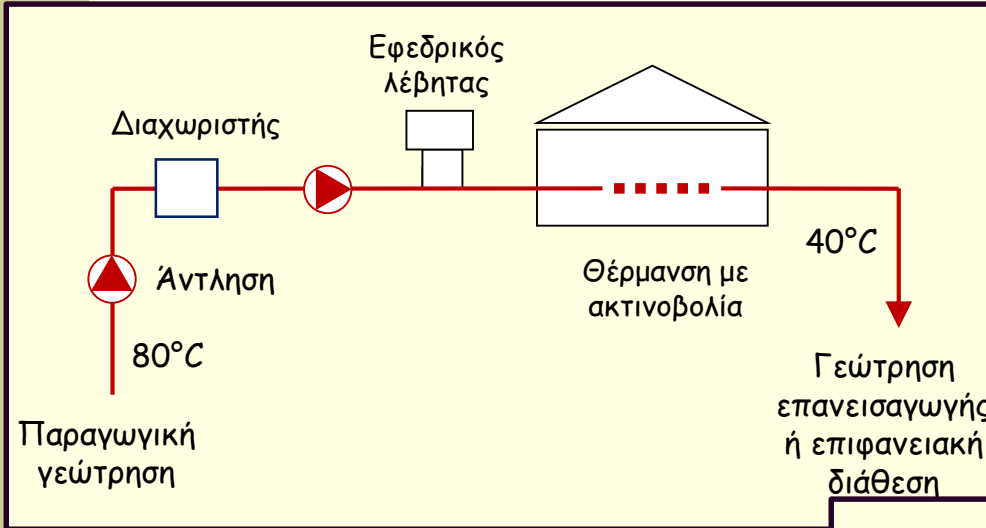


Άμεσες Χρήσεις: μεταφορά και εναλλαγή

Ένα γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας αποτελείται συνήθως από τέσσερα υποσυστήματα:

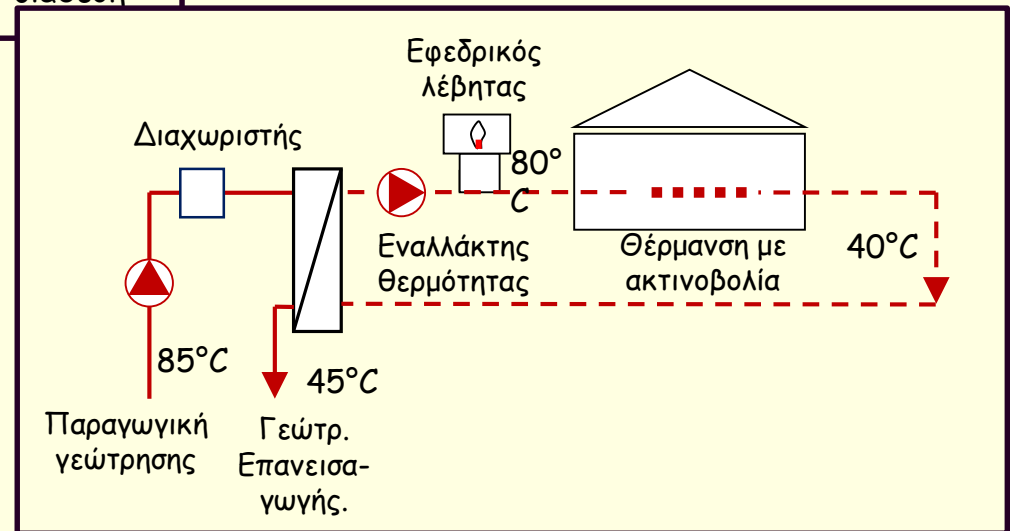
- (1) **Το σύστημα παραγωγής** (παραγωγική γεώτρηση, αντλία παραγωγής, διαχωριστής φάσεων και συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης). Για «επιθετικά» υγρά χρήση εναλλάκτη.
- (2) **Το σύστημα μεταφοράς** του γεωθερμικού νερού ή του ζεστού νερού.
- (3) **Το σύστημα εφαρμογής** (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας για το χώρο) μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας
- (4) **Το σύστημα διάθεσης των ρευστών** (επανεισαγωγή).

Δύο κύρια συστήματα θέρμανσης χώρων



Ανοικτού βρόχου - μονοσωλήνιο σύστημα

Κλειστού βρόχου - δισωλήνιο σύστημα
(πλέον διαδεδομένο)

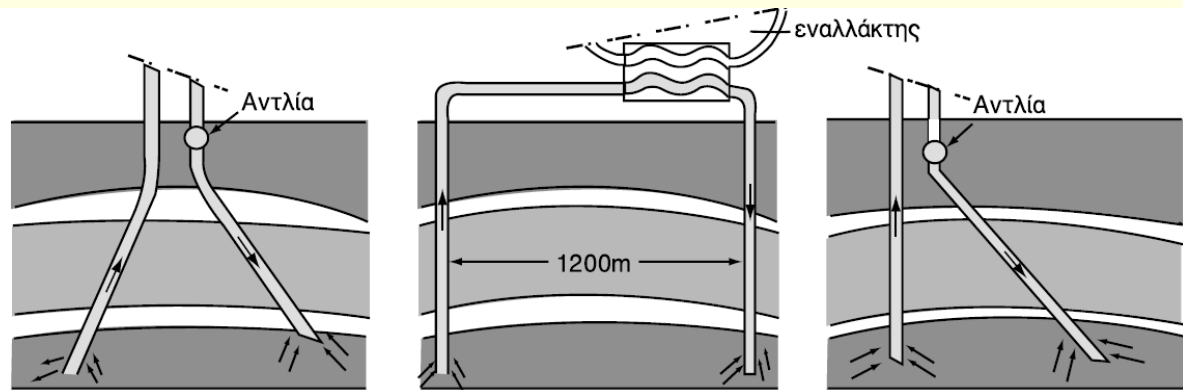
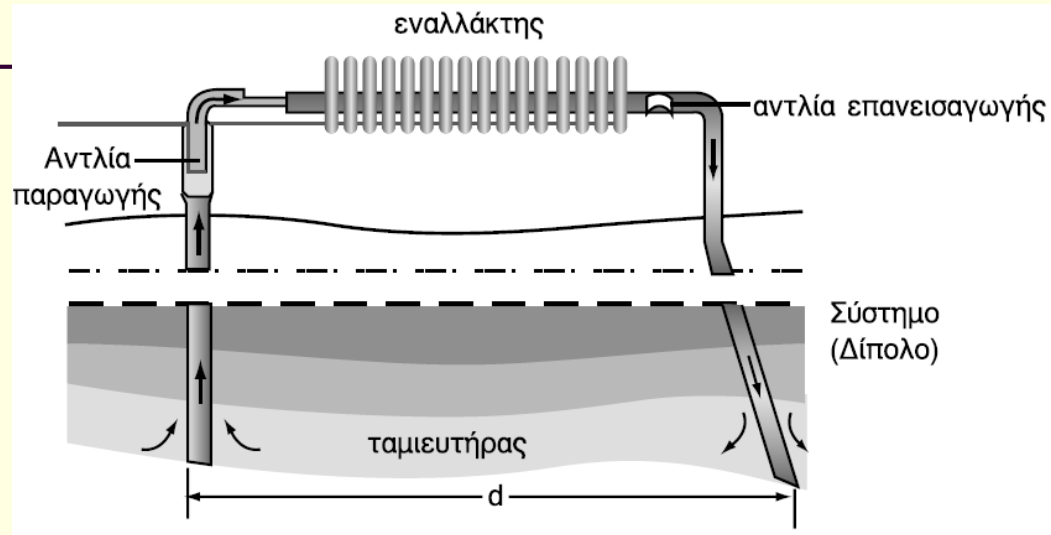


Άμεσες Χρήσεις: μεταφορά και εναλλαγή

Σχήματα ανάκτησης της θερμότητας από ένα γεωθερμικό ταμιευτήρα.

(α) Σύστημα μονής γεώτρησης και διάθεση υγρού (ανοικτού βρόχου).

(β) Σύστημα «δίπολο» (κλειστού βρόχου).

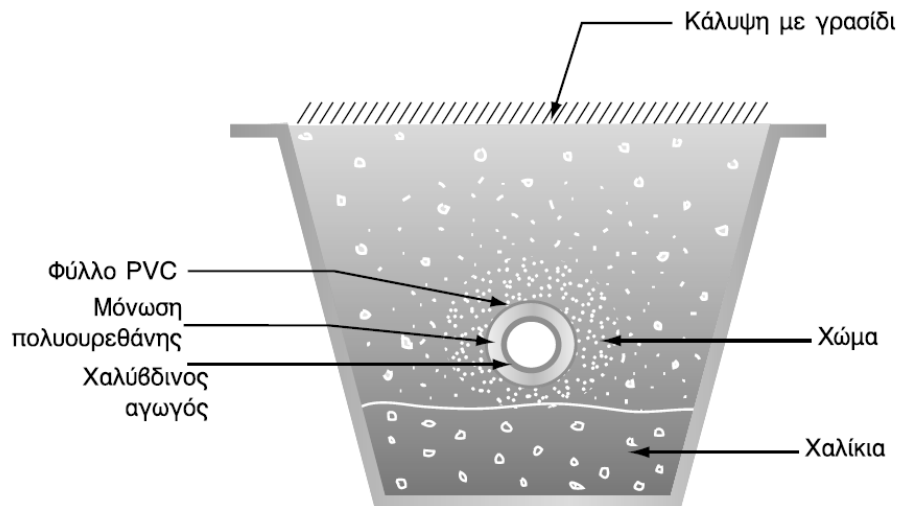


Διαφορετικά είδη "διπόλων"

Άμεσες Χρήσεις: μεταφορά και εναλλαγή

Σωληνώσεις που χρησιμοποιούνται:

- (α) μεταλλικές (κοινός χάλυβας, όλκιμος χυτοσίδηρος, με επικάλυψη ή όχι, προμονωμένα ή όχι.)
- (β) Μη-μεταλλικά Υλικά (Θερμοπλαστικά -PP-PE-PVC, Θερμοσκληρυνόμενα πλαστικά-FRP)



Υπόγεια τοποθέτηση των σωληνώσεων με μόνωση

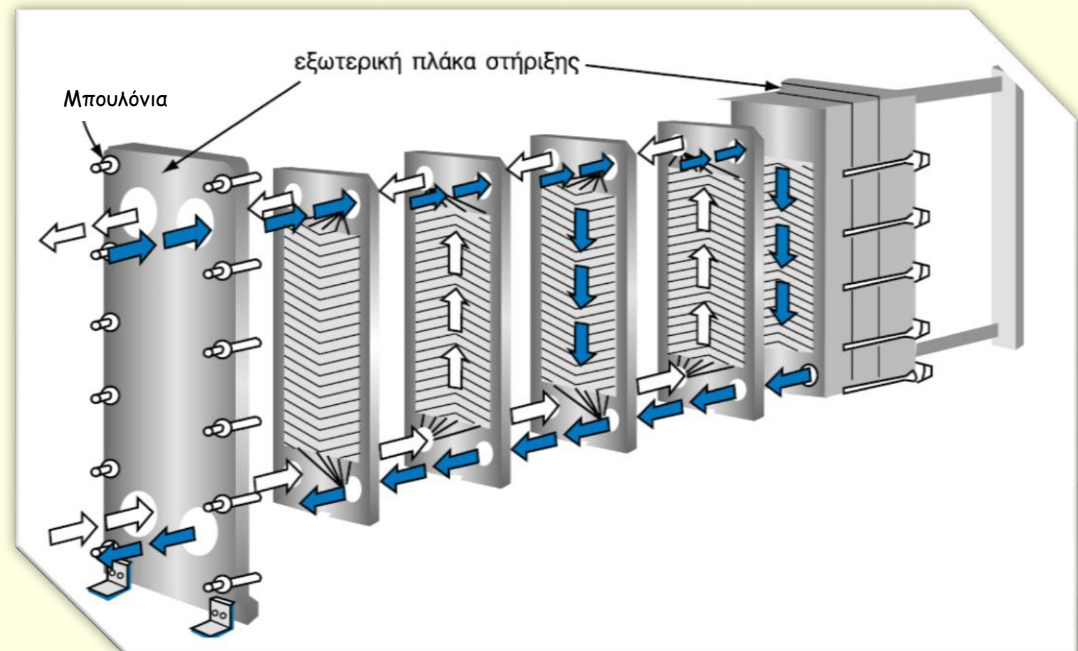
Τοποθέτηση υπόγειας σωλήνωσης μεταφοράς θερμού νερού



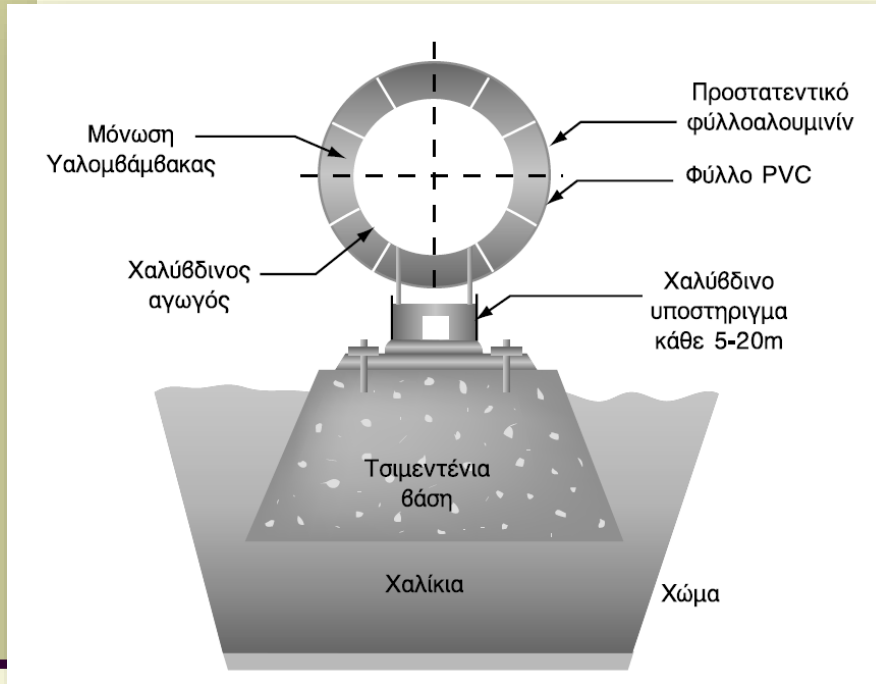
Άμεσες Χρήσεις: μεταφορά και εναλλαγή



Για την εναλλαγή της θερμότητας συνήθως χρησιμοποιούνται εναλλάκτες πλακών.



Άμεσες Χρήσεις: μεταφορά και εναλλαγή

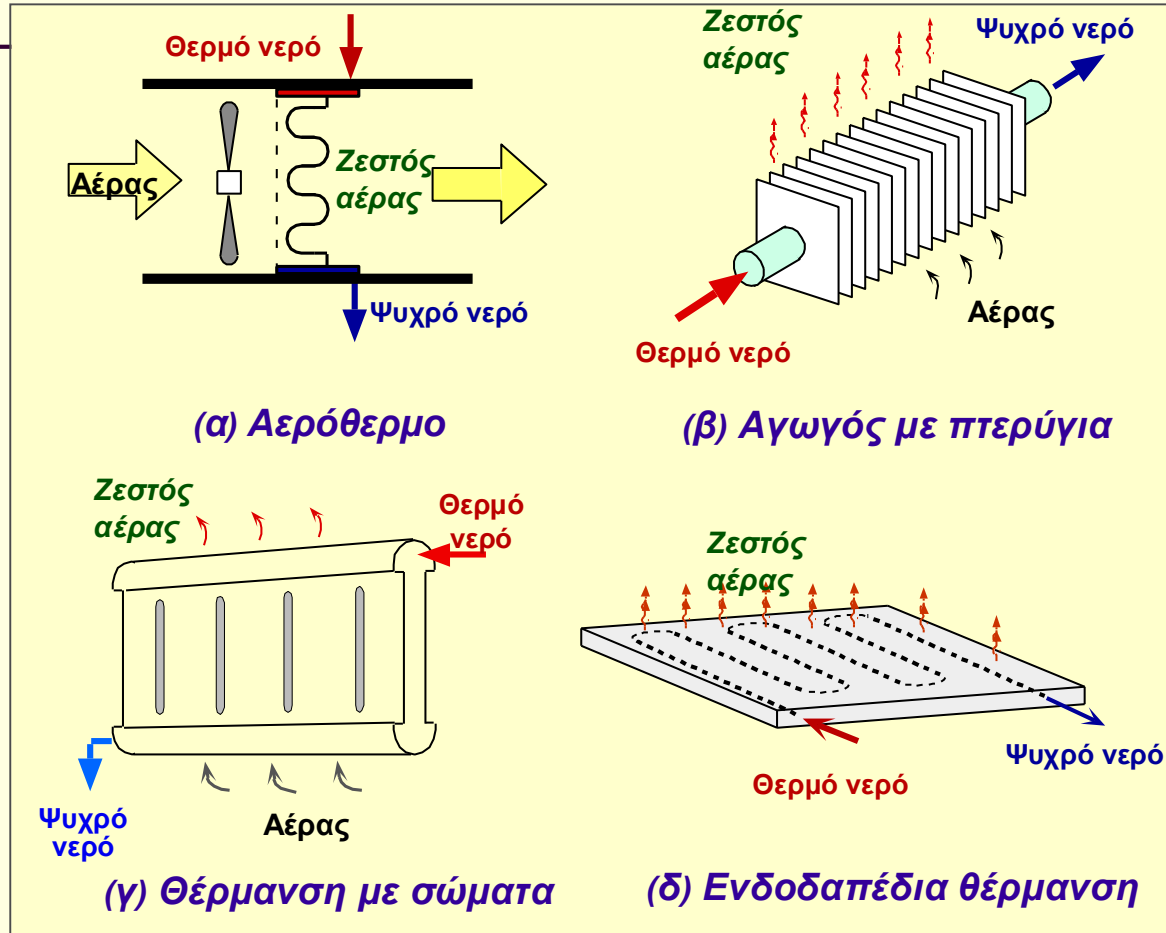


Υπόγεια τοποθέτηση των σωληνώσεων με μόνωση



Τοποθέτηση υπέργειας σωλήνωσης μεταφοράς θερμού νερού από το Nesjavellir στο Reykjavik της Ισλανδία

Άμεσες Χρήσεις: Θέρμανση χώρων



Εναλλάκτες αέρα-υγρού: (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β και γ) με φυσική συναγωγή και (δ) με ακτινοβολία.

Άμεσες Χρήσεις: Θέρμανση χώρων

Το Reykjavík πριν από 65 χρόνια και πριν από τη «γεωθερμική» εποχή



- Σήμερα, όλο το Reykjavik θερμαίνεται με γεωθερμική ενέργεια (η πρώτη εφαρμογή στην Ισλανδία το 1907).
- Περισσότερα από 100.000 διαμερίσματα στην περιοχή του Παρισιού
- Στην Τουρκία, σχεδόν 200000 κάτοικοι θερμαίνονται με γεωθερμία

Το Reykjavík σήμερα



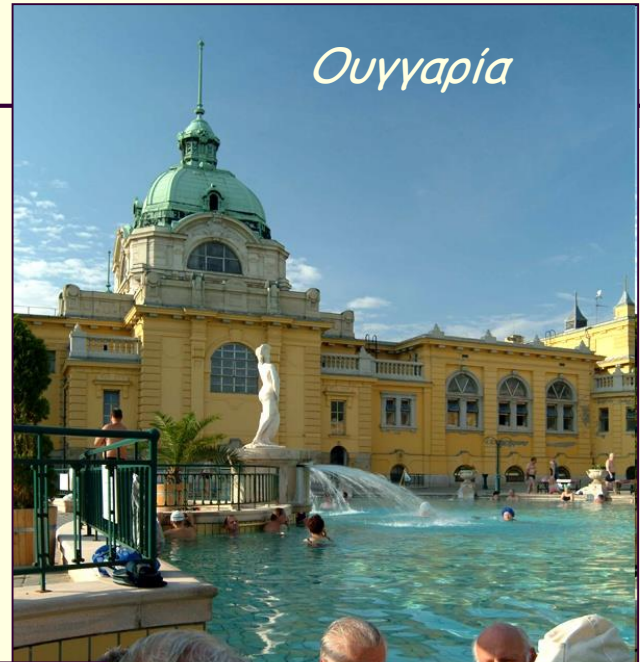
Θέρμανση κολυμβητηρίων και πισίνων αναψυχής

Τουρκία



Σμύρνη

Ουγγαρία



Ισλανδία



Θέρμανση κολυμβητηρίων και πισίνων αναψυχής

Reykjavik, Iceland

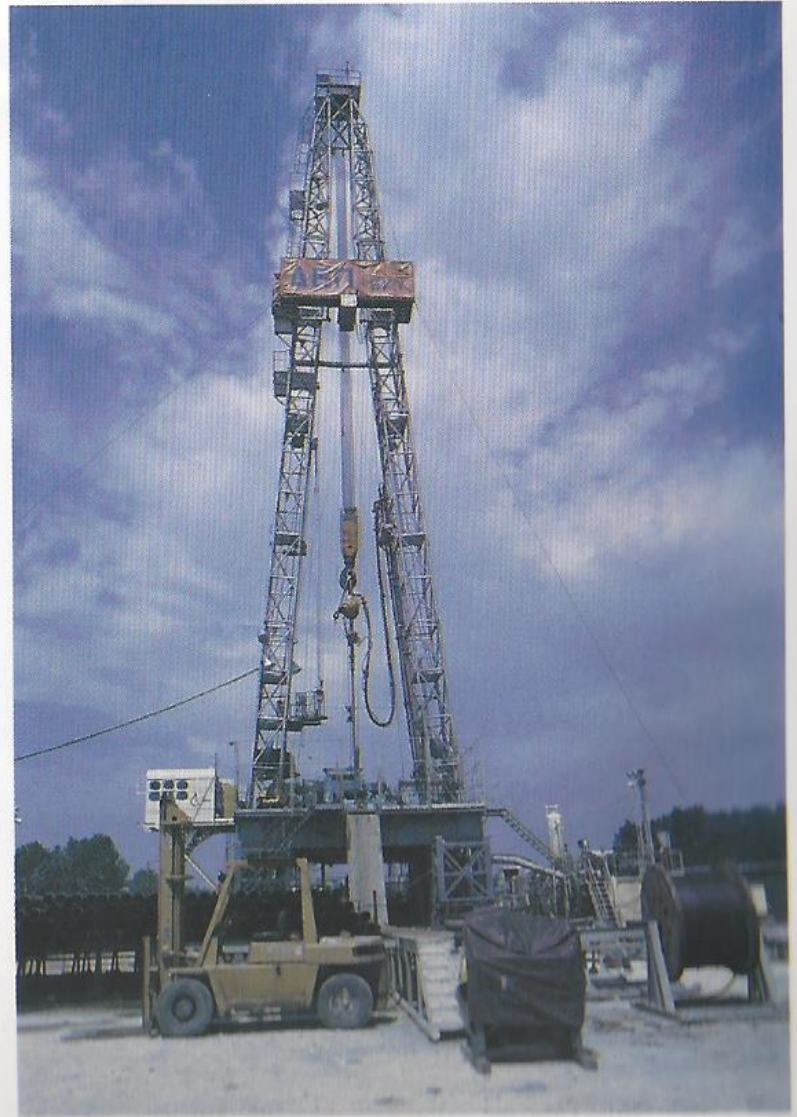
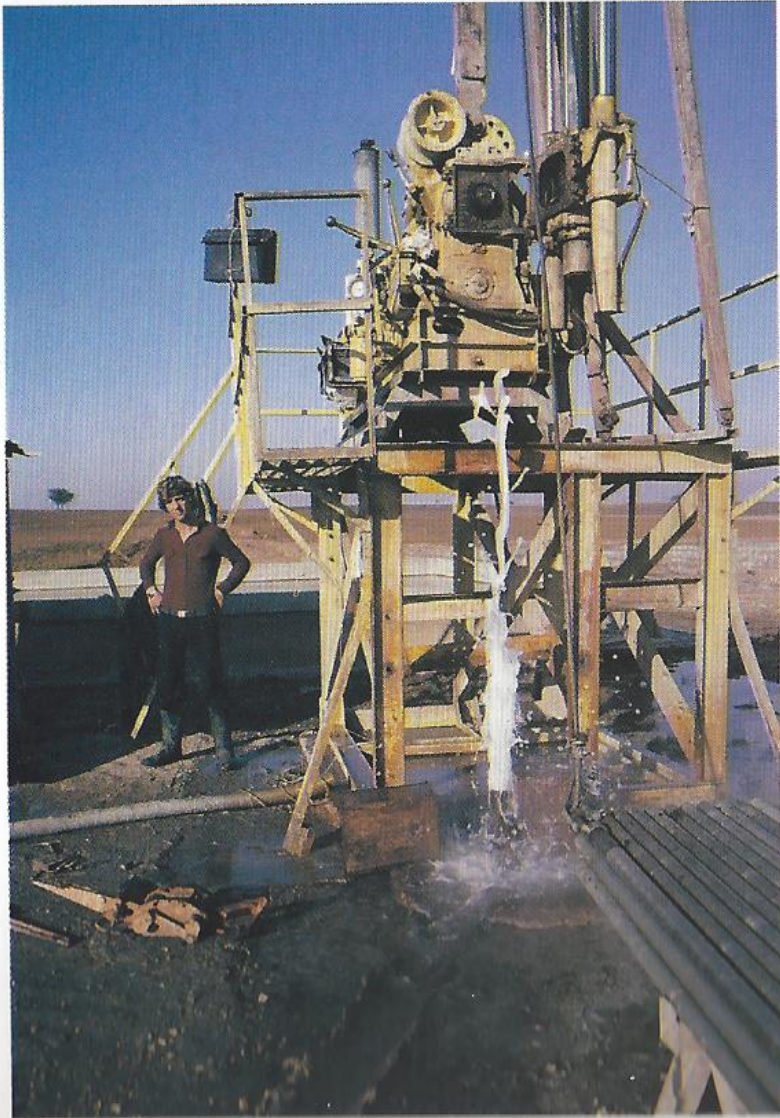


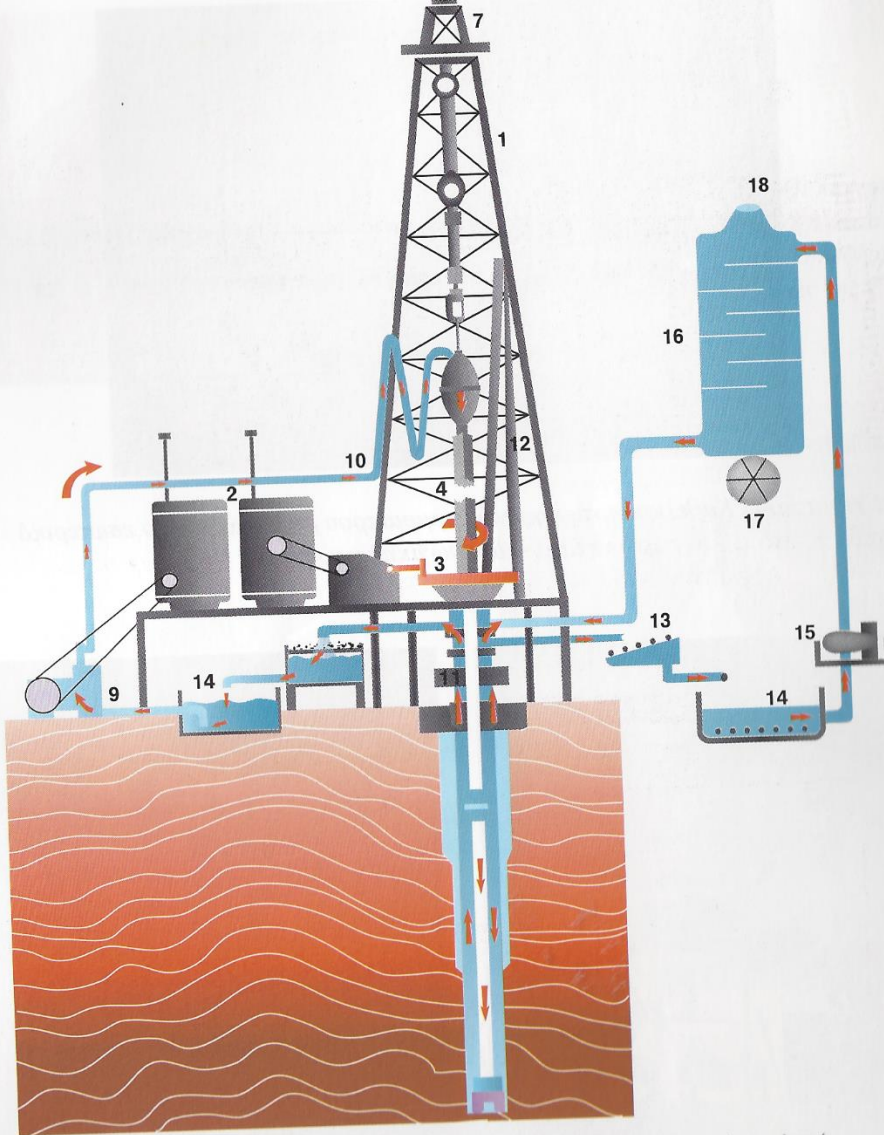
New Zealand



Colorado, USA







1. Ικρίωμα (πύργος) γεωτρύπανου
2. Κινητήρες
3. Τράπεζα περιστροφής
4. Στέλεχος μετάδοσης-περιστροφής στήλης
5. Στελέχη διατηρητικής στήλης
6. Κοπτικό άκρο
7. Σύστημα αντεκρηκτικού μηχανισμού ασφαλείας (BOPE)
8. Τσιμέντο
9. Αντλία κυκλοφορίας πολφού (πηλαντλία)
10. Διαδρομή κυκλοφορίας πολφού
11. Κεφαλή γεώτρησης
12. Προσωρινή αποθήκευση στελεχών
13. Κόσκινο συγκράτησης τριμμάτων
14. Δεξαμενές καθίζησης και άντλησης πολφού
15. Φυγόκεντρη αντλία πολφού
16. Σύστημα ψύξης πολφού με θαρύτητα
17. Ανεμιστήρας κρύου αέρα για την ψύξη
18. Έξοδος υγρού θερμανθέντος αέρα

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας ($>150^{\circ}\text{C}$) τα ρευστά χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού με πολύ ευνοϊκές οικονομικές συνθήκες
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με την μετάδοση μέρους της θερμότητας των ρευστών, που έχουν μικρή σχετικά ενθαλπία, σε ειδικά υγρά με πολύ χαμηλό σημείο βρασμού, όπως για παράδειγμα το φρέον, το ισοβουτάνιο, το προπάνιο και το χλωριούχο αιθύλιο.

Πίνακας 9.3. Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από γεωθερμία και ΑΠΕ κατά το 1998 (πηγή: *World Energy Assessment Report, WEA, 2000*).

ΑΠΕ	Ενεργειακή παραγωγή το 1998		Συντελεστής αξιοποίησης (%)	Ενεργειακό κόστος, /kWh	% αύξηση στην εγκατ. ισχύ (1993-1998)
	TWh	%			
Υδροϊσχύς	2600	92	20-70	0,02-0,10	2
Βιομάζα	160	5,7	25-80	0,05-0,15	3
Γεωθερμία	46	1,6	45-90	0,02-0,10	6
Αιολική	18	0,65	20-30	0,05-0,13	30
Ηλιακή Φ/Β	0,5	0,05	8-20	0,25-1,25	30
Θερμικά	1		30-35	0,12-0,18	5
Παλιρροϊκή	0,6	0,02	20-30	0,8-0,15	0
ΣΥΝΟΛΟ	2826	722			

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Οι δυνατότητες που προσφέρει ο τρόπος αυτός της εκμετάλλευσης είναι τεράστιες και οι προοπτικές για το μέλλον θα είναι ακόμα μεγαλύτερες για την ανάπτυξη της σχετικής τεχνογνωσίας.

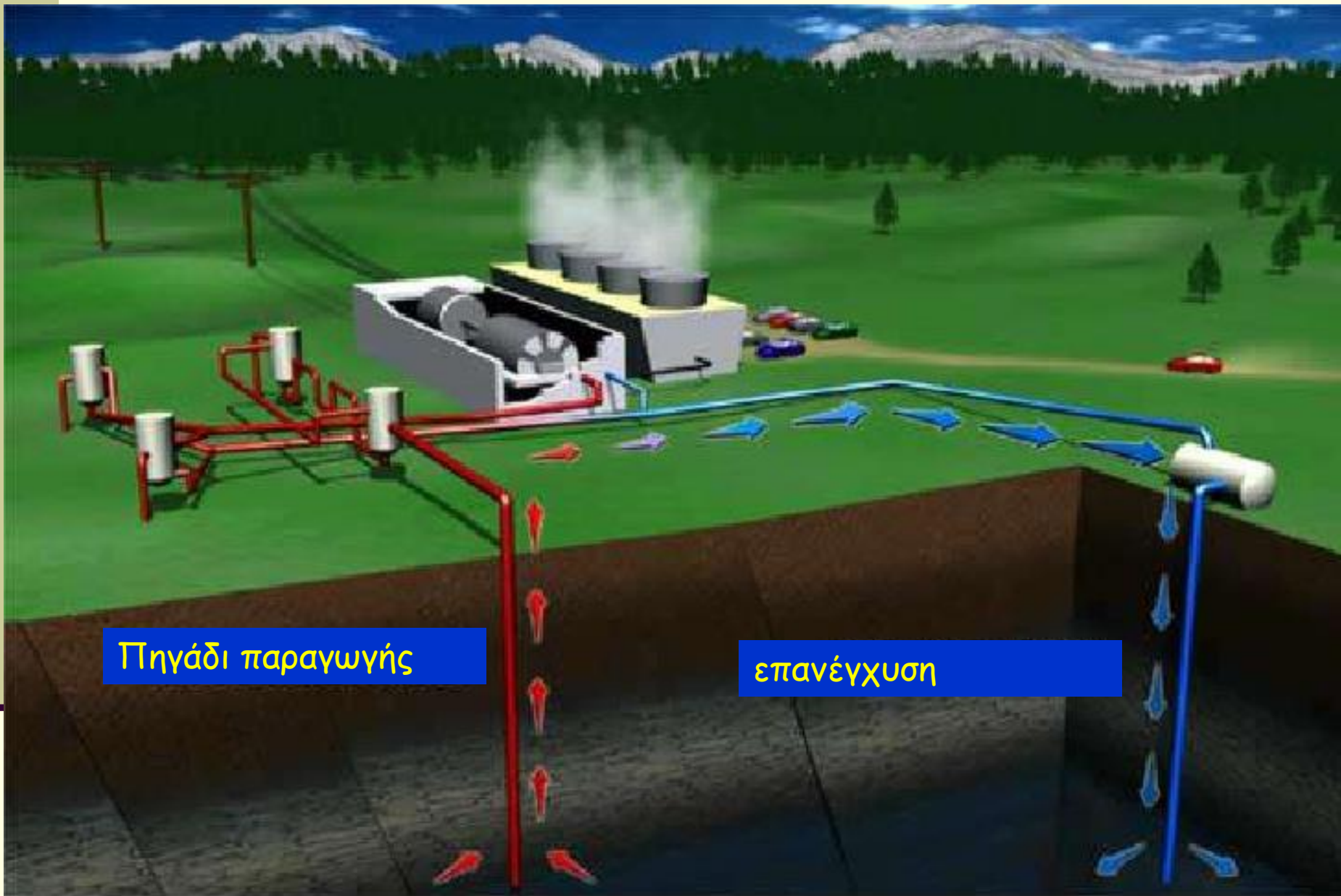
Παραγωγή θερμικής ενέργειας

Πίνακας 9.4. Κατάσταση των ΑΠΕ για παραγωγή θερμότητας
(πηγή: *World Energy Assessment Report, WEA, 2000*).

ΑΠΕ	Ενεργειακή παραγωγή το 1998 (TWh)	Συντελεστής αξιοποίησης (%)	Τωρινό ενεργειακό κόστος, /kWh	% αύξηση στην εγκατ. ισχύ, τα τελευταία 5 χρόνια
Βιομάζα	>700	25-80	0,01-0,05	3
Γεωθερμία	40	20-70	0,005-0,05	6
Ηλιακά	14	8-20	0,03-0,020	8



Σχήμα 6.14. Φωτογραφία του κεντρικού μηχανοστασίου του πεδίου Ν. Κεσσάνης Ξάνθης. Διακρίνονται οι εναλλάκτες θερμότητας, οι μονωμένες σωληνώσεις



Πηγάδι παραγωγής

επανέγχυση

Ο ατμός διοχετεύεται στους στροβίλους (τουρμπίνες) και στην συνέχεια συμπυκνώνεται σε πύργους ψύξεως για να επανεγχυθεί τέλος στον υδροφόρο ορίζοντα-ταμιευτήρα

Στροβιλογεννήτρια

Είσοδος ατμού

Ηλεκτρικό ρεύμα

Κύλινδρος πηνίου με
περιέλιξη

Πτερύγια
στροβίλου

Μαγνητικό πεδίο

Έξοδος ατμού







Στροβιλογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος από γεωθερμία, Καλιφόρνια ΗΠΑ



Turbine generator in a geothermal power plant in Cerro Prieto, Mexico.

ΧΡΗΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

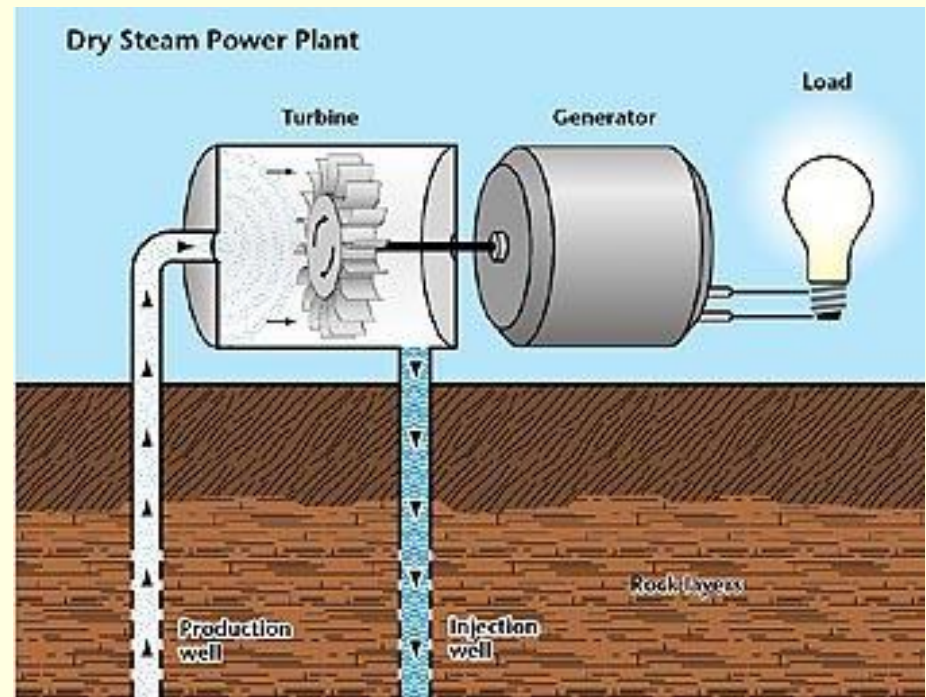
- **Ατμός:** Συμβατικές τουρμπίνες ατμού χρησιμοποιούνται με υδροθερμικά ρευστά τα οποία είναι ολικώς είτε μερικώς σε μορφή ατμού.
- **Υψηλής θερμοκρασίας νερό:** Για υδροθερμικά ρευστά πάνω από 180°C τα οποία είναι αρχικά σε μορφή νερού, χρησιμοποιείται συνήθως η τεχνολογία της απότομης εξάτμισης ενός 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.

ΤΥΠΟΙ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

- Απαιτούνται διαφορετικοί τύποι εγκαταστάσεων προκειμένου να γίνει η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών κάθε γεωθερμικού πεδίου
- Χαρακτηριστικά είδη μονάδων παραγωγής ενέργειας:
 - Ξηρού ατμού
 - Ταχείας εξάτμισης
 - Δυναμικού κύκλου

Γεωθερμικές εγκαταστάσεις ξηρού ατμού

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



Γεωθερμικές μονάδες ξηρού ατμού

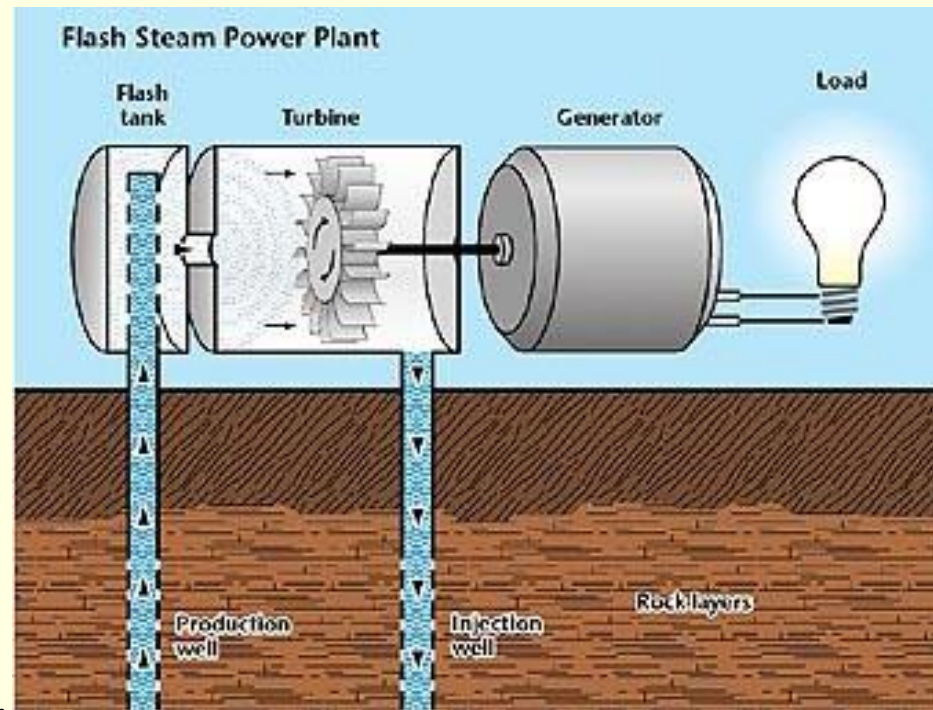
- Οι "Geysers" στην CA
 - Άνοιξαν το 1960
- Ύστερα από 30 έτη-θερμοκρασία σταθερή; Μείωση πίεσης από 3.3 σε 2.3 MPa στα πηγάδια
- Παραγωγή-2700 MW; Αρκεί για το San Francisco (πληθ. 780,000)¹



Γεωθερμικές μονάδες ταχείας εκτόνωσης-εξάτμισης (flash)

- Έγχυση νερού από βάθος, νερό σε υψηλή πίεση εκτονώνεται σε δεξαμενές χαμηλής πίεσης. Το νερό "εξατμίζεται απότομα" και ο ατμός διοχετεύεται σε στροβίλους

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



Γεωθερμικές μονάδες ταχείας εκτόνωσης-εξάτμισης (flash)

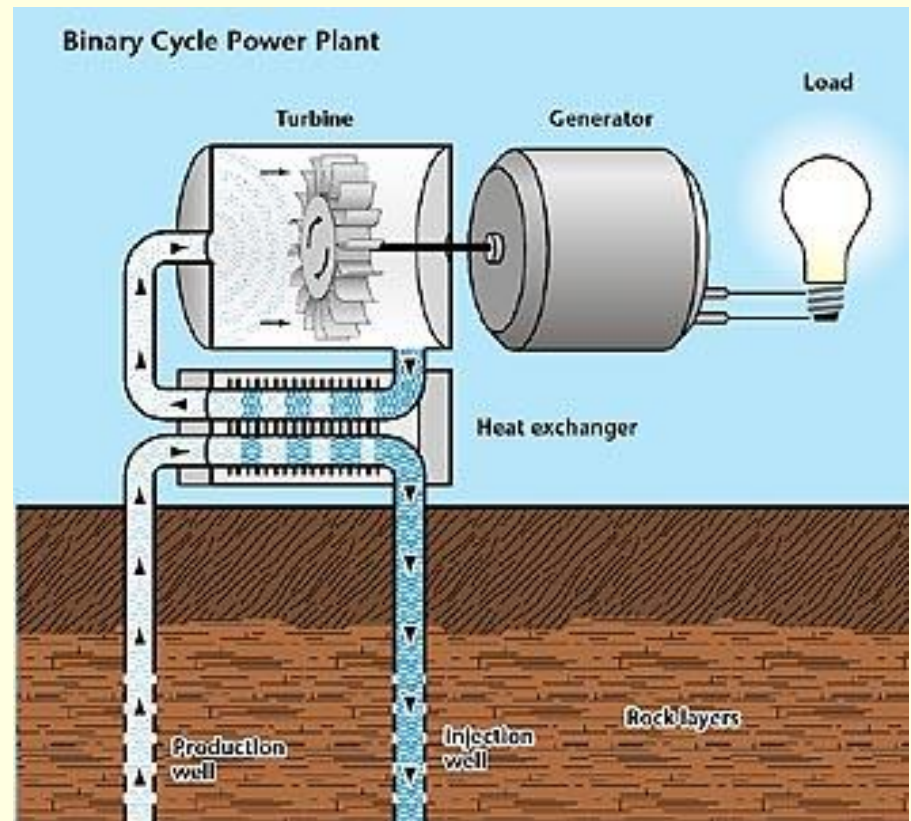
Steamboat Springs,
Εργοστάσιο NV

Αρχικές συνθήκες-
υγρό H_2O @ $240^{\circ}C$,
Πίεση 24 MPa
(υδροστατική πίεση)

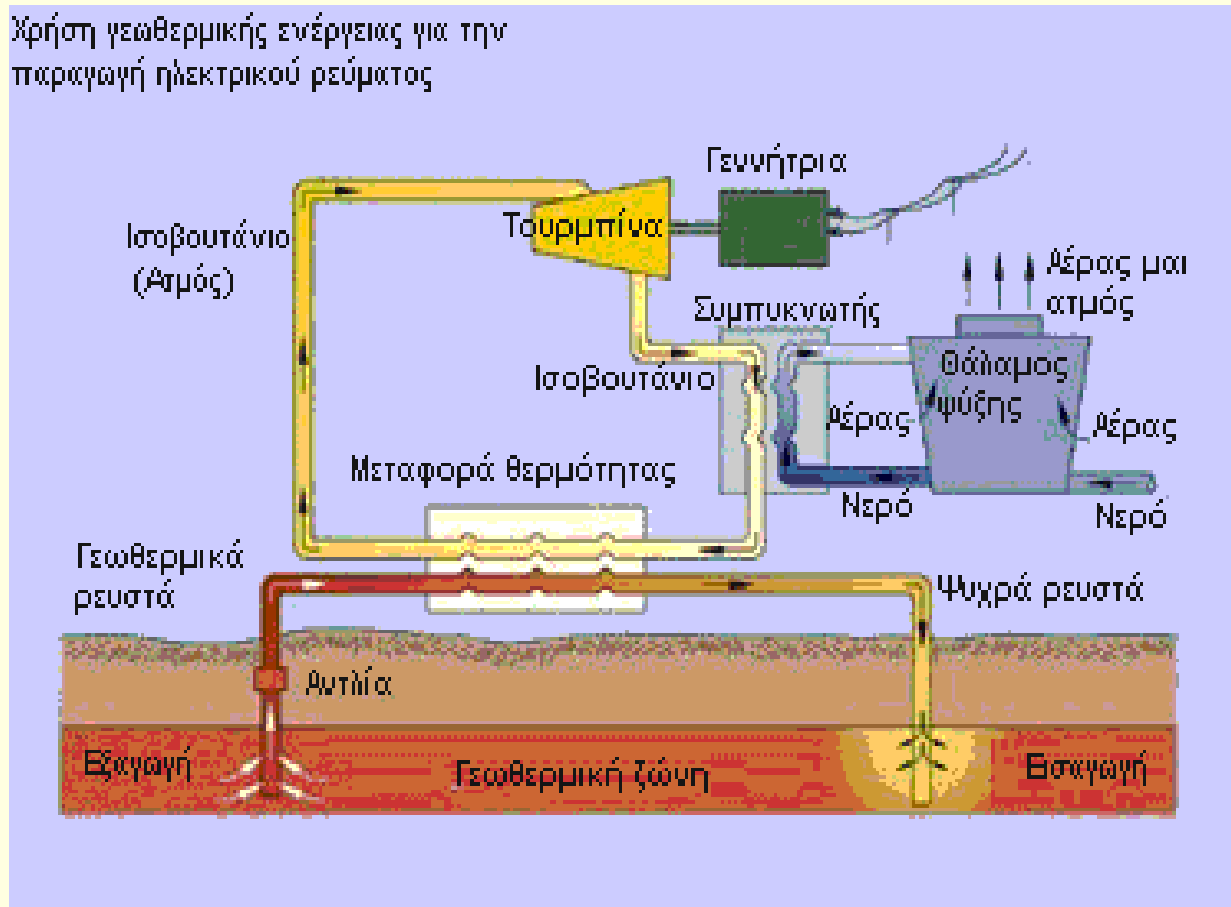


Γεωθερμική μονάδα δυαδικού κύκλου

Μετρίως θερμό νερό (<175 °C) περνάει από εναλλάκτη θερμότητας
Μεταφορά θερμότητας σε δευτερεύον ρευστό (υγρά χαμηλού Σ.Ζ. όπως προπάνιο, ισοβουτάνιο) το οποίο εξατμίζεται ("εκτόνωση")



Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος



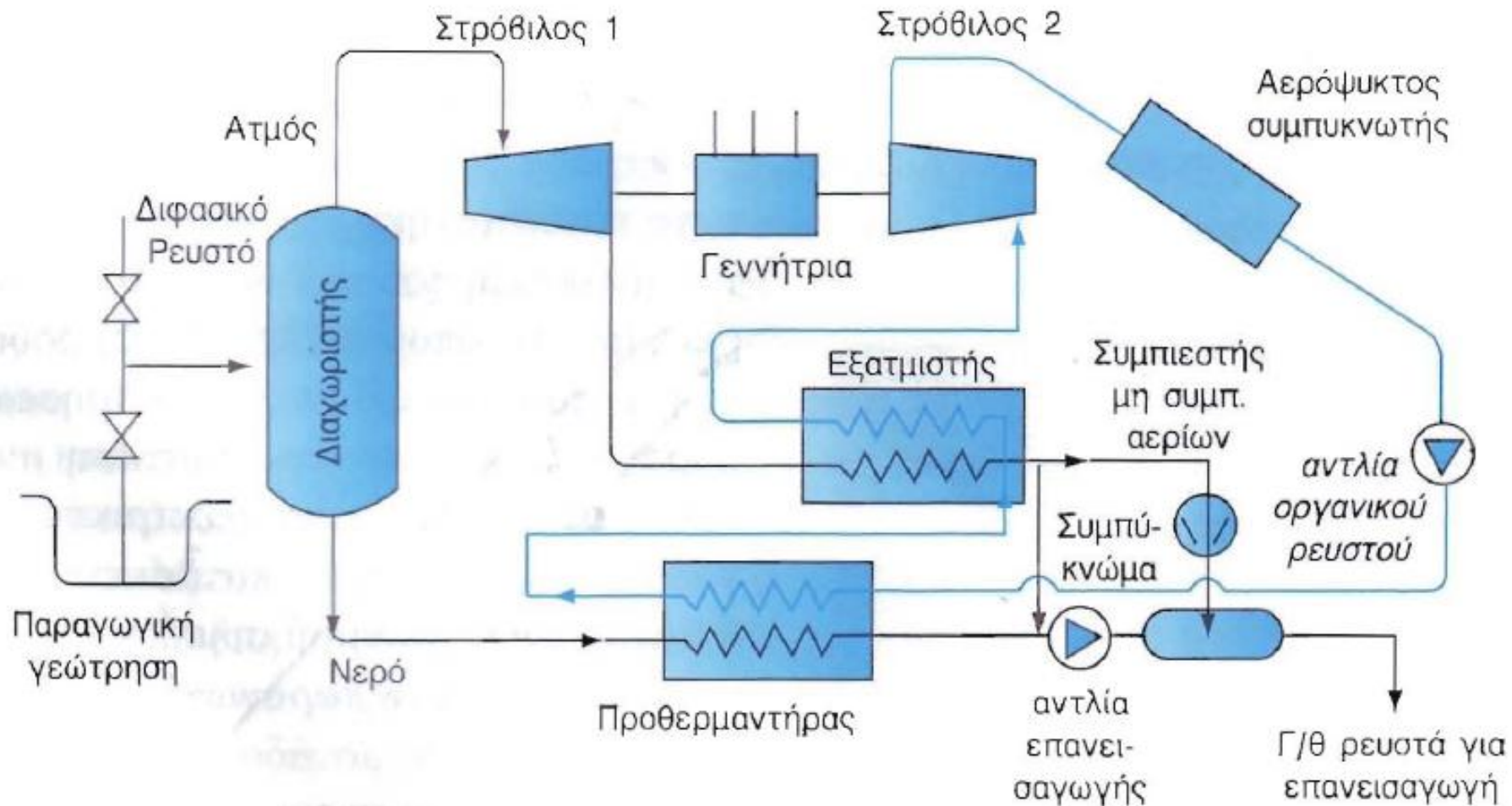
Διαδικός κύκλος ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (για γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 85-175°C).

Γεωθερμική μονάδα δυαδικού κύκλου

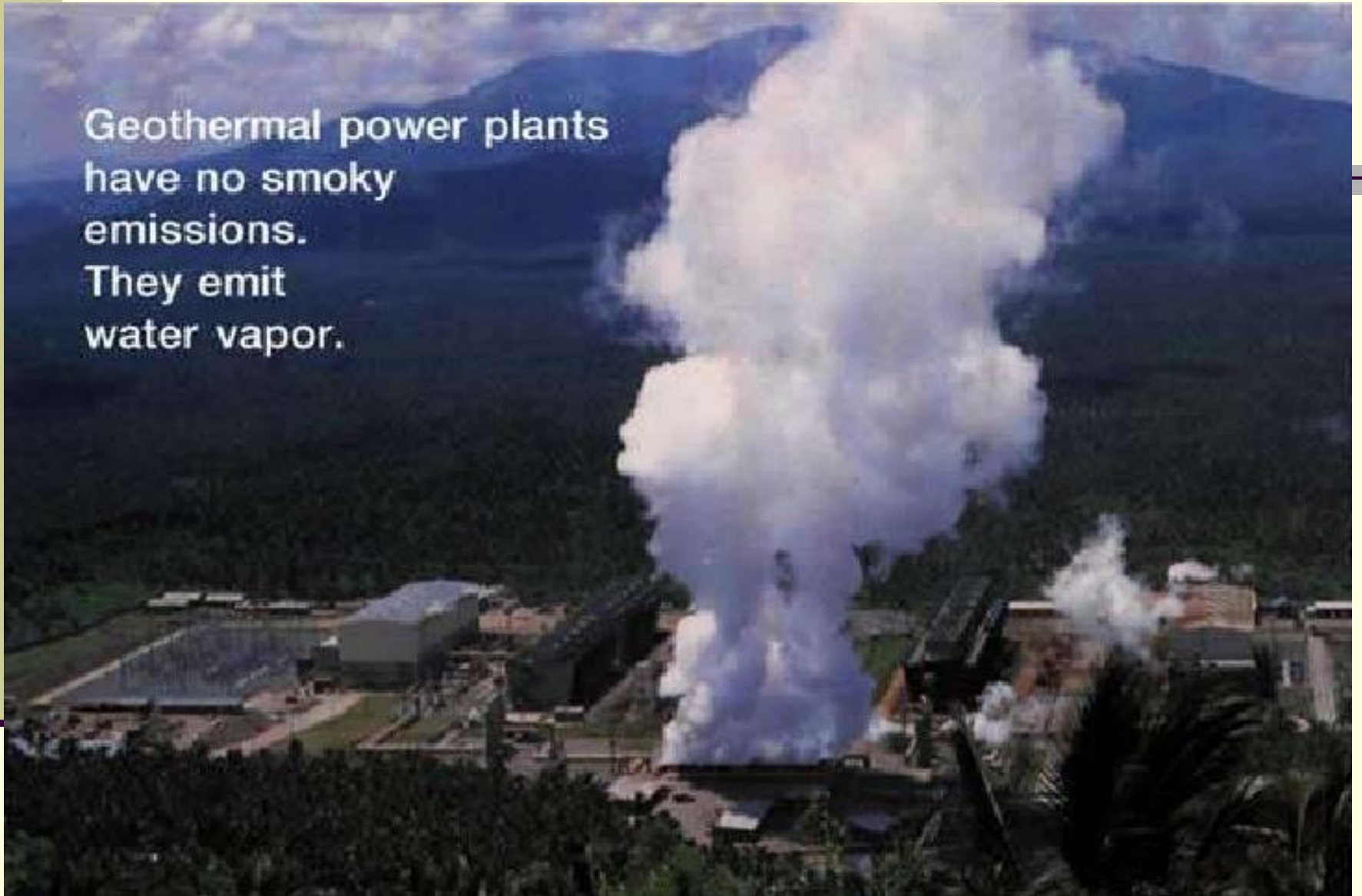
- Υψηλότερο κόστος εγκατάστασης
 - Συσκευές υψηλής αποδοτικότητας.
- Το νερό δεν έρχεται σε επαφή με στροβιλογεννήτριες
- Το νερό επιστρέφεται κατ' ευθείαν στον ταμιευτήρα
- Δεν υπάρχουν εκπομπές



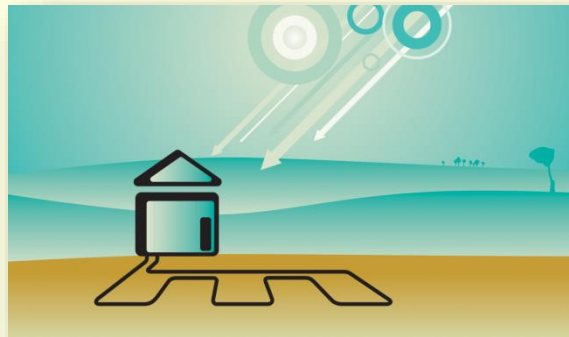
Συνδυασμένος κύκλος ατμού δυναμικού συστήματος



Geothermal power plants
have no smoky
emissions.
They emit
water vapor.



Γεωθερμικές αντλίες Θερμότητας



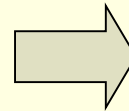
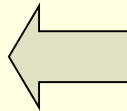
Εισαγωγή - Ορισμοί

- **Αβαθής ή κανονική γεωθερμία** (earth energy, low grade geothermal energy): η μορφή της γ/θ ενέργειας κατά την οποία ενέργεια λαμβάνεται (ή απορρίπτεται) από μικρά βάθη με τη χρήση αντλιών θερμότητας, **ΓΑΘ** (geothermal heat pumps, geo-exchange, ground-source heat pumps).
- Στη χώρα μας η ετήσια θερμοκρασία υπεδάφους σε βάθος >2 m είναι 16-20°C. Ποια είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος;
- Κύριος λόγος για την εγκατάσταση συστήματος ΓΑΘ είναι η **εξοικονόμηση ενέργειας** (που μπορεί να φτάσει ακόμη και το 60%)
- Οι ΓΑΘ γνωρίζουν σήμερα πραγματική άνθηση, σημειώνοντας σε παγκόσμια κλίμακα ετήσια αύξηση σχεδόν μεγαλύτερη του 25%.

Σύμφωνα με τη νέα ισχύουσα νομοθεσία

25°C

Αβαθής Γεωθερμία



Γεωθερμία Μέσης
&
Υψηλής Ενθαλπίας

Αφορά **ΟΛΟΚΛΗΡΗ** την Ελληνική
επικράτεια

Αφορά συγκεκριμένες περιοχές στην
Ελλάδα

Ιστορικό

- Ήδη από τα τέλη του 18^{ου} αι. είχε διαπιστωθεί ότι η θερμοκρασία του εδάφους (στα 27 m) παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια του έτους.
- Το 1852 ο **Λόρδος Kelvin** έδωσε τις θεωρητικές βάσεις για τις αντλίες θερμότητας. Όμως δεν μπόρεσε να προβλέψει τη χρήση τους για θέρμανση παρά μόνο για ψύξη στις αποικίες.
- Το **πρώτο σύστημα ΓΑΘ** (άμεσης εξάτμισης) σε οικία λειτούργησε στην Ινδιανάπολη των ΗΠΑ το **1945** (με οριζόντιο εναλλάκτη θερμότητας). Ένα χρόνο αργότερα υλοποιήθηκε το πρώτο «εμπορικό» σχέδιο στο Portland (Oregon).
- Σημαντική ώθηση δόθηκε αμέσως μετά την πετρελαική κρίση του 1973.

Γιατί να χρησιμοποιήσουμε ΓΑΘ;

(α) Όφελος για τον ιδιοκτήτη του σπιτιού

- Μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης (κατά 25-60%)
- Βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος (άνεση) και της ασφάλειας (όχι καύση), μείωση θορύβου, απουσία εξωτερικών εγκαταστάσεων, χαμηλότερο κόστος συντήρησης.
- Απεξάρτηση από τη διακύμανση των συμβατικών καυσίμων.
- Φορολογικά κίνητρα ή επιδότηση (:)

(β) Κοινωνικό όφελος

- Ορθολογικότερη χρήση της ενέργειας
- Μειωμένα φορτία αιχμής για κλιματισμό
- Μείωση εκπομπών αέριων ρύπων
- «Πράσινη» τεχνολογία



Χρήσεις Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας

- Σήμερα (2010) στον κόσμο (>44 χώρες) > 3.000.000 ΓΑΘ (μέση τιμή 12 kW). Περιοχή: 5.5 kW - 150 kW [Lund et al, 2011]
- Αύξηση x7 σε σχέση με το 2000.
- Κυρίως για θέρμανση-ψύξη σε σπίτια, σχολεία, εμπορικά κτίρια και κέντρα κτλ.
- Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης
- Θέρμανση θερμοκηπίων, κολυμβητηρίων, αφύγρανση χώματος κ.α.
- Για τις μεσογειακές χώρες, τα συστήματα ΓΑΘ αποδεικνύεται ότι είναι περισσότερο οικονομικά στο κύκλο της ψύξης, με βελτίωση κατά 40-60% σε σχέση με τις συμβατικές αντλίες αέρα-αέρα ή αέρα-νερού.



Χρήσεις Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας

Γενικά διακρίνονται από το υψηλότερο κόστος εγκατάστασης, αλλά παρουσιάζουν μικρότερο κόστος λειτουργίας σε σχέση με τις συμβατικές τεχνολογίες.

Οι ΓΑΘ χρησιμοποιούνται συνήθως όταν:

- απαιτείται θέρμανση και ψύξη
- Υπάρχουν σημαντικές εποχιακές αλλαγές θερμοκρασίας
- Έχουμε νέο κτίριο ή ριζική ανακαίνιση
- Για θέρμανση: Χαμηλό κόστος ηλεκτρισμού και υψηλή τιμή πετρελαίου ή φυσικού αερίου
- Για ψύξη: Υψηλή τιμή ηλεκτρισμού και χρέωση σε ώρες αιχμής



Χρήσεις Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας

- **Ευρώπη (Κεντρική-Βόρεια):** κυρίως διαστασιολογούνται για το φορτίο θέρμανσης.
 - ▶ 1800-5000 ώρες φορτίου/έτος.
 - ▶ Συντελεστής λειτουργίας: 0,2-0,6
- **Η.Π.Α.:** κυρίως διαστασιολογούνται για το φορτίο ψύξης. Υπερδιαστασιολόγηση ως προς τη θέρμανση.
 - ▶ 2000 ώρες φορτίου/έτος.
 - ▶ Συντελεστής λειτουργίας: 0,23
- Κυριότερες χώρες εφαρμογής (Lund et al., 2011):

Χώρα	MW	Μονάδες
Η.Π.Α	12000	1.000.000
Κίνα	5210	434.000
Σουηδία	4460	372.000



Αρχή Λειτουργίας Αντλίες Θερμότητας

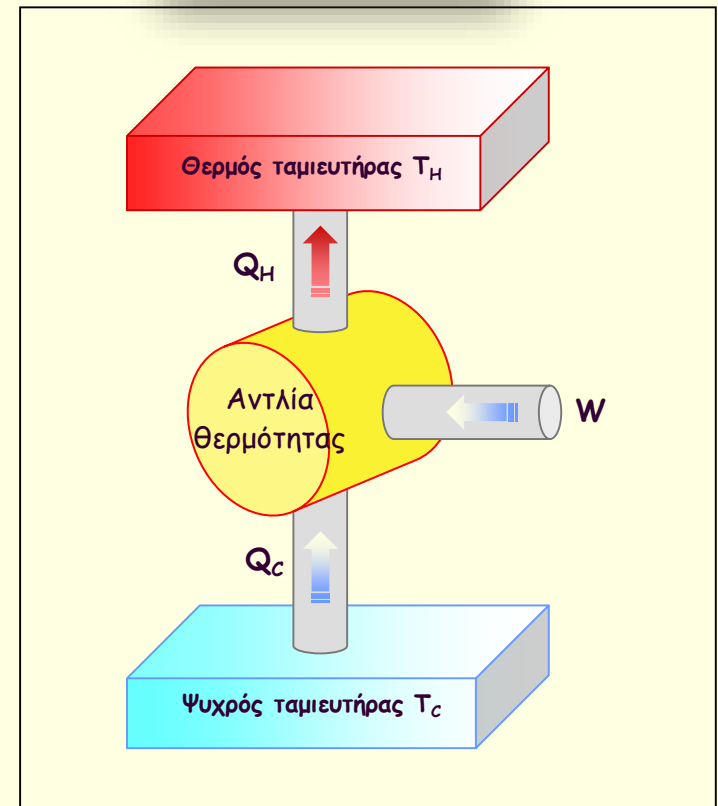
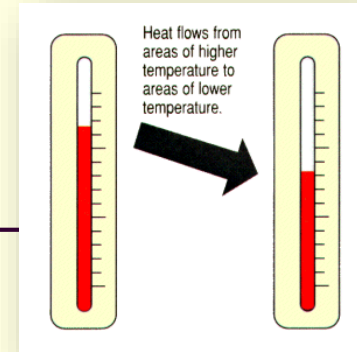
■ **Αντλία Θερμότητας** (heat pump) είναι μια συσκευή που έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία (όπως το ψυγείο)

$$Q_H = Q_L + W$$

■ **Συντελεστής απόδοσης ή λειτουργίας** (COP, coefficient of performance)

$$COP = \frac{\text{Θερμό αποτέλεσμα}}{\text{Έργο εισόδου}} = \frac{Q_H}{W}$$

■ Οι περισσότερες ΑΘ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για ψύξη (cooling)



Γενική αρχή της αντλίας θερμότητας

Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

1 kWh ηλεκτρικής
ενέργειας

Δίνουν:
4-6 kWh ενέργειας
στο κτίριο

Συν:
3-5 kWh ενέργεια
από τη γη

«Απόδοση» 400-600%

SPF (seasonal performance factor)= ο υπολογιζόμενος παράγοντας **μέσης εποχιακής απόδοσης** για τις συγκεκριμένες αντλίες θερμότητας.

«Απόδοση» ΓΑΘ

Επειδή μπορούμε να γράψουμε για το COP:

$$COP_{\text{heating}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \approx \frac{T_H}{T_H - T_C}$$

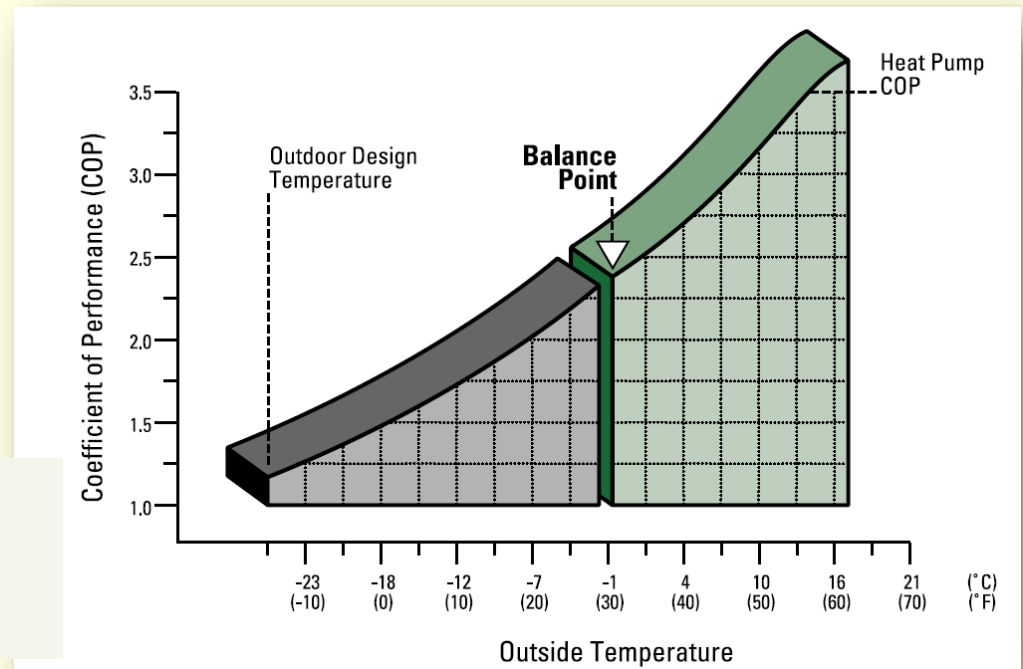
$$COP_{\text{cooling}} = \frac{T_C}{T_H - T_C}$$

$$COP_{\text{heating}} = COP_{\text{cooling}} - 1$$

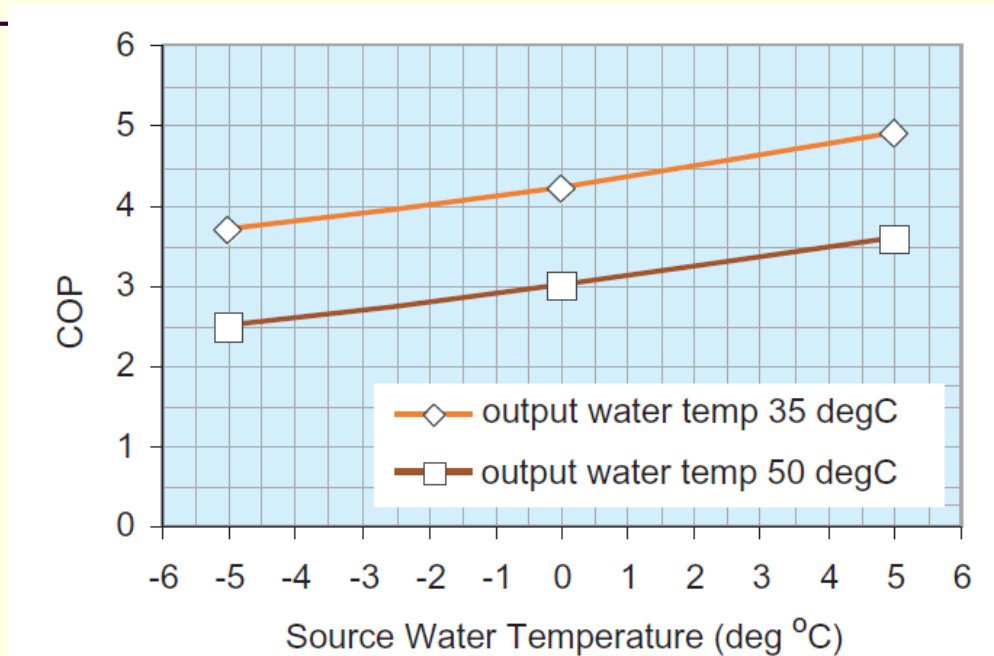
Παράδειγμα: $T_C = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$, $T_H = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K} \Rightarrow COP = 6,46$

Είναι προφανές ότι η απόδοση μιας Α.Θ. αυξάνει καθώς το T_C αυξάνει και το T_H μειώνεται
COP: 1,5 μέχρι και 7

*Το COP αναφέρεται για συγκεκριμένες συνθήκες εισόδου & εξόδου, π.χ. Β0/W35 (θερμ. νερού στον εξατμιστή 0°C , θερμ. εξόδου νερού από το συμπυκνωτή 35 C).



«Απόδοση» ΓΑΘ

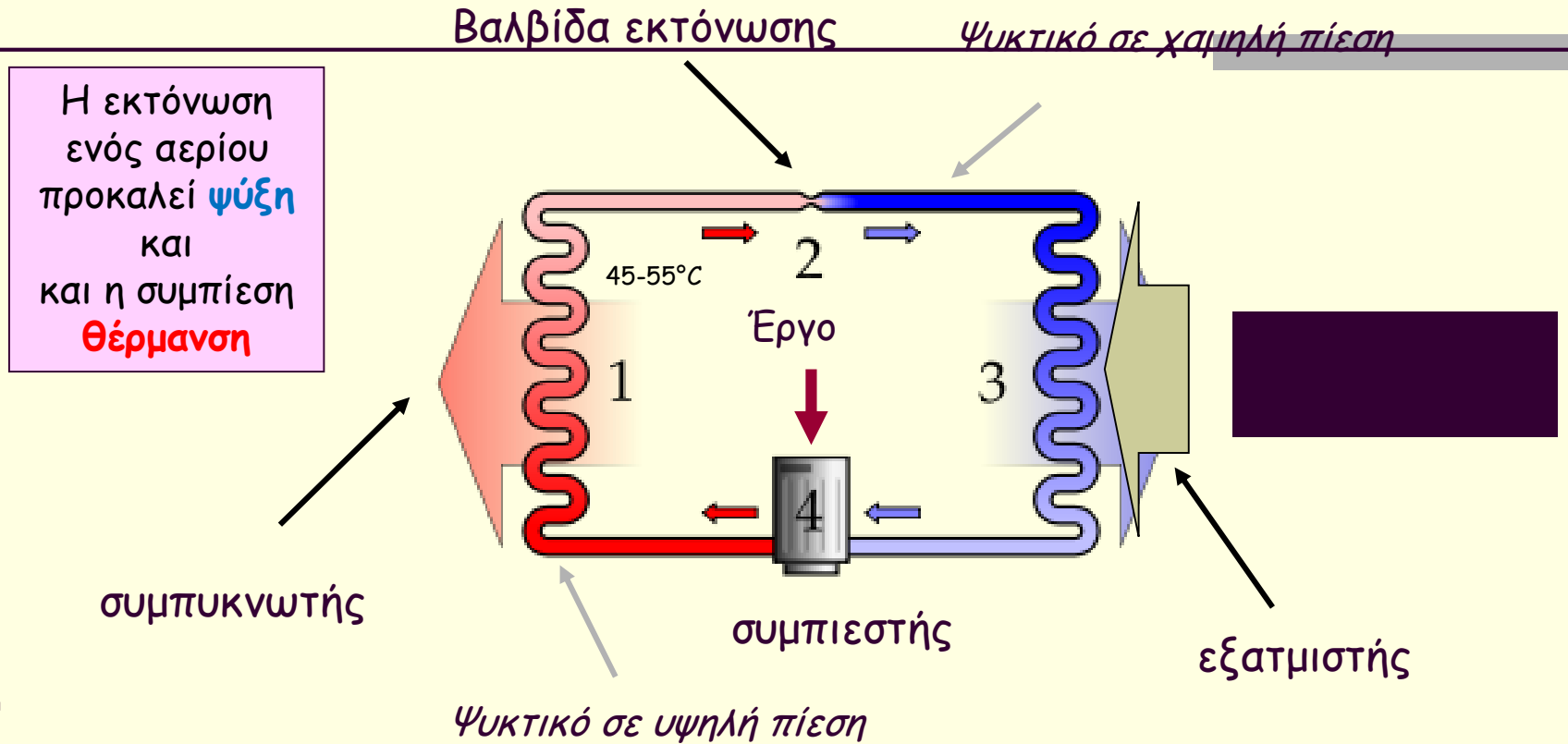


Τιμές COP για τυπικά μικρά συστήματα ΓΑΘ

Πόσο αειφορική είναι η τεχνολογία ΓΑΘ;

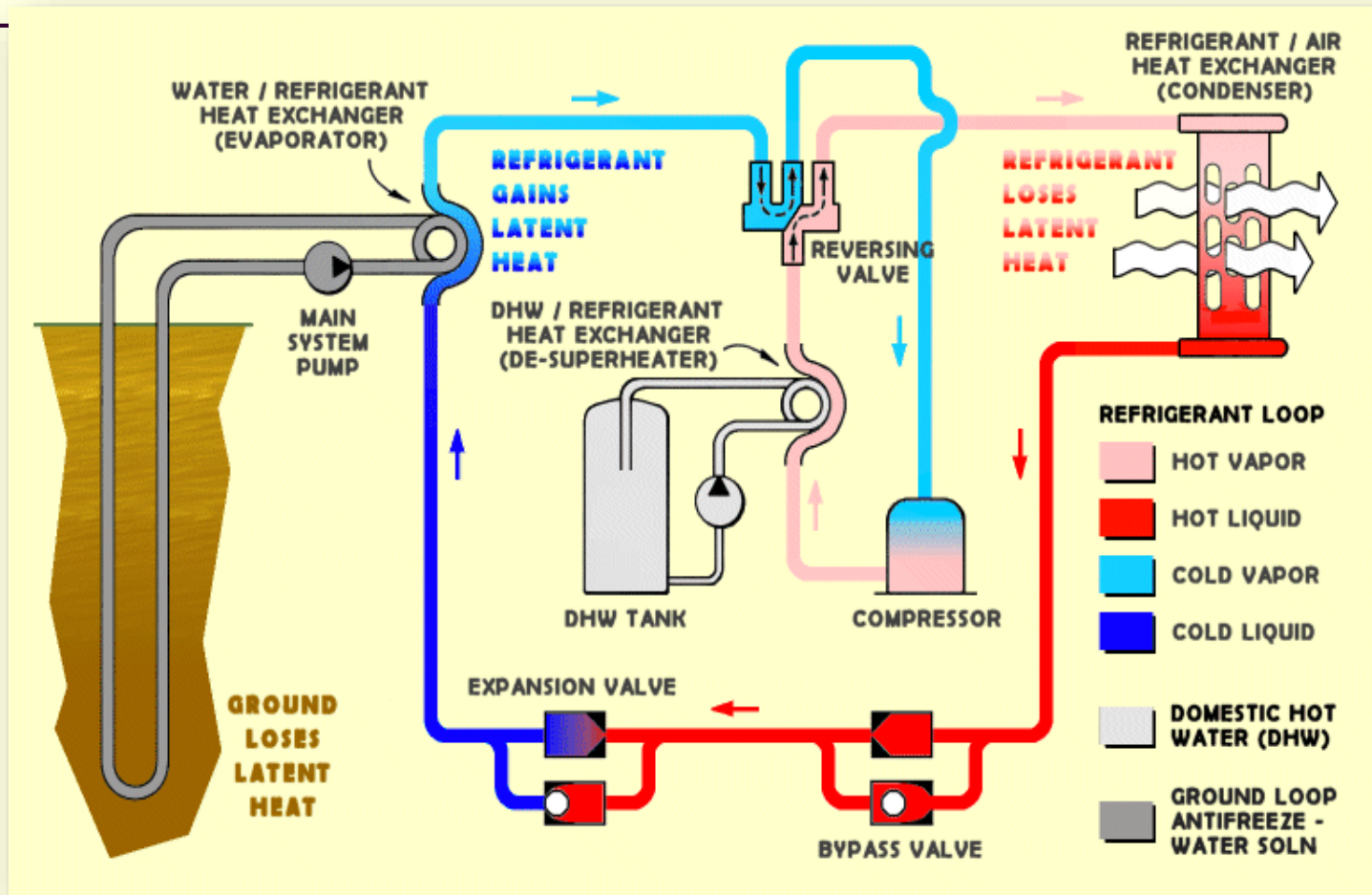
- Όσο μεγαλύτερο το COP (ή καλύτερα ο SPF) τόσο περισσότερο αειφορικό γίνεται ένα σύστημα ΓΑΘ
- Όσο το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από ΑΠΕ, αυξάνει, τόσο περισσότερο αειφορική γίνεται η τεχνολογία ΓΑΘ.
- Παράδειγμα I: σύστημα με $SPF=4$ και παραγωγή ηλεκτρισμού από ατμοηλεκτρικές μονάδες άνθρακα ή πετρελαίου με απόδοση 35%, τότε η ΓΑΘ είναι κατά 1,4 φορές πιο «αποδοτική ενεργειακά» από ένα λέβητα φυσικού αερίου.
- Παράδειγμα II: σύστημα με $SPF=4$ και παραγωγή ηλεκτρισμού κατά 50% από μονάδες συνδυασμένου κύκλου με φυσικό αέριο με απόδοση 45%, και κατά 50% από ΑΠΕ, τότε η ΓΑΘ είναι κατά 3,6 φορές πιο αποδοτική ενεργειακά από ένα λέβητα φυσικού αερίου.

Λειτουργία μιας Α.Θ.

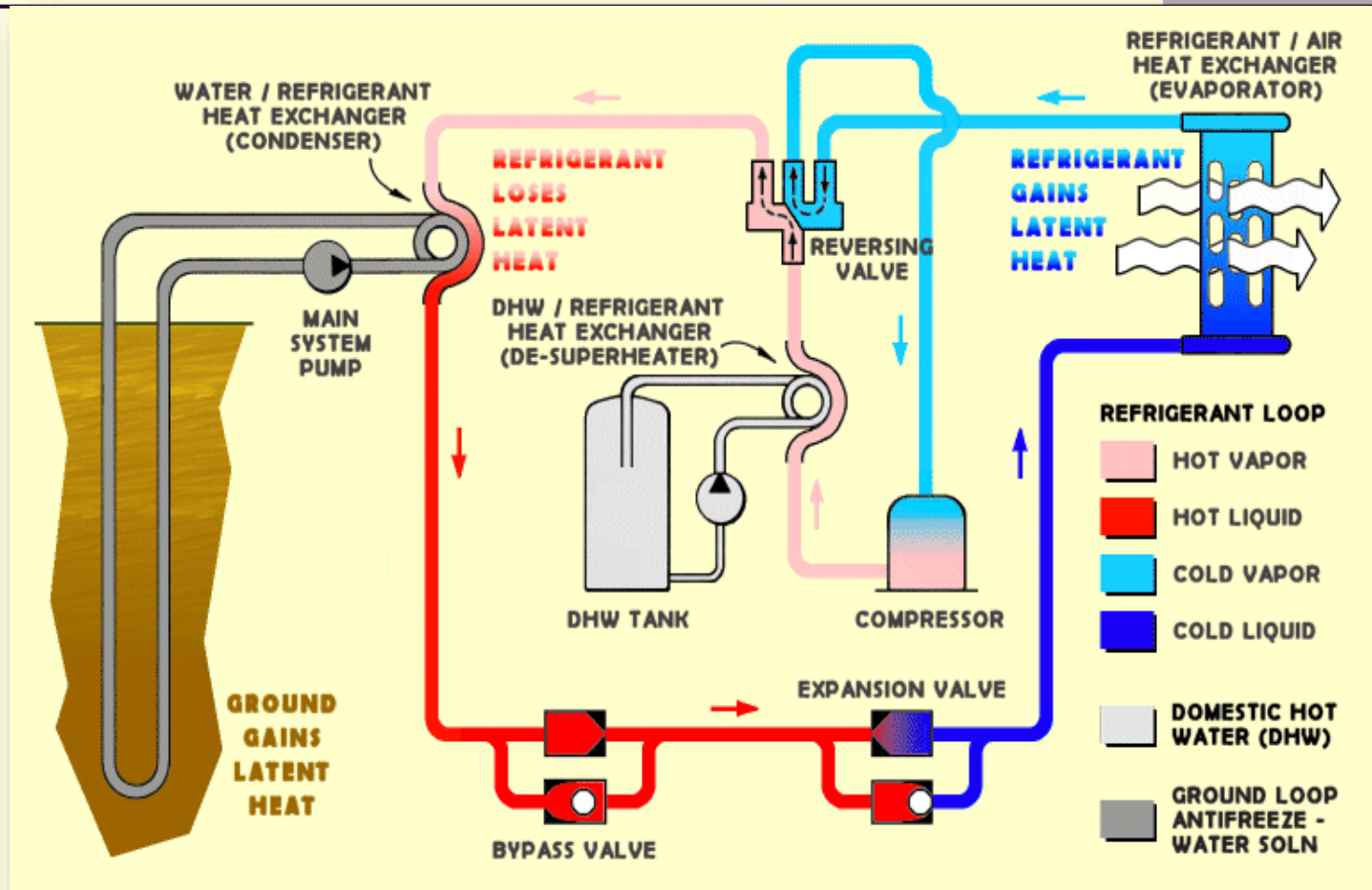


Θέρμανση σπιτιού με ΑΘ: το 1 εσωτερικά στο σπίτι και το 3 εξωτερικά
[Ψύξη με ΑΘ: το 1 εξωτερικά και το 3 εσωτερικά]

Λειτουργία μιας Γ.Α.Θ. για θέρμανση

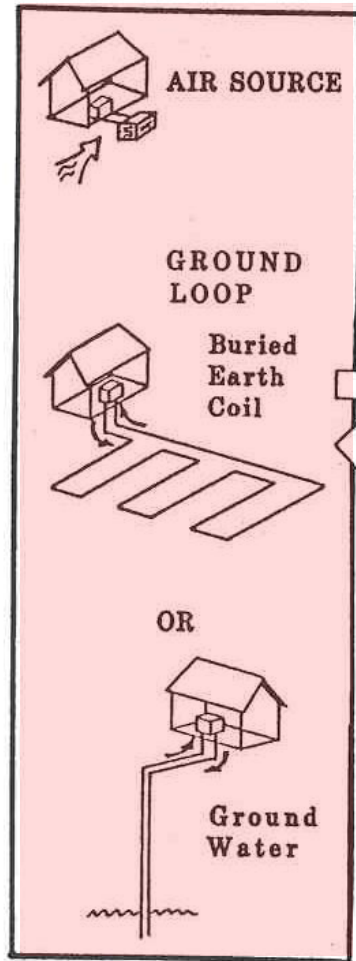


Λειτουργία μιας Γ.Α.Θ. για ψύξη

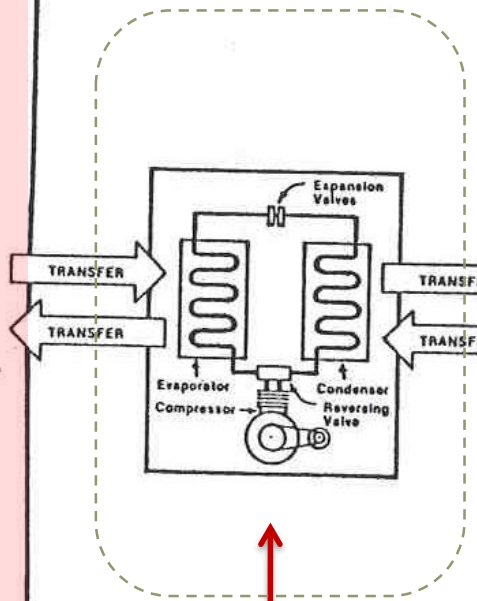


Υποσυστήματα ενός συστήματος αντλίας θερμότητας

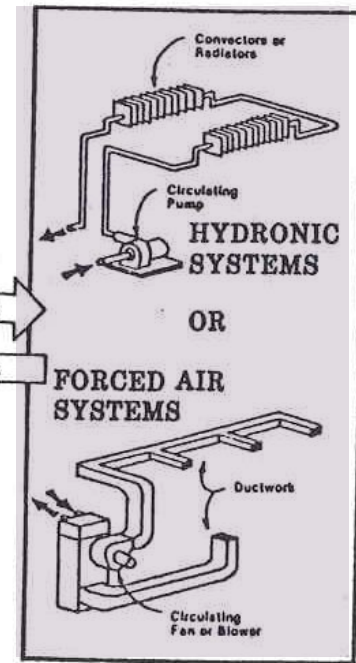
Υποσύστημα
Θερμικής
πηγής



AIR/WATER COUPLING



Υποσύστημα
μεταφοράς
Θερμότητας
(Α.Θ.)



* HEATING/COOLING DISTRIBUTION

υποσύστημα
θέρμανσης-
ψύξης του
χώρου

Τύποι αντλιών θερμότητας

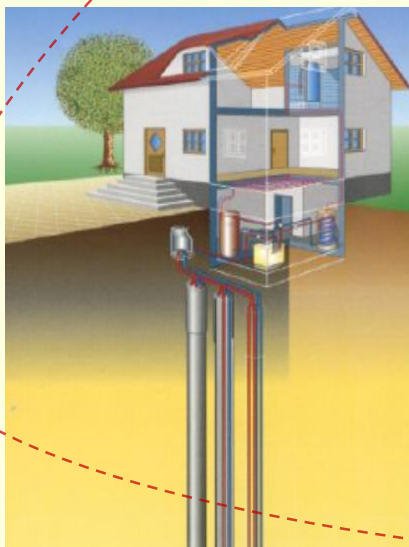
Αέρας



Υπόγειο
νερό κτλ.



Υπέδαφος



Γεωθερμικές
Α.Θ.

Πλεονεκτήματα των ΓΑΘ έναντι των αεροθερμικών Α.Θ.

- Καταναλώνουν μικρότερη ενέργεια για τη λειτουργία τους
- Δεν απαιτείται συμπληρωματική ενέργεια σε ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Χρησιμοποιούν λιγότερες ποσότητες ψυκτικού
- Δεν υπάρχουν μονάδες που εκτίθενται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες
- Μεγαλύτερος χρόνος ζωής.

Μειονεκτήματα των ΓΑΘ έναντι των αεροθερμικών Α.Θ.

- Υψηλότερο αρχικό κόστος εγκατάστασης
- Έλλειψη πεπειραμένων σχεδιαστών και εγκαταστατών συστημάτων ΓΑΘ
- Έλλειψη κατανόησης από την πολιτεία για την υποστήριξη αυτής της τεχνολογίας.

Τρόποι διανομής της θέρμανσης/ψύξης

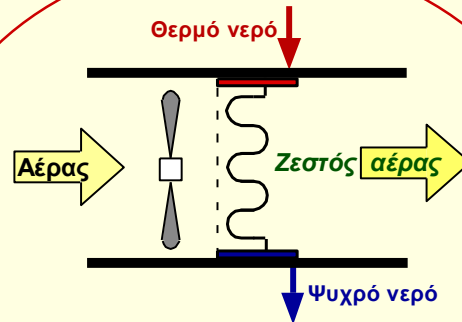
Η επιλογή του συστήματος επαφίεται στο χρήστη ή στους περιορισμούς που υφίστανται .

(α) Σύστημα κυκλοφορίας αέρα με ανεμιστήρα (fan coil)

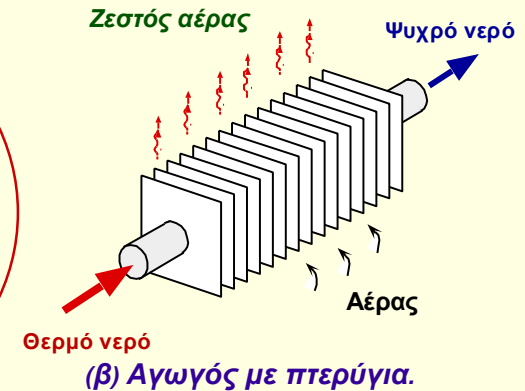
(β) Σώματα επαγωγής (convectors)

(γ) Χρήση θερμαντικών σωμάτων (radiators)

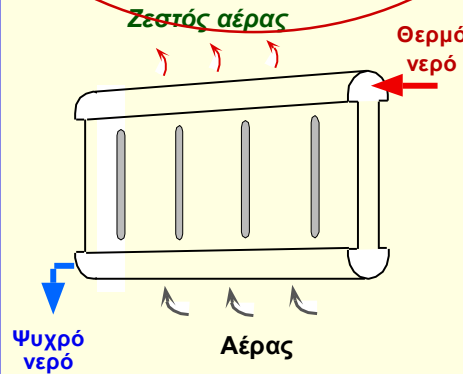
(δ) Ενδοδαπέδιες σωληνώσεις (radiant floors), ενδοτοιχίες



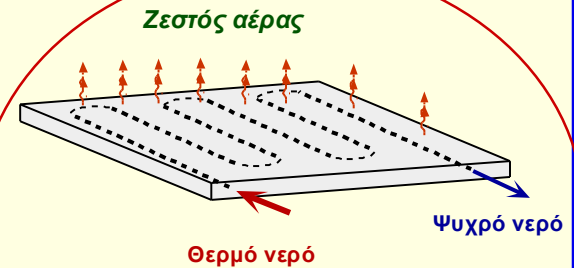
(α) Αερόθερμο.



(β) Αγωγός με πτερύγια.



(γ) Θέρμανση με σώματα.



(δ) Ενδοδαπέδια θέρμανση.

Τρόποι διανομής της θέρμανσης/ψύξης

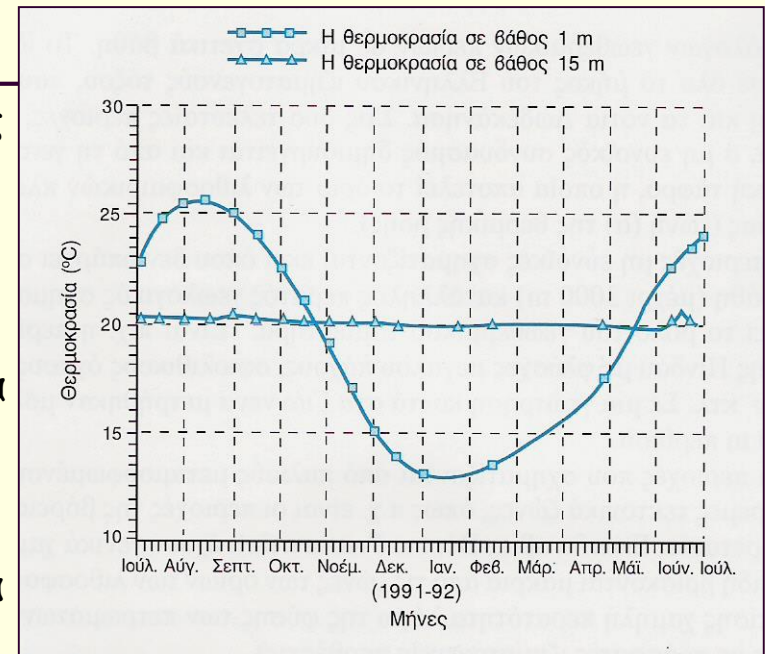
Τυπικές θερμοκρασίες στα συστήματα διανομής της θερμότητας

Distribution system	Delivery temperature °C
Underfloor heating	30-45
Low temperature radiators	45-55
Conventional radiators	60-90
Air	30-50



Κατανομή Θερμοκρασίας στο υπέδαφος

- Η κατανομή της Θερμοκρασίας στο υπέδαφος, παίζει σημαντικό ρόλο στις εφαρμογές κανονικής γεωθερμίας.
- Η γνώση του τρόπου της κατανομής της Θερμοκρασίας μέσα στο υπέδαφος, για οποιοδήποτε τύπο εδάφους, είναι απαραίτητη για τη σωστή αξιοποίηση της γ/θ ενέργειας.
- Χαρακτηριστικά που πρέπει να είναι γνωστά για το σχεδιασμό συστημάτων ΓΑΘ είναι: **πυκνότητα των υλικών του υπεδάφους, η θερμική αγωγιμότητα, η ειδική θερμότητα**
Αυτά εξαρτώνται από πολλές άλλες παραμέτρους, π.χ. πορώδες, ύπαρξη νερού, αναπτυσσόμενες πιέσεις και ομοιογένεια των υλικών.



Μετρήσεις θερμοκρασίες εδάφους σε βάθος 1 m και 15 m στο Κορωπί Αττικής (Βραχόπουλος και Παπαγεωργάκης, 1998).

Στην Ελλάδα η θερμοκρασία του αδιατάρκτου εδάφους είναι 16-20°C.

Κατανομή Θερμοκρασίας στο υπέδαφος

Οι γεωλογικοί παράμετροι και οι **Θερμικές ιδιότητες** που λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των θερμικών χαρακτηριστικών εδαφών και πετρωμάτων είναι:

- Τα φυσικά χαρακτηριστικά των εδαφών και των πετρωμάτων
- Η **πραγματική πυκνότητα των συστατικών του εδάφους, ρ**
- Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους (bulk density).
- Το πορώδες του εδάφους (porosity).
- Η υγρασία του εδάφους (soil moisture content).
- Η ογκομετρική περιεκτικότητα σε νερό (volumetric water content).
- Η ειδική θερμότητα, c_p (specific heat capacity).
- Η θερμική αγωγιμότητα, k (thermal conductivity).

$$\text{Θερμική διαχυτότητα του εδάφους } \alpha = k / \rho c_p$$

Κατανομή Θερμοκρασίας στο υπέδαφος

Ενδεικτικές τιμές των θερμικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών (Βραχόπουλος κ.α., 2011).

Υλικό	Φαινόμενη πυκνότητα (*10 ³ kg/m ³)	Ειδική θερμότητα (J/kg/K)	Θερμοχωρητικότητα (*10 ³ J/m ³ /K)	Θερμική αγωγιμότητα (W/m/K)
Χαλαζίας	2,65	733	1942	8,4
Εδάφη	2,65	733	1942	2,9
Εδάφη με οργανική ύλη	1,30	1926	2503	0,25
Νερό	1,00	4186	4186	0,6
Πάγος	0,900	2093	1883	2,5
Αέρας	0,0012	1005	1,20	0,026

- Για τον υπολογισμό του δυνητικού θερμικού δυναμικού σε κάθε περιοχή γίνεται χρήση γεωλογικών χαρτών.
- Υπάρχουν πίνακες με ενδεικτικές τιμές των θερμικών ιδιοτήτων εδαφών και πετρωμάτων.
- Επιτόπια αποτύπωση των πετρωμάτων και ακολούθως καλύτερη αναγνώριση με τη γεώτρηση.

Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας - Τύποι γεωσυλλεκτών



Τα κύρια σχήματα με τα οποία λειτουργούν οι ΓΑΘ είναι:

(α) Συστήματα κλειστού βρόχου ή κυκλώματος (closed loop systems) ή συστήματα συζευγμένα με το υπέδαφος (ground-coupled systems).

- Κυριότερο πλεονέκτημα: ανεξαρτησία από την ύπαρξη υδροφορίας και από την ποιότητα του νερού.

- **Κατακόρυφα και οριζόντια συστήματα** (και πολλές άλλες εφαρμογές, π.χ. κωνικός εναλλάκτης, γεώτρηση με κλίση, ακόμη και σε πασσάλους-energy piles). Και άμεσης εξάτμισης (Direct expansion), χωρίς τη χρήση εναλλάκτη.

(β) Συστήματα ανοικτού βρόχου ή κυκλώματος (open loop systems).

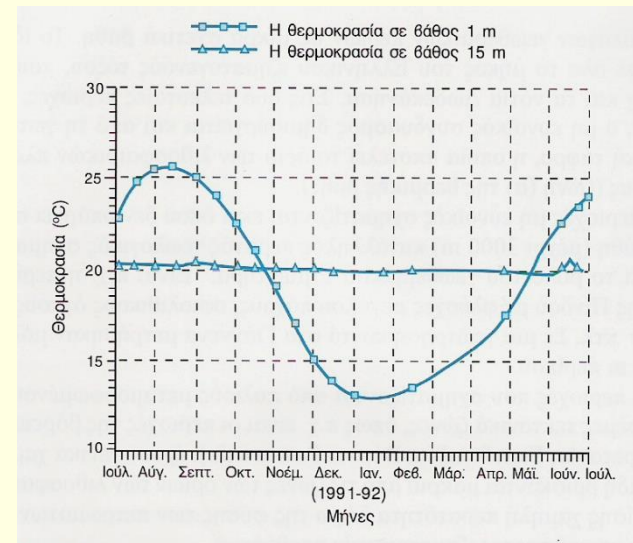
Χρησιμοποιείται νερό από γεωτρήσεις, ποτάμια, θάλασσα, λίμνες, εγκαταλειμμένα ορυχεία, από σήραγγες κτλ. Κύριο πλεονέκτημα: αποδοτικότερη μεταφορά θερμότητας .

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια

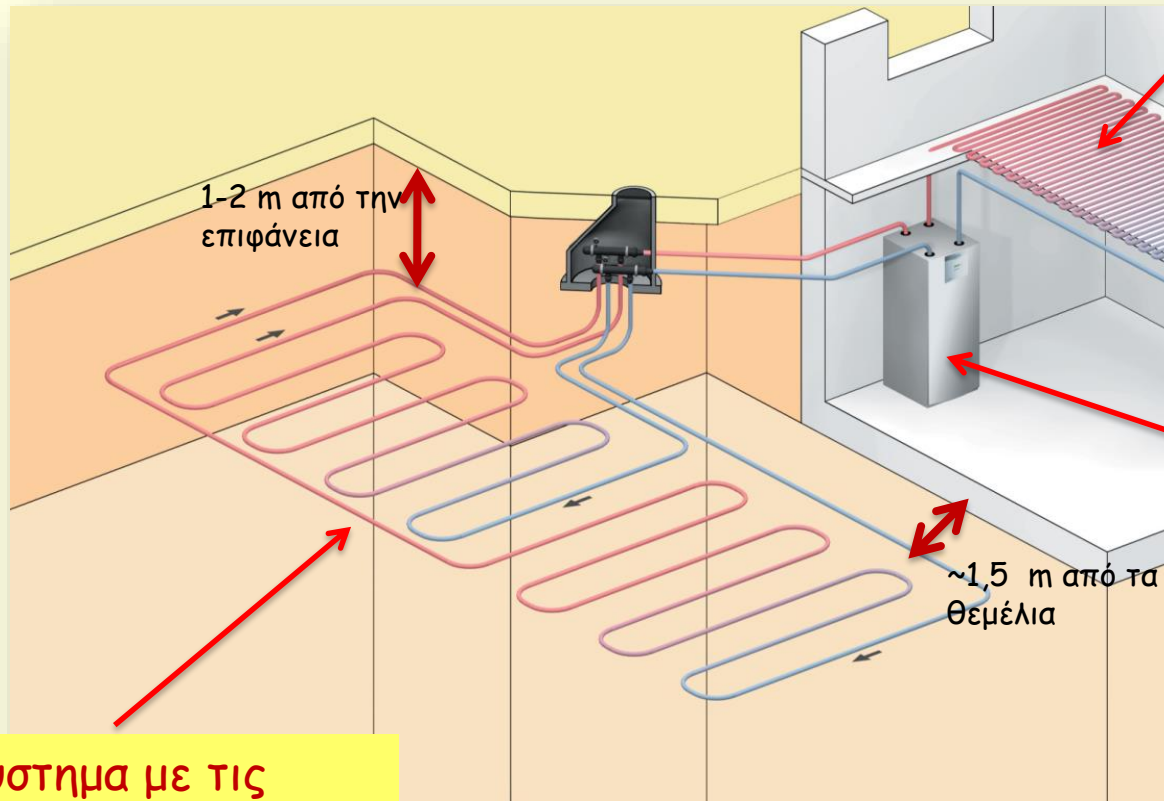
Η θερμοκρασία του εδάφους με το βάθος και την ημέρα

$$T_g(X_s, t) = \bar{T}_g - A_s \exp\left(-X_s \sqrt{\frac{\pi}{365\alpha}}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{365} \left[t - t_0 - \frac{X_s}{2} \sqrt{\frac{365}{\pi\alpha}}\right]\right)$$

- T_g είναι η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους
- A_s η ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους ($T_{g,max} - T_{g,min}$)
- t_0 σταθερά φάσης (σε ημέρες)
- α θερμική διαχυτότητα του εδάφους ($=k/\rho C_p$)
- k θερμική αγωγιμότητα του εδάφους
- ρ πυκνότητα του εδάφους
- c_p η ειδική θερμότητά του



Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια

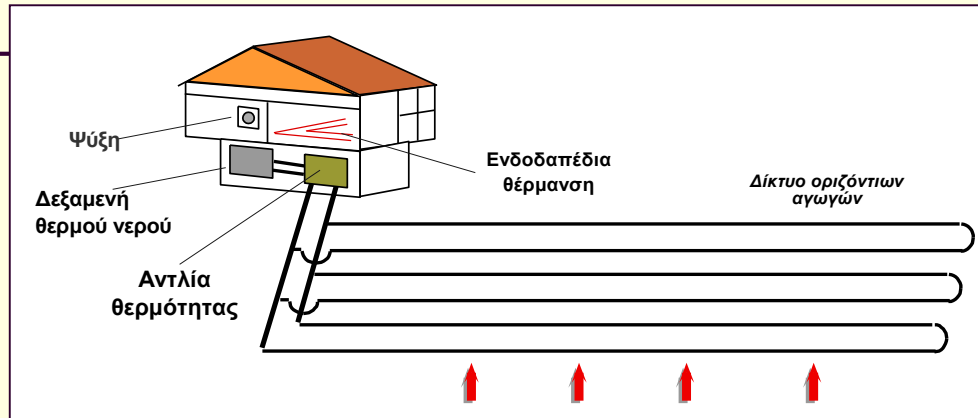


υποσύστημα θέρμανσης-ψύξης του χώρου

Αντλία θερμότητας

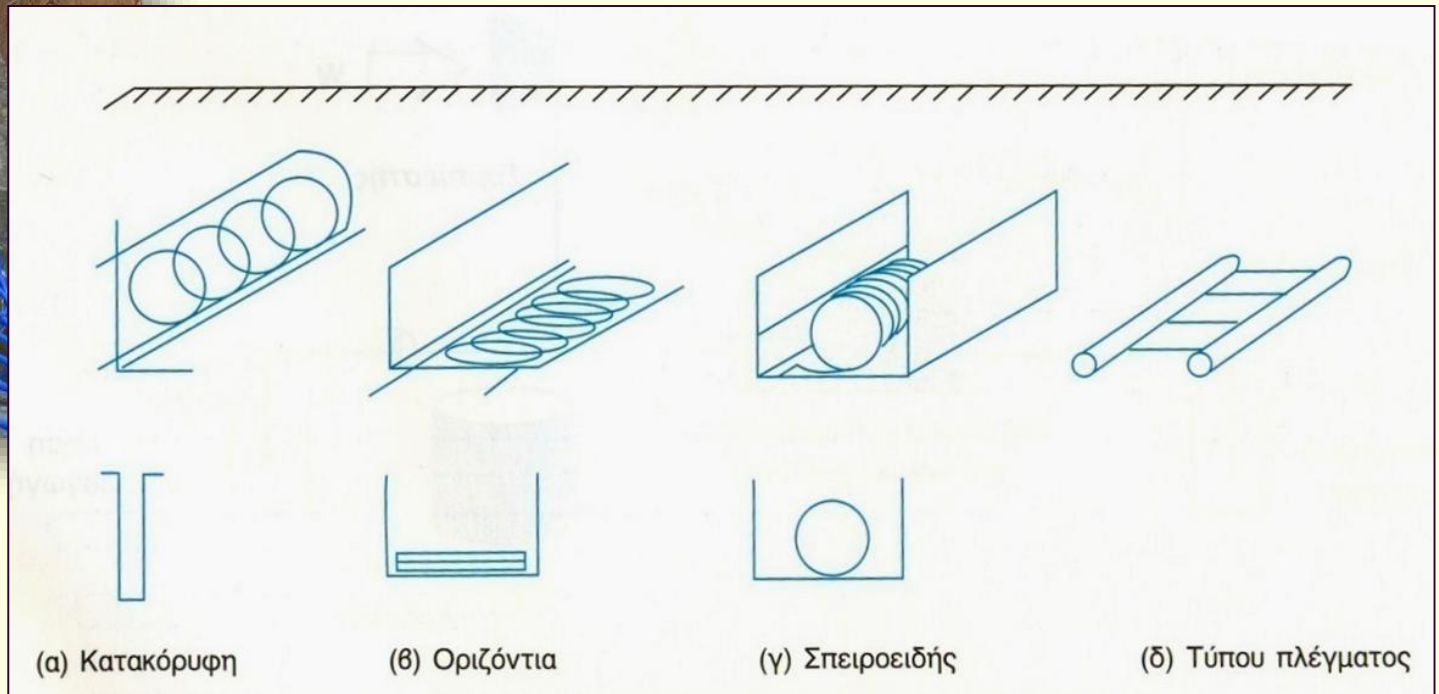
το υποσύστημα με τις σωληνώσεις στο έδαφος

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια



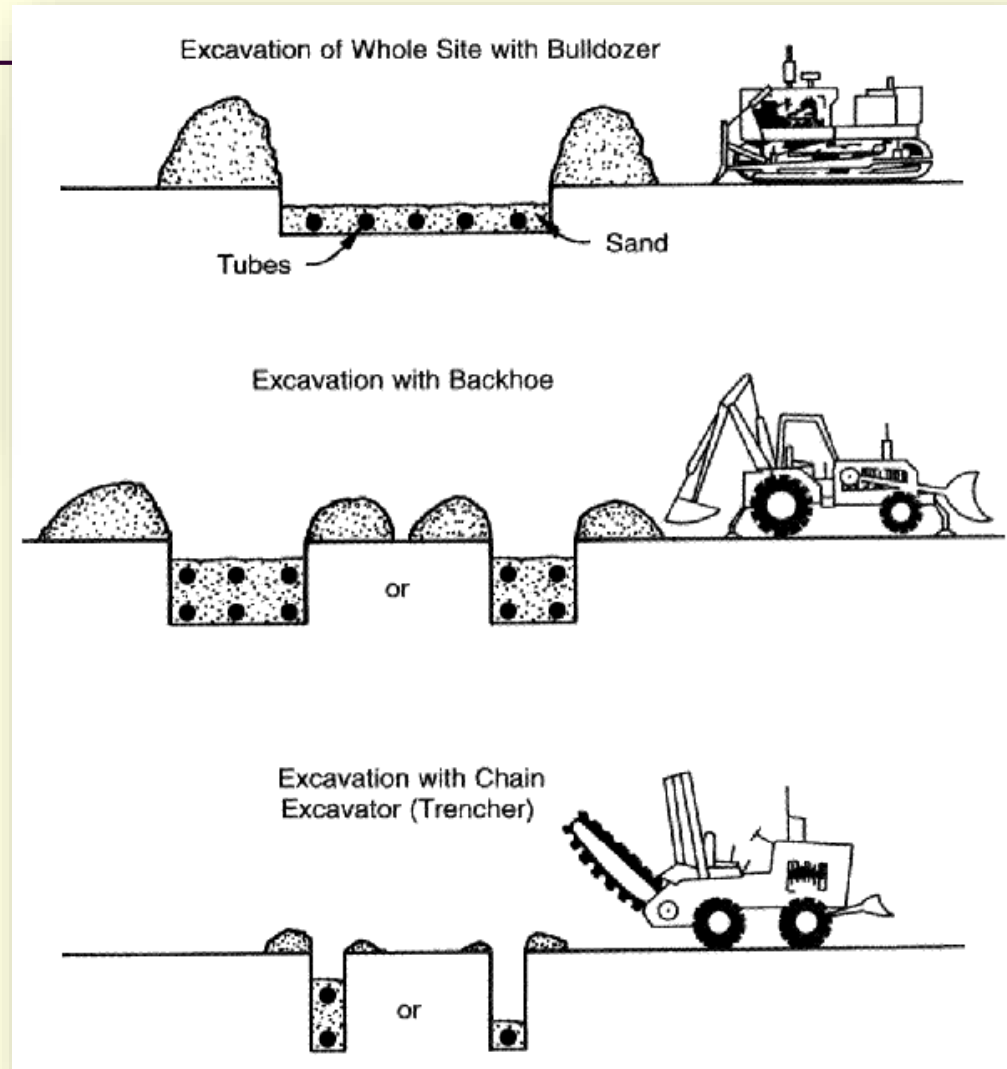
- Οι σωληνώσεις για την κυκλοφορία του νερού είναι από HDPE (ή PP), $\Phi 5-40$ mm, και τοποθετούνται στο έδαφος με διάφορες γεωμετρίες
- Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1-2 m, ή και βαθύτερα, αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών.
- Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm, ή με την μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους.
- Στο σύστημα δεν παρουσιάζονται προβλήματα επικαθίσεων αλάτων και διάβρωσης \Rightarrow μικρό κόστος συντήρησης

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια



Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων στα οριζόντια συστήματα ΓΑΘ.

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια



Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια



Φωτ. : Δ. Κωνσταντόπουλος



Φωτ. : Κ. Διαμαντίδης

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια

- Το μήκος των σωληνώσεων εξαρτάται από: τη θερμοκρασία, τον τύπο και την υγρασία του εδάφους, το είδος της κάλυψης, το βάθος που τοποθετούνται οι σωληνώσεις, την απόσταση μεταξύ των ορυγμάτων κ.ά.
- Στην πράξη το μήκος των σωληνώσεων είναι 30-60 m/kW ενώ η επιφάνεια που καλύπτεται είναι της τάξης των 30-50 m²/kW.



Μήκος σωληνώσεων για θέρμανση

$$L_h = q_h \left(\frac{\frac{COP_h - 1}{COP_h} (R_p + R_s F_h)}{T_{g,min} - T_{ewt,min}} \right)$$

COP_h : τιμή σχεδιασμού του συντελεστή απόδοσης της αντλίας

R_p : Θερμική αντίσταση του αγωγού (m·K/W),

R_s : Θερμική αντίσταση του εδάφους (m·K/W)

F_h : κλάσμα φορτίου (ο λόγος δηλ. των ωρών που το σύστημα λειτουργεί στο φορτίο σχεδιασμού προς το σύνολο των ωρών)

$T_{ewt,min}$ η ελάχιστη εισερχόμενη θερμοκρασία στην αντλία (περίπου $T_{g,min} - 8^\circ C$), η οποία αποτελεί μία κρίσιμη σχεδιαστική μεταβλητή.

Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια

- **Κύριο πλεονέκτημα:** το μικρότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τα κατακόρυφα.

Ιδιαίτερα ελκυστικά σε καινούρια μικρά σχετικά κτήρια με επάρκεια χώρου .

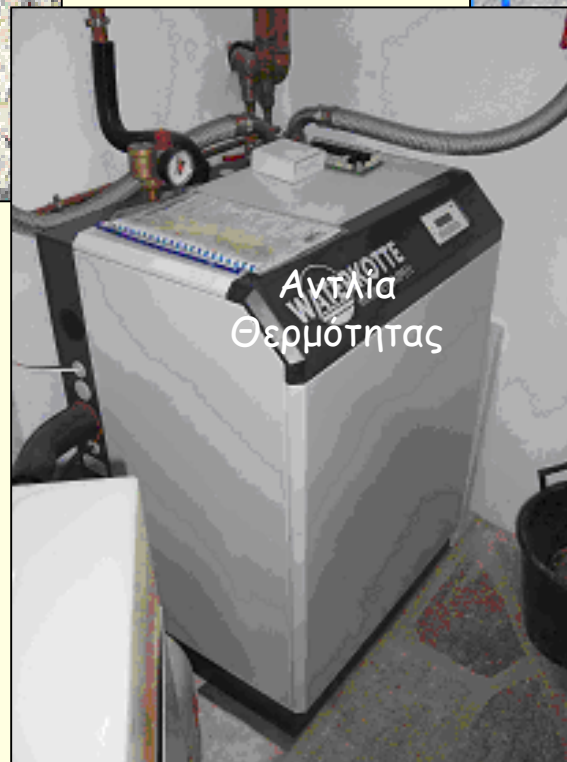
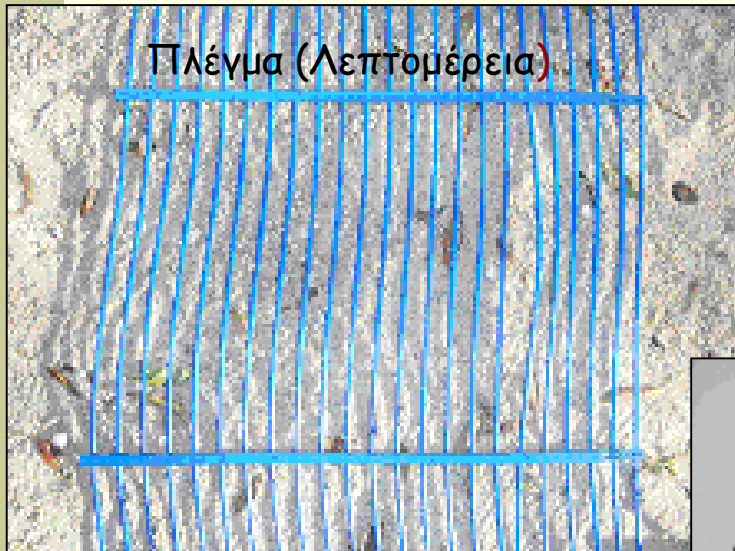
- **Βασικό μειονέκτημα:** η ανάγκη ύπαρξης ικανού χώρου για την τοποθέτηση των υπεδάφιων σωληνώσεων.

- Για το σχεδιασμό οριζόντιου συστήματος ΓΑΘ πρέπει να ξέρουμε:

- το μέγιστο θερμικό ή/και ψυκτικό φορτίο που απαιτείται,
- τη θερμοκρασία του αδιατάρακτου εδάφους
- την επάρκεια χώρου
- το κόστος των συσκευιών , των δικτύων κτλ.

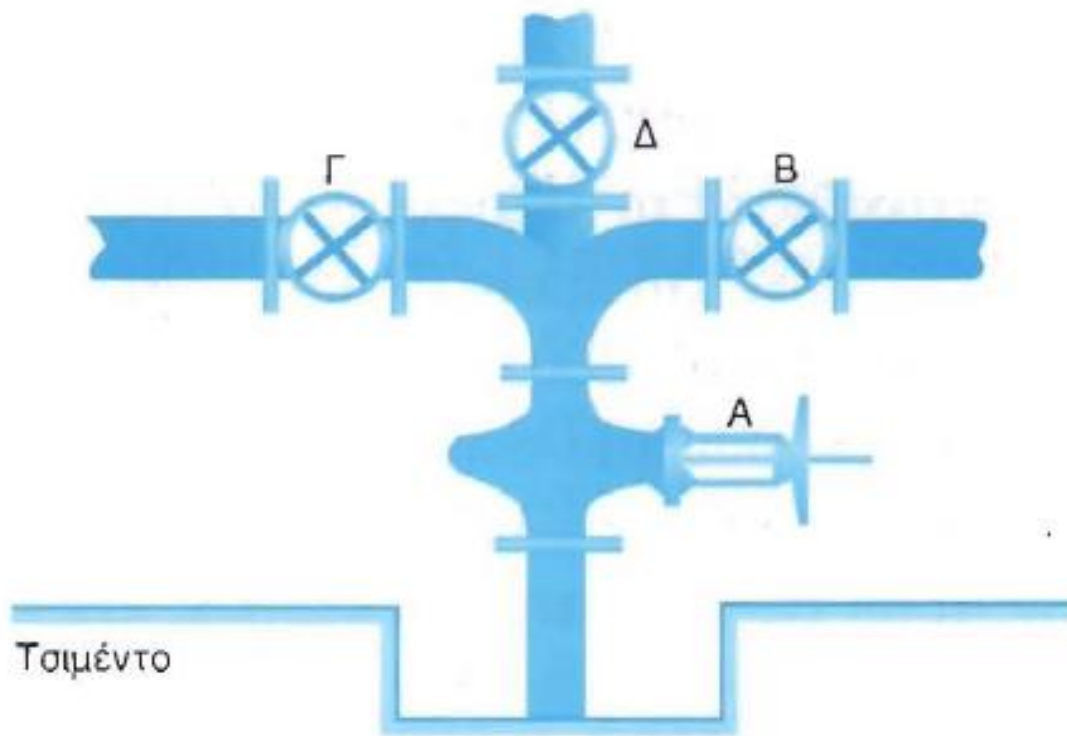


Συστήματα κλειστού βρόχου - Οριζόντια



ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ: ΠΟΣΟΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- 2-5 kW για κάθε οικιακή εγκατάσταση
 - Συνεπώς, 1000 οικίες αποφεύγουν την παραγωγή ενέργειας 2 -5 MW
- 20kW για εμπορικές-βιομηχανικές εγκαταστάσεις
- 400,000 αντλίες θερμότητας στις ΗΠΑ
 - 1,500 MW εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση & ψύξη
 - Περίπου εξοικονόμηση 33.3 MM βαρέλια πετρελαίου ετησίως
 - 40,000 ετησίως προστίθενται

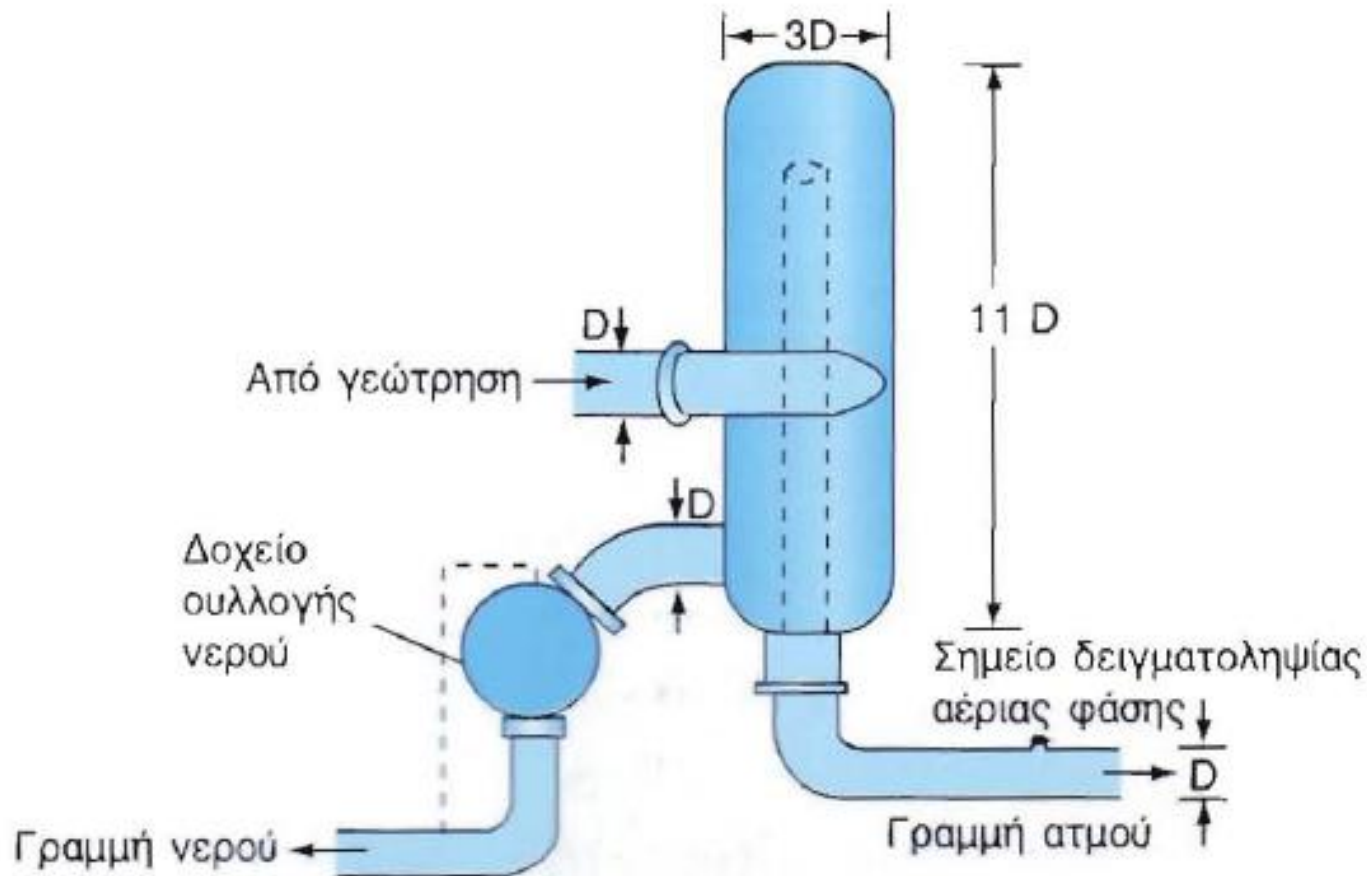


Στην κεφαλή της γεώτρησης

Σχήμα 6.37. Διάταξη βαλβίδων στην κεφαλή μίας γεώτρησης ατμού. Α: βαλβίδα κλεισίματος, Β: βαλβίδα ελέγχου κατά τη λειτουργία της μονάδας, Γ: βαλβίδα παρεκτροπής της ροής του ατμού προς το σιγαστήρα και Δ: βαλβίδα για τη εισαγωγή συσκευών ή αισθητήρων μέσα στη γεώτρηση.



Διαχωριστήρας. Webre

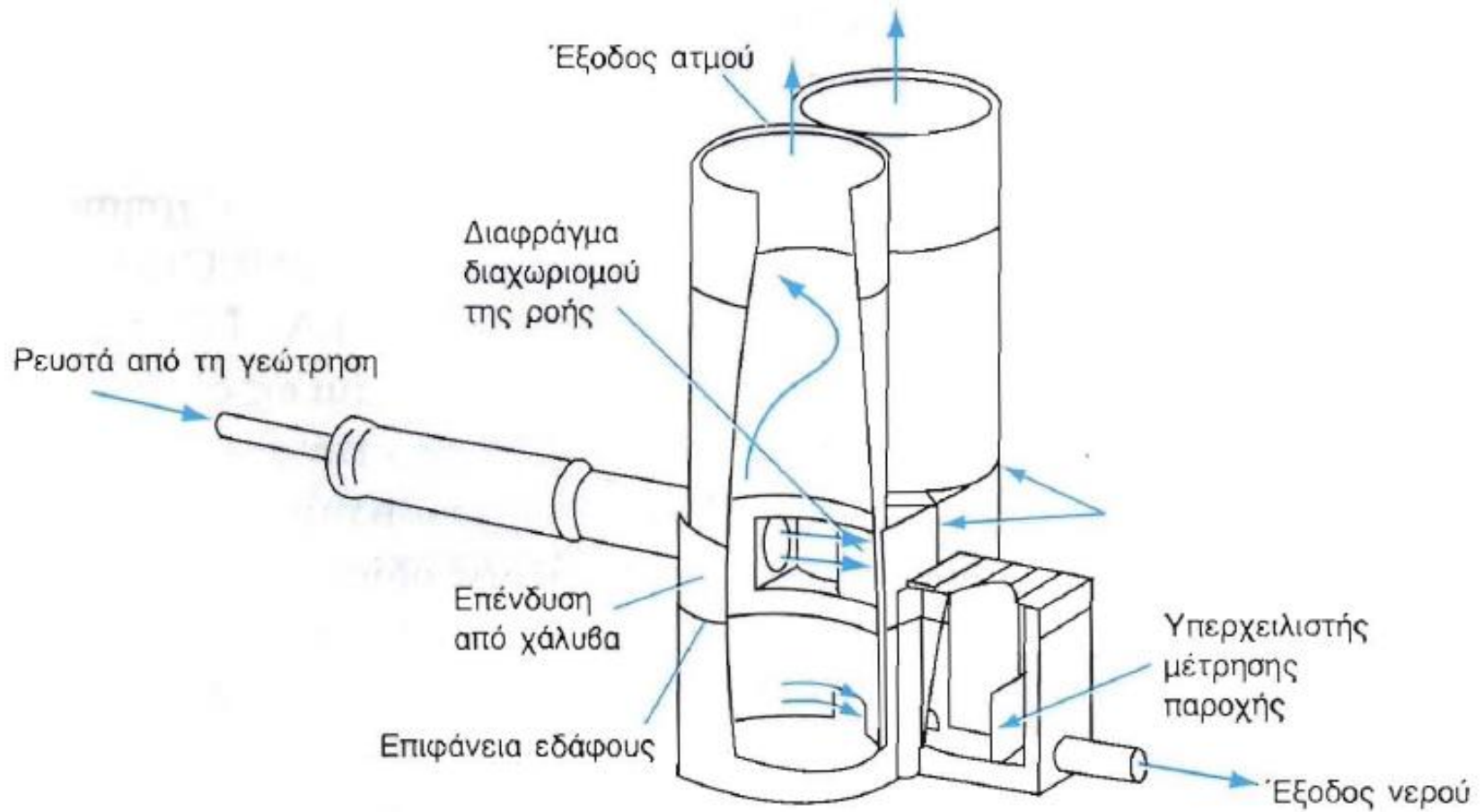


99.9%
διαχωρι
σμού

Διαχωριστήρας-φορητός για γεωτρήσεις



Σιγαστήρας



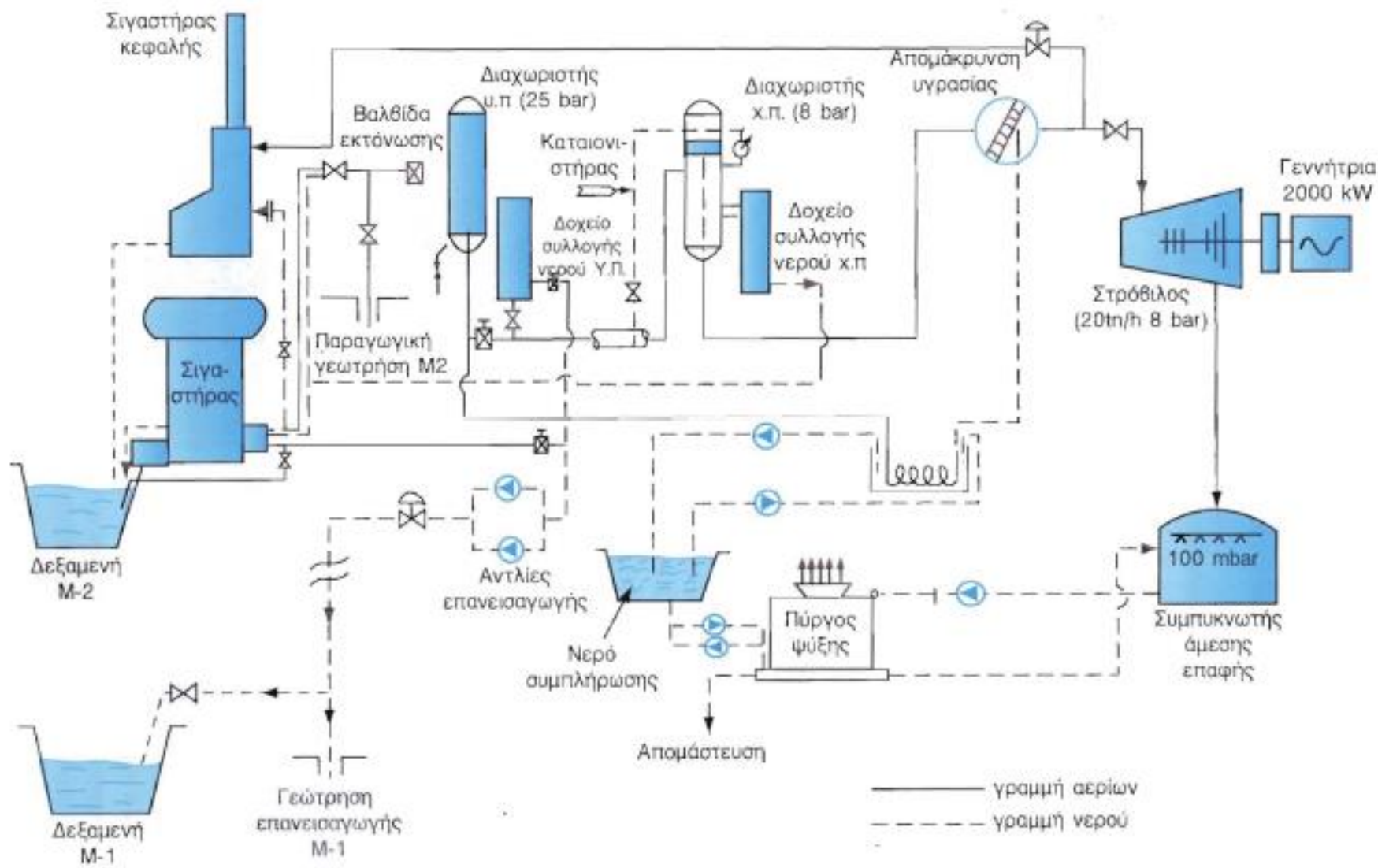


Κεφαλή, Altheim, Αυστρία

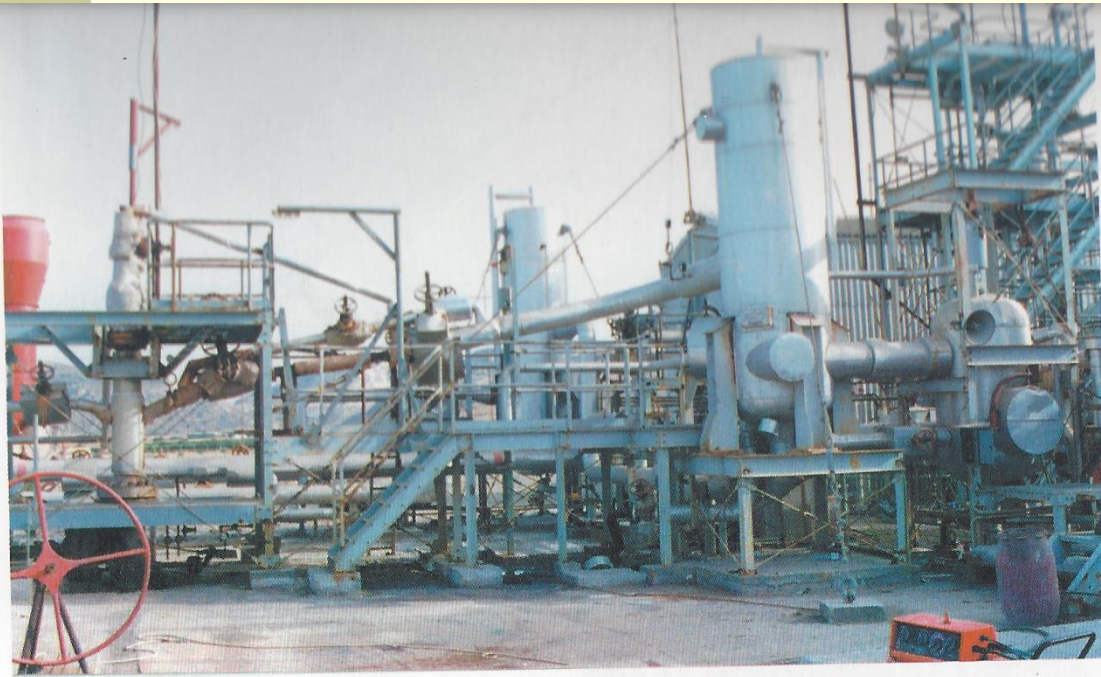
Εναλλάκτης νερού -οργανικού υγρού



Φωτογραφία από τις δοκιμές παραγωγής της γεώτρησης MA-1 κοντά στον Αδάμαντα, στο πεδίο υψηλής ενθαλπίας της Μήλου το 1976.



Σχήμα 6.46. Σχηματικό διάγραμμα της γεωθερμικής μονάδας της Μήλου.



Σχήμα 6.47. Φωτογραφία της γεωθερμικής μονάδας της Μήλου.



Σχήμα 6.48. Φωτογραφία του αγωγού επανεισαγωγής στη Μήλο.

Οφέλη από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

■ Ελάχιστη έως καθόλου ρύπανση

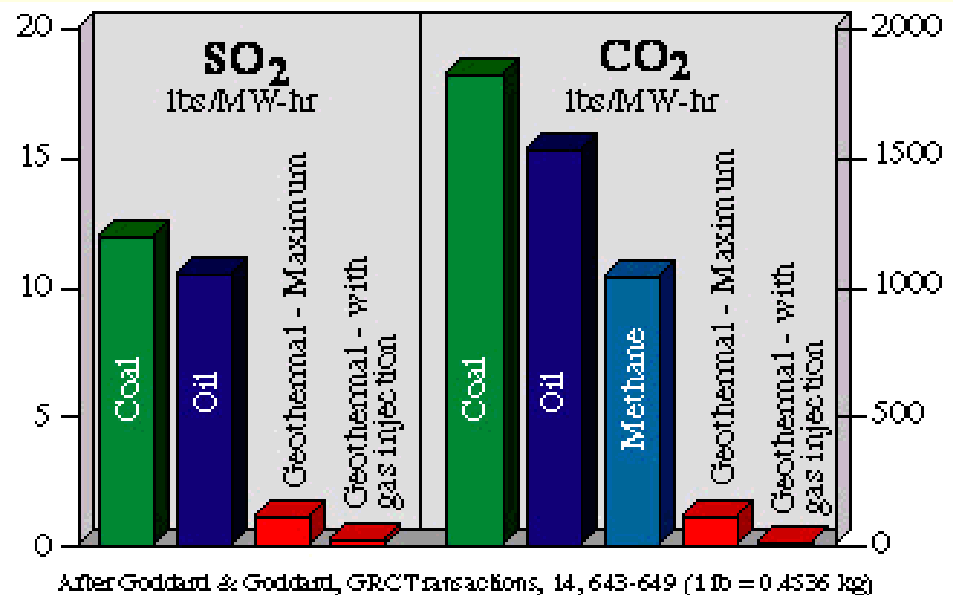
- Οι μονάδες εκτόνωσης-εξάτμισης εκπέμπουν υδρατμούς
- Οι δυαδικές μονάδες δεν έχουν εκπομπές (υγρές ή αέριες)!
 - Αναμένεται να κυριαρχήσουν στο μέλλον
- Lake County - πατρίδα των " Geysers"
Γεωθερμικές μονάδες-μια από τις κομητείες που ικανοποιεί τα πλέον αυστηρά μέτρα της Καλιφόρνια για ατμοσφαιρικές εκπομπές

Οφέλη από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

Πολύ μικρές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Εγχώρια

- Μειώνει την εξάρτηση από εισαγόμενη ενέργεια



Οφέλη από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

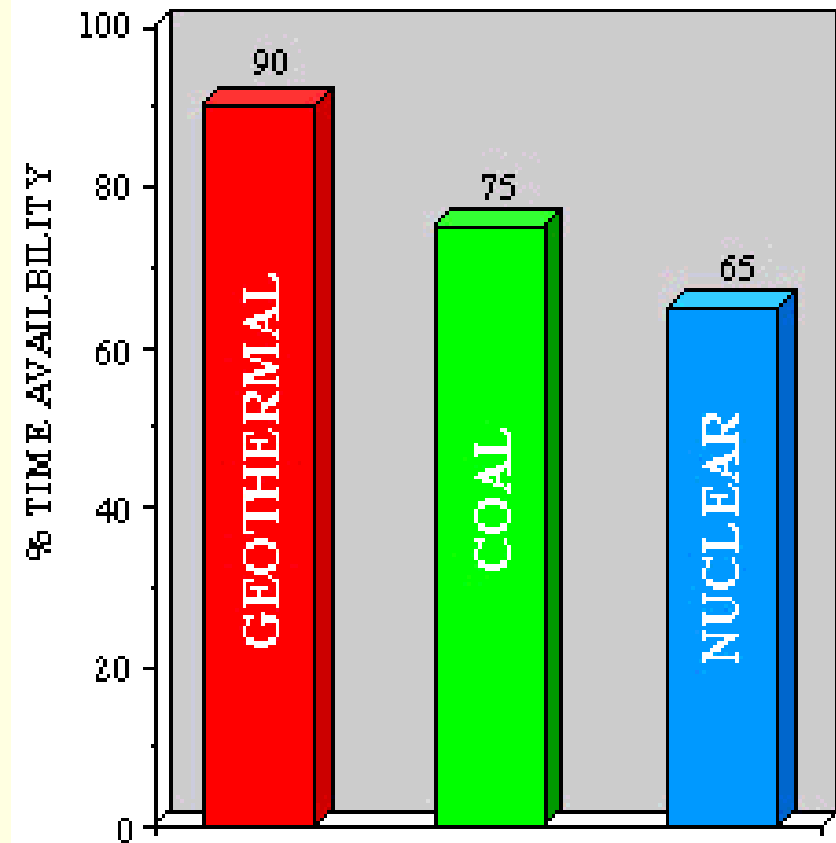
■ Αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα , η χρήση της γεωθερμίας αποτρέπει την εκπομπή ετησίως:

- 22 MM tn CO_2
- 200k tn SO_2
- 80k tn NO_x
- 110k tn σωματιδίων

Οφέλη από παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

Αξιοπιστία:

- Οι μονάδες κλείνουν για λίγο μόνο- κατά ΜΟ 90% ή περισσότερο
- 60-70% για τα εργοστάσια που λειτουργούν με άνθρακα ή με πυρηνική ενέργεια



ΤΕΧΝΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ.

- 1. Ο σχηματισμός επικαθίσεων (καθαινώσεις) σε σχεδόν κάθε επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό
- 2. Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών των γεωθερμικών εγκαταστάσεων
- 3. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι εκπομπές τοξικών αερίων με επιπτώσεις κυρίως στο περιβάλλον

που οφείλονται:

- ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσοτέρων γεωθερμικών ρευστών.
- στην αλλαγή των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ρευστών στο στάδιο της εκμετάλλευσής



δημιουργεί συνθήκες ευνοϊκές τόσο για τη χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, όσο και για την απόθεση ορισμένων διαλυμένων ή αιωρούμενων στερεών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών.

Σχηματισμός επικαθίσεων

- ✓ η συσσώρευση ανεπιθύμητων υλικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με κάποιο ρευστό.
- ✓ Επικαθίσεις δημιουργούνται παντού σε ένα γεωθερμικό πεδίο.

από τι εξαρτώνται:

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

χημική σύσταση επικαθίσεων

- ανθρακικού ασβεστίου
- άλατα θειούχου σιδήρου
- πυριτίου και αλάτων αυτού

που οδηγούν:

- ελάττωση σημαντικά του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας
- λειτουργικά προβλήματα, όπως μείωση της διαμέτρου των σωληνώσεων
- υποβάθμιση του προϊόντος
συντελούν σε σημαντικό βαθμό στη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών
- επιπλέον κόστος για άντληση του ρευστού
- απώλεια παραγωγής

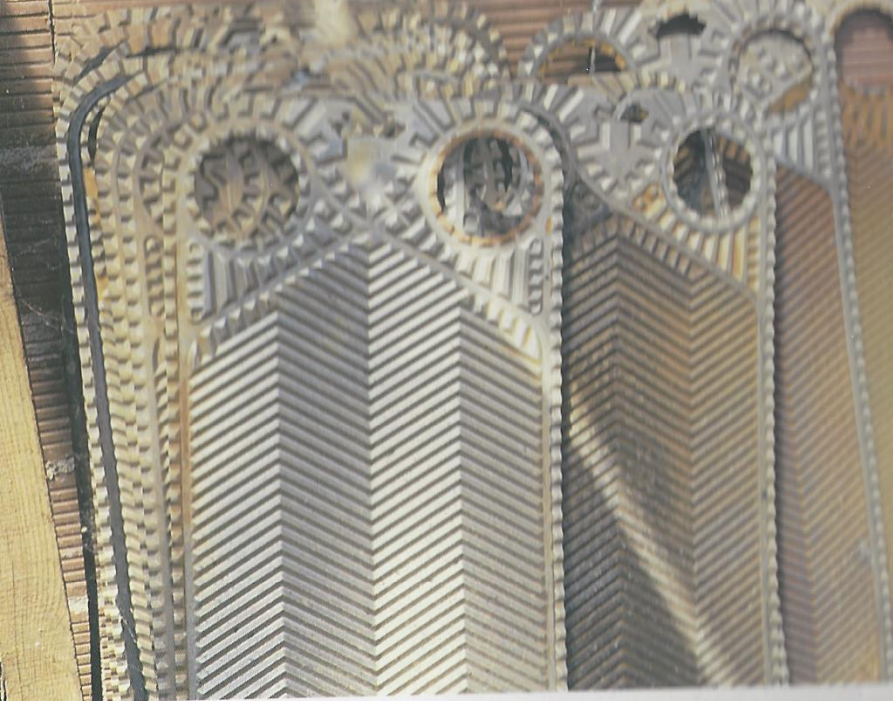
Πίνακας 7.1. Θερμικές αγωγιμότητες συστατικών επικαθίσεων και υλικών που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά θερμότητας, k (W/m^2K)

Υλικό	k (W/m^2K)
Επικαθίσεις	
Ανθρακικό ασβέστιο	0,14
Θεικό ασβέστιο	0,21
Φωσφορικό ασβέστιο	0,55
Μαγνητικό οξείδιο του σιδήρου	0,45
Πορώδες διοξείδιο του πυριτίου	0,15
Βιολογικές επικαθίσεις	0,60
Κηροί	0,25
Υλικά Εναλλακτών	
Χαλκός	377 (100°C)
Αλουμίνιο	205 (100°C)
Ορείχαλκος	104 (100°C)
Νικέλιο	91 (30°C)
Σίδηρος	80 (30°C)
Κοινός χάλυβας	35 (100°C)
Τιτάνιο	21 (30°C)
Ανοξειδωτος χάλυβας (316)	16 (100°C)
Hastelloy	10 (30°C)
PTFE	4 (30°C)

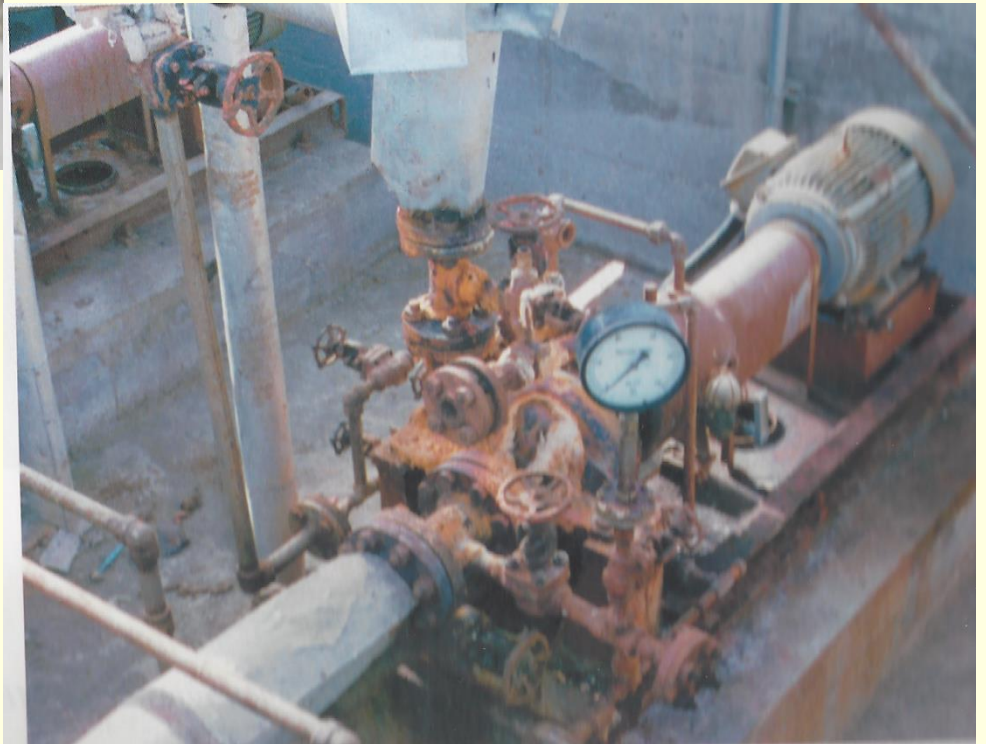
που οδηγούν:

- απώλεια πολύτιμης ενέργειας αύξηση κατά πολύ του κεφαλαίου κόστους των εγκαταστάσεων
- αύξηση του πρόσθετου κόστους για καθαρισμό και συντήρηση της εγκατάστασης





Σχήμα 7.11. Γενική διάβρωση πλακών εναλλάκτη θερμότητας σε θερμοκηπιακή μονάδα στο πεδίο Νιγρίτας.



πως αντιμετωπίζονται:

- σωστό σχεδιασμό της μονάδας
- επιλογή κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας
- κατάλληλη ρύθμιση του pH του ρευστού
- προσθήκη χημικών ουσιών
- χρήση ηλεκτρομαγνητικών διατάξεων
- η απομάκρυνση των σχηματιζόμενων στερεών με χημικά φυσικά ή μηχανικά μέσα

Συγκεκριμένοι τρόποι αντιμετώπισης

μηχανική αφαίρεση των επικαθίσεων

*λιγότερο επιθυμητή αλλά η μόνη
που μπορεί να δώσει αποτελέσματα*

*χρησιμοποίηση ενός αναστολέα της κρυσταλλικής
ανάπτυξης*

*πλεονέκτημα της μεθόδου
η σύγχρονη προσθήκη αντιδιαβρωτικών
ουσιών χωρίς ιδιαίτερη δαπάνη*

μείωση του pH του γεωθερμικού αλμόλοιπου

χρησιμοποίηση κρυσταλλοποιητών εκτόνωσης

*περιέχουν αιωρούμενα σωματίδια,
λειτουργούν σαν πυρήνες για
την έναρξη της διαδικασίας της στοχεύουν στη πρόληψη των
επικαθίσεων.*

Διάβρωση σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις

Προκαλείται από :

- ✓ συστατικά των γεωθερμικών ρευστών όπως:
 - οξυγόνο (O_2)
 - ιόντα υδρογόνου, H^+ (ή pH)
 - χλωριόντα (Cl^-) φθοριόντα (F^-)
 - διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και 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
 - ιόντα βαρέων μετάλλων.
- ✓ το υλικό των αγωγών και των συσκευών,
- ✓ την ταχύτητα των ρευστών και τις συνθήκες λειτουργίας.

που οδηγούν:

- μείωση του πάχους και της αντοχής των σωληνώσεων
- σε διαρροές
- στην αύξηση της τραχύτητας των επιφανειών
- δημιουργία δυσθερμαγωγών στιβάδων από προϊόντα διάβρωσης
- απώλεια πολύτιμης ενέργειας
- αύξηση κατά πολύ του κεφαλαίου κόστους των εγκαταστάσεων

που οδηγούν:

- αύξηση του πρόσθετου κόστους για καθαρισμό και συντήρηση της εγκατάστασης
- απώλεια παραγωγής
- υποβάθμιση της ποιότητας του προϊόντος



πως αντιμετωπίζονται:

- Επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής
- Επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών σε ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα
- Προσθήκη αναστολέων διάβρωσης
- Ορθός σχεδιασμός της μονάδας

ΠΡΟΣΟΧΗ !

Δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη "συνταγή" για την αντιμετώπιση όλων των περιπτώσεων σχηματισμού επικαθίσεων και διάβρωσης.

Μία αποτελεσματική μέθοδος αντιμετώπισης του προβλήματος σε μία μονάδα μπορεί να μη δίνει τα ίδια αποτελέσματα αν αλλάξουν οι συνθήκες ή αν εφαρμοστεί σε μια άλλη μονάδα με παρεμφερείς συνθήκες.

Ειδικά για τις επικαθίσεις με μεταφορά θερμότητας, η σχέση μεταξύ πάχους της στιβάδας των επικαθίσεων (x), μάζας (m), και θερμικής αντίστασης (k_f) δίνεται από τη σχέση

$$dR_f = \frac{dx}{k_f} = \frac{dm}{\rho_f k_f} \quad (7.1)$$

όπου ρ_f είναι η πυκνότητα των επικαθίσεων.

Η θερμική αντίσταση λόγω επικαθίσεων ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ολικής θερμικής αντίστασης σε ορισμένο χρόνο t (U), και της ολικής θερμικής αντίστασης σε χρόνο μηδέν, χωρίς επικαθίσεις (U_o). Για σταθερό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας (\dot{q}) και σταθερή θερμοκρασία στη μάζα του υγρού (T_b), οι ολικές αντιστάσεις σε χρόνο μηδέν και t δίνονται αντίστοιχα από τις σχέσεις (Σχήμα 7.1):

$$\frac{1}{U_o} = \frac{T_{wo} - T_b}{\dot{q}} \quad \text{και} \quad \frac{1}{U} = \frac{T_w - T_b}{\dot{q}} \quad (7.2)$$

όπου T_w η θερμοκρασία στην επιφάνεια των επικαθίσεων και T_{wo} η θερμοκρασία στην επιφάνεια του τοιχώματος

Οικονομικά-τεχνικά στοιχεία Γεωθερμικών Εφαρμογών

- Η ενεργειακή αποτίμηση δεν είναι απλή για τις ΑΠΕ (συναρτάται λ.χ. από τις τιμές του πετρελαίου)
- Το κόστος γεωθερμικού σχεδίου μπορεί να εκφραστεί ως η τιμή της παραγόμενης θερμικής ή ηλεκτρικής ενέργειας ανά κιλοβατώρα (€/kWh)
- Κόστος (σε €) ανά kW εγκατεστημένης ισχύος
- Χρόνος αποπληρωμής (απόσβεση αρχικής επένδυσης)

Παράδειγμα

- Κατασκευάζεται ΓΘΜ εγκατεστημένης ισχύος 200 kW για παραγωγή θερμικής ενέργειας (θέρμανση θερμοκηπίου)
- Συνολικό κόστος (κόστος για έρευνα και άδεια εκμετάλλευσης, γεώτρηση, μεταφορά ρευστών, εναλλαγή θερμότητας, διάθεση ρευστών): 150,000 €
- Ετήσιο κόστος λειτουργίας 3,000 €
- Χρόνος λειτουργίας 6 μήνες το χρόνο
- Ζωή: 10 χρόνια

- Ετήσιο κόστος=[πάγιο κόστος/έτος]+[κόστος λειτουργίας και συντήρησης]= $150,000/10+3,000=18,000\text{€}$
- Παραγόμενη ενέργεια: $200 \text{ kW} \times (6 \times 24 \times 30) \text{ h} = 864,000 \text{ kWh}$
- Κόστος ανά παραγόμενη κιλοβατώρα: $18,000\text{€}/864,000 \text{ kWh} = 2,1 \text{ λ /kWh}$
- Επιτόκια, πληθωρισμός, πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Οικονομική ανάλυση

- 1000 € με επιτόκιο 10% σε 10 χρόνια θα είναι 2,600 €
- Ή: Η παρούσα αξία των 2,600€ σε 10 χρόνια με επιτόκιο 10% είναι μόνο 1,000: Ανάλυση εσωτερικού επιτοκίου (discounted cash flow analysis)
- Επιτρέπει την έκφραση λογαριασμών που θα πληρωθούν στο μέλλον σε **καθαρή παρούσα αξία** (το εσωτερικό επιτόκιο δεν ταυτίζεται με το τραπεζικό επιτόκιο)

- Σε ένα χρόνο : $1,000\text{€} \times (1+0,1)$
- Σε δύο χρόνια: $1,000\text{€} \times (1+0,1)^2$

.....

Σε n χρόνια: $1,000\text{€} \times (1+0,1)^n$

Γενικά, χρηματικό ποσό με παρούσα αξία V_p , σε n χρόνια και για εσωτερικό επιτόκιο r , θα είναι:

$$V_n = V_p \times (1 + r)^n$$

n

$$V_p = \frac{1}{(1 + r)^n} V^n$$

Η παρούσα αξία ενός χρηματικού ποσού που θα δαπανηθεί (ή που θα αποκτηθεί) σε n χρόνια στο μέλλον. Αν υπάρχει σειρά χρηματορροών για κάποιο μεγάλο χρονικό διάστημα, η συνολική παρούσα αξία τους ονομάζεται **καθαρή παρούσα αξία**

Με σταθερές χρηματοροές, ίσες κατ'έτος A , η καθαρή αξία των χρηματοροών είναι:

$$V_p = \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} A \Rightarrow$$
$$A = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}} V_p$$

Ερμηνεία της εξίσωσης: Μια παρούσα πάγια επένδυση V_p , είναι ισοδύναμη με την ετήσια καταβολή ποσού A -το οποίο είναι υψηλότερο από το $A' = V_p/n$ - και ονομάζεται πάγια αξία.

Η μετατροπή της πάγιας επένδυσης σε ετήσιες πάγιες αξίες, οι τιμές των οποίων εξαρτώνται από το εσωτερικό επιτόκιο και από τον οικονομικό χρόνο ζωής ενός εγχειρήματος, αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο εργαλείο στην εκτίμηση του ενεργειακού κόστους, το οποίο δίνεται από την:

$$\text{Κοστος ενεργειας} = \frac{\text{Ετησια παγια αξια} + \text{Μεσο ετησιο λειτουργικο κοστος}}{\text{Μεση ετησια παραγομενη ενεργεια}}$$

- Αν στην ΓΘΜ των 200 kW ληφθούν τα παραπάνω υπόψη, το ενεργειακό κόστος θα είναι σημαντικά μεγαλύτερο.
- Ετήσια πάγια αξία:

$$A = \frac{0.1}{1 - (1 + 0.1)^{-10}} \times 150000 = 24412 \text{ €}$$

- Προσθέτοντας και το λειτουργικό κόστος το ενεργειακό κόστος είναι:
- Κόστος ανά kWh = $(24412 + 3000) \text{ €} / 864000 \text{ kWh} = 3.2 \text{ λεπτά / kWh}$

Υπάρχει όμως και πληθώρα άλλων δαπανών....

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

Συμπεράσματα:

- Η γεωθερμική ενέργεια είναι εγγενώς περιορισμένη επειδή η εξαγωγή θερμότητας κατά κανόνα υπερβαίνει τον ρυθμό ανανέωσης
- Θερμά ξηρά πετρώματα (HDR) διαδεδομένα και προσφέρει πλεονεκτήματα σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν *geyser*
- Απ' ευθείας μεταφορά θερμότητας από χαμηλής ενθαλπίας πηγές για οικιακή χρήση είναι αξιοποιήσιμη υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει συντήρηση του συστήματος

Συμπεράσματα

- Πηγές ύδατος υψηλής θερμοκρασίας ή ατμού είναι περιορισμένες και το κόστος παραγωγής, συντήρησης και λειτουργίας είναι υψηλά σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας
- Η Γεωθερμία θα παραμείνει κατά πάσα πιθανότητα στο 1% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας [Kruger, 1973]

Αειφορία και Γεωθερμική Ενέργεια

- Η γεωθερμία αποτελεί αξιόπιστη, αειφόρο πηγή ενέργειας
- Η αειφορία εξαρτάται από την αρχική ποσότητα θερμότητας και το νερό το οποίο παράγεται, τον ρυθμό παραγωγής της ΓΕ,
- Μικρότεροι ρυθμοί παραγωγής = μακροβιότερες πηγές ενέργειας
- Με τον χρόνο οι ταμιευτήρες υποβαθμίζονται, χρειάζονται επανέγχυση (εισαγωγή θερμού νερού) έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η αειφορία τους
- Αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα, η ΓΕ δεν απαιτεί μακροχρόνια προετοιμασία παραγωγή και δεν χρειάζεται μεγάλα οικόπεδα
- Η χρήση ΓΕ αποτρέπει φαινόμενα θερμοκηπίου, προβλήματα μόλυνσης ατμοσφαιράς και συναφή προβλήματα υγείας
- Η παραγωγή ΓΕ είναι φθηνότερη σε σύγκριση με άλλες μορφές ενέργειας
- Δεν δημιουργούνται περιβαλλοντικά προβλήματα αποβλήτων, και η απευθείας χρήση και έλεγχος της παραγωγής είναι σχετικά εύκολος (Κλειστά κυκλώματα δυαδικών κύκλων-υπόγειες εγκαταστάσεις)

- Αντίθετα με τα ορυκτά, όπου τα εξορυσσόμενα χάνονται δια παντός-οι γεωθερμικοί πόροι ανανεώνονται και μάλιστα γρήγορα (ενώ απομακρύνεται ο ατμός, το νερό αποθηκεύεται και πάλι και επαναχρησιμοποιείται)
- Προβλήματα στην παραγωγή γεωθερμίας:
 - απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα και άλλων δηλητηριωδών αερίων
 - παραμόρφωση γης

Ερωτήματα για την αειφορία

-Πόσο γρήγορα μπορεί να γίνει η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας;

-Για πόσο χρονικό διάστημα μπορεί μια γεωθερμική μονάδα παραγωγής ενέργειας να παράγει;

-Τα μικρά περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία δημιουργούν τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας με γεωθερμία θα διευρυνθούν;

Αν ναι, αυτό θα περιορίσει την εξάπλωση των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ενέργειας ;

Βιβλιογραφία: Βιβλία

- Boyle, Godfrey. *Renewable Energy, Second Edition*. Oxford: Oxford University Press, 2004, ISBN 0-19-26178-4. (my preferred text)
- Brower, Michael. *Cool Energy*. Cambridge MA: The MIT Press, 1992. 0-262-02349-0, TJ807.9.U6B76, 333.79'4'0973.
- Duffie, John and William A. Beckman. *Solar Engineering of Thermal Processes*. NY: John Wiley & Sons, Inc., 920 pp., 1991
- Gipe, Paul. *Wind Energy for Home & Business*. White River Junction, VT: Chelsea Green Pub. Co., 1993. 0-930031-64-4, TJ820.G57, 621.4'5
- Patel, Mukund R. *Wind and Solar Power Systems*. Boca Raton: CRC Press, 1999, 351 pp. ISBN 0-8493-1605-7, TK1541.P38 1999, 621.31'2136
- Sørensen, Bent. *Renewable Energy, Second Edition*. San Diego: Academic Press, 2000, 911 pp. ISBN 0-12-656152-4.
- Texter, [MIT]
- Kruger, Paul and Carel Otto, eds. *Geothermal Energy*. Stanford CA: Stanford University Press, 1973, 333.7 0-8047-0822-3.
- Bockris, J. O'M. *Energy - The Solar-Hydrogen Alternative*. NY: John Wiley & Sons 1975. ISBN 0-4700-08429-4. 333.7. TJ810.B58

Βιβλιογραφία

- DiPippo, Ronald. "Geothermal Energy: Electricity Generation and Environmental Impact". Energy Policy. 19.8 (1990):798. Platinum Periodicals. ProQuest. Marin Academy Library, San Rafael, CA. 5 Feb. 2008. <http://www.proquest.com>
- "electricity generation". The Electricity Forum. 2008. 7 Feb. 2008. <http://www.electricityforum.com/electricity-generation.html>
- "What is Electricity?". Energy Kid's Page-Energy Information Administration. Nov. 2007. 7 Feb. 2008. <http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/electricity.html>
- "Iraq & Our Energy Future-Geothermal Energy". Heidtke, Erin. Spring 2003. 7 Feb. 2008. <http://academic.evergreen.edu/g/grossmaz/heidtken.html>
- "ScienceDirect-Geothermics: Geothermal energy: sustainability and the environment". ScienceDirect. 2008. 10 Feb. 2008. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCN-49CMDYC-3&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1451e3d8f377271e566219cfe5e8cd45
- "Geothermal Sustainability--A Review with Identified Research Needs". Rybach, Ladislaus & Mongillo, Mike. 2006. 10 Feb. 2008. http://209.85.173.104/search?q=cache:ISxnqxACHMcJ:www.geothermal.org/Powerpoint06/Monday/Utility_and_Policy_II/rybach.ppt+geothermal+energy+and+sustainability&hl=en&ct=clnk&cd=4&gl=us&client=safari

Βιβλιογραφία

- DiPippo, Ronald. "Geothermal Energy: Electricity Generation and Environmental Impact". *Energy Policy*. 19.8 (1990):798. Platinum Periodicals. ProQuest. Marin Academy Library, San Rafael, CA. 5 Feb. 2008. <http://www.proquest.com>
- "electricity generation". The Electricity Forum. 2008. 7 Feb. 2008. <http://www.electricityforum.com/electricity-generation.html>
- "What is Electricity?". Energy Kid's Page-Energy Information Administration. Nov. 2007. 7 Feb. 2008. <http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/sources/electricity.html>
- "Iraq & Our Energy Future-Geothermal Energy". Heidtke, Erin. Spring 2003. 7 Feb. 2008. <http://academic.evergreen.edu/g/grossmaz/heidtken.html>
- "ScienceDirect-Geothermics: Geothermal energy: sustainability and the environment". ScienceDirect. 2008. 10 Feb. 2008. http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCN-49CMDYC-3&_user=10&_rdoc=1&_fmt=&_orig=search&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=1451e3d8f377271e566219cfe5e8cd45
- "Geothermal Sustainability--A Review with Identified Research Needs". Rybach, Ladislaus & Mongillo, Mike. 2006. 10 Feb. 2008. http://209.85.173.104/search?q=cache:ISxnqxACHMcJ:www.geothermal.org/Powerpoint06/Monday/Utility_and_Policy_II/rybach.ppt+geothermal+energy+and+sustainability&hl=en&ct=clnk&cd=4&gl=us&client=safari
- "Scientific Forms of Energy: Stored Energy, Kinetic Energy, Chemical Energy, Conservation of Energy". Energy Information Administration. 10 Feb. 2008. <http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/science/formsofenergy.html>
- "TXU-Geothermal". TXU. 2008. 11 Feb. 2008. <http://www.txucorp.com/responsibility/education/generation/geothermal.aspx>
- "Geothermal power". Fisher, Brad. Illinois Institute of Technology. 2001. 12 Feb. 2008. <http://www.iit.edu/~fishbra1/>
- "How an Electric Generator Works". Wisconsin Valley Improvement Company. 27 Apr. 2006. 12 Feb. 2008. <http://www.wvic.com/how-gen-works.htm>
- "Geothermal Resources: Providing Sustainable Energy For All". Harpring, Mike. Indiana University. 13 Feb. 2008. <http://www.indiana.edu/~sierra/papers/2006/harpring.html>

Βιβλιογραφία

- "Scientific Forms of Energy: Stored Energy, Kinetic Energy, Chemical Energy, Conservation of Energy". Energy Information Administration. 10 Feb. 2008.
<http://www.eia.doe.gov/kids/energyfacts/science/formsofenergy.html>
- "TXU-Geothermal". TXU. 2008. 11 Feb. 2008.
<http://www.txucorp.com/responsibility/education/generation/geothermal.aspx>
- "Geothermal power". Fisher, Brad. Illinois Institute of Technology. 2001. 12 Feb. 2008. <http://www.iit.edu/~fishbra1/>
- "How an Electric Generator Works". Wisconsin Valley Improvement Company. 27 Apr. 2006. 12 Feb. 2008. <http://www.wvic.com/how-gen-works.htm>
- "Geothermal Resources: Providing Sustainable Energy For All". Harpring, Mike. Indiana University. 13 Feb. 2008.
<http://www.indiana.edu/~sierra/papers/2006/harpring.html>

Πηγές: Websites, etc.

<http://www.eere.energy.gov/geothermal/> Government Lab

<http://www.geothermalheatpump.com/how.htm> Good explanation of practical use

<http://www.acmehowto.com/howto/appliance/refrigerator/overview.htm>

University of Nevada at Reno Desert Research Institute

<http://www.bnl.gov/est/MEA.htm> Brookhaven Laboratories

<http://geothermal.inel.gov/> INEEL

<http://www-esd.lbl.gov/ER/geothermal.html> Lawrence Livermore Labs

<http://www.sandia.gov/geothermal/> Sandia National Labs

<http://www.nrel.gov/geothermal/> National Renewable Energy Labs

<http://www.eere.energy.gov/geothermal/webresources.html> More Resources

geothermal.marin.org/ on geothermal energy

<mailto:energyresources@egroups.com>

rredc.nrel.gov/www.dieoff.org. Site devoted to the decline of energy and effects upon population

www.ferc.gov/ Federal Energy Regulatory Commission

solstice.crest.org/

dataweb.usbr.gov/html/powerplant_selection.html

<http://www.eere.energy.gov/geothermal/history.html>

<http://www.consrv.ca.gov/DOG/geothermal/index.htm>

<ftp://ftp.consrv.ca.gov/pub/oil/maps/Geothermal/G3-1.pdf>

<http://www.dennisweaver.com/habitat.html>

<http://www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/>