

Γεωθερμική Ενέργεια:
μία καθαρή και αειφορική πηγή ενέργειας



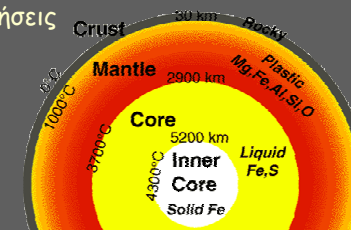
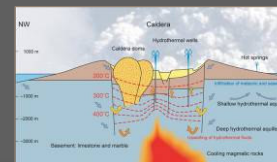
Γεωθερμική Ενέργεια

Μιχάλης Ψυτίκας

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



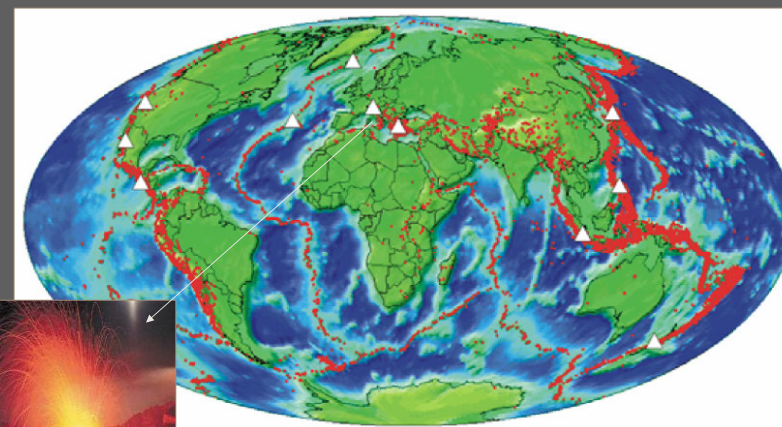
Γεωθερμική Ενέργεια

- 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

Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης

Ηφαιστειακές εκρήξεις: το εντυπωσιακότερο φυσικό φαινόμενο της γήινης θερμότητας



Αίτνα

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, $\sim 1000 \text{ m}^3/\text{h}$)
- 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.



Νυμφόπετρα



Επιφανειακές εκδηλώσεις της θερμότητας της γης



Αποθέσεις ανθρακικών αλάτων από θερμές πηγές με το σχηματισμό εντυπωσιακών αναβαθμιδών στο Mammoth Springs, Yellowstone National Park, Η.Π.Α. και στο 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.

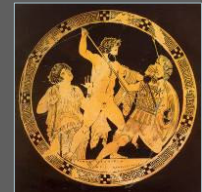
- σχεδόν περιοδική και εντυπωσιακή μερικές φορές έκρηξη νερού και υδρατμών
- ιδιαίτερα σπάνιο φαινόμενο και παρατηρούνται σε ενεργές ηφαιστειακά περιοχές (<1000 θερμοπίδακες σε όλο τον κόσμο, στις Η.Π.Α., Ρωσική Δημοκρατία, Ν. Ζηλανδία, Ισλανδία και Χιλή).



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

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.



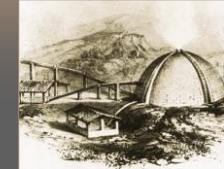
Ρωμαϊκά λουτρά στην Πέργη της Μικράς Ασίας



Μεταφορά θερμού νερού στην Τεράπολη της Μικράς Ασίας.

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

■ **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



Μήλος 1975



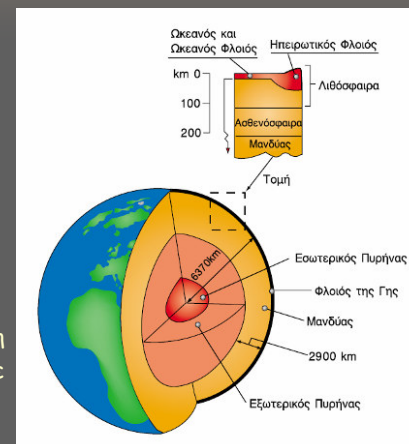
Μήλος 1987



Μήλος 2002

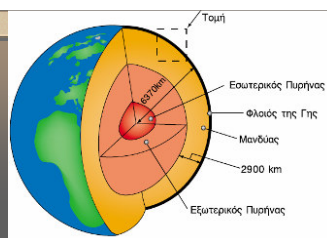
Η δομή της γης

- 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.).

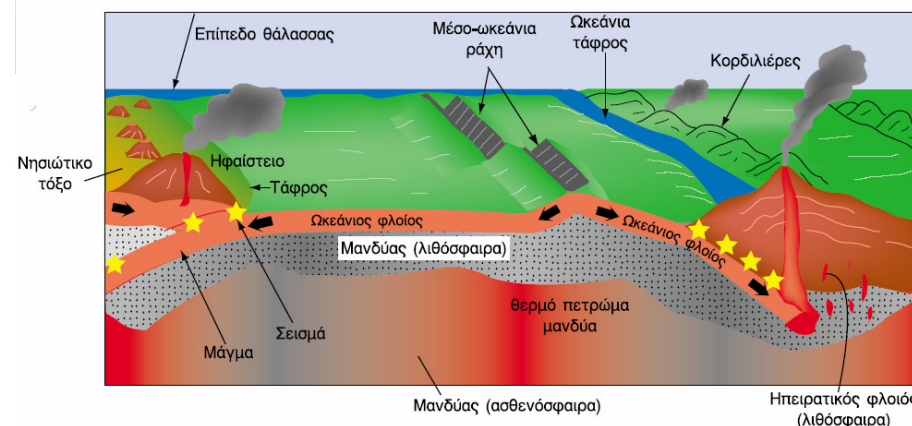


Η δομή της γης

- 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



Μορφές μετατόπισης των λιθοσφαιρικών πλακών.

Η Θερμότητα στο Εσωτερικό της Γης

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

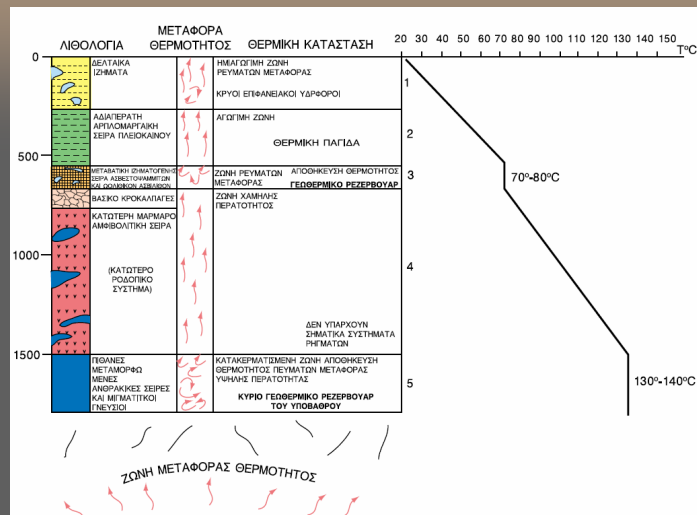
- Η διάσπαση ορισμένων ραδιενεργών ουκτών της γης, τα οποία περιέχουν ραδιενεργά ισότοπα με μεγάλο χρόνο ημιζωής, όπως ^{238}U και ^{235}U , ^{232}Th και ^{40}K . Πιθανόν ο σημαντικότερος μηχανισμός παραγωγής θερμικής ενέργειας.
- Η θερμότητα της γης προέρχεται από τις διεργασίες που οδήγησαν στη δημιουργία 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

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 ουκτών καυσίμων της γης.



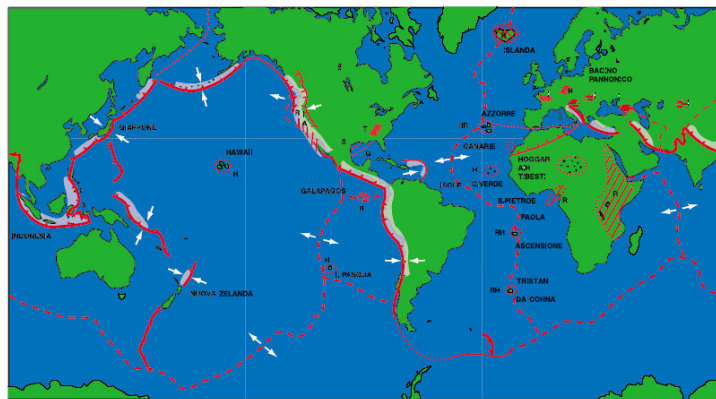
Η γεωθερμική βαθμίδα στο πεδίο Δ. Νέστου. Διακρίνεται επίσης η λιθολογία της γεώτρησης και ο τρόπος μεταφοράς της θερμότητας (Fytikas and Kolios, 1992).

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.

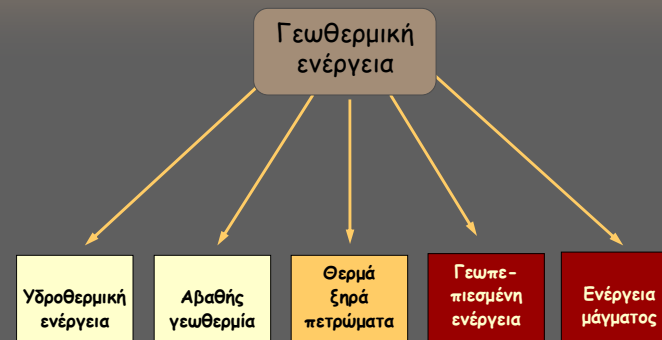
Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μία φυσική πηγή ενέργειας με γήινη προέλευση, η οποία βρίσκεται σε ένα γεωλογικό χώρο που σχηματίζει στο σύνολό του ένα **γεωθερμικό σύστημα**.

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°C/km**.



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

Ταξινόμηση Γεωθερμικών Συστημάτων



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

Σύσταση Υγρής Φάσης

	Μήλος (Μ2)	Νίσυρος	Πολιχνί- τος	Άγγιστρο Σερρών	Σιδηρό- καστρο	Ν. Κεσσάνη (Γ16)	Σουσάκι (Σ-4)	Νιγρίτα, (ΤΗ-1)
pH	5,3	6,0	6,0	7,5	6,8	7,1	6,8	6,8
Θερμ., °C	230	250	90	40	54	80	76	59
ΣΔΑ (g/L)	112	94	12,3	0,26	1,0	4,6	46	2,5
Na	31500	26000	3310	36	234	1550	13760	529
K	9500	2600	198	3	43	132	1960	89
Ca	4380	8500	834	47	67	135	1120	160
Mg	4	75	24	5	23	19	720	105
Fe	19	15	-	0,3	0,5	0,5	0,5	1,1
Pb	2	-	-	-	-	0	0	0,1
Cl	65400	56000	6920	10	51	1630	25480	162
F	4	1,5	-	-	3	2,5	0,6	1,7
SO ₄ ²⁻	20	28	848	33	172	222	1300	130
HCO ₃ ⁻	25	-	270	190	702	1746	1531	2220
As	13	-	-	0	-	0,6	0,2	0,9
B	125	51	-	-	-	5	32	4,6
SiO ₂	1000	820	72	34	38	60	145	83

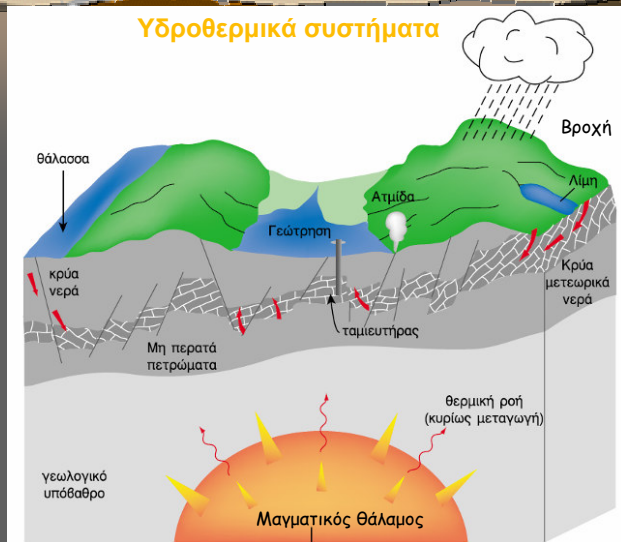
Σύσταση της υγρής φάσης από διάφορες γεωτρήσεις υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας στη χώρα μας. Οι συγκεντρώσεις αναφέρονται σε mg/L.

Σύσταση Αέριας Φάσης

	Salton Sea	Broad- lands1	Μήλος	Dogger	Ν. Κεσσάνη	Σουσάκι Σ-4	Νιγρίτα ΤΗ-1
Θερμοκρασία, °C	214	270	230	58	80	76	59
Αέρια % στον ατμό	0,2	0,6	1,0	-	-	-	-
Περιεκτικότητα αερίων (g/kg ρευστού)	-	-	12	0,2	3,0	2,7	3,4
CO ₂	>90	95,9	95	4,2	98,6	97,9	99,2
H ₂ S	μ.π.	1,2	4,9	50	4 ppmv	1,0	<1
Υδρογονάνθρακες	μ.π.	1,8	<0,1	57	0,05	0,0	ppmv
H ₂	μ.π.	0,1	<0,1	57	-	-	0,0
N ₂ +Ar+He	-	0,1	-	17,5	1,3	0,9	-
O ₂	-	-	-	21,4	0,15	0,2	0,8
NH ₃	-	0,2	-	-	-	-	0,0

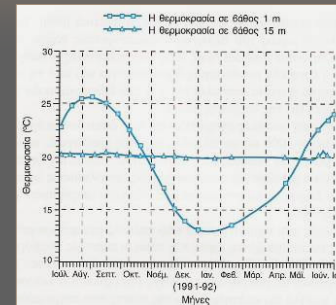
Συγκεντρώσεις (% mole/mole) των μη συμπυκνώσιμων αερίων από ορισμένες γεωθερμικές γεωτρήσεις

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.

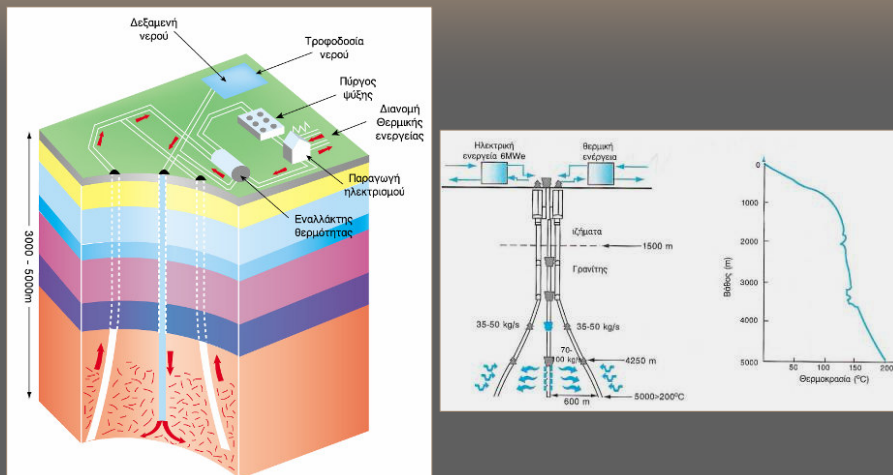
Αβαθής Γεωθερμική Ενέργεια



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



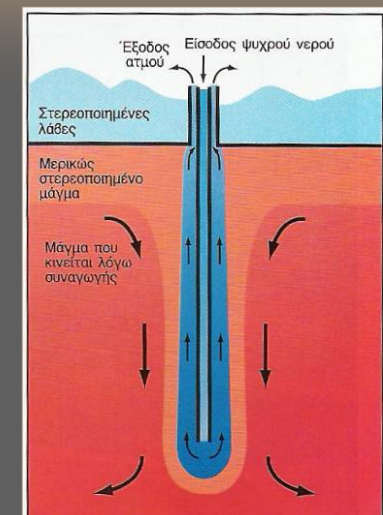
Θερμά Ξηρά Πετρώματα (Hot Dry Rocks)



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

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



Πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας

- Προσφέρεται έτοιμη προς χρήση ως θερμικό προϊόν
- Αναπτύσσεται κυρίως σε πεδινές εκτάσεις με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγραποιομηχανία, 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 CO_2 και επιβλαβών αερίων.



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.



«Ένωση Γεωθερμικών Ελλάδας»

- Ιδρύθηκε το 2005
- Σκοπός: προώθηση της αξιοποίησης γεωθερμικής ενέργειας
- Μέχρι τώρα 25 φυσικά πρόσωπα
- Ζητούμενο η αύξηση των μελών (τόσο φυσικών προσώπων όσο και εταιριών) για τη υλοποίηση των στόχων
- Επίκειται η συμμετοχή της «Ένωσης» στην «International Geothermal Association»
- Προγραμματίζεται η οργάνωση Εθνικού Συνεδρίου Γεωθερμίας εντός του 2008

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!