



Γεωθερμία

Ενότητα 7: Μέθοδοι Εντοπισμού και Εκτίμησης Γεωθερμικών Ενεργειακών Πηγών

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Μέθοδοι Εντοπισμού και Εκτίμησης Γεωθερμικών Ενεργειακών Πηγών (1/4)

Το πρώτο στάδιο στην διαδικασία αξιοποίησης μιας γεωθερμικής ενεργειακής πηγής είναι ο εντοπισμός της και η εκτίμηση του δυναμικού της, που καθορίζει την οικονομική της σημασία.

Το στάδιο αυτό απορροφά ένα σημαντικό ποσοστό της απαιτούμενης αρχικής επένδυσης. Για τον λόγο αυτό το δυναμικό πολλών γεωθερμικών πηγών είτε μένει εντελώς ανεκμετάλλευτο, είτε αξιοποιείται σε πολύ μικρό βαθμό. Παράδειγμα περιορισμένης αξιοποίησης είναι η σποραδική χρήση των θερμών νερών σε θερμοκήπια, όπως γίνεται σε πολλές περιοχές της Ελλάδας.



Μέθοδοι Εντοπισμού και Εκτίμησης Γεωθερμικών Ενεργειακών Πηγών (2/4)

Το ζητούμενο κάθε προγράμματος γεωθερμικών ερευνών είναι η ανακάλυψη συγκεντρωμένων ποσών θερμότητας, δηλαδή πετρωμάτων με ψηλή θερμοκρασία. Αυτό είναι αρκετό, όταν σχεδιάζεται εκμετάλλευση θερμών άνυδρων πετρωμάτων. Όμως η εκμετάλλευση των πετρωμάτων αυτών είναι ακόμη σε πειραματικό στάδιο και προς το παρόν έχει περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον. Επομένως η έρευνα πρέπει να δείξει αν υπάρχουν φυσικά αποθέματα ρευστού για την μεταφορά της θερμότητας στην επιφάνεια της Γης, δηλαδή αν υπάρχει κατάλληλος θερμός υδροφορέας.

Ακόμη πρέπει να προσδιοριστούν τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα (διαπερατότητα, όγκος), από τα οποία εξαρτάται το δυναμικό της πηγής. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο εντοπισμός υδροθερμικών συστημάτων είναι πολύ ευκολότερος από τον εντοπισμό θερμών άνυδρων πετρωμάτων, γιατί όταν δεν υπάρχει νερό, δεν εμφανίζονται σημαντικά καθοδηγητικά στοιχεία, όπως θερμές πηγές, ατμίδες, geyser (διαλείποντες θερμοπίδακες), καθώς και υδροθερμική αλλοίωση των υπερκειμένων πετρωμάτων.



Μέθοδοι Εντοπισμού και Εκτίμησης Γεωθερμικών Ενεργειακών Πηγών (3/4)



Εικόνα 1: Sokkur geyser, Ισλανδία (φωτογραφία Β. Ιωσηφίδη, προσωπικό αρχείο 2007)



Μέθοδοι Εντοπισμού και Εκτίμησης Γεωθερμικών Ενεργειακών Πηγών (4/4)

Στην έρευνα για την ανακάλυψη υδροθερμικών συστημάτων, χρησιμοποιούνται γεωλογικές, γεωχημικές και γεωφυσικές μέθοδοι.

Η ερευνητική διαδικασία πρέπει να διαρθρώνεται στα ακόλουθα στάδια:

- α) *Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα*
- β) *Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους*
- γ) *Ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλου βάθους.*

Οι ειδικές ερευνητικές μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν σε κάθε στάδιο, καθορίζονται από το είδος της γεωθερμικής πηγής που αναζητείται.

Άλλες μέθοδοι είναι καταλληλότερες για πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπου απαιτείται γεωθερμικό ρευστό με ψηλή θερμοκρασία, και άλλες για πηγές που θα χρησιμοποιηθούν για θέρμανση χώρων. Οποσδήποτε όμως πρέπει να ακολουθείται η σειρά που αναφέρθηκε, γιατί υπάρχει σημαντική διαφορά κόστους μεταξύ των διαδοχικών ερευνητικών σταδίων.



Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα (1/5)

Η γεωλογική ηλικία του φλοιού είναι ένα πρώτο χονδρικό κριτήριο, για το αν υπάρχουν γεωθερμικές πηγές σε μια περιοχή. Στις περιοχές με φλοιό προκάμβριας ηλικίας η γήινη θερμική ροή έχει χαμηλή τιμή.

Επομένως οι περιοχές αυτές δεν παρουσιάζουν γεωθερμικό ενδιαφέρον. Όπου ο φλοιός έχει μεσοζωική ηλικία, είναι δυνατόν να βρεθούν γεωθερμικές πηγές χαμηλής ενθαλπίας, σε σχετικά μεγάλο βάθος.

Η έρευνα στρέφεται κυρίως στις νεώτερες γεωλογικά περιοχές, που παρουσιάζουν πρόσφατη ηφαιστειότητα και σεισμικότητα.

Η γεωλογική έρευνα αποσκοπεί στον γεωγραφικό καθορισμό των ορίων της περιοχής που παρουσιάζει γεωθερμικό ενδιαφέρον και περιλαμβάνει:



Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα (2/5)

α) Μελέτη των επιφανειακών θερμικών εκδηλώσεων. Τα υδροθερμικά συστήματα εντοπίζονται εύκολα όταν συνοδεύονται από θερμές πηγές, ατμίδες, geyser κ.τ.λ., που σχηματίζονται από το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο βρίσκει διέξοδο προς την επιφάνεια του εδάφους. Οι δίοδοι ανόδου του γεωθερμικού νερού δεν παραμένουν σταθερές. Παλιά ρήγματα φράζονται, ενώ άλλα δημιουργούνται σε ασθενέστερες ζώνες. Παλιές θέσεις εμφάνισης γεωθερμικού ρευστού μπορούν να ανιχνευθούν από την υδροθερμική αλλοίωση των πετρωμάτων που τις συνοδεύει. Η χαρτογράφηση των υδροθερμικά αλλοιωμένων πετρωμάτων βοηθά στον καθορισμό των ορίων της γεωθερμικής περιοχής. Επίσης η ηλικία των υδροθερμικών αποθέσεων (θείο, λειμωνίτης κ.τ.λ.) βοηθά στον καθορισμό της ηλικίας της μαγματικής διείδυσης, η οποία αποτελεί την πηγή της θερμότητας. Η διάρκεια της υδροθερμικής δραστηριότητας και ο όγκος των αλλοιωμένων πετρωμάτων βοηθούν στην εκτίμηση του δυναμικού της γεωθερμικής πηγής.

β) Μελέτη της στρωματογραφίας και της τεκτονικής της περιοχής και καθορισμό των θέσεων πρόσφατων ρηγμάτων.



Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα (3/5)

Η υδρολογική μελέτη περιλαμβάνει μετρήσεις θερμοκρασίας και παροχής των θερμών αλλά και των ψυχρών πηγών της περιοχής, καθορισμό της στάθμης του υπόγειου υδροφορέα και εκτίμηση της κίνησης των επιφανειακών και υπόγειων νερών.

Περιλαμβάνει ακόμη την συλλογή μετεωρολογικών στοιχείων για την περιοχή, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και το ύψος βροχής, διότι το νερό των περισσότερων γεωθερμικών υδροφορέων έχει μετεωρική προέλευση.



Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα (4/5)

Η γεωχημική ανάλυση περιλαμβάνει εργαστηριακή ανάλυση του γεωθερμικού νερού, το οποίο εμφανίζεται στην εξεταζόμενη περιοχή. Με βάση την σύσταση των δειγμάτων που εξετάζονται, καθορίζεται η αναλογία μετεωρικού και μαγματικού νερού στον υπόγειο υδροφορέα, που βοηθά στην εκτίμηση του δυναμικού της γεωθερμικής πηγής. Αν το νερό είναι μαγματικό, τότε προέρχεται από υδροφορέα περιορισμένου όγκου και το δυναμικό της πηγής εξαρτάται από την αποθηκευτικότητα του υδροφορέα. Αν πρόκειται για μετεωρικό νερό που κατεισδύει και θερμαίνεται σε μεγάλο βάθος, τότε το δυναμικό της πηγής εξαρτάται από την τροφοδοσία του συστήματος.

Επίσης κατά την γεωχημική ανάλυση προσδιορίζονται η περιεκτικότητα σε SiO_2 και η σχέση Na-K-Ca, με βάση τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η θερμοκρασία του υδροφορέα. Η περιεκτικότητα σε SiO_2 χρησιμεύει ακόμη για τον προσδιορισμό της αναλογίας επιφανειακού και γεωθερμικού νερού στο εξεταζόμενο δείγμα.



Γεωλογική, υδρολογική και γεωχημική έρευνα (5/5)

Ακόμη προσδιορίζεται η περιεκτικότητα σε χλωριούχα άλατα, με βάση την οποία διαπιστώνεται αν στον υδροφορέα κυριαρχεί η υγρή ή η αέρια φάση (σε υδροφορείς με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100°C).

Όταν δεν παρατηρείται υδροθερμική δραστηριότητα στην επιφάνεια του εδάφους, η παρουσία στο έδαφος ιχνοστοιχείων μπορεί να οδηγήσει στον εντοπισμό και στον καθορισμό της έκτασης πηγών θερμότητας, που βρίσκονται σε βάθος. Τέτοια στοιχεία είναι το ραδόνιο, ο υδράργυρος, το αρσενικό και το βόριο. Το αέριο ραδόνιο παράγεται κατά την μεταστοιχείωση του ραδίου και ανεβαίνει στην επιφάνεια σε ζώνες μεγάλης διαπερατότητας. Επομένως ψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου υποδηλώνουν ύπαρξη ρηγμάτων.

Ψηλές συγκεντρώσεις βορίου, υδραργύρου και αρσενικού, τα οποία περιέχονται στο γεωθερμικό νερό, φανερώνουν διόδους ανόδου του νερού αυτού στην επιφάνεια του εδάφους.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (1/7)

Η γεωφυσική έρευνα περιλαμβάνει απευθείας μετρήσεις θερμοκρασιών ή της θερμικής ροής. Στο ερευνητικό αυτό στάδιο χρησιμοποιούνται ακόμη ηλεκτρικές, σεισμικές και βαρυτομετρικές μέθοδοι.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (2/7)

Μετρήσεις θερμοκρασιών και θερμικής ροής

Η ύπαρξη θετικής θερμικής ανωμαλίας σε μια περιοχή, μπορεί να εντοπισθεί με μετρήσεις της υπέρυθρης ακτινοβολίας, που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Οι μετρήσεις γίνονται με ειδικούς ανιχνευτές, από αεροπλάνο ή και δορυφόρο. Επειδή η γήινη θερμική ροή είναι πολύ μικρότερη από την ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης κατά τη διάρκεια της ημέρας, οι μετρήσεις γίνονται κατά την διάρκεια της νύκτας. Οι μετρήσεις επηρεάζονται ακόμη από την τοπογραφία της περιοχής, τις θερμικές ιδιότητες και την υγρασία του εδάφους, την βλάστηση κ.τ.λ. Γι' αυτό η θερμική ανωμαλία είναι ανιχνεύσιμη, μόνον αν η αντίστοιχη θερμική ροή είναι τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερη από την κανονική. Επομένως οι μετρήσεις υπέρυθρης ακτινοβολίας χρησιμεύουν μόνο για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων ψηλής ενθαλπίας.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (3/7)

Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας στο έδαφος γίνονται με ηλεκτρικές μετρητικές συσκευές, όπως τα θερμόμετρα αντιστάσεως (resistance thermometers), οι θερμίστορες (thermistors) και τα θερμοζεύγη (thermocouples).

Οι μετρήσεις αυτές γίνονται σε δυο διαφορετικά βάθη, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας. Το ελάχιστο βάθος μέτρησης πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 0,5 m, για να μη επηρεάζεται η μετρούμενη τιμή από την ημερήσια μεταβολή της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του εδάφους.

Ακόμη η διαφορά βάθους των δυο μετρήσεων πρέπει να είναι της τάξης των 10 m τουλάχιστον, για να μη επηρεάζεται αισθητά η τιμή που υπολογίζεται για την θερμοβαθμίδα από την ακρίβεια της μέτρησης, που είναι $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Συνήθως γίνονται μετρήσεις σε βάθη 1 και 10 m. Στα αποτελέσματα πρέπει να γίνεται κατάλληλη διόρθωση, για να εξαλειφθεί η επίδραση της ετήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας. Καταλληλότερα για ποσοτικούς υπολογισμούς είναι τα αποτελέσματα μετρήσεων σε βάθη μεγαλύτερα από 30 m.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (4/7)

Οι μετρήσεις της κατακόρυφης θερμοβαθμίδας χρησιμεύουν στον καθορισμό της έκτασης της θερμικής περιοχής. Η χρησιμοποίησή τους όμως για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών σε βαθύτερα στρώματα είναι παρακινδυνευμένη, για τους ακόλουθους λόγους:

α) Η θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων αυξάνεται γενικά με το βάθος και

β) Στα συναγωγικά υδροθερμικά συστήματα η θερμοβαθμίδα στην περιοχή της κυκλοειδούς συναγωγικής κινήσεως είναι πολύ μικρότερη από αυτήν που εμφανίζεται στα υπερκείμενα στρώματα.

Ακριβέστερες πληροφορίες δίνουν οι μετρήσεις της θερμικής ροής, που περιλαμβάνουν παράλληλες μετρήσεις θερμοκρασίας και θερμικής αγωγιμότητας των πετρωμάτων.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (5/7)

Γεωηλεκτρικές μετρήσεις

Πρόκειται για μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των διαφόρων εδαφικών στρωμάτων. Οι γεωθερμικοί υδροφορείς παρουσιάζουν αυξημένη ηλεκτρική αγωγιμότητα σε σχέση με τα εδαφικά στρώματα που τους περιβάλλουν.

Αυτό οφείλεται στην παρουσία νερού, στην αλατότητα και στην θερμοκρασία.

Οι γεωηλεκτρικές μέθοδοι διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Στην μια κατηγορία ανήκουν όσες μετρούν το ηλεκτρικό δυναμικό φυσικών ηλεκτρικών πεδίων και στην άλλη αυτές που χρησιμοποιούν τεχνητό ηλεκτρικό πεδίο. Μέθοδοι και των δυο κατηγοριών έχουν χρησιμοποιηθεί με αρκετή επιτυχία στην διερεύνηση περιοχών με γεωθερμικό ενδιαφέρον.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (6/7)

Σεισμικές μέθοδοι

Για την διερεύνηση περιοχών γεωθερμικού ενδιαφέροντος προσφέρονται κυρίως οι παθητικές σεισμικές μέθοδοι, που περιλαμβάνουν καταγραφή των φυσικών μικροσεισμών και του σεισμικού θορύβου της περιοχής. Οι μικροσεισμοί αυτοί οφείλονται σε μικροεκρήξεις που συμβαίνουν όταν υπέρθερμο νερό, που ανεβαίνει μέσα από ρήγματα, μετατρέπεται απότομα σε υδρατμό, καθώς συναντά μικρότερες πιέσεις. Επομένως η χαρτογράφηση των επικέντρων των μικροσεισμών βοηθά στον καθορισμό των ζωνών ανόδου του γεωθερμικού ρευστού.

Οι ενεργητικές σεισμικές μέθοδοι, που στηρίζονται στην διάθλαση και την ανάκλαση ελαστικών κυμάτων στα διάφορα εδαφικά στρώματα, προσφέρουν κυρίως έμμεσες πληροφορίες, βοηθώντας στην διαπίστωση της στρωματογραφίας της περιοχής. Μπορούν όμως να βοηθήσουν και στον απευθείας εντοπισμό γεωθερμικών πηγών, γιατί η ταχύτητα των επιμήκων κυμάτων μειώνεται, η μορφή τους αλλάζει και η απορρόφησή τους είναι μεγαλύτερη σε περιοχές με θετική θερμική ανωμαλία.



Έρευνα με γεωφυσικές μεθόδους (7/7)

Βαρυτομετρικές μέθοδοι

Μετρήσεις του πεδίου βαρύτητας (δηλαδή της τοπικής τιμής του g) χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της γεωλογικής δομής της περιοχής, αλλά και για τον εντοπισμό ηφαιστειακών πετρωμάτων, μαγματικών διεισδύσεων ή υδροθερμικά μεταμορφωμένων πετρωμάτων, η παρουσία των οποίων προκαλεί τοπικές ανωμαλίες του πεδίου βαρύτητας. Επειδή όμως οι τοπικές αυτές ανωμαλίες μπορεί να μη σχετίζονται με γεωθερμικά συστήματα, οι βαρυτομετρικές μέθοδοι πρέπει να συνδυάζονται με άλλες ερευνητικές μεθόδους.

Μετρήσεις του πεδίου βαρύτητας σε συνδυασμό με μετρήσεις της ακτινοβολίας γ και της θερμικής ροής σε γεωτρήσεις μικρού βάθους, χρησιμοποιούνται και για τον εντοπισμό θερμών άνυδρων πετρωμάτων.



Ερευνητικές γεωτρήσεις μεγάλου βάθους

Το τελευταίο στάδιο κάθε προγράμματος γεωθερμικών ερευνών περιλαμβάνει την διάνοιξη ερευνητικών γεωτρήσεων μεγάλου βάθους. Επειδή το κόστος των γεωτρήσεων είναι μεγάλο, η θέση τους καθορίζεται ακριβώς με βάση τα στοιχεία που συγκεντρώνονται στα προηγούμενα στάδια της έρευνας. Σκοπός είναι να συλλέγουν τα απαραίτητα στοιχεία για τον γεωθερμικό υδροφορέα με περιορισμένο αριθμό γεωτρήσεων. Τέτοια στοιχεία είναι η κατανομή της θερμοκρασίας και της πίεσης με το βάθος, το πορώδες και η διαπερατότητα του γεωθερμικού υδροφορέα, η σύνθεση του γεωθερμικού ρευστού, η λιθολογική και στρωματογραφική δομή. Τα στοιχεία αυτά χρησιμεύουν στην τελική εκτίμηση των δυνατοτήτων της ενεργειακής πηγής.



Νομικό πλαίσιο (Ν. 3175/2003) (1/4)

- 1) Ως **γεωθερμικό δυναμικό** ορίζεται *«το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, των θερμών νερών, επιφανειακών ή υπόγειων, και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους είκοσι πέντε βαθμούς Κελσίου»*. Το γεωθερμικό δυναμικό, που αναφέρεται ρητά ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, εντάσσεται στο Ν.Δ. 210/1973 «Περί μεταλλευτικού κώδικα». Αναφέρεται όμως ότι το δικαίωμα διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού μπορεί *«να κατισχύει του δικαιώματος εκμετάλλευσης άλλων μεταλλευτικών ή λατομικών ορυκτών»*, εφόσον κατά την κρίση του Υπουργού Ανάπτυξης *«η συγκεκριμένη εκμετάλλευση του γεωθερμικού δυναμικού είναι μεγαλύτερης σημασίας για την εθνική οικονομία»*.



Νομικό πλαίσιο (Ν. 3175/2003) (2/4)

2) Ως **γεωθερμικό πεδίο** ορίζεται «....». Τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε βεβαιωμένα και πιθανά, με βάση τον ενιαίο μεταλλευτικό χώρο μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτοτελές γεωθερμικό δυναμικό βαθμό πιστοποίησης των χαρακτηριστικών τους με ερευνητικές εργασίες. Προϊόν ενός γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο, ενώ παραπροϊόντα θεωρούνται άλλα προϊόντα (π.χ. βόριο), που συμπαραγονται. Τέλος το γεωθερμικό ρευστό που απομένει μετά την απόληψη του προϊόντος και των παραπροϊόντων, χαρακτηρίζεται σαν υποπροϊόν.



Νομικό πλαίσιο (Ν. 3175/2003) (3/4)

3) Το δικαίωμα έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού και των γεωθερμικών πεδίων ανήκει, κατά την έννοια του ΝΔ 210/1973, μόνο στο Δημόσιο, το οποίο μπορεί να εκμισθώνει το δικαίωμα αυτό σε ιδιώτες, ύστερα από πλειοδοτικό διαγωνισμό. Οι προτάσεις που υποβάλλονται, τόσο για διανομή θερμικής ενέργειας όσο και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αξιολογούνται από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), που υποβάλλει εισήγηση στον Υπουργό Ανάπτυξης, ο οποίος είναι αρμόδιος για τη χορήγηση της σχετικής άδειας. Το Υπουργείο Ανάπτυξης είναι αρμόδιο και για τη ρύθμιση ζητημάτων που ανακύπτουν μεταξύ φορέων εκμετάλλευσης ιαματικών πηγών και διαχείρισης γεωθερμικού δυναμικού. Η εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας γεωλογικών σχηματισμών και νερών (επιφανειακών ή υπόγειων) με θερμοκρασίες μικρότερες των 25°C, που δεν χαρακτηρίζεται δηλαδή σαν γεωθερμικό δυναμικό, επιτρέπεται με άδεια της νομαρχιακής αυτοδιοίκησης.



Νομικό πλαίσιο (Ν. 3175/2003) (4/4)

Συναφής είναι και ο **νόμος 3468/2006**, που αφορά στην «παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας υψηλής απόδοσης». Ο νόμος αυτός ενσωματώνει στο ελληνικό δίκαιο την **Οδηγία 2001/77/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου.



Μελλοντικές Προοπτικές (1/2)

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας επεκτείνεται με την πάροδο του χρόνου. Η επέκταση αυτή αναμένεται ότι θα συνεχιστεί με αυξανόμενο ρυθμό, λόγω της όξυνσης των περιβαλλοντικών προβλημάτων και της σταδιακής εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων.

Από τεχνική άποψη οι δυνατότητες αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας θα αυξάνουν με τη σταδιακή βελτίωση γνωστών ή την εισαγωγή νέων ρηξικέλευθων μεθόδων στους ακόλουθους τομείς:



Μελλοντικές Προοπτικές (2/2)

1. Εντοπισμού και εκτίμησης των γεωθερμικών πηγών.
2. Κατασκευής γεωτρήσεων μεγάλου βάθους με μικρό κόστος.
3. Παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ρευστά με σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (μικρότερη από 100°C).
4. Απόδοσης και λειτουργικότητας των συστημάτων θέρμανσης χώρων.
5. Κατακερματισμού θερμών άνυδρων πετρωμάτων με υδραυλικό ή χημικό τρόπο.
6. Σχεδιασμού και οργάνωσης της εκμετάλλευσης για πολλές χρήσεις.
7. Ελέγχου της διάβρωσης ή των εναποθέσεων στις σωληνώσεις μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών.



Μονάδες Μέτρησης της Θερμότητας

Η θερμότητα είναι μορφή ενέργειας, επομένως μπορεί να μετρηθεί σε μονάδες ενέργειας (Joule και τα πολλαπλάσιά του). Μερικές φορές μάλιστα τίθεται ο δείκτης th (π.χ. KJ_{th}) για να υποδηλώσει τη θερμική ενέργεια (ενώ για την ηλεκτρική χρησιμοποιείται ο δείκτης e). Ακόμη, για ιστορικούς λόγους, αλλά και λόγω της ειδικής σχέσης της θερμότητας με τις άλλες ενεργειακές μορφές, χρησιμοποιούνται και ειδικές μονάδες, όπως *thermie* και *calorie* (που ορίζεται ως η ποσότητα θερμότητας, που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία ενός γραμμαρίου νερού από τους 14.5 στους 15.5°C).

Για τα υγρά καύσιμα χρησιμοποιείται το βαρέλι (*barrel*), ενώ για τις ήπιες μορφές ενέργειας χρησιμοποιείται το *Tonne of oil equivalent* = ισοδύναμο τόννου πετρελαίου, που αναφέρεται και ως *TEP* (*Tonne Equivalent Petrole*). Μια πηγή παρέχει θερμική ενέργεια ενός *Toe*, όταν υποκαθιστά έναν τόννο πετρελαίου στη θέρμανση κάποιου χώρου.



Το ενεργειακό πρόβλημα και η αντιμετώπισή του (1/2)

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται συνεχώς, δημιουργώντας το λεγόμενο ενεργειακό πρόβλημα. Το πρόβλημα αυτό έχει δύο πτυχές:

- α) την ποσοτική (επάρκεια των ενεργειακών πηγών) και
- β) την ποιοτική (επιπτώσεις στο περιβάλλον).

Η κατά κεφαλήν κατανάλωση ενέργειας είναι υπερβολική σε ορισμένες πλούσιες χώρες, αλλά εξακολουθεί να παραμένει σε πολύ χαμηλά επίπεδα σε πολλές χώρες του τρίτου κόσμου. Στις χώρες αυτές η αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας είναι απαραίτητη για την επίτευξη ανεκτού βιοτικού επιπέδου.

Γι' αυτό αναμένεται ότι η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας θα μεγαλώσει, με ταχύτερο μάλιστα ρυθμό από τον πληθυσμό. Επομένως το πρόβλημα επάρκειας των ενεργειακών πηγών θα οξυνθεί.



Το ενεργειακό πρόβλημα και η αντιμετώπισή του (2/2)

Παράλληλα όμως οξύνεται και το πρόβλημα της ρύπανσης του περιβάλλοντος, η οποία οφείλεται στην κατανάλωση ενέργειας. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και θείου, έχουν φθάσει ήδη σε ανησυχητικά επίπεδα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί πλέον τον εφιάλτη των κατοίκων πολλών μεγαλουπόλεων, ενώ το φαινόμενο του θερμοκηπίου και η συνακόλουθη κλιματική μεταβολή μπορούν να έχουν δραματικές επιπτώσεις τα επόμενα χρόνια. Και οι δύο πτυχές του ενεργειακού προβλήματος μπορούν και πρέπει να αντιμετωπισθούν με τους ακόλουθους, συμπληρωματικούς μεταξύ τους, τρόπους:

- α) Με εξοικονόμηση ενέργειας, δηλαδή με αποφυγή κάθε περιττής κατανάλωσης. Για παράδειγμα, η θερμική μόνωση των κτιρίων συντελεί στην εξοικονόμηση ενέργειας
- β) Με καλύτερη αξιοποίηση των συμβατικών ενεργειακών πηγών, π.χ. με τη βελτίωση της απόδοσης των καυστήρων πετρελαίου των συστημάτων θέρμανσης και
- γ) Με αξιοποίηση νέων καθαρών ενεργειακών πηγών, όπως είναι οι ήπιες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



Ήπιες και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (1/2)

Η γεωθερμική, η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, όπως και η ενέργεια από την κίνηση του θαλάσσιου νερού και τις υδατοπτώσεις, έχουν ορισμένα κοινά χαρακτηριστικά, που επιτρέπουν την κατάταξή τους σε μια κατηγορία ή ομάδα. Για την ομάδα αυτή συνολικά ή για υποομάδες από τα περισσότερα μέλη της, προτάθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν διάφορα ονόματα.

Στην αγγλική βιβλιογραφία βρίσκουμε τους όρους *alternative*, *renewable*, *low* και στην γαλλική τους *renouvelables*, *nouvelles*.



Ήπιες και ανανεώσιμες μορφές ενέργειας (2/2)

Οπωσδήποτε δεν πρόκειται για νέες ενεργειακές μορφές. Για παράδειγμα, η αιολική ενέργεια χρησίμευε επί αιώνες για την κίνηση πλοίων και ανεμόμυλων, ενώ θερμές πηγές, δηλαδή γεωθερμική ενέργεια, χρησιμοποιούνταν από τους Ρωμαίους σε δημόσια λουτρά (θήρμες). Στην εποχή μας όμως αυτές οι μορφές ενέργειας χρησιμοποιούνται με νέο, πιο πολύπλοκο τρόπο.

Ο όρος low (χαμηλής στάθμης) δεν μπορεί να περιλάβει όλες τις πηγές της κατηγορίας που εξετάζουμε, ενώ ο όρος alternative (εναλλακτικός) είναι πολύ γενικός και αόριστος.

Πιο κατάλληλος φαίνεται ο όρος ανανεώσιμος (renewable, renouvellable), γιατί οι πηγές αυτές είναι, στην ουσία, μηχανισμοί παροχής ενέργειας.

Ακόμη κατάλληλος είναι και ο χαρακτηρισμός ήπιος (soft), γιατί δεν προκαλούν σημαντικά προβλήματα στο περιβάλλον.



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (1/4)

Τα κύρια **πλεονεκτήματα** των ανανεώσιμων και ήπιων μορφών ενέργειας σε σχέση με το πετρέλαιο, τον άνθρακα και την πυρηνική ενέργεια είναι αυτά που δηλώνει το όνομά τους, δηλαδή:

Δεν υπάρχει πρόβλημα εξάντλησής τους, εφόσον βέβαια η εκμετάλλευση γίνεται με σωστό τρόπο.

Η χρήση τους προκαλεί μικρή βλάβη στο περιβάλλον.



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (2/4)

Ακόμη έχουν και τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

Προσφέρονται για την κατασκευή μικρών σταθμών κοντά στον τόπο κατανάλωσης. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για χώρες με μεγάλη γεωγραφική κατάτμηση.

Η παροχή τους είναι δεδομένη και δεν μπορεί να ελεγχθεί από πολιτικά και οικονομικά συμφέροντα (η αξιοποίησή τους βέβαια ελέγχεται).

Είναι κατανεμημένες πολύ πιο ομοιόμορφα στο σύνολο του πλανήτη. Σε πολλές περιπτώσεις δεν απαιτείται ιδιαίτερα υψηλή τεχνολογία για την εκμετάλλευσή τους.

Συντελούν στην αποκέντρωση (επομένως και στη σταθερότητα) του συστήματος παροχής ενέργειας και ευνοούν την περιφερειακή ανάπτυξη.



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (3/4)

Τα μειονεκτήματα τους, που επιβαρύνουν οικονομικά την εκμετάλλευσή τους, είναι:

Η παροχή τους είναι ασυνεχής και μεταβαλλόμενη. Πολλές φορές το μέγιστο της προσφοράς συμπίπτει με το ελάχιστο της ζήτησης. Η αποθήκευσή τους σε πρωτογενή μορφή είναι μάλλον αδύνατη.

Βρίσκονται πολύ διασκορπισμένες, γι' αυτό ένα μικρό μέρος τους είναι εκμεταλλεύσιμο.

Σε πολλές περιπτώσεις παρέχουν ενέργεια χαμηλής στάθμης.



Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (4/4)

Στην Ελλάδα οι οικονομοτεχνικές συνθήκες για την αξιοποίηση των ήπιων μορφών ενέργειας είναι εξαιρετικά ευνοϊκές για τους ακόλουθους λόγους:

- Η παροχή των πηγών αυτών (μεγάλη ηλιοφάνεια, αυξημένη γεωθερμική ροή) είναι σημαντική.
- Η τεχνολογία για την εκμετάλλευσή τους μπορεί να αναπτυχθεί στη χώρα μας.
- Το πετρέλαιο, αλλά και το φυσικό αέριο, είναι εισαγόμενα είδη.
- Η μεγάλη σεισμικότητα καθιστά εξαιρετικά δύσκολη την εγκατάσταση πυρηνικών σταθμών, ενώ αυξάνει και τον κίνδυνο ατυχημάτων από τη χρήση του φυσικού αερίου. Το πρόβλημα της σεισμικότητας υπάρχει βέβαια και σε όμορες χώρες (Βουλγαρία, Τουρκία), που έχουν πυρηνικούς σταθμούς ή έχουν προγραμματίσει την κατασκευή τους.
- Η γεωγραφική κατάτμηση της Ελλάδας είναι μεγάλη, άρα συμφέρει η κατασκευή μικρών σταθμών κοντά στον τόπο κατανάλωσης.





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Ιωάννης Αυγολούπης
Θεσσαλονίκη, Εαρινό Εξάμηνο 2012-2013



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ