



Γεωθερμία

Ενότητα 5: Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας

Καθηγητής Κωνσταντίνος Λ. Κατσιφαράκης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΑΠΘ



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.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (1/7)

Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας έχει πολλές εφαρμογές. Κυριότερη είναι η θέρμανση χώρων, δηλαδή κατοικιών, χώρων εργασίας, αθλητικών εγκαταστάσεων κ.λ.π. καθώς και η θέρμανση νερού για οικιακή χρήση. Ο τομέας αυτός δεν πρέπει να υποτιμάται, γιατί απορροφά σημαντικό ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται.

Παρεμφερής είναι και η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας στον πρωτογενή τομέα, για θέρμανση θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας κ.λ.π. Έχει τέλος και βιομηχανικές εφαρμογές, όπως στην ξήρανση γεωργικών προϊόντων και στη χώνευση ιλύος εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (2/7)

Επομένως η αξιοποίηση των γεωθερμικών πηγών χαμηλής ενθαλπίας, που είναι σχετικά άφθονες, μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην αντιμετώπιση του ενεργειακού προβλήματος, αλλά και να συντελέσει στην ανάπτυξη του πρωτογενούς και του δευτερογενούς τομέα της οικονομίας. Ακόμη η αξιοποίηση των θερμών ιαματικών πηγών μπορεί να συντελέσει στην ανάπτυξη του τριτογενούς τομέα.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (3/7)

Οι συνθήκες εκμετάλλευσης είναι ευνοϊκές στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας, όπου το βάθος άντλησης είναι μικρό. Όμως τα πεδία αυτά δεν είναι οι μόνες ενεργειακές πηγές της κατηγορίας αυτής.

Στις περιοχές της Γης με κανονική θερμοβαθμίδα, δηλαδή στο μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, η θερμοκρασία σε βάθος 2000m φθάνει τους 80°C. Επομένως όλοι οι υδροφορείς που υπάρχουν σ' αυτό το βάθος, αποτελούν γεωθερμικές πηγές χαμηλής ενθαλπίας. Για την εκμετάλλευσή τους απαιτούνται γεωτρήσεις μεγάλου βάθους. Γι' αυτό το κόστος κατασκευής και λειτουργίας είναι σχετικά μεγάλο. Πάντως σε ορισμένες χώρες γίνεται εκτεταμένη εκμετάλλευση των πηγών αυτών.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (4/7)

Ενεργειακές πηγές πολύ χαμηλής ενθαλπίας αποτελούν οι υδροφορείς που βρίσκονται σε μικρό βάθος. Σε κλιματικές συνθήκες όμοιες με τις Ελληνικές, η θερμοκρασία σε βάθος 30-50 m κυμαίνεται από 12 ως 15°C. Επομένως το νερό των υδροφορέων αυτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση, με τη βοήθεια αντλίας θερμότητας. Η απόδοση των πηγών αυτών βελτιώνεται, αν το καλοκαίρι διοχετεύεται στον υδροφόρα νερό, που έχει θερμανθεί με ηλιακούς συλλέκτες (ηλιογεωθερμία).

Ο συνδυασμός αυτός παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για τη χώρα μας.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μπορούν να λειτουργούν και με κλειστό κύκλωμα νερού, οπότε εκμεταλλεύονται τη θερμότητα του υπεδάφους. Μάλιστα η περίπτωση αυτή είναι η πιο συνηθισμένη.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (5/7)

Κριτήρια αξίας των γεωθερμικών πηγών χαμηλής ενθαλπίας είναι το ποσό θερμίδων που παρέχουν και η θερμοκρασία του παρεχομένου νερού.

Για τον λόγο αυτό η ενέργεια που παράγεται από τις πηγές αυτές, μετρείται με βάση την ποσότητα πετρελαίου που υποκαθιστούν στη θέρμανση κάποιου χώρου. Η μονάδα μέτρησης ονομάζεται Toe (Tonne of oil equivalent = ισοδύναμο τόννου πετρελαίου).



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (6/7)

Πρώτη χώρα σε χρήση γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων είναι η Ισλανδία, όπου η ενεργειακή αυτή πηγή καλύπτει τις ανάγκες του 85% του συνόλου των κατοικιών. Βέβαια η Ισλανδία διαθέτει πολύ μεγάλο αριθμό γεωθερμικών πεδίων χαμηλής (και ψηλής) ενθαλπίας.

Χαρακτηριστικό είναι και το παράδειγμα της Γαλλίας, όπου γίνεται εκμετάλλευση υδροφορέων μεγάλου βάθους για θέρμανση χώρων και η παραγόμενη ενέργεια το 2007 έφθασε τους 130000 Toe.



Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας (7/7)

Στην Ελλάδα, όπου οι συνθήκες είναι ευνοϊκότερες από ό,τι στην Γαλλία, γίνεται μόνον σποραδική χρήση, κυρίως σε θερμοκήπια (π.χ. στην περιοχή της λίμνης Βόλβης και στη λεκάνη του Στρυμώνα), αν και έχουν γίνει πολλές μελέτες και έρευνες με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Αξιοσημείωτη είναι η γεωθερμική μονάδα αφαλάτωσης νερού, που κατασκευάσθηκε στην Κίμωλο.

Από νομική άποψη, την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας (χαμηλής και ψηλής ενθαλπίας) διέπει ο νόμος 3175/2003 (ΦΕΚ 207/Α/29-8-2003).



Συστήματα παραγωγής του γεωθερμικού νερού και διάθεσής του μετά την χρήση (1/3)

Για την παραγωγή του γεωθερμικού νερού και την διάθεσή του μετά την χρήση εφαρμόζονται τα ακόλουθα συστήματα:

- 1) Σύστημα με ένα πηγάδι άντλησης. Το γεωθερμικό ρευστό μετά την χρησιμοποίησή του διοχετεύεται στο επιφανειακό δίκτυο απορροής. Η λύση αυτή έχει μικρότερο αρχικό κόστος, αλλά δημιουργεί κινδύνους:
 - α) εξάντλησης του υδροφορέα,
 - β) καθιζήσεων του εδάφους, εξαιτίας της πτώσης του υδραυλικού φορτίου και
 - γ) αλλοίωσης της ποιότητας των επιφανειακών νερών από τα άλατα, το υδρόθειο ή άλλα συστατικά, που περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό. Επομένως η δυνατότητα εφαρμογής του συστήματος αυτού εξαρτάται από την ποσότητα και την ποιότητα του αντλούμενου νερού.



Συστήματα παραγωγής του γεωθερμικού νερού και διάθεσής του μετά την χρήση (2/3)

2) Σύστημα με πηγάδι άντλησης και πηγάδι επαναφόρτισης (δίπολο).

Το νερό μετά την χρησιμοποίησή του επαναφέρεται στον γεωθερμικό υδροφορέα με δεύτερο πηγάδι. Έτσι αποφεύγονται οι κίνδυνοι, που αναφέρθηκαν για το σύστημα με ένα πηγάδι άντλησης. Επίσης γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου του εδαφικού σκελετού. Το κύριο μειονέκτημα, εκτός από το μεγαλύτερο αρχικό κόστος, είναι ο σχηματισμός ενός ψυχρού μετώπου γύρω από το πηγάδι φόρτισης, το οποίο κινείται προς το πηγάδι άντλησης. Αν το μέτωπο αυτό διανύσει την απόσταση μεταξύ των πηγαδιών, η θερμική ισχύς της πηγής πέφτει, λόγω μείωσης της θερμοκρασίας του αντλούμενου νερού. Η δυσμενής αυτή επίδραση μπορεί να περιοριστεί με κατάλληλο σχεδιασμό.



Συστήματα παραγωγής του γεωθερμικού νερού και διάθεσής του μετά την χρήση (3/3)

Άλλωστε είναι δυνατή η αντιστροφή της ροής κατά τους θερμούς μήνες και η χρήση του συστήματος για κλιματισμό, εφ' όσον οι θερμοκρασίες άντλησης και απόρριψης του γεωθερμικού νερού το επιτρέπουν. Στις περισσότερες περιπτώσεις το δίπολο υπερέχει και προτιμάται.

Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις μπορεί να είναι κατακόρυφες ή κεκλιμένες (π.χ. για να κατασκευαστούν από την ίδια πλατφόρμα γεωτρήσεις άντλησης και επαναφόρτισης). Η κατασκευή τους απαιτεί πολλές φορές πρόσθετες ειδικές διατάξεις και τεχνικές, λόγω των σχετικά ψηλών πιέσεων, της διαβρωτικότητας ορισμένων διαλυμένων συστατικών και της παρουσίας αερίων.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (1/6)

Η ορθολογική εκμετάλλευση ενός γεωθερμικού υδροφορέα χαμηλής ενθαλπίας προϋποθέτει κατάλληλο σχεδιασμό του συστήματος παραγωγής του γεωθερμικού νερού (και διάθεσής του, αν αυτό επαναφέρεται στον υδροφορέα). Ο σχεδιασμός αυτός βασίζεται στη μελέτη των φαινομένων μεταφοράς μάζας και θερμότητας που συμβαίνουν στον γεωθερμικό υδροφορέα, δηλαδή στην κατασκευή και επίλυση του αντίστοιχου μαθηματικού ομοιώματος.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (2/6)

Στο μαθηματικό ομοίωμα μπορεί να παραλειφθεί η δράση των μηχανισμών μεταφοράς θερμότητας, που δεν παίζουν σημαντικό ρόλο σε γεωθερμικούς υδροφορείς χαμηλής ενθαλπίας. Τέτοιοι μηχανισμοί είναι η ακτινοβολία και η φυσική συναγωγή. Η εξήγηση είναι απλή. Στους εξεταζόμενους υδροφορείς οι θερμοκρασίες είναι σχετικά μικρές και οι πόροι είναι γεμάτοι με νερό. Επομένως η ακτινοβολία δεν συνεισφέρει αισθητά στην μεταφορά θερμότητας.

Μικρές είναι και οι θερμοκρασιακές διαφορές που αναπτύσσονται. Άρα και οι συνακόλουθες διαφορές πυκνότητας δεν είναι αρκετά μεγάλες για να θέσουν σε κίνηση το νερό του υδροφορέα. Το μόνο αισθητό αποτέλεσμα της φυσικής συναγωγής είναι κάποια κλίση του θερμικού μετώπου, που διαχωρίζει τον ψυχρό από τον θερμό όγκο του νερού. Η κλίση αυτή όμως μπορεί να αγνοηθεί.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (3/6)

Κύριος μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας είναι η εξαναγκασμένη συναγωγή, που προκαλείται από την λειτουργία του συστήματος εκμετάλλευσης, δηλαδή από την διαφορά υδραυλικού φορτίου ανάμεσα στα πηγάδια άντλησης και φόρτισης.

Σε προβλήματα της κλίμακας που εξετάζουμε παίζει σημαντικό ρόλο και η θερμική διασπορά (thermal dispersion), που είναι αποτέλεσμα της κινηματικής διασποράς, δηλαδή της τοπικής διακύμανσης των συναγωγικών ταχυτήτων στα όρια θερμού-ψυχρού νερού. Η διασπορά είναι τμήμα της συναγωγής, όμως έχει ίδιο φυσικό αποτέλεσμα με την αγωγή, δηλαδή συντελεί στην εξομάλυνση του θερμικού μετώπου. Για τον λόγο αυτό η δράση τους εκφράζεται μαθηματικά με κοινό συντελεστή, που ονομάζεται συντελεστής φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας. Στον συντελεστή αυτόν μπορεί να περιληφθεί και η μικρή επίδραση της μοριακής διάχυσης (molecular diffusion) δηλαδή της μεταφοράς θερμότητας με τα μόρια, που περνούν από την θερμή στην ψυχρή περιοχή του ρευστού.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (4/6)

Η σχετική σπουδαιότητα της φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας ως προς την εξαναγκασμένη συναγωγή εκφράζεται με τον αδιάστατο αριθμό Péclet, ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

$$Pe = \frac{LV}{\lambda} \rho c$$

Όπου:

ρ είναι η πυκνότητα (kg/m^3),

c η ειδική θερμοχωρητικότητα ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

λ ο συντελεστής φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$),

V η συναγωγική ταχύτητα και

L χαρακτηριστικό μήκος.

Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός Peclet, τόσο μικρότερη είναι η σημασία της φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (5/6)

Σημαντική για την επίλυση του μαθηματικού ομοιώματος είναι η παραδοχή της ανεξαρτησίας του πεδίου των ταχυτήτων από την κατανομή των θερμοκρασιών. Η παραδοχή αυτή δικαιολογείται από τις μικρές τιμές των θερμοκρασιακών διαφορών και επιτρέπει τον μαθηματικό διαχωρισμό του υδραυλικού μέρους του προβλήματος από το θερμικό. Υπολογίζονται επομένως πρώτα οι ταχύτητες του νερού V σε κάθε θέση και στην συνέχεια επιλύεται η εξίσωση που περιγράφει την μεταφορά θερμότητας, η οποία έχει την μορφή:

$$\rho_a c_a \frac{\partial T}{\partial t} = -\rho_w c_w V \cdot \nabla T + \nabla(\lambda_a \cdot \nabla T)$$

όπου λ_a είναι ο συντελεστής φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας, ο δείκτης a αναφέρεται στον υδροφορέα και ο w στο νερό. Το αριστερό μέλος δίνει την χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας στην εξεταζόμενη θέση, ο πρώτος όρος του δεξιού μέλους την μεταφορά θερμότητας με συναγωγή και ο δεύτερος την επίδραση της φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας. Η αναλυτική επίλυση είναι δυνατή μόνον σε πολύ απλές περιπτώσεις. Συνηθέστερα τα προβλήματα επιλύονται αριθμητικά.



Μαθηματικό ομοίωμα του συστήματος παραγωγής και διάθεσης του γεωθερμικού νερού (6/6)

Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αρκετός ένας προσεγγιστικός υπολογισμός, στον οποίο αγνοείται η επίδραση της φαινόμενης θερμικής αγωγιμότητας.

Η παραδοχή αυτή μπορεί να επιτρέψει τον αναλυτικό υπολογισμό του χρόνου διάνυσης (breakthrough time) του διπόλου, δηλαδή του χρόνου που χρειάζεται το συναγωγικό θερμικό μέτωπο για να φθάσει από το πηγάδι φόρτισης στο πηγάδι άντλησης. Για παράδειγμα, σε ομογενή υδροφορέα μεγάλων διαστάσεων και ροή υπό πίεση, ο χρόνος διάνυσης δίνεται από τη σχέση:

$$t_b = \frac{\pi H D^2}{3Q} \cdot \frac{\rho_a c_a}{\rho_w c_w}$$

όπου D η απόσταση των πηγαδιών, H το πάχος του υδροφορέα και Q η παροχή των πηγαδιών. Η σχέση αυτή χρησιμεύει πρακτικά για τον υπολογισμό της ελάχιστης επιτρεπτής απόστασης των πηγαδιών του διπόλου.



Ισχύς μιας γεωθερμικής πηγής χαμηλής ενθαλπίας

Η ισχύς I_{th} μιας γεωθερμικής πηγής χαμηλής ενθαλπίας δίνεται από τη σχέση:

$$I_{th} = \rho_w \cdot c_w \cdot Q \cdot (T_1 - T_2)$$

Όπου:

ρ_w η πυκνότητα του γεωθερμικού νερού (kg/m^3),

c_w η ειδική θερμοχωρητικότητα του γεωθερμικού νερού ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$),

Q η παροχή της πηγής (m^3/s) και

T_1, T_2 οι θερμοκρασίες άντλησης και απόρριψης του νερού αντιστοίχως.



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (1/8)

Η πλέον ενδεδειγμένη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας εξαρτάται από την θερμοκρασία T_g του γεωθερμικού νερού. Αν η T_g ξεπερνά τους 70°C , τότε το γεωθερμικό νερό είναι κατάλληλο για θέρμανση κατοικιών με κλασικά θερμαντικά σώματα. Αν $50^\circ\text{C} \leq T_g \leq 70^\circ\text{C}$, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατοικίες με ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης. Αν η T_g είναι ακόμα μικρότερη, το γεωθερμικό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κολυμβητήρια, γυμναστήρια ή σε θερμοκήπια. Αν η T_g δεν είναι αρκούντως ψηλή για την επιθυμητή χρήση, τότε μπορεί να ενσωματωθεί στο σύστημα αντλία θερμότητας.

Συνήθως συμφέρει οικονομικά η χρήση της γεωθερμικής ενέργειας για θέρμανση ολόκληρων οικισμών ή συνόλων κατοικιών, ώστε να μοιράζονται σε πολλούς χρήστες τα έξοδα κατασκευής, συντήρησης και λειτουργίας των γεωτρήσεων και άλλων απαραίτητων εγκαταστάσεων.



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (2/8)

Ένα γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης, που έχει αρκετές διαφορές από τα κλασικά συστήματα τηλεθέρμανσης, περιλαμβάνει:

- Το πηγάδι άντλησης του γεωθερμικού νερού.
- • Τον εναλλάκτη θερμότητας (heat exchanger), αν η ποιότητα του γεωθερμικού νερού δεν είναι ικανοποιητική.

Σε αυτόν το γεωθερμικό νερό αποδίδει τη θερμότητά του στο νερό του δικτύου διανομής θερμού νερού με θερμική αγωγή και χωρίς να αναμιγνύεται με αυτό, διότι κινούνται σε διαφορετικούς αγωγούς. Επομένως το γεωθερμικό νερό μεταφέρεται με ένα δίκτυο από τα πηγάδια άντλησης στον εναλλάκτη και από εκεί στα πηγάδια φόρτισης, ενώ το δίκτυο διανομής θερμού νερού στους χρήστες, που έχει συνολικά μεγαλύτερο μήκος, προστατεύεται από διάβρωση ή εναπόθεση συστατικών του γεωθερμικού νερού. Το κύριο μειονέκτημα της χρήσης του εναλλάκτη είναι η αύξηση του αρχικού κόστους της γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης.



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (3/8)

- Το δίκτυο των σωλήνων μεταφοράς και διανομής.
- Την αντλία θερμότητας (αν απαιτείται)
- Την βοηθητική πηγή θέρμανσης, για την κάλυψη των αιχμών της ζήτησης, αλλά και για λόγους ασφάλειας.
- Το πηγάδι επαναφοράς του γεωθερμικού νερού στον υδροφορέα (αν επιβάλλεται από τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του νερού ή την πτώση στάθμης στον γεωθερμικό υδροφορέα).



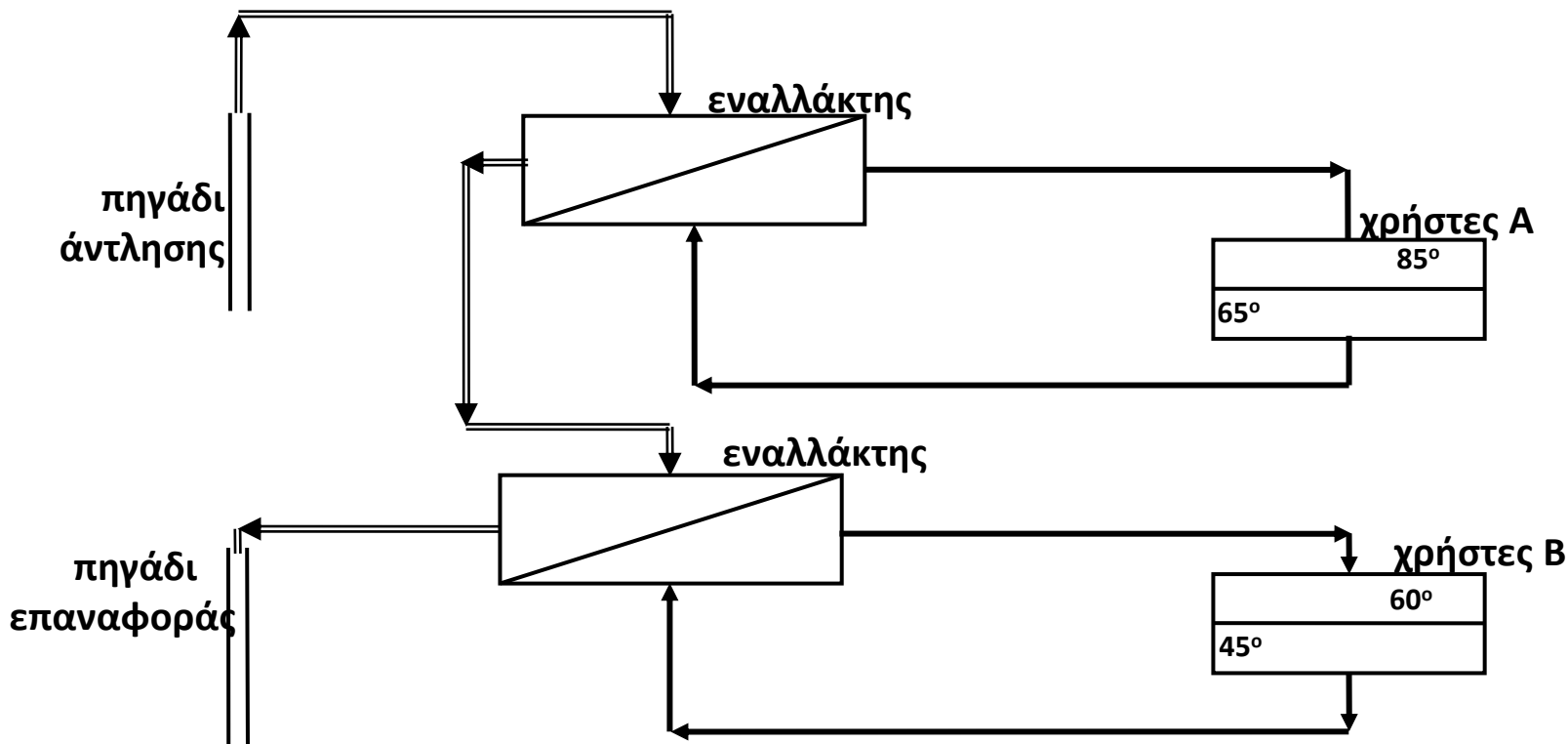
Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (4/8)

Ο αριθμός χρηστών που θα εξυπηρετηθούν από ένα συλλογικό γεωθερμικό σύστημα θέρμανσης, εξαρτάται από το κόστος κατασκευής και λειτουργίας του αντίστοιχου συστήματος παραγωγής και διανομής του θερμού νερού.

Συνήθως η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την κάλυψη των βασικών αναγκών θέρμανσης, ενώ για τις αιχμές της ζήτησης χρησιμοποιείται κάποια βοηθητική πηγή. Όταν όμως το κόστος λειτουργίας των πηγαδιών είναι μικρό και οι αποστάσεις μεταξύ των χρηστών σχετικά μεγάλες (οπότε το κόστος του πρόσθετου δικτύου μεταφοράς του θερμού νερού και οι απώλειες θερμότητας από αυτό είναι μεγάλες), μπορεί να συμφέρει η πλήρης κάλυψη των αναγκών μικρότερου αριθμού χρηστών με τη διαθέσιμη γεωθερμική ενέργεια.



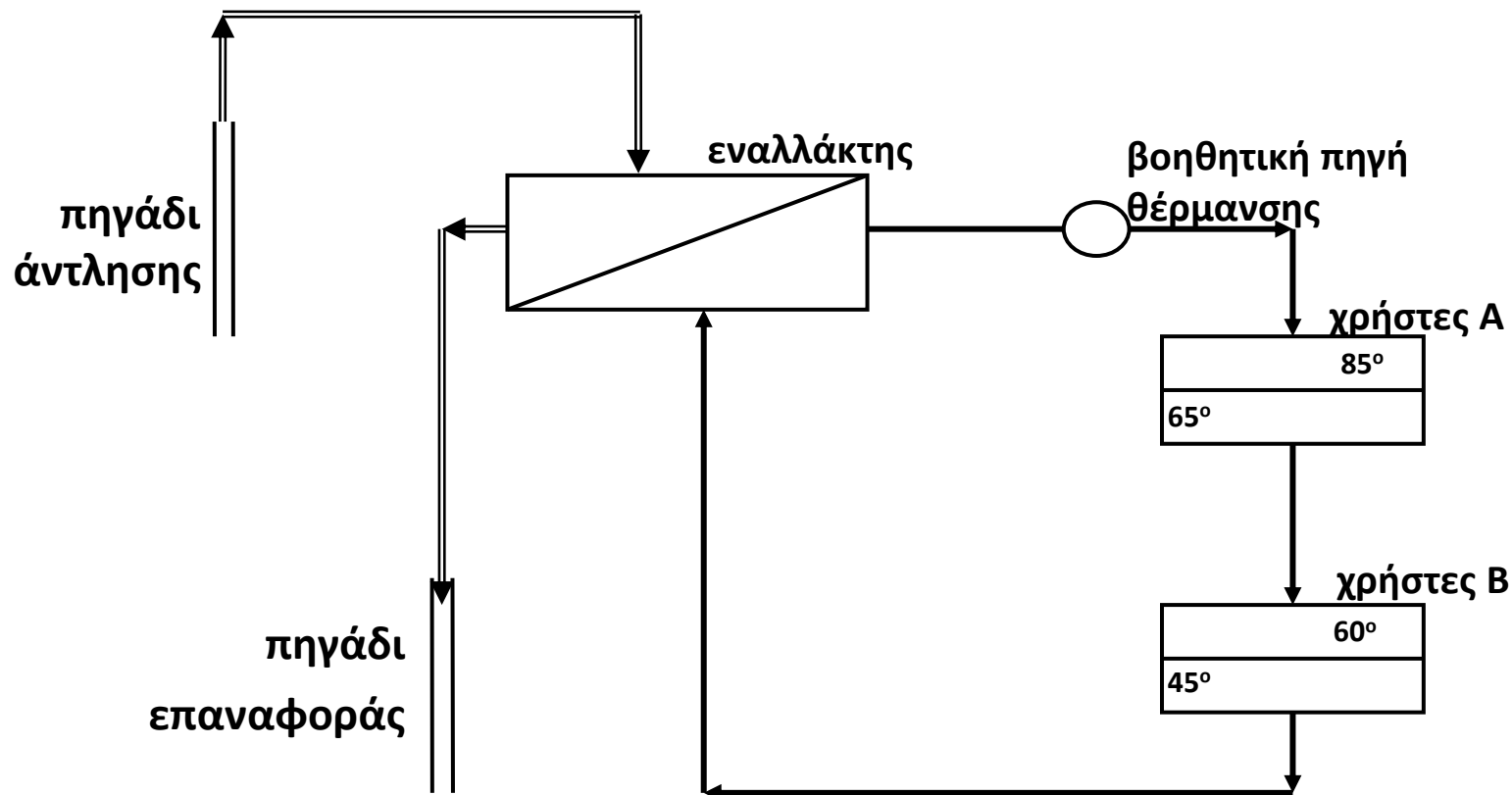
Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (5/8)



Σχήμα 1: Διάγραμμα τυπικού γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (6/8)



Σχήμα 2: Διάγραμμα τυπικού γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (7/8)

Κατά κανόνα το γεωθερμικό νερό διοχετεύεται πρώτα στους χρήστες που απαιτούν ψηλότερες θερμοκρασίες. Έτσι γίνεται καλύτερη εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας.

Η χρήση εναλλακτών θερμότητας υποδηλώνει μη ικανοποιητική ποιότητα γεωθερμικού νερού, ενώ η χρήση πηγαδιού επαναφοράς μεγάλη πτώση στάθμης του πιεζομετρικού φορτίου στον γεωθερμικό υδροφορέα ή/και μη ικανοποιητική ποιότητα του γεωθερμικού νερού.



Συστήματα θέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια (8/8)

Η παρεμβολή βοηθητικής θέρμανσης στο δεύτερο διάγραμμα δείχνει ότι η θερμοκρασία του νερού που βγαίνει από τον εναλλάκτη, πρέπει να αυξηθεί για να φθάσει την απαιτούμενη θερμοκρασία εισόδου για τους χρήστες Α. Τέλος, εκτός από τη θερμοκρασία, και η παροχή του θερμού νερού, που φθάνει σε κάθε χρήστη, πρέπει να είναι ίση με την απαιτούμενη.

Το δίκτυο διανομής του θερμού νερού στους επί μέρους χρήστες (πχ στις κατοικίες που συναποτελούν την ομάδα χρηστών Α) είναι συνήθως ακτινωτό, λόγω χαμηλότερου κόστους. Όμως τα συστήματα με κλειστούς βρόγχους παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια τροφοδοσίας.



Οι αντλίες θερμότητας (1/4)

Οι αντλίες θερμότητας είναι συσκευές που, όπως και τα ψυγεία, μας επιτρέπουν να μεταφέρουμε θερμότητα από ένα ψυχρότερο σώμα σε ένα θερμότερο.

Αυτό φυσικά γίνεται καταναλώνοντας εξωτερική ενέργεια, συνήθως ηλεκτρική. Το όφελος από τη χρήση τους είναι ότι στο θερμό σώμα αποδίδεται και η ποσότητα θερμότητας Q_L , που αποσπάται από το ψυχρό σώμα και αυτή που είναι ισοδύναμη με την παρεχόμενη εξωτερική ενέργεια W_E . Επομένως έχουν συντελεστή απόδοσης COP, που δίνεται από τη σχέση:

$$\text{COP} = \frac{Q_L + W_E}{W_E}$$

Άρα η τιμή του COP είναι μεγαλύτερη της μονάδας. Μάλιστα τιμές του COP ίσες με 3 ή 4 είναι συνηθισμένες.



Οι αντλίες θερμότητας (2/4)

Μια αντλία θερμότητας αποτελείται ουσιαστικά από 2 εναλλάκτες θερμότητας, που συνδέονται με το κύκλωμα του βοηθητικού πτητικού ρευστού. Στον «ψυχρό» εναλλάκτη, που αποκαλείται και εξατμιστής, το βοηθητικό ρευστό φθάνει με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν της πηγής θερμότητας (π.χ. γεωθερμικό νερό με θερμοκρασία μικρότερη από την επιθυμητή).

Έτσι το βοηθητικό ρευστό αποσπά θερμότητα και η θερμοκρασία του αυξάνεται. Μετά οδηγείται στον συμπιεστή, όπου με την παροχή εξωτερικής ενέργειας συμπιέζεται και η θερμοκρασία του αυξάνεται και γίνεται μεγαλύτερη από αυτήν που θέλουμε για τη συγκεκριμένη χρήση. Στη συνέχεια οδηγείται στον «θερμό» εναλλάκτη, που αποκαλείται και συμπυκνωτής, όπου αποδίδει θερμότητα στο ρευστό, το οποίο τελικά θέλουμε να ζεστάνουμε (π.χ. το νερό ενός ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης). Κατόπιν το βοηθητικό ρευστό περνά από τη βαλβίδα εκτόνωσης, όπου, λόγω μείωσης της πίεσής του, ψύχεται σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτήν της πηγής θερμότητας, προς την οποία κατευθύνεται και πάλι.



Οι αντλίες θερμότητας (3/4)

Πηγή θερμότητας μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να είναι ο εξωτερικός αέρας, βιομηχανικά λύματα με σχετικά αυξημένη θερμοκρασία, επιφανειακά νερά, υπόγεια νερά (που αναφέρθηκαν ήδη) ή το υπέδαφος. Στις δύο τελευταίες περιπτώσεις μιλούμε για γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

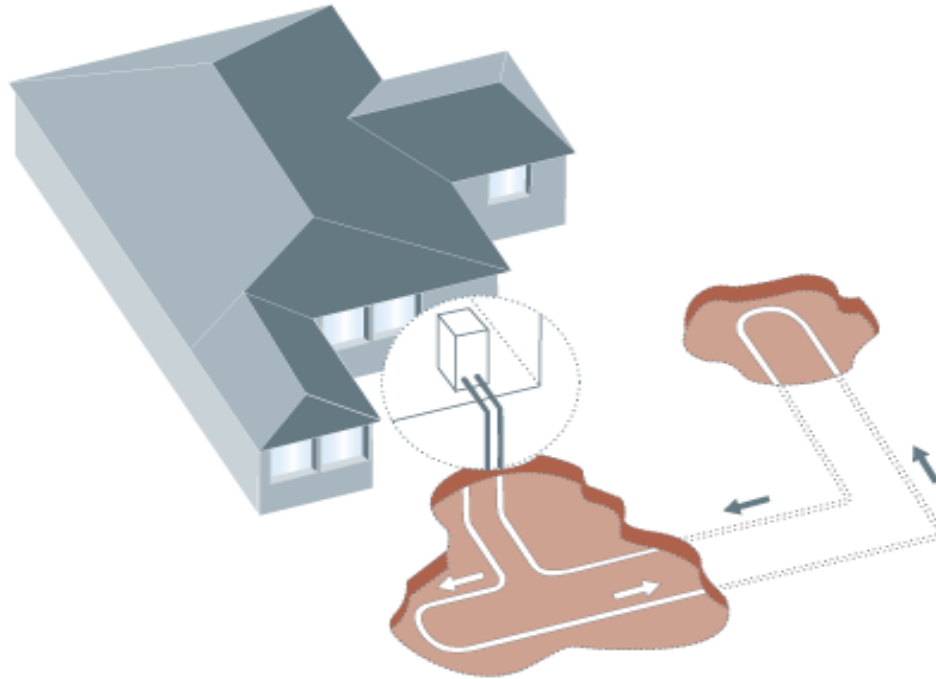
Ειδικά για την εκμετάλλευση της θερμότητας του υπεδάφους, που έχει επαρκή θερμοκρασία από βάθος 2 ή 3 μέτρων και μεγαλύτερο, χρησιμοποιείται βοηθητικό κλειστό κύκλωμα νερού, οριζόντιο ή κατακόρυφο.

Το οριζόντιο κύκλωμα είναι σχετικά φθηνότερο, αλλά απαιτεί χώρο, ο οποίος είναι διαθέσιμος μόνο σε μονοκατοικίες.

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας συνήθως μπορεί να αντιστραφεί, ώστε κατά τη θερμή περίοδο να χρησιμοποιούνται για δροσισμό.



Οι αντλίες θερμότητας (4/4)



Σχήμα 3: Γεωθερμική αντλία θερμότητας με οριζόντιο κλειστό κύκλωμα.

Πηγή: <http://www.retscreen.net/ang/12.php> [RETScreen - Ground-Source Heat Pump Project - e-Textbook chapter \(2.28 MB\)](#), σελίδα 9. Τελευταία ημερομηνία επίσκεψης 14-8-2014.



Θερμομεταλλικές-ιαματικές πηγές (1/2)

Οι πηγές της κατηγορίας αυτής έχουν συνήθως περιορισμένο ενδιαφέρον από ενεργειακή άποψη, μπορεί όμως να παρουσιάζουν σημαντικότατο οικονομικό ενδιαφέρον και να συμβάλλουν στην τοπική ανάπτυξη.

Οι ιαματικές ιδιότητες πολλών θερμών πηγών ήταν γνωστές από την αρχαιότητα σε διάφορες περιοχές της Γης. Στην Ελλάδα μάλιστα, είχαν κτιστεί Ασκληπιεία δίπλα σε ορισμένες από αυτές. Σήμερα τα ιαματικά νερά, ανάλογα με τις ιδιότητές τους, χρησιμοποιούνται είτε για ποσιθεραπεία (κυρίως για νοσήματα του πεπτικού και του ουροποιητικού συστήματος) είτε για λουτροθεραπεία (κυρίως για αναπνευστικές, δερματικές και ρευματικές παθήσεις).



Θερμομεταλλικές-ιαματικές πηγές (2/2)

Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές ιαματικές πηγές, με πιο γνωστές αυτές της Αιδηψού, των Καμένων Βούρλων, των Μεθάνων και της Ικαρίας. Σε σχετικά μικρή απόσταση από τη Θεσσαλονίκη υπάρχουν ιαματικά λουτρά στον Λαγκαδά, τη Νέα Απολλωνία, την Αγία Παρασκευή Χαλκιδικής και το Πόζαρ Αριδαίας, ενώ στην Πικρολίμνη υπάρχει κέντρο πηλοθεραπείας.

Η χρήση για λουτροθεραπεία μπορεί να συμβαδίζει με την ενεργειακή εκμετάλλευση των θερμομεταλλικών πηγών, αν η θερμοκρασία τους το επιτρέπει.



Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι κύριες επιπτώσεις που μπορεί να συνοδεύουν την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας είναι η εμφάνιση εδαφικών καθιζήσεων, λόγω πτώσεως του υδραυλικού φορτίου και η αλλοίωση της ποιότητας των επιφανειακών νερών από τα επιβλαβή συστατικά που περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό.

Οι δυσάρεστες αυτές συνέπειες αποφεύγονται εύκολα, με επαναφορά του γεωθερμικού νερού στον υδροφορέα μετά την χρησιμοποίησή του.

Ακόμη, οι πρόσθετες εκπομπές επιβλαβών αερίων είναι συνήθως περιορισμένες. Σε ορισμένες περιπτώσεις μάλιστα, το εκλυόμενο CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη βιομηχανία αναψυκτικών. Επομένως ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα εκμετάλλευσης έχει ελάχιστη βλαπτική επίδραση στο περιβάλλον.





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