



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΘΕΜΑ:
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

**ΦΟΙΤΗΤΕΣ:
ΤΣΑΝΑΚΑΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ-
ΜΩΥΣΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ :ΚΟΝΙΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	5
1.1 Εισαγωγή	5
1.2 Το Πρωτόκολλο του Κιότο	7
1.3 Ευρωπαϊκές Δεσμεύσεις	8
1.4 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα	8
1.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	9
Κεφάλαιο 2: Γενικά για την γεωθερμία	19
2.1 Η ανάπτυξη της Γεωθερμίας-Ιστορική αναδρομή	19
2.2 Βασικές έννοιες της γεωθερμίας	21
2.3 Τα γεωθερμικά πεδία	22
2.4 Γεωθερμικό σύστημα	24
2.5 Γεωθερμικοί πόροι	25
2.6 Θερμά ξηρά πετρώματα	26
Κεφάλαιο 3: Μορφές γεωθερμίας	28
3.1 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων	28
3.2 Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια	30
3.3 Υδροθερμική ενέργεια-Υδροθερμικές πηγές	31
3.4 Γεωπεπιεσμένες πηγές	32
3.5 Μάγμα	32
Κεφάλαιο 4: Συστήματα αξιοποίησης της αβαθούς Γεωθερμίας	33
4.1 Γενικά	33
4.2 Γεωεναλλάκτες	38
4.2.1 Γεωεναλλάκτες ανοιχτού κυκλώματος	40
4.2.2 Γεωεναλλάκτες κλειστού κυκλώματος	47
4.2.3 Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα	54
4.2.4 Συστήματα απευθείας μετάδοσης θερμότητας	59
4.3 Παράγοντες επιρροής λειτουργίας γεωεναλλακτών	60
4.4 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	62
4.4.1 Περιγραφή λειτουργίας	64
4.4.2 Συντελεστές απόδοσης	66
4.5 Συστήματα διανομής θερμικών – ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό χώρων.	68
4.5.1 Ενδοδαπέδια θέρμανση	69
4.5.2 Σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας	71
Κεφάλαιο 5: Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας	74
5.1 Ξηρού ατμού	74

5.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού	76
5.3 Δυαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό	77

Κεφάλαιο 6: Άλλες εφαρμογές της Γεωθερμίας	79
6.1. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού	79
6.2 Αγροτικές Εφαρμογές	80
6.3 Υδατοκαλλιέργειες	84
6.4 Βιομηχανικές εφαρμογές	85
6.5 Λουτροθεραπεία - Θέρμανση πισίνων - Ιατρικές εφαρμογές	87
6.6. Άλλες χρήσεις	88
6.6.1. Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα	88
6.6.2. Διάφορες Χρήσεις	89

Κεφάλαιο 7: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την χρήση της γεωθερμίας	90
7.1 Επιπτώσεις κατά το στάδιο έρευνας των γεωθερμικών πεδίων	90
7.2 Επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων	91
7.2.1. Επιπτώσεις από τη γεώτρηση την παραγωγή και την επανεισαγωγή	91
7.2.2. Αύξηση στάθμης Θορύβου	92
7.2.3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς	92
7.2.4. Πρόκληση καθιζήσεων	92
7.2.5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας	93
7.2.6. Υδροθερμικές εκρήξεις	93
7.3 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες υψηλής ενθαλπίας	93
7.3.1. Εκπομπές αερίων	94
7.3.2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση	94
7.3.3. Απόθεση στερεών αποβλήτων	95
7.3.4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση	95
7.3.5. Θόρυβος	96
7.4 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας	96
7.5 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας	97
7.5.1. Εισαγωγή	98
7.5.2. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων	98
7.5.3. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	98
7.5.3.1 Αντιμετώπιση αερίων εκπομπών	99
7.5.3.1.1 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών υδρόθειου (H ₂ S)	99
7.5.3.1.2 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO ₂)	99
7.5.3.1.3 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών από άλλα αέρια	101
7.5.3.2 Αντιμετώπιση υδάτινης και θερμικής μόλυνσης	101
7.5.3.2.1 Επανεισαγωγή	101
7.5.3.2.2 Φυσικοχημική επεξεργασία του αλμόλοιπου πριν τη διάθεση	101
7.5.3.3 Αντιμετώπιση των στερεών αποβλήτων	102
7.5.3.4 Αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με τις χρήσεις γης	103
7.5.4 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας	104
7.5.4.1 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις αντλίες θερμότητας	104

7.5.4.2 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και ιατρικών εφαρμογών	105
7.5.4.3 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις βιομηχανικές εφαρμογές	105
Κεφάλαιο 8: Παραδείγματα και εφαρμογές	106
8.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1 Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης	106
8.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 Μονοκατοικία στο Gosau, Αυστρία	108
8.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3 Κτίριο Caroubiers, Geneva	110
8.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4 Κτίριο Perret , Satigny Geneva	112
8.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5 Μικρό σχολείο στο Viamao, Βραζιλία	115
Βιβλιογραφία – Ιστογραφία	119

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Σχεδόν ταυτόχρονα με την εμφάνιση του ανθρώπου στη γη, δημιουργήθηκε η ανάγκη για χρήση ενεργειακών πηγών. Από την πρώτη φωτιά των πρωτόγονων ανθρώπων, μέχρι τα σύγχρονα πυρηνικά εργοστάσια, συναντάτε η ενέργεια σε κάθε της μορφή. Οι κυρίαρχες κατηγορίες ενεργειακής χρήσης είναι ακόμη και σήμερα τρεις: θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών για ανθρώπινη άνεση, θερμότητα υψηλών θερμοκρασιών για φωτισμό και επεξεργασία υλικών και τέλος δύναμη εφαρμοζόμενη για τη δημιουργία κίνησης.

Όπως είναι προφανές η ενέργεια καλύπτει και επηρεάζει κάθε πτυχή της ζωής μας. Όμως αυτή η υπερδραστηριότητα των συνεχόμενων ενεργειακών μετατροπών, δυστυχώς επικεντρώνεται κυρίως σε πηγές που έχουν επιφέρει αδιαμφισβήτητη μόλυνση του περιβάλλοντος, όπως η καύση ανθρακοειδών, πετρελαιοειδών και φυσικού αερίου.

Κάθε χρόνο ως αποτέλεσμα των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, δισεκατομμύρια τόνοι διοξειδίου του άνθρακα(CO₂) κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων(πετρέλαιο ,άνθρακας, φυσικό αέριο) καθώς και άλλων αερίων όπως το μεθάνιο και το υποξείδιο του αζώτου, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα αλλάζοντας τη σύσταση των αερίων που παρέμενε σταθερή για δεκάδες χιλιάδες χρόνια. Η ανατροπή αυτή αναμένεται να αλλάξει δραστικά το κλίμα τις επρχόμενες δεκαετίες. Το διοξείδιο του άνθρακα θεωρείται υπεύθυνο για το 50% της υπερθέρμανσης της ατμόσφαιρας. Σε λιγότερο από 2 αιώνες οι άνθρωποι αυξήσανε κατά 25% τη συνολική ποσότητα CO₂ της ατμόσφαιρας. Κάθε χρόνο επιβαρύνουμε την ατμόσφαιρα με 6 δισεκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα. Έτσι υπολογίζεται ότι η μέση θερμοκρασία της γης θα ανέβει τα επόμενα 100 χρόνια από 2 έως 6 βαθμούς κελσίου.

Οι συνέπειες της υπερθέρμανσης της γης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένες σε όλα τα μήκη και τα πλάτη. Πρόσφατες έρευνες σε Αμερική και Ευρώπη δείχνουν ότι κάτω από τις συνθήκες αυτές προβληματικά κλιματολογικά φαινόμενα όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και άλλα αναμένεται να εμφανίζονται πιο συχνά. Οι σίγουρες συνέπειες της παγκόσμιας υπερθέρμανσης είναι:

1. Η μείωση στα αποθέματα του νερού
2. Οι απότομες μεταβολές στη θερμοκρασία του πλανήτη
3. Οι υψηλές θερμοκρασίες στη θερινή περίοδο
4. Η είσοδος των θαλάσσιων υδάτων στον παράκτιο υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα και η υποβάθμισή του
5. Οι σημαντικές μετακινήσεις πληθυσμού και αγαθών
6. Η δραματική μείωση του αριθμού των ειδών.

Η αλλαγή του κλίματος αμφισβητήθηκε στο παρελθόν και σε οποιεσδήποτε προσπάθειες για την έγκαιρη αντιμετώπιση του φαινόμενου αυτού αντέδρασαν λόμπυ ισχυρών συμφερόντων. Πλέον όμως αυτή η πραγματικότητα είναι αδιαμφισβήτητη καθώς οι συνέπειες του φαινόμενου του θερμοκηπίου είναι ήδη πραγματικότητα. Την τελευταία δεκαετία, εκδηλώθηκαν 3 φορές περισσότερες φυσικές καταστροφές(κυρίως πλημμύρες και τυφώνες) στον κόσμο απ' ότι στη δεκαετία του '60, ενώ τετραπλασιάστηκε το κόστος των καταστροφών από παρόμοια φαινόμενα.

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που λειτουργούν με την καύση λιγνίτη, λιθάνθρακα, πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων, ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος την περιβαλλοντικής κρίσης προκαλώντας αλόγιστη ρύπανση στον αέρα, στο έδαφος, στο υπέδαφος, τον υδροφόρο ορίζοντα αλλά και την υγεία των πολιτών. Στην Ευρώπη οι πιο ρυπογόνοι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λειτουργούν στην Ελλάδα, την Γερμανία, την Πολωνία και την Ισπανία.

Σύμφωνα με έκθεση της WWF η Ελληνική ΔΕΗ είναι 5^η μεγαλύτερη εταιρεία παραγωγής λιγνίτη στον κόσμο, και η πιο ρυπογόνοι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί στην Ευρώπη είναι αυτοί του Αγίου Δημητρίου και της Καρδίας στην Κοζάνη. Οι σταθμοί της ΔΕΗ εκλύουν κάθε χρόνο 43 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα, ποσό που αποτελεί το 40% των συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα της χώρας.

1.2 Το Πρωτόκολλο του Κιότο

Σε μια προσπάθεια αντιμετώπισης των κλιματικών αλλαγών η διεθνής κοινότητα συμφώνησε στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου υπογράφοντας τη σύμβαση πλαίσιο για την κλιματική αλλαγή γνωστό ως το πρωτόκολλο του Κιότο. Η συμφωνία αυτή επικυρώθηκε από περισσότερες από 100 χώρες στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997. Εκεί οι ανεπτυγμένες χώρες δεσμεύτηκαν να μειώσουν συνολικά τις εκπομπές των 6 κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υποξείδιο του αζώτου και διάφορα βιομηχανικά φθοριούχα αέρια).

Το πρωτόκολλο ήταν ένα θετικό βήμα αλλά ατελές για τη σωτηρία του πλανήτη και για την προώθηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς αποτέλεσε την πρώτη συμφωνία που έθεσε συγκεκριμένο στόχο μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου και αναγνώρισε την κοινή αλλά διαφοροποιημένη ευθύνη των διαφόρων χωρών.

Μαζί με το πρωτόκολλο του Κιότο γεννήθηκε μια σειρά πολύπλοκων εννοιών. Οι έννοιες αυτές ονομάζονται «ευέλικτοι μηχανισμοί» ή πιο απλά παραθυράκια για την αποφυγή της πραγματικής μείωσης των εκπομπών. Οι ευέλικτοι αυτοί μηχανισμοί δίνουν το δικαίωμα στις ανεπτυγμένες χώρες να πωλούν και να αγοράζουν πιστώσεις μεταξύ τους. Δηλαδή όταν μια χώρα έχει καταφέρει να μειώσει σε μεγαλύτερο ποσοστό τα αέρια του θερμοκηπίου από αυτό για το οποίο δεσμεύτηκε έχει τη δυνατότητα να εμπορευτεί την επιπλέον αυτή ποσότητα με κάποια χώρα η οποία δεν κατάφερε να φτάσει στον στόχο της.

Όπως φαίνεται τα περιθώρια που προσφέρει το πρωτόκολλο του Κιότο στην ανάπτυξη της αγοράς του άνθρακα το καθιστά ανεπαρκές για την προστασία του παγκοσμίου κλίματος. Όμως οι περιβαλλοντικές οργανώσεις, φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης, αλλά και ορισμένες κυβερνήσεις πιέζουν για νέους πιο φιλόδοξους αλλά και αναγκαίους στόχους, για τη σοβαρότερη προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Το μέλλον των έργων φαίνεται πως βλάπτει τα συμφέροντα των επιχειρήσεων που δε θέλουν να δουν να πηγαίνουν χαμένα τα σχέδια που προσφέρουν σε όσους χρειάζονται τις πιστώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου αλλά και έσοδα στα ταμεία τους.

1.3 Ευρωπαϊκές Δεσμεύσεις

Μέχρι τώρα το πλέον αποτελεσματικό ρυθμιστικό πλαίσιο για τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει πραγματοποιηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Το 2007 η Ευρωπαϊκή επιτροπή πρότεινε μια διεξοδική δέσμη μέτρων για τη χάραξη μιας νέας ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι κλιματικές αλλαγές και να ενισχυθεί η ενεργειακή ασφάλεια και η ανταγωνιστικότητα της ΕΕ. Η επιτροπή έθεσε τρεις φιλόδοξους στόχους με χρονικό ορίζοντα το 2020:

1. Βελτίωση της απόδοσης των ενεργειακών συστημάτων κατά 20%
2. Αύξηση του ποσοστού διείσδυσης των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας στην τελική κατανάλωση στο επίπεδο του 20%.
3. Αύξηση του ποσοστού βιοκαυσίμων στις μεταφορές στο 10%.
Σημειώνεται ότι ο στόχος για 20% διείσδυση των ΑΠΕ αφορά το σύνολο των ενεργειακών χρήσεων (ηλεκτρισμός, θερμότητα και μεταφορές).

Τα κράτη μέλη παρακολουθούν τις οικίες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και υποβάλλουν σχετική έκθεση κάθε χρόνο. Αν μία έκθεση παρακολούθησης δείξει ότι ένα κράτος δεν τήρησε τις επιτρεπόμενες ποσότητες που καθορίζονται στην απόφαση για επιμερισμό της προσπάθειας, η κοινότητα μπορεί να κινήσει διαδικασίες για παράβαση κατά του υπ' όψη κράτους μέλους βάση του άρθρου 226 της συνθήκης ΕΚ. Το άρθρο αυτό εξουσιοδοτεί την επιτροπή να προσφεύγει στο δικαστήριο κατά των κρατών μελών που δεν τηρούν τις υποσχέσεις τους. Αυτό σημαίνει πως επιβάλλεται κάποιο χρηματικό πρόστιμο για κάθε μη συμμόρφωση των κρατών στις επιταγές της επιτροπής.

1.4 Το παγκόσμιο ενεργειακό πρόβλημα

Τις τελευταίες δεκαετίες οι ενεργειακοί πόροι έχουν εξελιχθεί σε πόρους στρατηγικής σημασίας για τη λειτουργία του οικονομικού συστήματος. Όμως η

ενεργοβόρα δομή παραγωγής, η αυξανόμενη κατανάλωση και ταυτόχρονα ανορθολογική χρήση της ενέργειας έχουν οδηγήσει σε μείωση των αποθεμάτων των ενεργειακών πόρων και η επίπτωση της στην οικονομική ανάπτυξη έχει απασχολήσει ιδιαίτερα την οικονομική σκέψη.

Μετά το 2^ο παγκόσμιο πόλεμο, αρκετοί οικονομολόγοι ασχολήθηκαν με τη μέτρηση της στενότητας συγκεκριμένων φυσικών πόρων. Ειδικότερα το ενδιαφέρον για τη στενότητα των ορυκτών καυσίμων υπήρξε αρκετά έντονο λόγω των 2 μεγάλων ενεργειακών κρίσεων. Ο προβληματισμός στρεφόταν πάντα γύρω από το πώς θα μπορέσει να συμβαδίσει η κοινωνική ευημερία σε συνάρτηση με τη στενότητα των φυσικών πόρων. Η ενεργειακοί πόροι που κατέχουν σήμερα δεσπόζουσα θέση στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας είναι κυρίως το πετρέλαιο και τα προϊόντα του ενώ ακολουθεί ο άνθρακας και το φυσικό αέριο. Το πετρέλαιο και τα λοιπά ορυκτά καύσιμα είναι εξαντλήσιμοι και σπάνιοι πόροι και επομένως υπό την πίεση της αυξανόμενης ζήτησης θα αυξάνονται ολοένα και οι τιμές τους.

Εκτός λοιπόν από την κρίση που δημιουργεί η ανθρώπινη δραστηριότητα στις ισορροπίες του πλανήτη, συγχρόνως εξαντλεί τα ενεργειακά αποθέματα με τραγικά μεγάλες ταχύτητες, συγκριτικά με αυτές που χρειάζεται η γη για να τα ανανεώσει. Μπορούμε να πούμε ότι η ουσία του ενεργειακού προβλήματος βρίσκεται στην συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων που διαρκώς μειώνονται με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται. Ουσιαστικά λοιπόν ο άνθρωπος κινδυνεύει να μείνει χωρίς τους τόσο σημαντικούς για την επιβίωσή του ενεργειακούς πόρους, αλλά και χωρίς ένα στοιχειωδώς υγιεινό περιβάλλον για την ανάπτυξη του.

Η κατάσταση αυτή οδήγησε σε παγκόσμια κλίμακα στην αναβίωση του ενδιαφέροντος για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ηλιακή, αιολική, υδροηλεκτρική, βιομάζα και γεωθερμική) και στη στροφή προς τη λεγόμενη βιώσιμη ανάπτυξη.

1.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), και είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες. Ο

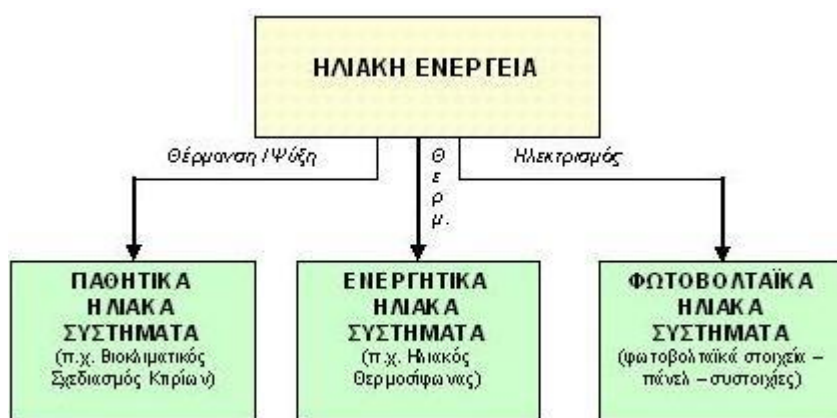
όρος «ήπιες» αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας, πολύ «φιλικές» στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Οι κυριότερες ΑΠΕ είναι:

Ηλιακή ενέργεια: χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



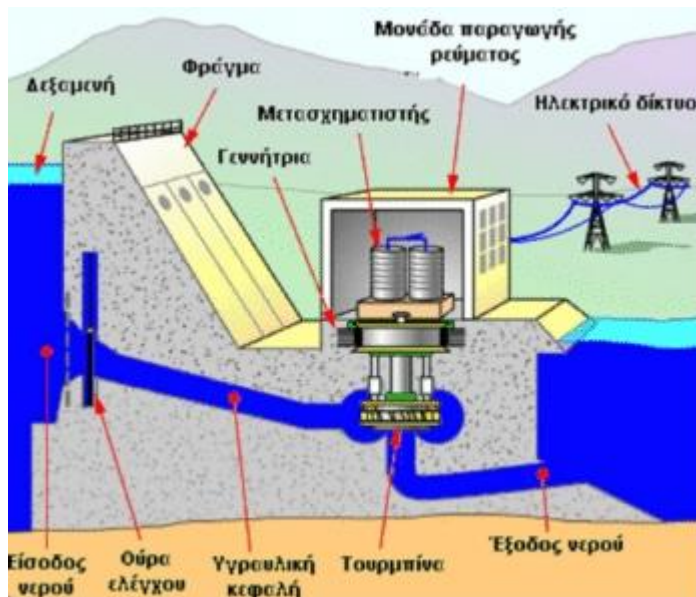
Αιολική ενέργεια: Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη, γι' αυτό και είναι ανανεώσιμη. Αν υπήρχε η δυνατότητα, με την σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες τις ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί αν γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξής της. Από το 1982, οπότε εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο, μέχρι και σήμερα έχουν εγκατασταθεί στην Άνδρο, στην Εύβοια, στην Λήμνο, Λέσβο, Χίο, Σάμο, και στην Κρήτη εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο συνολικής ισχύος πάνω από 30MW. Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης δείχνει και ο ιδιωτικός τομέας για την εκμετάλλευση της εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην Κρήτη, όπου το Υπουργείο Ανάπτυξης έχει εκδώσει άδειες εγκατάστασης για νέα αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος δεκάδων MW.



Η συστηματική εκμετάλλευση του πολύ αξιόλογου αιολικού δυναμικού της χώρας μας θα συμβάλει:

- Στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, που συνεπάγεται συναλλαγματικά οφέλη.
- Σε σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογισθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550KW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO2 ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων στη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε νέο MW αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.

Υδροηλεκτρική ενέργεια



Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδροηλεκτρικών έργων (υδατοταμιευτήρας, φράγμα, κλειστός αγωγός πτώσεως, υδροστρόβιλος, ηλεκτρογεννήτρια, διώρυγα φυγής) παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες εκμεταλλεύονται τη φυσική

διαδικασία του κύκλου του νερού. Κάθε μέρα ο πλανήτης μας αποβάλλει μια μικρή ποσότητα νερού καθώς η υπεριώδης ακτινοβολία διασπά τα μόρια του νερού σε ιόντα. Ταυτόχρονα νέες ποσότητες νερού εμφανίζονται λόγω της ηφαιστειακής δραστηριότητας, έτσι ώστε η συνολική ποσότητα του νερού να διατηρείται περίπου σταθερή.

Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Κατά τη διέλευσή του από τον αγωγό πτώσεως κινεί έναν στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη γεννήτρια. Μία τουρμπίνα που είναι εγκατεστημένη σε μεγάλη μονάδα μπορεί να ζυγίζει μέχρι 172 τόνους και να περιστρέφεται με 90 rpm. Η ποσότητα του ηλεκτρισμού που παράγεται καθορίζεται από αρκετούς παράγοντες. Δύο από τους σημαντικότερους είναι ο όγκος του νερού που ρέει και η διαφορά μανομετρικού ύψους μεταξύ της ελεύθερης επιφάνειας του ταμιευτήρα και του στροβίλου. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγεται είναι ανάλογη των δύο αυτών μεγεθών. Συνεπώς, ο παραγόμενος ηλεκτρισμός εξαρτάται από την ποσότητα του νερού του ταμιευτήρα. Για το λόγο αυτόν μόνο σε περιοχές με σημαντικές βροχοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευαστούν υδροηλεκτρικά έργα. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά ως προς άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, καλύπτοντας φορτία αιχμής. Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 9% των ενεργειακών μας αναγκών σε ηλεκτρισμό.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η

χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμιευτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

Βιομάζα: Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Το καύσιμο βιομάζας είναι γνωστό στην Ελλάδα κι ως πέλετ.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας.

Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.).

Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και τα υγρά απόβλητα και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

Η ενέργεια της βιομάζας (βιοενέργεια ή πράσινη ενέργεια) είναι δευτερογενής ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια μετασχηματίζεται από τα φυτά μέσω της φωτοσύνθεσης. Οι βασικές πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι το νερό και το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι άφθονα στη φύση.

Η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων, είναι η βιομάζα. Αντίθετα από αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ.

Βασικό πλεονέκτημα της βιομάζας είναι ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και ότι παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή. Η αξιοποίηση της μπορεί να γίνει με μετατροπή της σε μεγάλη ποικιλία προϊόντων, με διάφορες μεθόδους και τη χρήση σχετικά απλής τεχνολογίας. Σαν πλεονέκτημά της καταγράφεται και το ότι κατά την παραγωγή και την μετατροπή της δεν δημιουργούνται οικολογικά και περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Από την άλλη, σαν μορφή ενέργειας η βιομάζα χαρακτηρίζεται από πολυμορφία, χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο, σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα, λόγω χαμηλής πυκνότητας και/ή υψηλής περιεκτικότητας σε νερό, εποχικότητα, μεγάλη διασπορά, κλπ. Τα χαρακτηριστικά αυτά συνεπάγονται πρόσθετες, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, δυσκολίες στη συλλογή, μεταφορά και αποθήκευσή της. Σαν συνέπεια το κόστος μετατροπής της σε πιο εύχρηστες μορφές ενέργειας παραμένει υψηλό.

Εντούτοις, η έρευνα και η τεχνολογική πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί τα τελευταία 10 χρόνια έχουν καταστήσει τις τεχνολογίες ενεργειακής μετατροπής της βιομάζας εξαιρετικά ελκυστικές σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι προοπτικές, μάλιστα, της βιοενέργειας καθίστανται διαρκώς μεγαλύτερες και πιο ελπιδοφόρες. Στις πιο προηγμένες οικονομικά χώρες, αναμένεται να καλύπτει σημαντικό τμήμα της ενεργειακής παραγωγής μελλοντικά.

Ωκεάνια ενέργεια:

Η θάλασσα καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης και είναι μια τεράστια αποθήκη κινητικής ενέργειας αποθηκευμένης στα κύματα, τις παλίρροιες και τα θαλάσσια ρεύματα, χαρακτηρίζεται και ως γαλάζιος χρυσός.

Είναι γεγονός ότι αυτές οι γιγαντιαίες δυνάμεις από τα κύματα των ωκεανών, παλίρροιες, θαλάσσια ρεύματα, τιθασεύονται πολύ δύσκολα, είτε γιατί η τεχνολογία στον τομέα της παραγωγής αυτής της ενέργειας είναι ακόμη στα σπάργανα είτε γιατί το κόστος της είναι πολύ υψηλό.

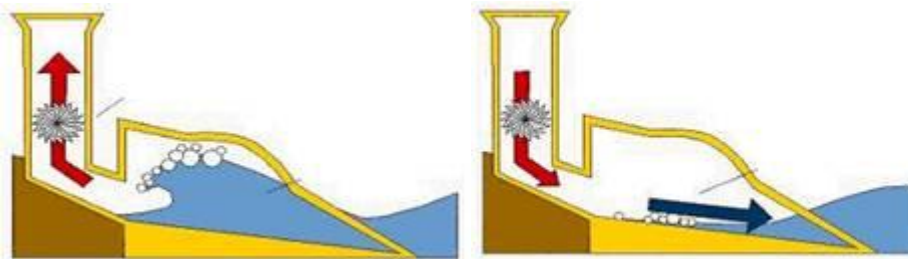
i. ενέργεια από τα κύματα

Πρόκειται για παραγωγή ενέργειας από την κίνηση των θαλασσιών κυμάτων που προκαλείται από τους ανέμους.

Οι υπέρμαχοι των καθαρών πηγών ενέργειας αντιμετωπίζουν παραδοσιακά τους ωκεανούς ως τη μεγάλη ελπίδα για το μέλλον. Τα κύματα των ωκεανών μεταφέρουν τεράστια ενεργειακά φορτία και θα μπορούσαν να προσφέρουν άφθονη ενέργεια στον πλανήτη μας. Ενώ άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή, έχουν υιοθετηθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια, η ενέργεια των ωκεάνιων κυμάτων δεν είχε την ίδια τύχη.

Τα τελευταία χρόνια για την αξιοποίηση αυτής της μορφής ενέργειας πολλά συστήματα έχουν επινοηθεί, όμως ελάχιστα από αυτά έχουν δοκιμαστεί στην θάλασσα υπό πραγματικές συνθήκες ενώ τα περισσότερα έχουν αξιολογηθεί σε εργαστηριακές δεξαμενές. Προτείνονται διάφοροι τρόποι τοποθέτησης ενός συστήματος εκμετάλλευσης της κυματικής ενέργειας

- σε οποιοδήποτε σημείο του ωκεανού,
- εγκαταστημένο στα παράλια ή στα ρηχά νερά



Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας ενός συστήματος κυματικής ενέργειας.

Οι ταλαντώσεις που γίνονται στην στήλη νερού του συστήματος μετατρέπουν την κυματική ενέργεια σε ηλεκτρική.

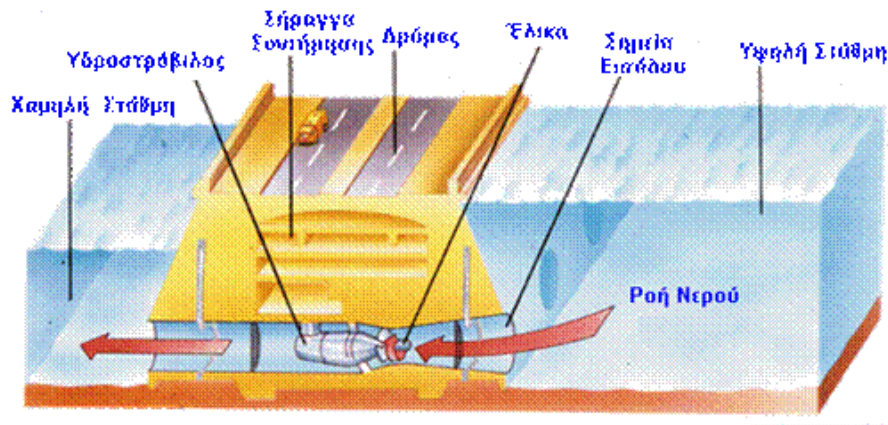
ii. ενέργεια από την παλίρροια

Το φαινόμενο της παλίρροιας, είναι έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας, η διάρκεια του είναι συγκεκριμένη και περιοδική. Οφείλεται σε δυνάμεις που δημιουργούνται στις υδάτινες μάζες από την έλξη του Ήλιου και της σελήνης αλλά και την περιστροφή της γης. Έχει σαν αποτέλεσμα να αποσύρεται η θάλασσα (άμπωτη) και μετά από ορισμένες ώρες να επανέρχεται στην αρχική της θέση (πλημμυρίδα).

Η διαφορά στη στάθμη της θάλασσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Οι υδατοστρόβιλοι τοποθετούνται σε ένα φράγμα που κατασκευάζεται στις εκβολές ενός ποταμού προς τη θάλασσα. Σε λίγα όμως σημεία της γης η διαφορά της στάθμης είναι τόσο σημαντική, ώστε να είναι αξιοποιήσιμη.

Παρόλο που το κόστος των εγκαταστάσεων για την παραγωγή ενέργειας από την παλίρροια είναι μεγάλο μια τέτοια εγκατάσταση μακροπρόθεσμα θεωρείται συμφέρουσα λόγω του μικρού λειτουργικού κόστους, της δωρεάν παρεχομένης μηχανικής ενέργειας της παλίρροιας αλλά κύρια λόγω της ενεργειακή αυτοδυναμία, χωρίς εξαρτήσεις από ξένους παράγοντες, διακυμάνσεις τιμής.

Σχεδιάγραμμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροια



iii. Θερμική ενέργεια από τα θαλάσσια ρεύματα

Τα θαλάσσια ρεύματα προκαλούνται από την περιστροφή της Γης, την τριβή του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας και από τις διαφορές πυκνότητας μεταξύ των θαλάσσιων στρωμάτων η κίνηση τους είναι σύμφωνη με τη φορά κίνησης των δεικτών του ρολογιού στο Βόρειο Ημισφαίριο και αντίθετη στο Νότιο Ημισφαίριο.

Αποτελούν τεράστιο ενεργειακό δυναμικό, όμως η αξιοποίησή τους χρήζει μελέτης, έρευνας και κυρίως εξελιγμένης τεχνολογίας.

Κεφάλαιο 2 : Γενικά για την γεωθερμία

2.1 Η ανάπτυξη της Γεωθερμίας-Ιστορική αναδρομή

Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέως από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούσαν από ρηχές γεωτρήσεις.

Η παραγωγή του βορικού οξέως γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους λέβητες, χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1927 ο Francesco Larderel, ιδρυτής της βιομηχανίας αυτής προτίμησε αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλωμένα δάση της περιοχής να αναπτύξει ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης. Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα.

Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλεθέρμανσης τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Αιντάχο των ΗΠΑ. Το 1928 μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών(κυρίως θερμων νερών) για τη θέρμανση κατοικιών.

Το 1904 έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμοηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kW.

Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθεμικές γεωτρήσεις στο Berpu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο The Geisers της Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε πολλές χώρες. Μετά το 2^ο Παγκόσμιο πόλεμο η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε ελκυστική σε πολλές χώρες επειδή ήταν ανταγωνιστική ως προς άλλες μορφές ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δε χρειαζόταν να εισαχθεί από άλλες χώρες, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα ενώ σε πολλές περιπτώσεις αποτελούσε τον μοναδικό διαθέσιμο εγχώριο ενεργειακό πόρο. Στη δεκαετία του 1970, λόγω της πετρελαϊκής κρίσης, δόθηκε σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη της γεωθεμίας ακόμα και σε περιοχές με σχετικά χαμηλή γεωθερμική βαθμίδα, όπως είναι η λεκάνη του Παρισιού. Η παρουσία θερμού νερού στους γεωλογικούς σχηματισμούς της λεκάνης του Παρισιού είχε ήδη ανακαλυφθεί από τη δεκαετία του 1950 ενώ διεξάγονταν έρευνες για πετρέλαιο, αλλά η πρώτη γεωθερμική γεώτρηση έγινε μόλις το 1962 στο Carriers-Surseine.

Οι αβεβαιότητες και τα συναφή επενδυτικά ρίσκα που συνδέονται με τον προσδιορισμό και τη σωστή εκτίμηση της υπόγειας ενεργειακής πηγής (γεωθερμικός ταμιευτήρας), αποτελούν δύσκολα προβλήματα που ξεπερνιούνται όμως διαρκώς ευκολότερα χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας και στη συσσώρευση γνώσεων.

Η εκμετάλλευση της γεωθεμίας παγκοσμίως αναπτύχθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ενώ οι προοπτικές για περαιτέρω ανάπτυξη είναι ιδιαίτερα μεγάλες.

Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκοσμίως ωστόσο βρίσκεται στα Geysers στη Β. Καλιφόρνια. Η εγκατεστημένη ισχύ υπερβαίνει τα 1300 MW και αναμένεται να διπλασιαστεί στο τέλος του αιώνα. Ήδη η παραγωγή καλύπτει το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας της Β. Καλιφόρνια.

Οι έρευνες για την αναζήτηση γεωθερμικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1970 και μέχρι το 1980 αφορούσαν μόνο στις περιοχές που είχαν κατ' αρχήν ενδιαφέρον για την υψηλή ενθαλπία. Εντοπίστηκαν τα γεωθερμικά πεδία στη Μήλο και στην Νίσυρο και προέκυψαν πολλά ή λιγότερα στοιχεία για πιθανά πεδία στην Κίμωλο, Πολύαιγο, Σαντορίνη, Κω και Λέσβο. Μερικές από τις παραπάνω περιοχές ίσως αποδειχθεί ότι δεν έχουν σε οικονομικά βάθη, γεωθερμικά ρευστά υψηλής αλλά

μόνο μέτρησης ενθαλπίας, όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να αποδειχθεί συμφέρουσα σε μερικές περιπτώσεις.

2.2 Βασικές έννοιες της γεωθερμίας

Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη, συνεπώς ανανεώσιμη, μορφή ενέργειας, η οποία αποτελεί φυσικό εγχώριο πλούτο που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικό ποσοστό από τις ενεργειακές ανάγκες των κρατών.

Η αξιοποίηση της λοιπόν για την παραγωγή ενέργειας αλλά και για ψύξη-θέρμανση κτηρίων παρουσιάζει ορισμένες ενδιαφέρουσες ιδιαιτερότητες και πλεονεκτήματα. Αρχικά, χρήσιμο είναι να δοθούν οι ορισμοί και οι σημασίες κάποιων βασικών εννοιών.

1.Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γής με μορφή νερών, ατμών, αερίων ή μιγμάτων αυτών ή ακόμα και ως ενέργεια από τα πετρώματα και αποτελεί μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Είναι η φυσική ενέργεια της γής που διαρέει το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια.

2.Γεωθερμικό δυναμικό είναι το σύνολο των γηγενών φυσικών ατμών, θερμών νερών, επιφανειακών ή υπογείων και της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών, που υπερβαίνουν τους 25°C.

3.Γεωθερμικό πεδίο είναι ο ενιαίος μεταλλευτικός χώρος μέσα στον οποίο εντοπίζεται αυτότελές γεωθερμικό δυναμικό.

Τα γεωθερμικά πεδία ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

A. Υψηλής ενθαλπίας(>150° C) που χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού. Τα ρευστά αυτά αποτελούνται τις περισσότερες φορές από μίγμα ατμού και θερμού νερού.

Β. Μέσης Ενθαλπίας(80 ως 150° C) που χρησιμοποιούνται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για παραγωγή ηλεκτρισμού.

Γ. Χαμηλής ενθαλπίας(25 ως 80° C) που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες και για παραγωγή γλυκού νερού.

Δ. Περιβαλλοντική(ή πολύ χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες αντίστοιχες των μέσων ετήσιων του αέρα περιβάλλοντος συνήθως μικρότερες των 25° C, κανονική, ομαλή ή αβαθής) που χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση και ψύξη κτηρίων και παραγωγή ζεστού νερού.

Η ενθαλπία η οποία σε γενικές γραμμές θεωρείται ότι είναι ανάλογη της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται για να εκφράσει την περιεχόμενη θερμική ενέργεια των ρευστών και δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής αξίας τους.

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04-0,06 W/m²
- Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

4.**Προϊόν** του γεωθερμικού πεδίου θεωρείται το αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό του περιεχόμενο.

5.**Παραπροϊόντα** θεωρούνται άλλα προϊόντα που συμπαράγονται εκτός από το θερμοενεργειακό περιεχόμενο του πεδίου.

6.**Υποπροϊόν** θεωρείται το γεωθερμικό ρευστό που απομένει, ύστερα από την απόληψη των κατά τα ανωτέρω προϊόντων και παραπροϊόντων

7.**Διαχείριση του γεωθερμικού** πεδίου είναι το σύνολο των δραστηριοτήτων που αποσκοπούν στην παραγωγική εξόρυξη του γεωθερμικού ρευστού, την ορθολογική αξιοποίηση προϊόντων και παραπροϊόντων, τη διανομή και ελεύθερη διάθεση του σε τρίτους για κάθε είδους εφαρμογές και την περιβαλλοντικά συμβατή διάθεση των υποπροϊόντων.

2.3 Τα γεωθερμικά πεδία

Σε περιοχές με σχετικά πρόσφατη ηφαιστειότητα παρουσιάζεται το φαινόμενο διάπυρο υλικό από το εσωτερικό της γης να έχει κινηθεί προς την επιφάνεια και το

υπέδαφος να έχει θερμανθεί. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε τυχόν υδροφόρους σχηματισμούς της περιοχής. Τα νερά θερμαίνονται και κυκλοφορούν μέσα στα πετρώματα φθάνοντας σε πολλές περιπτώσεις μέχρι την επιφάνεια, αφού προηγουμένως έχουν εμπλουτιστεί από άλατα των πετρωμάτων (θερμές πηγές, ατμίδες), ενώ κάποιες άλλες φορές τα νερά εγκλωβίζονται σε μη υδροπερατά πετρώματα και αποκτούν θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 350° C.

Η θερμική ροή εμφανίζεται:

- 1) Κατά την βύθιση των λιθοσφαιρικών πλακών.
- 2) Στα ηπειρωτικά βυθίσματα
- 3) Στις ηπειρωτικές περιοχές διόγκωσης

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί ένα φυσικό εγχώριο πλούτο και ως εκ τούτου η εντατική της έρευνα και αξιοποίηση είναι πολλαπλά ωφέλιμη και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται με ιδιαίτερο αναπτυξιακό χαρακτήρα σε τοπικό και σε εθνικό επίπεδο. Η απαιτούμενη τεχνολογία για την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται σε ρευστά είναι πλέον δοκιμασμένη σε ευρεία κλίμακα.

Το κάθε γεωθερμικό πεδίο όμως παρουσιάζει ιδιαιτερότητες και απαιτεί εξειδικευμένες μελέτες για την βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά εκμετάλλευση του. Όσο αναφορά όμως την εκμετάλλευση της γεωθερμίας που εμπεριέχεται στα θερμά ξηρά πετρώματα και των σε εξέλιξη Ηφαιστίων η τεχνολογία δεν έδωσε ακόμα πρακτικά αποδεκτές λύσεις.

Ωστόσο, το γεωθερμικό δυναμικό υψηλής ενθαλπίας θα μπορούσε να εξασφαλίσει μερικές εκατοντάδες MWe και μάλιστα σε ευαίσθητους νησιωτικούς χώρους, όπου η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να επιτευχθεί με αρκετά χαμηλότερο κόστος ανά KWh.

Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλά γεωθερμικά πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, όπου είναι έτοιμες πολλές δεκάδες γεωτρήσεων παραγωγής, με εξαιρετικά μεγάλο δυναμικό. Από αυτό το δυναμικό, μικρό μόνο μέρος (περίπου τα 3/20) χρησιμοποιείται σήμερα για θέρμανση χώρων, λουτροθεραπεία, θέρμανση θερμοκηπίων και ιχθυοκαλλιέργειες. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς της Χώρας το 2005 ανήλθε σε 74,8 MWth.

Τα γεωθερμικά πεδία περιέχουν μερικές φορές, χρήσιμα άλατα ή αέρια. Μεταξύ των πρώτων σημειώνουμε τη χρησιμοποίηση των αλάτων του καλίου και μαγνησίου που

παράγονται από γεωθερμικές ενέργειες. Παρόμοια ρευστά, πολύ πλούσια σε θειικό κάλιο βρέθηκαν τελευταία στο καινούριο γεωθερμικό πεδίο Cesano Ιταλίας. Ένα αέριο που έχει τεράστια σημασία για τα θερμοκήπια είναι το CO₂ που παράγεται συνήθως σε αφθονία στα γεωθερμικά πεδία.

2.4 Γεωθερμικό σύστημα

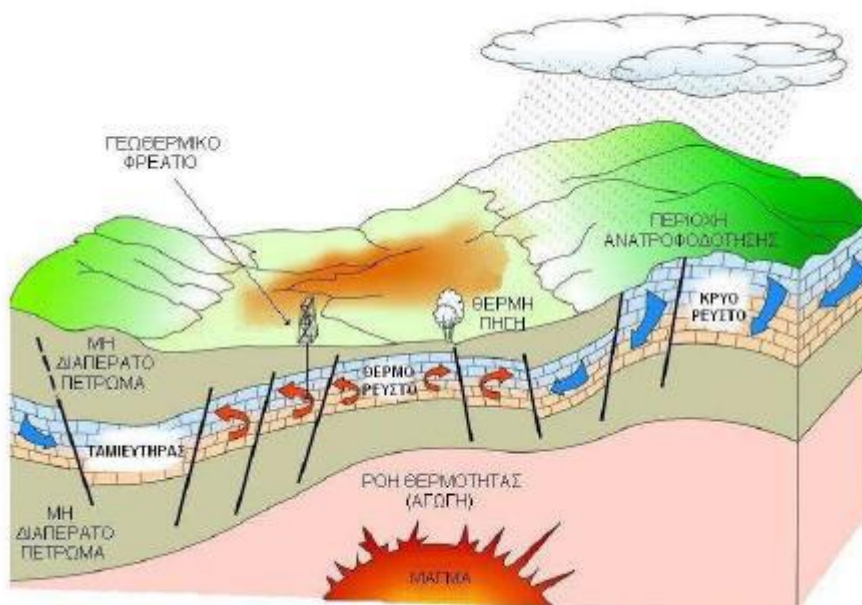
Ως γεωθερμικό σύστημα ορίζεται ένας γεωλογικός σχηματισμός με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, μέσα στον οποίο είναι αποθηκευμένη η γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα εντοπίζονται σε περιοχές με κανονική ή με λίγο μεγαλύτερη από τη μέση γήινη γεωθερμική βαθμίδα και κυρίως γύρω από τα όρια των τεκτονικών πλακών, όπου η βαθμίδα μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη της μέσης τιμής.

Στην πρώτη περίπτωση τα γεωθερμικά συστήματα χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες που συνήθως δεν ξεπερνάνε τους 100° C, ενώ στη 2^η περίπτωση οι θερμοκρασίες μπορεί να καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα, από σχετικά χαμηλές μέχρι και μεγαλύτερες της τάξεως των 400° C.

Το γεωθερμικό σύστημα μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα που βρίσκεται σε περιορισμένο χώρο στον ανώτερο φλοιό της γης. Στο εσωτερικό του υπάρχει κινούμενο νερό, το οποίο μεταφέρει θερμότητα μια πηγή σε μια δεξαμενή θερμότητας η οποία συνήθως είναι μια ελεύθερη επιφάνεια. Έτσι λοιπόν, ένα γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από τα εξής 3 στοιχεία: την εστία θερμότητας, τον ταμιευτήρα και το γεωθερμικό ρευστό, το οποίο λειτουργεί ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας.

Η εστία θερμότητας μπορεί να είναι είτε μια πολύ υψηλής θερμοκρασίας (>600° C) μαγματική διείδυση που έχει φτάσει σε σχετικά μικρά βάθη (5-10 χλμ), είτε -στα χαμηλής θερμοκρασίας συστήματα- η κανονική θερμοκρασία των πετρωμάτων του εσωτερικού της γής, η οποία όπως έχει αναφερθεί αυξάνεται με το βάθος. Ο ταμιευτήρας είναι ένας σχηματισμός από θερμά υδροπερατά πετρώματα, που επιτρέπουν την κυκλοφορία των ρευστών και από τα

οποία το ρευστό αντλεί θερμότητα. Πάνω στον ταμιευτήρα βρίσκεται συνήθως ένα κάλυμμα διαπερατών πετρωμάτων. Ο ταμιευτήρας πολλές φορές συνδέεται σε μια επιφανειακή περιοχή τροφοδοσίας, δια μέσου της οποίας βρόχινο και γενικά επιφανειακό νερό κατεβαίνει και αντικαθιστά μερικώς ή ολικώς τα ρευστά που φεύγουν από τον ταμιευτήρα και εξέρχονται στην επιφάνεια με τη μορφή θερμών πηγών ή αντλούνται μέσω γεωτρήσεων. Το γεωθερμικό ρευστό είναι νερό, το οποίο ανάλογα με τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στον ταμιευτήρα βρίσκεται σε υγρή ή αέρια φάση. Συχνά το ρευστό είναι εμπλουτισμένο με χημικά στοιχεία και αέρια όπως CO_2 , H_2S , και άλλα. Στο παρακάτω σχήμα αποτυπώνεται σε πολύ απλουστευμένη μορφή ένα πρότυπο γεωθερμικό σύστημα.



2.5 Γεωθερμικοί πόροι

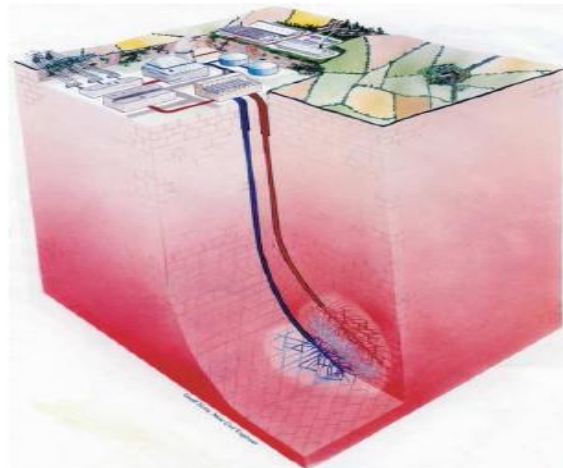
Ως γεωθερμικός πόρος ορίζεται ουσιαστικά η θερμική ενέργεια (δυναμικό) που βρίσκεται αποθηκευμένη κάτω από μία συγκεκριμένη περιοχή, μεταξύ της επιφάνια της γης και ενός ορισμένου βάθους στο φλοιό. Ο ωφέλιμος και προσβάσιμος γεωθερμικός πόρος αναφέρεται στο τμήμα της ενέργειας που μπορεί να ανακτηθεί με νόμιμο και οικονομικά συμφέροντα τρόπο κάποια στιγμή στο σχετικά άμεσο μέλλον, δηλαδή μέσα σε λιγότερο από 100 χρόνια. Ο οικονομικά επωφελής γεωθερμικός πόρος αποτελεί μέρος του ωφέλιμου και προσβάσιμου πόρου. Αυτού του είδους οι γεωθερμικοί πόροι είναι γνωστοί και ως αποθέματα και αναφέρονται στην ποσότητα της γεωθερμικής ενέργειας μιας συγκεκριμένης περιοχής, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με ανταγωνιστικό κόστος σε σχέση με τις άλλες πηγές ενέργειας. Οι πόροι αυτοί έχουν εξερευνηθεί και αξιολογηθεί με την βοήθεια γεωτρητικών, γεωχημικών και άλλων γεωλογικών ερευνών και μελετών. Στον πίνακα δίνεται η εκτίμηση του παγκόσμιου γεωθερμικού δυναμικού.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ [Exajoules]
Θεωρητικό δυναμικό (βάθος 5km)	140.000.000
Διαθέσιμο δυναμικό	600.000
Ωφέλιμο και προσβάσιμο δυναμικό	5.000
Οικονομικά επωφελές δυναμικό	500

2.6 Θερμά ξηρά πετρώματα

Μια ιδιαίτερη κατηγορία γεωθερμικών πόρων αποτελούν τα θερμά ξηρά πετρώματα τα οποία μπορούν να περιγραφούν ως ένας θερμός γεωλογικός σχηματισμός. Η ειδοποιός διαφορά τους από τους υπόλοιπους γεωθερμικούς πόρους και από το τυπικό γεωθερμικό σύστημα είναι η απουσία γεωθερμικού μέσου και ταμιευτήρα. Για την αξιοποίηση των θερμών ξηρών πετρωμάτων γίνεται – μέσω ειδικών γεωτρήσεων – τεχνητή εισαγωγή νερού με υψηλή πίεση σε ένα θερμό και συμπαγές πέτρωμα το οποίο βρίσκεται σε μεγάλο βάθος.

Η υψηλή πίεση του νερού προκαλεί στο πέτρωμα υδραυλική διάρρηξη. Το νερό διαπερνά τις τεχνητές διαρρήξεις και ερχόμενο σε επαφή με τις μεγάλες επιφάνειες θερμού πετρώματος αντλεί θερμότητα από αυτόν τον μεγάλο σε όγκο σχηματισμό, ο οποίος λειτουργεί ως ένας φυσικός ταμιευτήρας. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας διαπερνάται από μια δεύτερη γεώτρηση μέσα από την οποία αντλείται το νερό που θερμάνθηκε. Συνοψίζοντας λοιπόν το συγκεκριμένο γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από την ειδική γεώτρηση που χρησιμοποιείται για την υδραυλική διάρρηξη τον τεχνητό ταμιευτήρα ο οποίος τροφοδοτείται με κρύο νερό υψηλής πίεσης και από την γεώτρηση άντλησης του θερμού νερού. Όλο αυτό το σύστημα μαζί με τις αντίστοιχες εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης στη επιφάνεια, σχηματίζουν ένα κλειστό κύκλωμα όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Κεφάλαιο 3: Μορφές γεωθερμίας

3.1 Ταξινόμηση γεωθερμικών συστημάτων

Τα γεωθερμικά συστήματα, δηλαδή οι μορφές με τις οποίες συναντάται η γεωθερμική ενέργεια, μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορα κριτήρια, όπως είναι το είδος των γεωθερμικών πόρων, ο τύπος και η θερμοκρασία των ρευστών, ο τύπος του πετρώματος που φιλοξενεί τα ρευστά, το είδος της εστίας θερμότητας, αν κυκλοφορούν ή όχι ρευστά στο ταμιευτήρα κ.α.

Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης, σε βάθη ως 150m, με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 18° C.

Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της γης, η λεγόμενη βαθιά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Τα πιθανά θερμά υπόγεια ύδατα μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Συχνά γίνεται διάκριση ανάμεσα στα γεωθερμικά συστήματα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι το νερό στην υγρή φάση και σε εκείνα όπου το κυρίαρχο ρευστό είναι ο ατμός. Στα συστήματα όπου επικρατεί το νερό, η υγρή φάση είναι αυτή που ελέγχει συνεχώς την πίεση. Μέσα στη φάση αυτή μπορεί να περιέχονται και κάποια αέρια με τη μορφή μικρών φυσαλίδων. Αυτά τα γεωθερμικά συστήματα, των οποίων οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 125° C μέχρι 225° C είναι τα πλέον συνηθισμένα παγκοσμίως.

Ένας άλλος διαχωρισμός των γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτός που βασίζεται στην κατάσταση ισορροπίας στον ταμιευτήρα σύμφωνα με τον οποίο λαμβάνονται υπόψη η κυκλοφορία των ρευστών του ταμιευτήρα και ο μηχανισμός μεταφοράς της θερμότητας.

Στα δυναμικά συστήματα ο ταμιευτήρας τροφοδοτείται συνεχώς με νερό, το οποίο θερμαίνεται. Στη συνέχεια, ο ταμιευτήρας αποφορτίζεται, είτε γιατί το θερμό ρευστό ανέβηκε μέχρι την επιφάνεια είτε γιατί άρχισε να γεμίζει τους υδατοπερατούς υπόγειους σχηματισμούς. Η θερμότητα μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του μηχανισμού της συναγωγής και της κυκλοφορίας του ρευστού.

Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει συστήματα τόσο υψηλής (>150° C) όσο και χαμηλής (<100° C) θερμοκρασίας. Στα στατικά συστήματα, γνωστά και ως στάσιμα ή συστήματα αποθήκευσης, παρατηρείται ελάχιστη ή καμία τροφοδοσία του ταμιευτήρα και η μεταφορά θερμότητας γίνεται μόνο με τη βοήθεια του μηχανισμού αγωγής. Σε σχέση με το είδος των γεωθερμικών πόρων διακρίνονται 5 κατηγορίες συστημάτων που περιγράφονται ως εξής:



Α. Τα υδροδυναμικά συστήματα ή πόροι, δηλαδή τα φυσικά υπόγεια θερμά ρευστά που βρίσκονται σε έναν ή περισσότερους ταμιευτήρες, θερμαίνονται από μια εστία θερμότητας και συχνά εμφανίζονται στην επιφάνεια της γης με τη μορφή θερμών εκδηλώσεων. Τα συστήματα αυτά συχνά ταυτίζονται με το σύνολο σχεδόν των γεωθερμικών πεδίων αφού σήμερα ουσιαστικά είναι τα μόνα συστήματα που αξιοποιούνται.

Β. Αβαθής γεωθερμία κατά την οποία λαμβάνονται (ή και απορρίπτονται) ποσότητες ενέργειας από μικρά βάθη με την επανακυκλοφορία νερού στα πρώτα 100m από την επιφάνεια της γης ή με την κυκλοφορία υπόγειων νερών ή νερών από λίμνες, ποτάμια και τη θάλασσα. Αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή της γεωθερμικής ενέργειας.

Γ. Τα προχωρημένα γεωθερμικά συστήματα αναφέρονται στα θερμά πετρώματα σε βάθος από 2 μέχρι 10 χλμ, από τα οποία μπορεί να ανακτηθεί ενέργεια χρησιμοποιώντας νερό που διοχετεύεται από την επιφάνεια, μέσω κατάλληλων γεωτρήσεων, και ανακτάται αρκετά θερμότερο με τη μορφή νερού ή ατμού μέσω άλλων γεωτρήσεων.

Δ. Τα γεωπεπιεσμένα συστήματα αποτελούνται από ρευστά εγκλεισμένα σε μεγάλο βάθος, βρίσκονται περιορισμένα από μη περατά πετρώματα και η πίεση τους υπερβαίνει την υδροστατική.

Ε. Τα μαγματικά συστήματα αναφέρονται στη απόληψη θερμότητας με κατάλληλες γεωτρήσεις σε μαγματικές διεισδύσεις που βρίσκονται σε σχετικά μικρό βάθος.

3.2 Ομαλή ή αβαθής γεωθερμική ενέργεια

Καλύτερη ενέργεια που προέρχεται από την εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπογείων, που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό και βρίσκονται σε μικρό βάθος.

Οι θερμοκρασίες των πετρωμάτων και των υπόγειων νερών, που αναπτύσσει η γεωθερμική ενέργεια σε βάθη 0-200m, είναι κατά το πλείστον κατώτερες από 25° C. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φτάνει στη γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10 με 18° C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως 50° C, το καλοκαίρι για ψύξη νερού

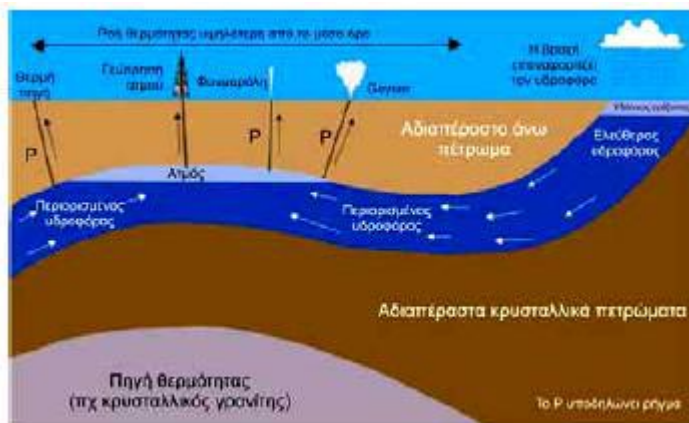
κλιματισμού έως 10° C, όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

3.3 Υδροθερμική ενέργεια-Υδροθερμικές πηγές

Όλοι οι ταμιευτήρες που έχουν αναπτυχθεί μέχρι σήμερα για παραγωγή ηλεκτρισμού ονομάζονται υδροθερμικά συστήματα συναγωγής και τα χαρακτηρίζει η κυκλοφορία επιφανειακού νερού σε μικρά έως μέσα βάθη (100m-4,5km). Η κινητήρια δύναμη των συστημάτων αυτών είναι η βαρύτητα, δρώσα λόγω της διαφοράς πυκνότητας μεταξύ του κρύου νερού αναπλήρωσης που κινείται προς τα κάτω και του ζεστού θερμικού νερού που κινείται προς τα πάνω. Τα υδροθερμικά συστήματα μπορεί να οδηγούνται είτε από ένα υποκείμενο νέο πυριγενές έγκλεισμα, είτε απλά από την κυκλοφορία του νερού σε βάθος μέσω ρωγμών και καταγμάτων. Οι υδροθερμικές πηγές απαιτούν τρία βασικά συστατικά:

- A. μια θερμική πηγή (πχ. Κρυσταλλωμένο μάγμα)
- B. ένα υδροφόρο ορίζοντα που περιέχει προσπελάσιμο νερό
- Γ. και ένα στεγανό πέτρωμα που να σφραγίζει τον υδροφόρο ορίζοντα

Η γεωθερμική ενέργεια αντλείται με τη διάτρηση του υδροφόρου ορίζοντα και την εξαγωγή του θερμού νερού ή ατμού. Οι υψηλής θερμοκρασίας υδροθερμικές πηγές (με θερμοκρασίες από 180° C έως πάνω από 350° C) συνήθως θερμαίνονται από θερμό τιγμένο πέτρωμα, ενώ οι χαμηλής θερμοκρασίας πηγές (από 100° έως 180° C) μπορούν να δημιουργηθούν με οποιαδήποτε διαδικασία.



αναπαράσταση των κύριων χαρακτηριστικών μιας γεωθερμικής περιοχής

Ανάλογα με τη φυσική κατάσταση του ρευστού των πόρων δύο είδη υδροθερμικών συστημάτων συναγωγής μπορούν να διακριθούν:

- A. Υπερίσχυσης υγρού, στα οποία όλοι οι πόροι και οι ρωγμές γεμίζουν με υγρό νερό που βρίσκεται σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλότερες από αυτή του βρασμού υπό ατμοσφαιρική πίεση, εξαιτίας της πίεσης του υπερκείμενου νερού
- B. Υπερίσχυσης ατμού, όπου οι μεγαλύτεροι πόροι και ρωγμές είναι πλήρεις ατμού. Οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης υγρού παράγουν είτε νερό, είτε μίγμα νερού και ατμού, ενώ οι ταμειυτήρες υπερίσχυσης ατμού παράγουν μόνο ατμό, ως επι το πλείστον υπέρθερμο. Η φυσικοί γεωθερμικοί ταμειυτήρες εμφανίζονται και ως περιφερειακοί υδροφόροι ορίζοντες, όπως ο ασβεστόλιθος dogger της λεκάνης του Παρισιού στη Γαλλία και οι ψαμμίτες της οροσειράς Pannonian της κεντρικής Ουγγαρίας.

3.4 Γεωπεπιεσμένες πηγές

Σε μερικές ταχέως καθιζάνουσες νέες ιζηματογενείς λεκάνες, όπως η βόρεια λεκάνη του κόλπου του Μεξικού, οι πορώδεις ψαμμίτες των ταμειυτήρων διαιρούνται από εκτάσεις ρηγμάτων σε μεμονωμένους ταμειυτήρες σε βάθος περίπου 3-6 χλμ, όπου μπορεί η πίεση του ρευστού να υπερβαίνει αυτήν της στήλης ύδατος πλησιάζοντας αυτήν του υπερκείμενου πετρώματος. Ο στεγανός σχιστόλιθος που περιβάλλει τον διαιρεμένο ψαμμίτη εμποδίζει τη διαφυγή του νερού των πόρων και η θερμοκρασία του κυμαίνεται μεταξύ 90 και 200° C. Στους πεπιεσμένους ταμειυτήρες η ενέργεια δεν είναι μόνο θερμική, αλλά περιλαμβάνει ένα ίσο ποσό ενέργειας λόγω του

διαλυμένου στο νερό μεθανίου (χημική ενέργεια), συν ένα μικρό ποσό μηχανικής/υδραυλικής ενέργειας λόγω των υψηλών πιέσεων των ρευστών.

3.5 Μάγμα

Το μάγμα, η μεγαλύτερη γεωθερμική πηγή, είναι τιγμένο πέτρωμα που βρίσκεται σε βάθη 3-5 km και παραπάνω, και επομένως δεν είναι προσπελάσιμο. Η θερμοκρασία του κυμαίνεται από 700 έως 1200° C. Η πηγή αυτή δεν έχει ερευνηθεί καλά μέχρι σήμερα.

Κεφάλαιο 4: Συστήματα αξιοποίησης της αβαθούς γεωθερμίας

4.1 Γενικά

Όπως προαναφέρθηκε, η γη προσφέρει μία σταθερή και απίστευτα μεγάλη πηγή θερμότητας, δεξαμενή θερμότητας και αποθήκη θερμότητας για θερμικές ενεργειακές χρήσεις, όπως είναι τα συστήματα γεωεναλλακτών σε συνδυασμό με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Είναι ευρύτατα γνωστό ότι η φυσική ροή της θερμότητας γίνεται από τις υψηλότερες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η αντλία θερμότητας είναι μία μηχανή η οποία προκαλεί τη ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση από τη φυσική της ροή, από τις χαμηλότερες δηλαδή προς τις ανώτερες θερμοκρασίες.

Ένα γεωθερμικό σύστημα, το οποίο αποτελείται από μια μονάδα εντός του κτιρίου και ένα θαμμένο γεωεναλλάκτη, αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους για να δεσμεύσει την "ελεύθερη" ενέργεια. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει κατανοητό ότι το χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του εδάφους και την φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου. Η μονάδα αντλεί τη θερμότητα σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο. Το καλοκαίρι, το σύστημα αντιστρέφεται,

απάγει τη θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα συστήματα Γεωεναλλακτών δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για να παράγουν θερμότητα. Απλά μεταφέρουν τη θερμότητα από και προς τη γη για να παρέχουν την αποδοτική, προσιτή και φιλική προς το περιβάλλον θέρμανση και ψύξη.

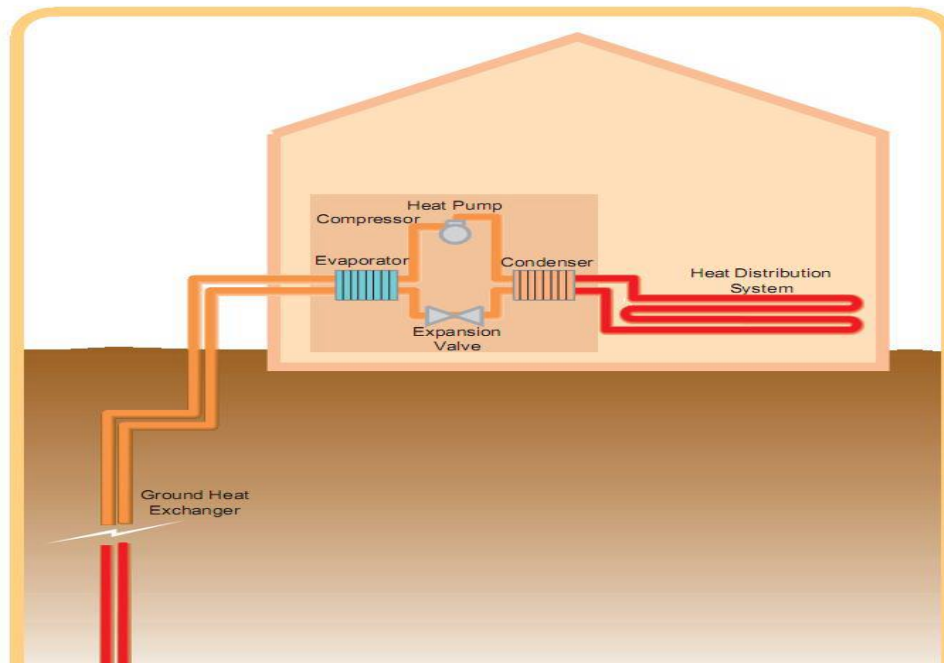
Ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την λειτουργία του συστήματος δηλαδή του συμπιεστή και των κυκλοφορητών. Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη τα οποία θα περιγραφούν αναλυτικά παρακάτω:

1)Γεωεναλλάκτης(heat exchangers).Πρόκειται για ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας με το έδαφος. Διακρίνονται σε:

- Συστήματα κλειστού βρόγχου τα οποία εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς.
- Ανοιχτά συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

2)Γεωθερμική αντλία θερμότητας (Heat pump)

3)Εσωτερικό σύστημα διανομής θερμότητας στο κτίριο

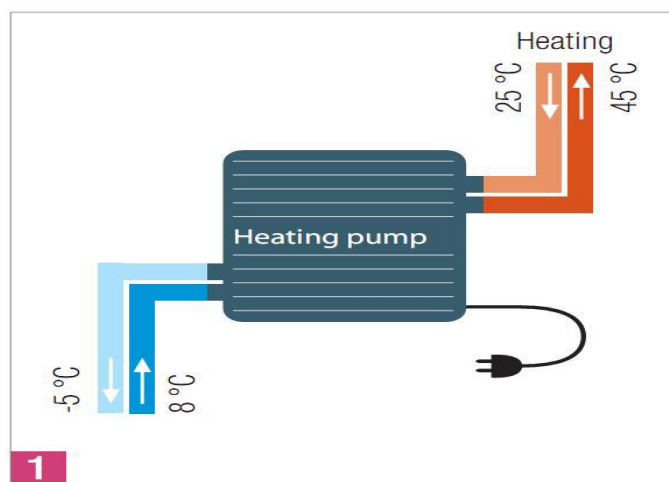


σύστημα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (γεωεναλλάκτης-αντλία θερμότητας-εσωτερικό σύστημα διανομής)

Ένα σύστημα Γεωεναλλάκτη είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Επειδή τα συστήματα γεωεναλλάκτη δεν καίνε ορυκτά καύσιμα για να παράγουν θερμότητα, παρέχουν τρεις έως πέντε μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το σύστημα. Τα συστήματα θέρμανσης και ψύξης βαθμονομούνται για την απόδοσή τους σύμφωνα με τις διεθνείς και ευρωπαϊκές προδιαγραφές (ISO και EN). Οι καυστήρες ορυκτών καυσίμων βαθμονομούνται με την επί τοις εκατό απόδοσή τους σε σχέση με την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου που καταναλώνουν. Οι καυστήρες φυσικού αερίου, προπανίου και πετρελαίου βαθμονομούνται για την απόδοσή τους σε ειδικά εργαστήρια. Για να εκτιμηθεί η ακριβής απόδοση μιας εγκατάστασης πρέπει να συμπεριληφθούν παράγοντες όπως οι απώλειες θερμότητας καυσαερίων, οι πολλαπλές εναύσεις λόγω υπερδιαστασιολόγησης, η ηλεκτρική κατανάλωση των κυκλοφορητών, κλπ.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, όπως όλοι οι άλλοι τύποι αντλιών θερμότητας, βαθμονομούνται σύμφωνα με το συντελεστή απόδοσης (COP). Είναι ο επιστημονικός τρόπος προσδιορισμού της ενέργειας που το σύστημα παράγει σε σχέση με αυτή που χρησιμοποιεί. Τα περισσότερα συστήματα γεωθερμικών αντλιών

θερμότητας έχουν COPs 3~5. Αυτό σημαίνει ότι για κάθε μία μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει το σύστημα, 3~5 μονάδες παρέχονται ως θερμότητα. Δηλαδή ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500%.



Τυπική λειτουργία αντλίας θερμότητας

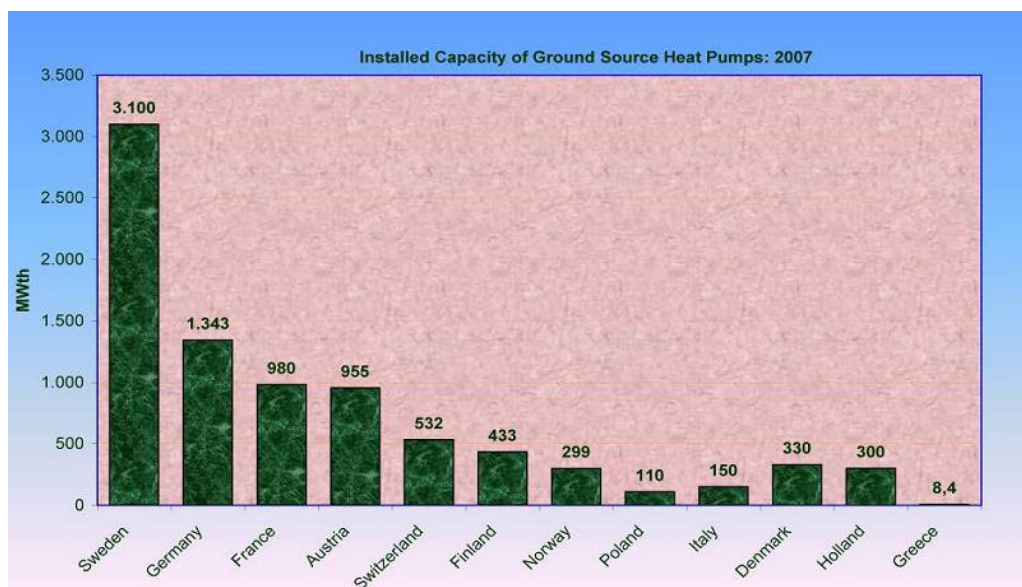
Γενικά θα πρέπει να τονιστεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι πέρα από την αποδοτικότητα τους, τα γεωθερμικά συστήματα λειτουργούν σε συνεργασία με τη φύση και όχι ενάντια σε αυτήν. Δεν εκπέμπουν αέρια θερμοκηπίου, τα οποία έχουν συνδεθεί με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας, την όξινη βροχή και άλλους περιβαλλοντικούς κινδύνους. Τα μηχανήματα της WFI χρησιμοποιούν το R410A, ένα ψυκτικό υγρό υψηλής απόδοσης που δεν θα βλάψει το στρώμα του όζοντος στη ατμόσφαιρα.

Ένα συνηθισμένο παράδειγμα κατανόησης της λειτουργίας των αντλιών θερμότητας αποτελούν τα ψυγεία και τα κλιματιστικά μηχανήματα, τα οποία είναι αντλίες θερμότητας που κινούν τη θερμότητα από τους πιο κρύους εσωτερικούς χώρους στους θερμότερους εξωτερικούς χώρους με σκοπό την ψύξη των πρώτων. Οι αντλίες θερμότητας κινούν επίσης την θερμότητα από χαμηλής θερμοκρασίας πηγές σε υψηλής θερμοκρασίας χώρους με σκοπό τη θέρμανση. Παραδείγματος χάριν, μια αντλία θερμότητας με πηγή θερμότητας τον εξωτερικό αέρα, λαμβάνει τη θερμότητα

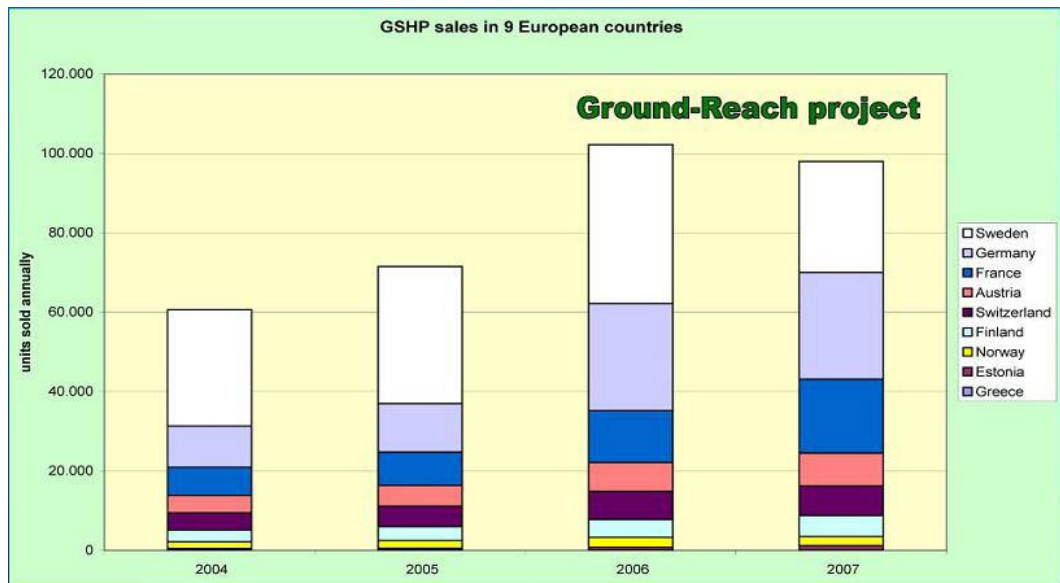
από τον υπαίθριο χώρο και την αντλεί στο εσωτερικό του κτιρίου. Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο, με τη διαφορά ότι η πηγή θερμότητάς της είναι η πιο ζεστή γη αντί του κρύου αέρα. Η διαδικασία της ανύψωσης της θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας σε άνω των 30°C και μεταφορά στον εσωτερικό χώρο περιλαμβάνει έναν κύκλο εξάτμισης, συμπίεσης, συμπύκνωσης και εκτόνωσης. Το ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας που κυκλοφορεί μέσα στην αντλία θερμότητας.

Το γεγονός ότι μια γεωθερμική αντλία θερμότητας μπορεί να προσφέρει θέρμανση και ψύξη την κάνει ιδιαίτερα ελκυστική. Με ένα απλό γύρισμα του διακόπτη στον εσωτερικό θερμοστάτη μπορείτε να περάσετε από την μία λειτουργία στην άλλη. Κατά τη διάρκεια της ψύξης η γεωθερμική αντλία θερμότητας απάγει την θερμότητα από τους εσωτερικούς χώρους και τη μεταφέρει στη δροσερή γη μέσω του γεωεναλλάκτη, ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος. Κατά τη διάρκεια της θέρμανσης η διαδικασία αντιστρέφεται.

Τα πλεονεκτήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν καταστήσει τα συστήματα που λειτουργούν με βάση την αβαθή γεωθερμία ιδιαίτερα αναπτυσσόμενες εφαρμογές σε παγκόσμια κλίμακα. Στην Ευρωπαϊκό χώρο, έχουν βρει ευρεία εφαρμογή σε χώρες όπως η Σουηδία, η Γερμανία, η Αγγλία.



Η Ευρωπαϊκή αγορά Γ.Α.Θ το 2007 πηγή:ΚΑΠΕ



Ετήσιες πωλήσεις Γ.Α.Θ ΣΕ 9 χώρες το 2007 πηγή:ΚΑΠΕ

4.2 ΓΕΩΘΕΡΜΟΛΟΓΙΑ

Χρησιμοποιώντας το έδαφος σαν πηγή ή δεξαμενή θερμότητας είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί σύνδεση μεταξύ του αντικειμένου το οποίο πρόκειται να θερμανθεί ή να ψυχθεί (κτίριο, κατοικία κ.λ.π) και του εδάφους. Το ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι λεγόμενοι γεωθερμολογικοί. Πρόκειται για υπόγειους αγωγούς τοποθετημένους σε υπόγειες τάφρους σε βάθος έως 3 μέτρα από την επιφάνεια, μέσα από τους οποίους διέρχεται το ρευστό ,το οποίο ανάλογα το είδος του συστήματος μπορεί να είναι νερό, ψυκτικό υγρό ή και αέρας. Η σύνδεση αυτή με το έδαφος καλείται κύκλωμα ή βρόγχος. Οι γεωθερμολογικές αυτές συνδέσεις με το έδαφος μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες ,όπως προαναφέρθηκε:

- Γεωθερμολογικοί κλειστού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

- Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα
- Υβριδικά συστήματα
- Συστήματα άμεσης εναλλαγής θερμότητας(direct exchange)



Γεωεναλλάκτης οριζόντιος



Γεωεναλλάκτης κατακόρυφος

γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου α)οριζόντιος, β)κατακόρυφοι



Γεωεναλλάκτης ανοιχτού βρόγχου

Οι παράγοντες σχεδιασμού που επηρεάζουν το είδος του κυκλώματος που θα εφαρμοσθεί είναι:

- οι γεωλογικές συνθήκες (τα θερμικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά του υπεδάφους),
- οι τεχνικές παράμετροι όπως είναι το μήκος η διάμετρος και το υλικό του αγωγού που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και το είδος και η ποιότητα του υλικού εμποτισμού των αγωγών
- το απαιτούμενο θερμικό και ψυκτικό φορτίο
- το εμβαδό του κτιρίου που πρόκειται να θερμανθεί/ψυχθεί, καθώς και η διαθέσιμη επιφάνεια του οικοπέδου
- η θερμοκρασία του εδάφους

Το κύριο πλεονέκτημα ενός γεωθερμικού συστήματος κλειστού κυκλώματος έναντι του ανοιχτού είναι το γεγονός ότι το πρώτο είναι ανεξάρτητο από υπάρχοντες υδροφορείς και το είδος του νερού που κυκλοφορεί σε αυτούς. Τουναντίον, γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού κυκλώματος παρουσιάζουν μεγαλύτερη ικανότητα μετάδοσης θερμότητας από γεωτρήσεις σε σύγκριση με κάθετα συστήματα κλειστού βρόγχου. Ανάλογα με το ρευστό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό των γεωεναλλακτών διακρίνονται σε:

- Γεωθερμικά συστήματα ,στα οποία το ρευστό που κυκλοφορεί είναι νερό ή αντιψυκτικό υγρό
- Γεωθερμικά συστήματα , στα οποία το ρευστό που κυκλοφορεί είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας



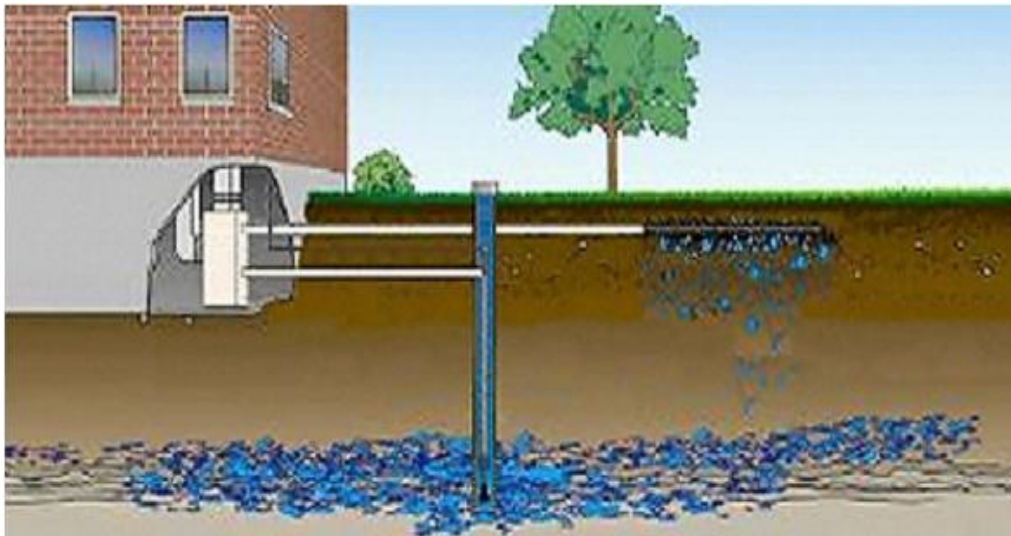
Υπόγεια εγκατάσταση συστήματος

4.2.1 ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Τα ανοιχτά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται τον υπόγειο ή επιφανειακό υδροφόρο ορίζοντα με υδρογεωτρήσεις. Κατασκευαστικά είναι ευκολότερη λύση αλλά και η πιο δαπανηρή στη λειτουργία από όλα τα γεωθερμικά συστήματα, λόγω της κατανάλωσης του υποβρύχιου συγκροτήματος στην γεώτρηση της άντλησης. Τα ανοικτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούνται από το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής της θέρμανσης ή της ψύξης και εφαρμόζονται σε περιοχές που παρουσιάζουν συνεχή υψηλή υπόγεια ή επιφανειακή υδροφορία.

Συγκεκριμένα, νερό αντλείται από γειτονικό υδροφορέα, διέρχεται μέσω του γεωεναλλάκτη στην αντλία θερμότητας και τελικά αποφορτίζεται. Μετά την απομάκρυνση του από το κτίριο, το νερό διατίθεται με μία από τις τρεις μεθόδους που περιγράφονται παρακάτω ανάλογα κάθε φορά τους ισχύοντες τοπικούς κανονισμούς και περιορισμούς.

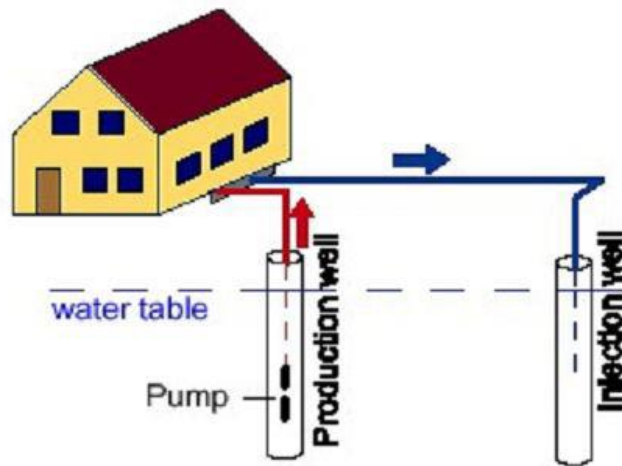
1. Αποστράγγιση επιφάνειας, συμβαίνει σε περιοχές όπως λίμνες, ποτάμια ρυάκια.
2. Υπόγεια, σε μία συγκεκριμένη περιοχή αποστράγγισης μεγέθους ανάλογης με τον όγκο του απαιτούμενου νερού της αντλίας θερμότητας.
3. Επαναφόρτιση στον ίδιο υδροφορέα.



περίπτωση 2η ,υπόγεια διάθεση του υπό απομάκρυνση νερού

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΓΧΟΥ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου ,τυπικά, συμπεριλαμβάνουν ένα ή περισσότερα φρεάτια άντλησης και ένα ή περισσότερα φρεάτια επαναφόρτισης.



σύστημα ανοιχτού βρόγχου με φρεάτια άντλησης και φόρτισης

Στα συστήματα ανοιχτού βρόγχου, το υπόγειο νερό αντλείται από τον υδροφορέα μέσω του φρεατίου άντλησης και εισάγεται στην αντλία θερμότητας, η οποία δρα ως πηγή/δέξαμενή θερμότητας στην διαδικασία θέρμανσης –ψύξης. Αφού το νερό διέλθει την αντλία θερμότητας επιστρέφεται στον υδροφορέα μέσω του φρεατίου φόρτισης. Η μόνη διαφορά ανάμεσα στο αντλούμενο και στο επιστρεφόμενο νερό είναι η θερμοκρασία.

Έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε συνδυασμό με την μακρόχρονη εμπειρία εφαρμογής του συγκεκριμένου συστήματος, δείχνουν ότι η απαραίτητη ικανότητα του συστήματος για αποτελεσματική εναλλαγή θερμότητας είναι γύρω στα 8 με 11 l/(min t). Από τη στιγμή που η θερμοκρασία του εδάφους παραμένει σταθερή, τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου, αποτελούν δημοφιλή επιλογή σε περιοχές που επιτρέπεται η εγκατάστασή τους. Παρ'όλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο απ'ότι τα κλειστού κυκλώματος, μπορεί να αποδειχθούν αρκετά πιο αποδοτικά στον τομέα του κόστους υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι το νερό υπάρχει σε αφθονία. Περιοριστικό βέβαια ρόλο στην εφαρμογή και εγκατάστασή τους έχουν και οι τοπικές περιβαλλοντικές αρχές με τους θεσπισμένους νόμους, κώδικες, διατάγματα καθώς και τις απαιτήσεις αδειοδότησης.

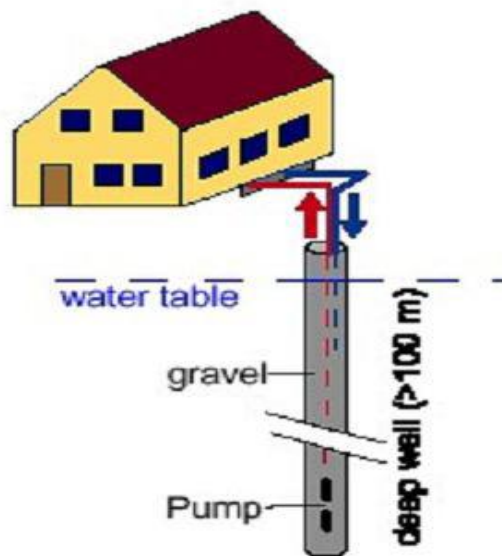
Θα πρέπει επίσης να τονιστεί το γεγονός ότι νερό φτωχό σε ποιότητα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Για το λόγο

αυτό συνίσταται να προηγούνται έλεγχοι του διαθέσιμου νερού σε σκληρότητα , οξύτητα , περιεκτικότητα σε σίδηρο πριν την εγκατάσταση της αντλίας θερμότητας. Ταυτόχρονα θα πρέπει να επισημανθεί ότι από την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος δεν προκύπτει καμία περιβαλλοντική ζημιά δεδομένου ότι το νερό που αντλείται επιστρέφεται στον υδροφορέα. Η μόνη διαφορά που προκύπτει είναι μία μικρή αύξηση της θερμοκρασίας του χρησιμοποιούμενου νερού από το φρεάτιο άντλησης στο φρεάτιο φόρτισης, Σημαντικό επίσης παράγοντα για την λειτουργία ενός γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου αποτελεί η απόσταση μεταξύ των φρεατίων άντλησης και επαναφόρτισης. Η αποφυγή της ροής από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης δεν είναι απαραίτητη, θα πρέπει όμως να επιβεβαιωθεί ότι η κυκλοφορία του νερού μεταξύ των φρεατίων είναι επαρκώς χαμηλή έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού από το φρεάτιο φόρτισης στο φρεάτιο άντλησης να είναι σχεδόν ίδια με την θερμοκρασία του υδροφορέα. Όσον αφορά τις διαστάσεις του φρεατίου, αυτό θα πρέπει να είναι μήκους 85 με 200 περίπου μέτρα ανάλογα βέβαια το μέγιστο ψυκτικό η θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφορέα. Εάν δεν ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών .

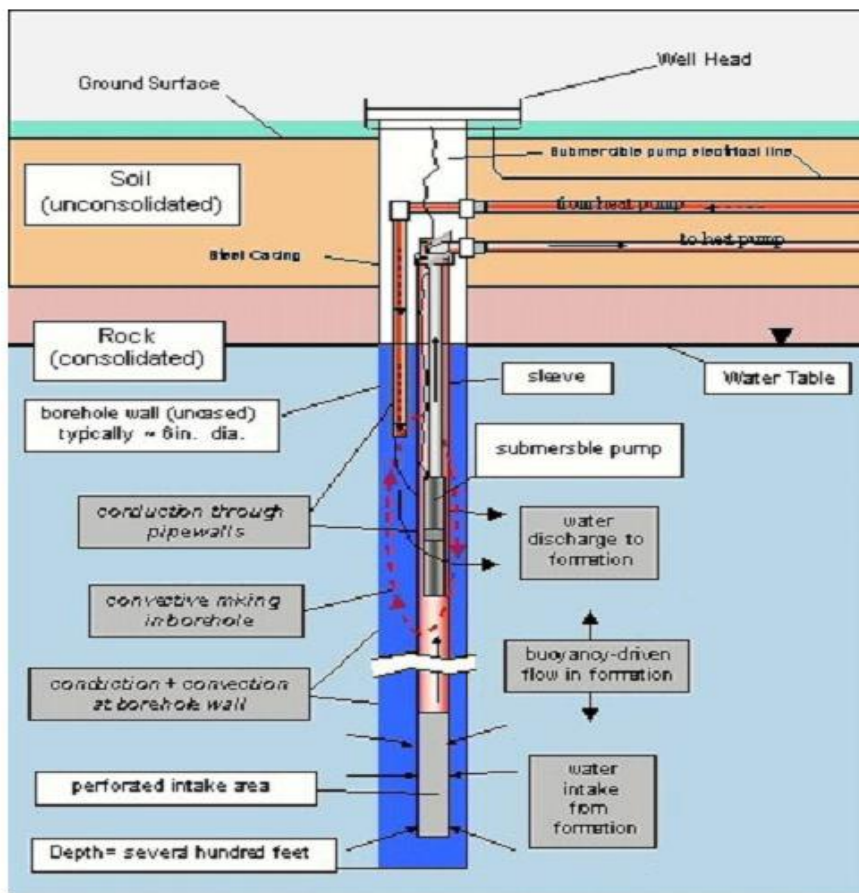
ΣΥΣΤΗΜΑ ΥΔΑΤΙΝΗΣ ΣΤΗΛΗΣ

Ένα άλλο είδος γεωθερμικού συστήματος ανοιχτού βρόγχου αποτελεί και αυτό της υδάτινης στήλης. Στην ουσία πρόκειται για μία μόνο βαθιά γεώτρηση/φρεάτιο σε βραχώδες υπόβαθρο. Η μέθοδος αυτή λειτουργεί καλύτερα με

αντιδιαβρωτικό νερό, καθώς το νερό χρησιμοποιείται απ'ευθείας στην αντλία θερμότητας. Στην περίπτωση αυτή το γεωθερμικό νερό κυκλοφορεί μέσα στο ίδιο φρεάτιο. Το νερό αντλείται από τη βάση της γεώτρησης, διέρχεται από την αντλία θερμότητας η οποία προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας του και επιστρέφει στην κορυφή της γεώτρησης. Στη συνέχεια ρέει έως ότου επιστρέψει στον υπόγειο ορίζοντα, ενώ στην πορεία ,ανταλλάσει θερμότητα με το περιβάλλον πέτρωμα.



σύστημα υδάτινης στήλης σε βραχώδες υπόβαθρο-γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού βρόγχου.



Η κάθετη αυτή κίνηση του νερού και η εναλλαγή θερμότητας καλείται υδάτινη στήλη παρέχοντας μία κατάλληλη και αποδοτική μέθοδο μετάδοσης θερμότητας. Βασιζόμενοι στην εμπειρία της Ένωσης ενεργειακών συστημάτων και ύδατος (Water and Energy Systems Corporation) για κάθε τόνο κτιριακού φορτίου, απαιτούνται 16,5 με 20 μέτρα υδάτινης στήλης.

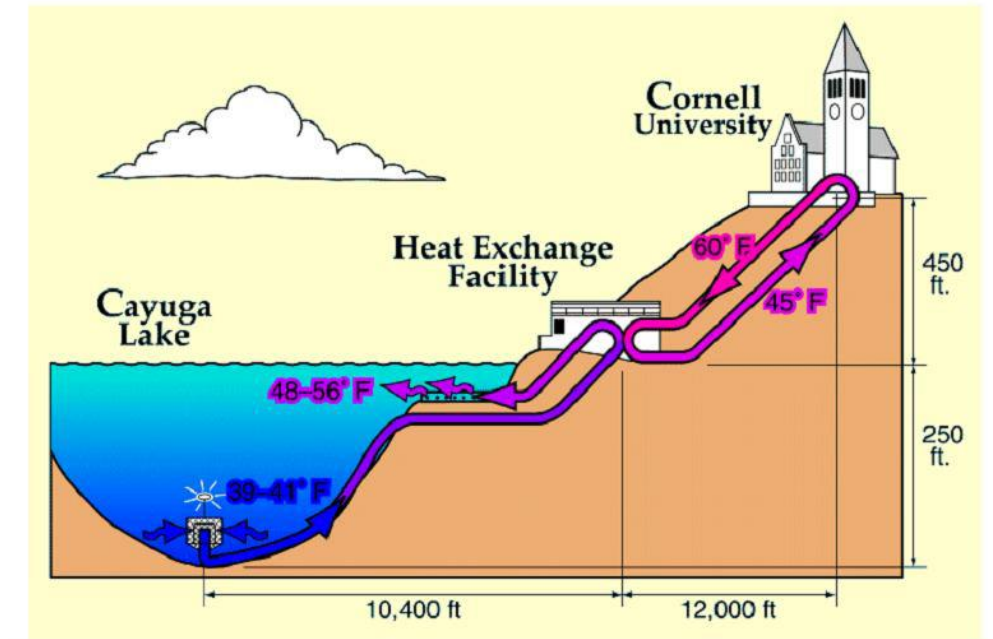
Τα ανοιχτά αυτά γεωθερμικά συστήματα αποτελούν καθιερωμένη τεχνολογία για πολλές περιοχές ειδικότερα στο Βορειοανατολικό τμήμα των Ηνωμένων Πολιτειών. Η διάμετρος τέτοιων φρεατίων κυμαίνεται γύρω στα 15 με 20 cm και μπορεί να φτάσουν σε βάθος έως 500 m. Ωστόσο για την αποδοτική λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη άφθονου νερού. Εάν η εγκατάσταση γίνει σε περιοχή όπου ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ βαθιά τότε η μέθοδος αποδεικνύεται ασύμφορη. Κάτω από κανονικές συνθήκες, το νερό το οποίο αποσπάται για οικιακή χρήση(πόσιμο) αντικαθίσταται από σταθερής θερμοκρασίας υπόγειο νερό, διαδικασία που κάνει το σύστημα να λειτουργεί σαν αληθινό

γεωθερμικό σύστημα ανοιχτού κυκλώματος. Επιπλέον εάν παρατηρηθεί αξιοσημείωτη αύξηση της θερμοκρασίας του νερού της γεώτρησης ή αντίθετα σημαντική μείωση αυτής, τότε στην περίπτωση αυτή προτείνεται η ανάμειξη του υπόγειου νερού με νερό του συστήματος για την αποκατάσταση της θερμοκρασίας του νερού στα συνηθισμένα επίπεδα λειτουργίας.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ

Τα συστήματα επιφανειακών υδάτων χρησιμοποιούν όγκο νερού προερχόμενο από παράλια ωκεανού ή ανοιχτής θάλασσας ή ακόμα και λιμνών στην ενδοχώρα τόσο για παροχή ύδατος όσο και για απόρριψη αυτού. Εννοιολογικά τα συστήματα επιφανειακών υδάτων είναι παρόμοια με τα συστήματα υδάτινων στηλών που περιγράφησαν στην προηγούμενη υποενότητα.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής του συστήματος επιφανειακών υδάτων, που συγκαταλέγεται στην κατηγορία γεωεναλλακτών ανοιχτού κυκλώματος, είναι η λίμνη Cayuga. Συγκεκριμένα το νερό που προέρχεται από τη λίμνη, χρησιμοποιείται ως η πηγή του γεωθερμικού εναλλάκτη που χρησιμοποιείται για την παροχή ψύξης στο Πανεπιστήμιο του Cornell. Η μέθοδος αυτή, που βρίσκει εφαρμογή μόνο για τη μία λειτουργία, αυτή δηλαδή του δροσισμού δεν κάνει καμία χρήση γεωθερμικών αντλιών.



απεικόνιση συστήματος επιφανειακών υδάτων

4.2.2 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Τα κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι αυτά που εκμεταλλεύονται τη θερμοκρασία του εδάφους. Σε αυτά τα συστήματα, το κύκλωμα των υδρογεωτρήσεων αντικαθίσταται με γεωεναλλάκτες που τοποθετούνται σε κάθετη ή οριζόντια διάταξη. Η επιλογή μεταξύ κάθετης και οριζόντιας διάταξης, εξαρτάται από τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής και τη διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου σε κάθε περίπτωση. Με τον τρόπο που περιγράψαμε οι γεωσυλλέκτες μεταφέρουν θερμότητα, στη λειτουργία της θέρμανσης από το έδαφος, ή στη λειτουργία της ψύξης προς το έδαφος. Τα κλειστά γεωθερμικά κυκλώματα, αποτελούνται από τον γεωσυλλέκτη, τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το δίκτυο διανομής θέρμανσης ή ψύξης.

Είναι γεγονός ότι οι γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου αποτελούνται από πολυάριθμους τύπους συστημάτων εφαρμογής, όλοι εκ των οποίων χρησιμοποιούν ένα συνεχές κύκλωμα μέσα στο οποίο πραγματοποιείται η κυκλοφορία της θερμικής ροής. Το γεωθερμικό κύκλωμα, η τοποθέτηση του οποίου γίνεται υπόγεια, είναι τυπικά κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Πρόκειται για πολύ σκληρό πλαστικό το οποίο χαρακτηρίζεται εξαιρετικής ανθεκτικότητας

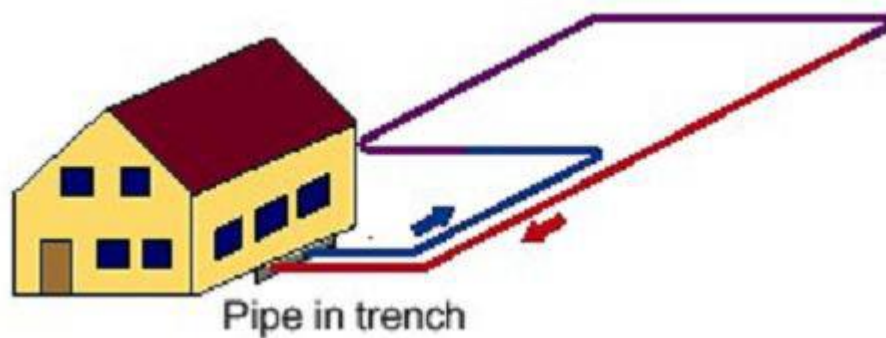
καθώς και μεγάλης διάρκειας ζωής επιτρέποντας ταυτόχρονα την μετάδοση θερμότητας με αποτελεσματικό τρόπο.

Η συνένωση των επιμέρους τμημάτων επιτυγχάνεται με θερμική συγκόλληση γεγονός που καθιστά εν τέλει τις συνδέσεις ανθεκτικότερες από τους ίδιους τους αγωγούς. Το ρευστό που κυκλοφορεί στο εσωτερικό του κυκλώματος είναι είτε νερό είτε αντιψυκτικό υγρό ασφαλές προς το περιβάλλον.

ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα είναι τα πιο επωφελή από άποψη κόστους, με την προϋπόθεση ότι υπάρχει αρκετή διαθέσιμη έκταση τοποθέτησης και το έδαφος είναι κατάλληλο εκσκαφής υπόγειων τάφρων. Η διάνοιξη των σκαμμάτων γίνεται με ειδικά σκαπτικά μηχανήματα όπως εκσκαφείς και γεωτρύπανα σε βάθος 1,5 με 2 μέτρα κάτω από την επιφάνεια. Μετά την τοποθέτηση των αγωγών σε διάταξη που εξαρτάται από την μελέτη, γίνεται επιχωμάτωση των υπόγειων τάφρων λαμβάνοντας όμως ιδιαίτερη προσοχή στο υλικό συμπλήρωσης καθώς υπολείμματα βράχου ή άλλων κοφτερών τεμαχίων μπορεί να προκαλέσουν ζημιά στους αγωγούς. Για το λόγο αυτό το υλικό επιχωμάτωσης που προτιμάται συνήθως είναι αμμοχάλικο.

Ένα τυπικό σύστημα οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος αποτελείται από αγωγούς συνολικού μήκους 150 με 200 μέτρα ανά τόνο θερμικής και ψυκτικής ικανότητας. Η απαιτούμενη έκταση γης για την τοποθέτηση οριζόντιων γεωεναλλακτών κυμαίνεται από 150m² έως 300 m² ανά τόνο θερμικής /ψυκτικής ικανότητας ενώ ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο έχουν οι ιδιότητες και η θερμοκρασία του εδάφους.



Οριζόντιο γεωθερμικό σύστημα

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περιορισμοί στην διαθέσιμη έκταση γης για την εγκατάσταση της διάταξης, οι αγωγοί τοποθετούνται με σχετικά, πιο πυκνή διάταξη και συνδέονται, ανάλογα την περίπτωση, είτε σε σειρά είτε παράλληλα.



- α) σύνδεση οριζόντιου γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος σε σειρά,
- β) σύνδεση οριζόντιου γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος παράλληλα

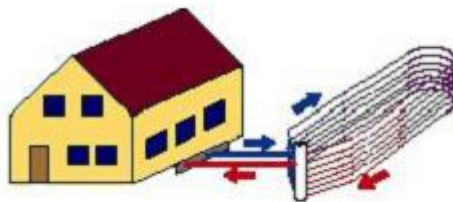
Μία άλλη διάταξη τοποθέτησης του κυκλώματος είναι η σπειροειδής. Ο τρόπος αυτός

εφαρμόζεται με σκοπό τη μείωση του μήκους του γεωεναλλάκτη ανά μήκος ορύγματος απαιτεί όμως περισσότερο μήκος αγωγού ανά τόνο ικανότητας. Ο αγωγός περιστρέφεται σε σπειρωειδή μορφή, επικαλυπτόμενος και εν συνεχεία τοποθετείται μέσα στο ορύγμα. Συστήματα αποτελούμενα από δύο αγωγούς απαιτούν 85 με 100 μέτρα αγωγού περισσότερα ανά τόνο ονομαστικής ικανότητας του γεωεναλλάκτη. Επιπλέον, το μήκος του ορύγματος μειώνεται καθώς ο αριθμός των τοποθετούμενων αγωγών αυξάνεται ή καθώς πυκνώνουν οι σπείρες της διάταξης.



οριζόντιο κλειστό κυκλώμα σε διάταξη με σπείρες

Τέλος , μία εναλλακτική λύση τοποθέτησης του κυκλώματος που έχει αναπτυχθεί λόγω ανεπάρκειας διαθέσιμης έκτασης είναι η εγκατάσταση των αγωγών σε μικρότερη επιφάνεια αλλά σε μεγαλύτερο βάθος ορύγματος υπό τη μορφή κυκλωμάτων στενής διαμέτρου αγωγού όπως απεικονίζεται παρακάτω.



ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Τα κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα βρίσκουν ευρεία εφαρμογή εκεί όπου υπάρχει μικρός διαθέσιμος χώρος εγκατάστασης του κυκλώματος, ή στην περίπτωση όπου η παρουσία βράχων καθιστά το σκάψιμο μη πρακτικό καθώς και όταν επιθυμείται η όσο το δυνατό λιγότερη διατάραξη του τοπίου.

Αναλυτικότερα, πραγματοποιείται διάνοιξη κάθετων γεωτρήσεων ,με τη χρήση γεωτρύπανου, μήκους 50 έως 150 μέτρα, ακολουθεί τοποθέτηση μονών ή πολλαπλών αγωγών σχήματος U στον πυθμένα της γεώτρησης και τέλος ακολουθεί εγκαθιτισμός των αγωγών . Κάθε κατακόρυφος αγωγός συνδέεται εν συνεχεία με οριζόντιο θπόγειο αγωγό μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ρευστό από και προς την εσωτερική μονάδα εναλλαγής θερμότητας.

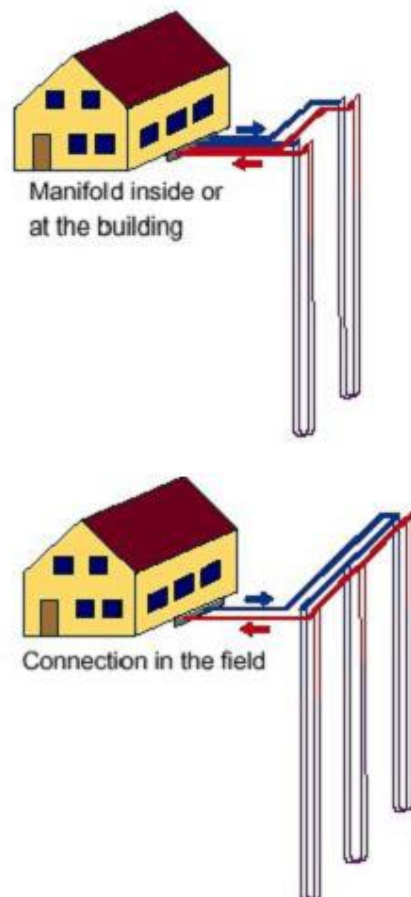


γεωτρύπανο για τη διάνοιξη γέωτρησης

Είναι γεγονός ότι η τοποθέτηση κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλακτών είναι πιο ακριβή, απαιτεί όμως μικρότερο μήκος αγωγών απ' ότι τα οριζόντια συστήματα καθώς η θερμοκρασία είναι πιο σταθερή καθώς απομακρυνόμαστε από

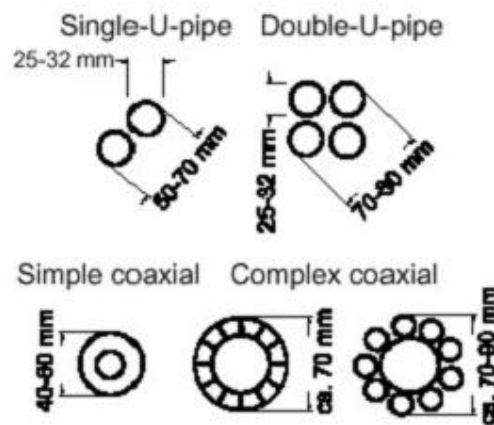
την επιφάνεια. Οι τυπικές απαιτήσεις αγωγών ποικίλλουν από 150 έως 200 μέτρα μήκους γεώτρησης ανά τόνο θερμικού ψυκτικού συστήματος, εξαρτώμενο πάντα από τις ιδιότητες του εδάφους καθώς και τη θερμοκρασιακές συνθήκες αυτού. Η απαίτηση αυτή οδηγεί σε διάνοιξη 1 με 2 γεωτρήσεων ανά τόνο θερμικού φορτίου του συστήματος, απαίτηση υπαγορευόμενη πάντα από τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους.

Σημαντικό παράγοντα σχεδιασμού αποτελεί η απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Εμπειροτεχνικές μέθοδοι έχουν αποδείξει ότι η απόσταση αυτή θα πρέπει να είναι 5 με 8,5 μέτρα μακριά έτσι ώστε να αποφεύγεται οποιαδήποτε θερμική αγωγιμότητα μεταξύ των γεωτρήσεων. Η απαιτούμενη ,συνήθως, έκταση των γεωτρήσεων είναι 14 με 28 m² ανά τόνο θερμικής/ ψυκτικής ικανότητας.

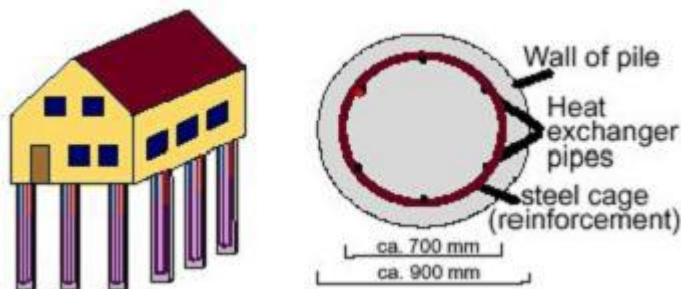


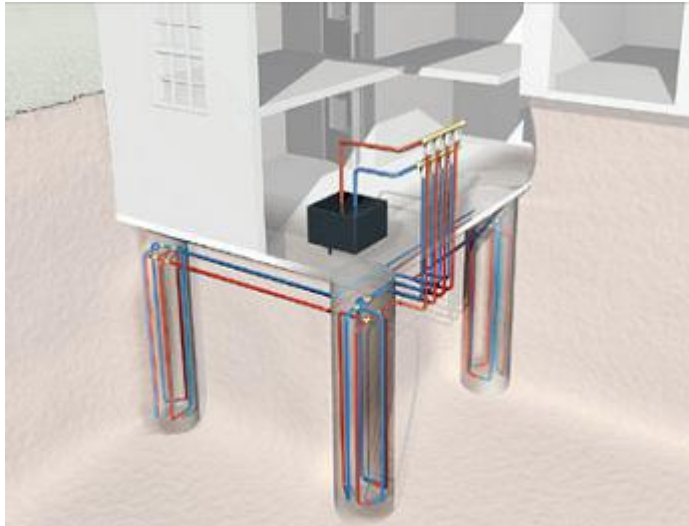
κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα

Διάφοροι τύποι κατακόρυφων γεωεναλλακτών έχουν χρησιμοποιηθεί και ελεγχθεί. Η γεωθερμική βιομηχανία έχει αναπτύξει ταυτόχρονα σε διάφορες χώρες ποικίλες μεθόδους εφαρμογής. Στην Ευρώπη, έχουν αναπτυχθεί μέθοδοι ελαχιστοποίησης της απαιτούμενης έκτασης γης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η τοποθέτηση 2 ή 3 ζευγών αγωγών σχήματος U έναντι της τοποθέτησης ενός. Στις Η.Π.Α αντιθέτως συνηθίζεται περισσότερο η χρήση μονού ζεύγους αγωγών σχήματος U.



Μία αξιοσημείωτη μέθοδος κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι αυτή των ενεργειακών πασσάλων. Πρόκειται για εξοπλισμό των πασσάλων θεμελίωσης συστήματα αγωγών γεωεναλλακτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε προκατασκευασμένους ή σε επί τόπου χυτευτούς πασσάλους μεγέθους 16'' έως 3''.





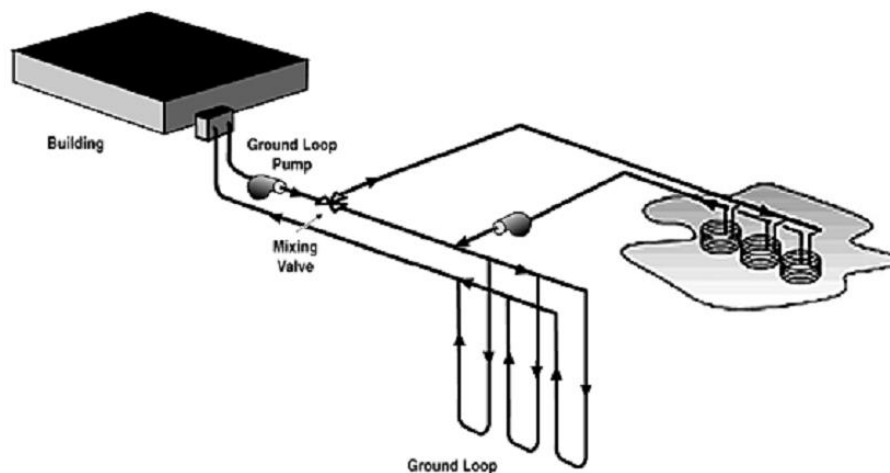
ενεργειακοί πάσσαλοι

4.2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΚΛΕΙΣΤΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Υβριδικά γεωθερμικά συστήματα καλούνται τα συστήματα τα οποία παράλληλα με την χρήση συστημάτων γεωθερμικών αντλιών κάνουν χρήση και άλλων μορφών ενέργειας ή ακόμα και αυτά που χρησιμοποιούν ταυτόχρονα και τους δύο τύπους γεωθερμικών συστημάτων (ανοιχτά-κλειστά κυκλώματα) με σκοπό την παραγωγή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη καθώς και την παροχή ζεστού νερού. Είναι προφανές ότι η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων οδηγεί σε διατάξεις με ακόμα μεγαλύτερη απόδοση ενώ παράλληλα μπορεί να επιφέρει σχεδόν μηδενική εξάρτηση από την κατανάλωση συμβατικών καυσίμων.

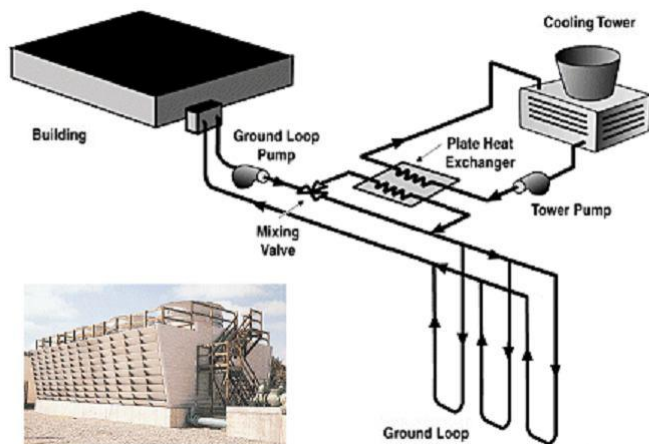
Χαρακτηριστικό παράδειγμα ταυτόχρονης χρήσης κλειστού και ανοιχτού κυκλώματος αποτελούν περιπτώσεις στις οποίες αυξημένη απόρριψη θερμότητας στο έδαφος, του ήδη υπάρχοντος συστήματος οδήγησαν σε αναζήτηση λύσεων όπως η παράλληλη λειτουργία ανοιχτών γεωθερμικών κυκλωμάτων για την αποφυγή του προβλήματος. Συγκεκριμένα, σε σχολικό κτίριο στη νότιο Αμερική παρατηρήθηκε ότι η απορριπτόμενη στο έδαφος θερμότητα ήταν περισσότερη από αυτή που αντλούνταν μέσω κατακόρυφου κλειστού γεωθερμικού συστήματος. Για την αποφυγή λοιπόν της

υπερθέρμανσης του εδάφους, γεγονός που συνεπαγόταν αναπόφευκτα μείωση της αποδοτικότητας του συστήματος ψύξης, κατασκευάστηκε τεχνητή λίμνη ως συμπληρωματικό μέσο για την απόρριψη θερμότητας.



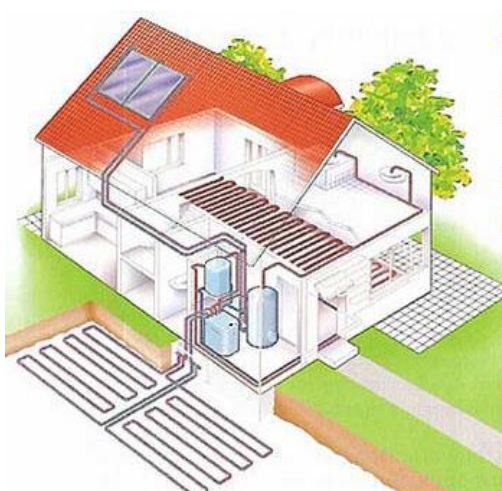
υβριδικό σύστημα με ταυτόχρονη λειτουργία κλειστού και ανοιχτού γεωεναλλάκτη

Σε περιπτώσεις όπου η κατασκευή τεχνητής λίμνης κρίνεται αδύνατη, εναλλακτική λύση αποτελεί η λειτουργία πύργου ψύξης, ο οποίος μπορεί να συνδεθεί είτε απ'ευθείας με το γεωθερμικό κύκλωμα είτε σε συνδυασμό με εναλλάκτη απόμονωσης θερμότητας. Έρευνες στο Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα απέδειξαν ότι σαφώς πιο συμφέρουσα λύση από άποψη κόστους, είναι η κατασκευή τεχνητής λίμνης από την εγκατάσταση πύργου ψύξης υπό την προϋπόθεση βέβαια ότι υπάρχει διαθέσιμη έκταση.



υβριδικό σύστημα ταυτόχρονης λειτουργίας κλειστού γεωθερμικού συστήματος και πύργου ψύξης.

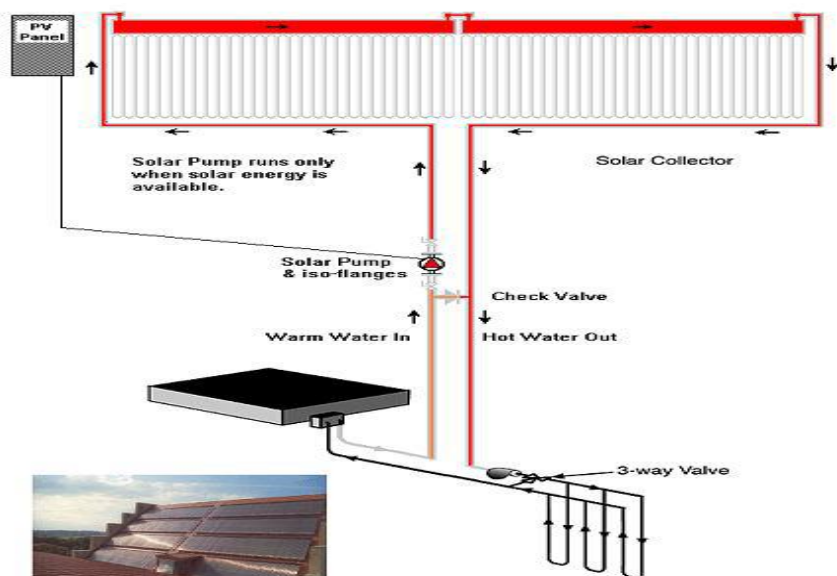
Μία λύση άκρως φιλική προς το περιβάλλον αποτελεί το γεωθερμικό–ηλιακό σπίτι. Για να επιτευχθεί ο στόχος της ψύξης - θέρμανσης μέσω ηλιακών συστημάτων και γεωθερμικών αντλιών πρέπει να ληφθεί μέριμνα για τον σωστό σχεδιασμό, τα υλικά κατασκευής, και τα άλλα χαρακτηριστικά του κτίσματος ώστε να συλλέγεται, αποθηκεύεται και διανέμεται η ηλιακή θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα αλλά να εμποδίζεται η είσοδο της κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.



Υβριδικό σύστημα θέρμανσης-ψύξης με γεωθερμία και ηλιακή ενέργεια

Γενικά τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών (παραγωγή θερμικής ενέργειας ενέργειας), το θερμοδοχείο (αποθήκευση ενέργειας), ένα σύστημα κύριας θερμικής ενέργειας γεωθερμική αντλία θερμότητας, ένα σύστημα θέρμανσης, ενδοδαπέδια, fan coils, και ένα σύστημα ελέγχου. Η ενέργεια των ηλιακών συλλεκτών μεταφέρεται σε ένα καλά μονωμένο θερμοδοχείο και θερμαίνει αρχικά το νερό της κεντρικής θέρμανσης και στη συνέχεια το ζεστό νερό χρήσης. Εάν η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί, τότε τίθεται σε λειτουργία η αντλία θερμότητας και συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται μεγάλη εξοικονόμηση καυσίμων και η θέρμανση των χώρων και του νερού χρήσης επιτυγχάνεται με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

Ένα από τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος γεωθερμικής -ηλιακής θέρμανσης είναι το θερμοδοχείο, το οποίο αποτελεί την "καρδιά" του συστήματος και πρέπει να είναι ειδικά μελετημένο και κατασκευασμένο για τον σκοπό αυτό. Το θερμοδοχείο θα πρέπει να είναι καλά μονωμένο και κυρίως να βοηθά στην διαστρωμάτωση της θερμοκρασίας του νερού στο εσωτερικό του. Η διαστρωμάτωση του δοχείου έχει ως αποτέλεσμα την μέγιστη απόδοση του συστήματος, τον περιορισμό των θερμικών απωλειών και την μέγιστη συλλογή ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η λειτουργία του είναι πλήρως αυτοματοποιημένη έτσι ώστε ο χρήστης το μόνο που έχει να κάνει είναι να απολαμβάνει τις ιδανικές συνθήκες διαβίωσης που αυτό εξασφαλίζει.



υβριδικό σύστημα με ηλιακό συλλέκτη

Όταν ο ήλιος δεν επαρκεί, δηλαδή την νύχτα ή όταν έχει πολλή συννεφιά, τότε η αντλία θερμότητας μπαίνει σε λειτουργία και θερμαίνει το νερό της κεντρικής θέρμανσης ενώ εάν παράλληλα υπάρχει και ζήτηση σε ζεστό νερό χρήσης τότε ανοίγει μια τρίοδη βάννα και διοχετεύεται ζεστό νερό από την αντλία προς τον μεταλλικό εναλλάκτη. Δηλαδή τώρα το στατικό νερό του μπόϊλερ και κατ' επέκταση το νερό χρήσης θερμαίνεται από την αντλία.

Επειδή η χώρα μας χαρακτηρίζεται από έντονη ηλιοφάνεια ακόμα και κατά τη διάρκεια του χειμώνα και κυρίως στις νότιες περιοχές, είναι αυτονόητο ότι ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να επιτύχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και συνεπώς χρημάτων ιδίως όταν συνδυάζεται με συστήματα θέρμανσης χαμηλών θερμοκρασιών όπως είναι η ενδοδαπέδια θέρμανση.

4.2.4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠ' ΕΥΘΕΙΑΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ (DIRECT EXCHANGE)

Τα συστήματα απευθείας μετάδοσης δεν χρησιμοποιούν νερό ή αντιψυκτικό υγρό ως το ενδιάμεσο φέρον ρευστό για τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ του εδάφους και του κτιρίου. Αντιθέτως, τα συστήματα αυτού του τύπου, χρησιμοποιούν κλειστά κυκλώματα από σωληνώσεις μαλακού χαλκού για την απ'ευθείας μετάδοση θερμότητας από το έδαφος στο ψυκτικό μέσο.

Εξαλείφοντας τον ενδιάμεσο συλλέκτη θερμότητας, η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου είναι πλησιέστερα στην θερμοκρασία του εδάφους, γεγονός που ελαττώνει την απαιτούμενη αναλογία συμπίεσης από την αντλία θερμότητας, μειώνοντας ταυτόχρονα και το μέγεθος και την κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία της αντλίας. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μικρότερο σε μέγεθος γεωθερμικό κύκλωμα, τόσο σε μήκος όσο και σε διάμετρο γεωτρήσεων, αφού οι σωληνώσεις χαλκού έχουν αποδειχθεί να είναι έξι φορές πιο αποδοτικές στη μετάδοση θερμότητας από ότι οι αγωγοί πολυαιθυλενίου που χρησιμοποιούνται στα συμβατικά κλειστά γεωθερμικά συστήματα.

Τα συστήματα απ'ευθείας μετάδοσης θερμότητας μπορούν να εγκατασταθούν τόσο σε οριζόντια διάταξη όσο και σε κατακόρυφη σχήματος U. Τα οριζόντια συστήματα απαιτούν 115 μέτρα περίπου αγωγού από χαλκό ανά τόνο συστήματος σε αντίθεση με τα κλειστά κυκλώματα πολυαιθυλενίου τα οποία απαιτούν 150 με 165 μέτρα μήκος αγωγού ανά τόνο συστήματος. Παρομοίως, στα κατακόρυφα συστήματα απ'ευθείας μετάδοσης θερμότητας, απαιτείται διάμετρος γεώτρησης γύρω στα 7 cm με βάθος 40 μέτρα ανά τόνο , εν αντιθέσει με 10-15 cm διάμετρο γεώτρησης και βάθος 65 με 100 μέτρων συμβατικών κατακόρυφων κλειστών κυκλωμάτων πολυαιθυλενίου. Συνεπώς, απαιτείται μικρότερη απαιτούμενη επιφάνεια εγκατάστασης, ιδιαίτερα για τα οριζόντια συστήματα.

Παρολ' αυτά μειονεκτούν έναντι των συμβατικών συστημάτων πολυαιθυλενίου στο γεγονός ότι ο χαλκός αποτελεί υλικό επιρρεπές σε φαινόμενα οξειδωσης και διάβρωσης σε αντίθεση με την ανθεκτικότητα που χαρακτηρίζει το πολυαιθυλένιο. Επιπλέον, με τη λειτουργία συστημάτων απ'ευθείας μετάδοσης θερμότητας μπορεί να προκληθεί ξήρανση του εδάφους από την άνοδο της θερμοκρασίας ιδιαίτερα σε λεπτόκοκκα εδάφη, μειώνοντας έτσι την θερμική τους αγωγιμότητα και συνεπώς την αποδοτικότητα του συστήματος. Για το λόγο

αυτό, τέτοια συστήματα αποδίδουν καλύτερα σε υγρά αμμώδη εδάφη.

4.3 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΕΠΙΡΡΟΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΓΕΩΘΕΝΝΑΛΑΚΤΩΝ

Μία σημαντική παράμετρος με σημαντικό ρόλο στην επιτυχή λειτουργία των κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων είναι ο εγκιβωτισμός αυτών. Είναι δεδομένο ότι η γεώτρηση θα πρέπει να δρα αποδοτικά ως πηγή ή δεξαμενή θερμότητας, ικανότητα γνωστή ως απόδοση θερμικής αγωγιμότητας για την οποία καθοριστικό ρόλο έχει ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει ο εγκιβωτισμός των αγωγών.

Όπου ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίχωση της γεώτρησης μπορεί να γίνει με χαλίκι με κόκκο μικρής διαμέτρου ή αμμοχάλικο, το οποίο επιτρέπει την κυκλοφορία του υπόγειου νερού γύρω από τα στοιχεία του αγωγού σχήματος U. Σε περιπτώσεις όπου το έδαφος είναι ξηρό ή σε περιπτώσεις όπου παρατηρούνται μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα ή ακόμη και όταν οι τοπικοί κανονισμοί απαιτούν μόνιμο σφράγισμα των γεωτρήσεων, ο εγκιβωτισμός των αγωγών θα πρέπει να γίνεται με θερμικά ενισχυμένο ένεμα. Η θερμική απόδοση μπορεί ταυτόχρονα να ενισχυθεί με τη χρήση συνδετήρων ανά διαστήματα 1,5 μέτρου κατά μήκος του αγωγού, μέσω των οποίων ασκείται δύναμη των επί μέρους αγωγών, της διάταξης σχήματος U, ενάντια στα τοιχώματα της γεώτρησης.

Η πολύχρονη πείρα έχει δείξει ότι το βάθος εκσκαφής, το είδος του εδάφους, το είδος της διάταξης (οριζόντια ή κάθετη) καθώς και η γεωγραφική θέση έχουν καθοριστικό ρόλο στο αν θα χρειαστεί αντιψυκτική προστασία του ρέοντος υγρού στο κύκλωμα. Από περιβαλλοντικής άποψης, η χρήση απλού νερού είναι η πιο ενδεδειγμένη επιλογή καθώς δεν εγκυμονεί κανέναν περιβαλλοντικό κίνδυνο. Στις περιπτώσεις όμως που κριθεί απαραίτητη η αντιψυκτική προστασία υπάρχουν δύο είδη αντιψυκτικών υγρών που μπορεί να χρησιμοποιηθούν: γλυκόλη προπυλενίου και μεθυλική αλκοόλη. Στην ουσία πραγματοποιείται ανάμιξη των προαναφερθέντων ουσιών με νερό για τον σχηματισμό του κατάλληλου ρέοντος ρευστού στο κύκλωμα ανάλογα τις εκάστοτε κλιματικές και εδαφικές συνθήκες.

Τέλος όσον αφορά το υλικό των αγωγών δεν είναι άλλο από πολυαιθυλενίο υψηλής πυκνότητας, ένα υλικό στο οποίο αποδίδεται εγγύηση 50 ετών. Ανεξάρτητοι έλεγχοι αποδεικνύουν χρονικό διάστημα χρησιμότητας πάνω από 200 χρόνια. Η ένωση των επί μέρους τμημάτων των αγωγών πραγματοποιείται με θερμική συγκόλληση για την δημιουργία μίας άρθρωσης πιο δυνατής και από τα το ίδιο το υλικό του αγωγού. Απαγορεύεται η χρήση οδοντωτών τεμαχίων, σφικτήρων ή απλών κολλήσεων τα οποία αποδεδειγμένα οδηγούν στην αστοχία της διάταξης.

\

ΕΛΑΦΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Τα χαρακτηριστικά του εδάφους αποτελούν σημαντικότερη παράμετρο στον σχεδιασμό των γεωεναλλακτών. Η λειτουργία ενός γεωεναλλάκτη προκαλεί ταυτόχρονη ροή θερμότητας και υγρασίας στο περιβάλλον έδαφος. Η μετάδοση της θερμότητας μεταξύ του γεωεναλλάκτη και του εδάφους προέρχεται πρωτίστως από θερμική αγωγιμότητα και κατά ένα σημαντικό βαθμό από την μετανάστευση της υγρασίας. Για το λόγο αυτό το φαινόμενο της μετάδοσης εξαρτάται απόλυτα από το είδος του εδάφους , την θερμοκρασία , καθώς και τον βαθμό υγρασίας.

Η θερμική διαχυτότητα του εδάφους (α_s) αποτελεί μία προσδιορισμένη ιδιότητα προκύπτοντας ως ο λόγος της θερμικής αγωγιμότητας (k_s) και της θερμικής ικανότητας ($\rho_s C_s$). Συνεπώς οι τρεις αυτές ιδιότητες του εδάφους k_s , ρ_s , C_s θα πρέπει ή να είναι εκ των προτέρων γνωστές ή τουλάχιστον να μπορούν να εκτιμηθούν έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα πρόβλεψης της θερμικής συμπεριφοράς των γεωεναλλακτών. Η απόκτηση όμως ακριβών τιμών των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους απαιτεί ενδελεχή έρευνα. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι θερμικές ιδιότητες κοκκώδων εδαφών(αμμώδη, αργιλικά, ίλος) είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί η περιεκτικότητα σε άμμο ή άργιλο , η ξηρή πυκνότητα , και η περιεκτικότητα του εξεταζόμενου εδάφους σε υγρασία. Οι ακόλουθες αναλυτικές εξισώσεις εφαρμόζονται στον υπολογισμό των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους βασιζόμενες στην ξηρή πυκνότητα του εδάφους και στην περιέχομενη υγρασία.

4.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η φυσική ροή της θερμότητας είναι από τις ψηλότερες στις χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι μία μηχανή η οποία προκαλεί τη ροή θερμότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση από τη φυσική της τάση. Λόγω του ότι η παραπάνω διαδικασία για να πραγματοποιηθεί απαιτεί κατανάλωση ενέργειας, το όνομα “αντλία θερμότητας” χρησιμοποιείται για να περιγράψει το συγκεκριμένο μηχάνημα.

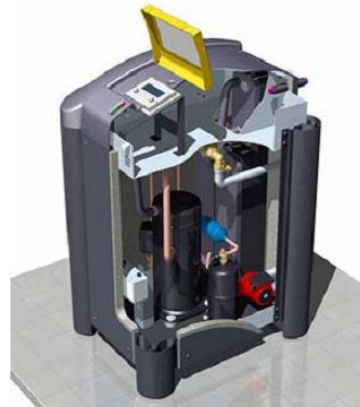
Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας την αποθηκευμένη στο έδαφος ηλιακή ενέργεια. Η συγκεκριμένη τεχνολογία βασίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία μετά από κάποιο βάθος παραμένει πρακτικά αμετάβλητη κατά τη διάρκεια του χρόνου, θερμότερη από τον εξωτερικό αέρα το χειμώνα και ψυχρότερη το καλοκαίρι. Η γεωθερμική αντλία εκμεταλλεύεται αυτό το γεγονός μεταφέροντας την αποθηκευμένη στο έδαφος ή στα υπόγεια νερά στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι λειτουργεί αντίθετα, μεταφέροντας τη θερμότητα έξω από το κτίριο πίσω στο έδαφος.

Όλες αυτές οι μηχανές, αντί να παράγουν θερμότητα, μεταφέρουν την υφιστάμενη θερμότητα από ένα χώρο χαμηλότερης θερμοκρασίας σε ένα χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας. Τα ψυγεία και τα κλιματιστικά μηχανήματα είναι αντλίες θερμότητας που κινούν τη θερμότητα από τους πιο κρύους εσωτερικούς χώρους στους θερμότερους εξωτερικούς χώρους με σκοπό την ψύξη των πρώτων. Οι αντλίες θερμότητας κινούν επίσης την θερμότητα από χαμηλής θερμοκρασίας πηγές σε υψηλής θερμοκρασίας χώρους με σκοπό τη θέρμανση.

Τα βασικά Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας παραθέτονται παρακάτω:

- Το 70 - 80% της ενέργειας παρέχεται δωρεάν από το περιβάλλον
- Το κόστος λειτουργίας μειώνεται **πάνω από 60%** σε σχέση με τους συμβατικούς τρόπους θέρμανσης και ψύξης
- Καταργείται η χρήση πετρελαίου και έχουμε μηδενικές εκπομπές CO₂
- Δεν απαιτείται δεξαμενή καυσίμων και καμινάδα
- Μεγάλη εξοικονόμηση χώρου, γιατί χρειάζεται μόνο μια μικρή και συμπαγής αντλία για θέρμανση και ψύξη

- Δεν απαιτείται καμία συντήρηση στους γεωεναλλάκτες, ενώ η Αντλία Θερμότητας χρειάζεται περιοδικό έλεγχο
- Λειτουργεί αθόρυβα και δε χρειάζεται πυροπροστασία
- Το σύστημα της Αντλίας Θερμότητας συνδυάζεται μέσω θερμοδοχείου (Boiler) και με άλλες πηγές ενέργειας, όπως για παράδειγμα τους ηλιακούς συλλέκτες



Η διαδικασία της ανύψωσης της θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας σε άνω των 30°C και μεταφορά στον εσωτερικό χώρο περιλαμβάνει έναν κύκλο εξάτμισης, συμπύεσης, συμπύκνωσης και εκτόνωσης. Το ψυκτικό υγρό χρησιμοποιείται ως μέσο μεταφοράς της θερμότητας που κυκλοφορεί μέσα στην αντλία θερμότητας.

Υπάρχουν διαφορετικά είδη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σχεδιασμένα για τις αντίστοιχες εφαρμογές. Για παράδειγμα, πολλές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας προορίζονται για χρήση μόνο με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες υπόγειου νερού όπως στα ανοικτά κυκλώματα. Άλλες λειτουργούν με θερμοκρασίες εισόδου τόσο χαμηλές όπως -4o C που συναντώνται στα συστήματα κλειστού κυκλώματος γεωεναλλάκτη. Αρκετές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας παρέχουν και ψύξη το καλοκαίρι, αλλά μερικά μοντέλα είναι σχεδιασμένα μόνο για θέρμανση το χειμώνα. Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας διαφέρουν επίσης και στον τρόπο που είναι σχεδιασμένες. Υπάρχουν συστήματα που τροφοδοτούν το εσωτερικό κύκλωμα διανομής της θερμότητας του κτιρίου με νερό και λέγονται νερού-νερού και συστήματα που το τροφοδοτούν με αέρα και λέγονται νερού-αέρα. Μια αντλία θερμότητας (είναι ένα μηχάνημα ανάλογο με τα ψυγεία μας ή τα κλιματιστικά μας) αποτελείται από:

- Εξατμιστή
- Συμπιεστή
- Συμπυκνωτή

4.4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Κύκλος θέρμανσης

Κατά τον κύκλο θέρμανσης, το υπόγειο νερό ή το αντιψυκτικό μίγμα, αφού έχει κυκλοφορήσει μέσω των υπόγειων σωληνώσεων παίρνοντας τη θερμότητα του εδάφους, έχει επιστρέψει στη μονάδα αντλίας θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Στα συστήματα που χρησιμοποιείται νερό ή αντιψυκτικό μέσο, ακολουθεί η είσοδος αυτού στον θερμικό εναλλάκτη-αεροποιητή ο οποίος περιέχει ειδικό ψυκτικό μέσο, ενώ στα συστήματα απ' ευθείας μετάδοσης θερμότητας (direct exchange) το ψυκτικό μέσο διέρχεται κατευθείαν στον συμπιεστή χωρίς τον ενδιάμεσο θερμικό εναλλάκτη.

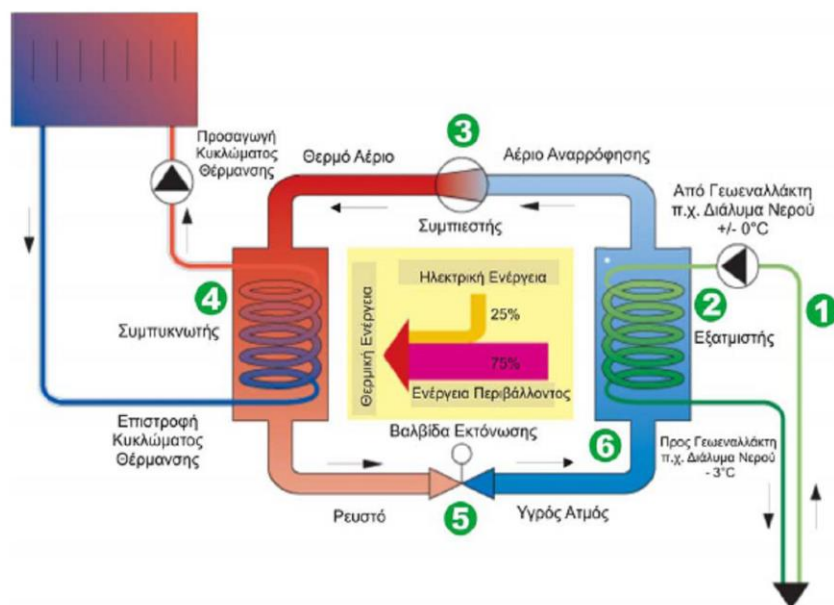
Στη συνέχεια η θερμότητα μεταφέρεται στο ψυκτικό μέσο το οποίο έχει χαμηλό σημείο ζέσης και το οποίο εξαερώνεται και κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα. Στις περιπτώσεις ανοιχτών κυκλωμάτων γεωεναλλακτών το ρευστό επιστρέφει και αποδίδεται στη λίμνη ή στο πηγάδι από το οποίο αντλήθηκε. Στα κλειστά κυκλώματα το αντιψυκτικό μίγμα ή το ψυκτικό μέσο αντλείται πίσω στο υπόγειο σύστημα σωληνώσεων ούτως ώστε να επαναθερμανθεί. Η βαλβίδα αντιστροφής κατευθύνει τον ατμό (ψυκτικό μέσο) στον συμπιεστή, μέσω του οποίου μειώνεται ο όγκος του με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Εν συνεχεία, ο ζεστός πια ατμός κατευθύνεται μέσω της βαλβίδας αναστροφής στο συμπυκνωτή μέσω του οποίου αποδίδει τη θερμότητα του στον αέρα ο οποίος με τη σειρά του διαχέεται γύρω από το πηνίο και στη συνέχεια μέσω του συστήματος σωληνώσεων στο εσωτερικού του κτιρίου.

Παραγωγή ζεστού νερού

Κατά την διαδικασία αυτή, νερό διέρχεται μέσω ενός πηνίου στον συμπυκνωτή το οποίο θερμαίνεται απορροφώντας ένα ποσό της θερμότητας που διαχέεται σ' αυτόν. Πλεονάζουσα θερμότητα είναι πάντα διαθέσιμη κατά τη κύκλο ψύξης της αντλίας τους θερινούς μήνες, ακόμη όμως και στις ενδιάμεσες κλιματικές συνθήκες όταν η αντλία θερμότητας βρίσκεται πάνω από το σημείο ισορροπίας χωρίς να έχει περάσει στο στάδιο πλήρης ικανότητας. Υπάρχουν ακόμη και συστήματα, στα οποία η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης γίνεται κατ' επιλογή με την λειτουργία κατάλληλου διακόπτη.

Κύκλος ψύξης

Ο κύκλος ψύξης αποτελεί ουσιαστικά την αντίστροφη διαδικασία του κύκλου θέρμανσης, αφού η κατεύθυνση του ατμού ορίζεται από την βαλβίδα αντιστροφής. Το ψυκτικό μέσο- ατμός αντλεί την θερμότητα του εσωτερικού του κτιρίου και τη μεταφέρει απ' ευθείας (στα συστήματα απ' ευθείας μετάδοσης θερμότητας) είτε στο υπόγειο νερό είτε στο αντιψυκτικό μίγμα. Η θερμότητα αποδίδεται τότε, στις περιπτώσεις ανοιχτών κυκλωμάτων, στον υδροφορέα ή στο φρεάτιο επαναφόρτισης ή στην περίπτωση κλειστού κυκλώματος, στις υπόγειες σωληνώσεις.



διάγραμμα λειτουργίας αντλίας θερμότητας

1. Το διάλυμα νερού με αντιψυκτικό που κυκλοφορεί στο κύκλωμα γεωεναλλάκτη παίρνει την ενέργεια από το έδαφος, τα υπόγεια νερά ή τον αέρα.
2. Στον εξατμιστή, η ενέργεια μεταδίδεται σε ένα οικολογικό ψυκτικό μέσο με χαμηλό σημείο βρασμού, το οποίο μετατρέπεται σε αέριο για να κυκλοφορήσει σε ένα κλειστό κύκλωμα.
3. Στο συμπιεστή, αυξάνεται η πίεση του ψυκτικού μέσου, καθώς και θερμοκρασία του που φθάνει σε επίπεδο κατάλληλο για θέρμανση.
4. Στο συμπυκνωτή, η θερμότητα από το ψυκτικό μέσο αποδίδεται στο κύκλωμα θέρμανσης της κατοικίας.
5. Η πίεση του ψυκτικού μέσου εκτονώνεται στη βαλβίδα εκτόνωσης.
6. Το ψυκτικό μέσο ρέει πάλι προς τον εξατμιστή και η διεργασία επαναλαμβάνεται.

4.4.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Σκοπός της βαθμονόμησης της απόδοσης μίας μονάδας αντλίας θερμότητας είναι ο προσδιορισμός του σχετικού ποσού απαιτούμενης ενέργειας για την παροχή ενός συγκεκριμένου θερμικού/ψυκτικού αποτελέσματος. Όσο πιο αποδοτική είναι η εγκατάσταση τόσο λιγότερη η απαιτούμενη ενέργεια για την λειτουργία της . Ανάμεσα στους πλέον χρησιμοποιούμενους συντελεστές χαρακτηρισμού της απόδοσης συστημάτων αντλιών θερμότητας αποτελούν οι συντελεστές COP, EER ,HSPF και SEER .

- συντελεστής COP (coefficient of performance) προκύπτει από το λόγο της παραγόμενης ενέργειας για θέρμανση/ψύξη προς την καταναλισκόμενη ενέργεια.

- συντελεστής HSPF(heating seasonal performance factor) προκύπτει από το λόγο της ωφέλιμης ενέργειας σ'ένα έτος προς την συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια.
- συντελεστής SEER (seasonal energy efficiency ratio) μίας μονάδος αντλίας θερμότητας είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας για ψύξη σε μονάδες Btu (British thermal unit) προς την συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια(Whatt)
- συντελεστής EER (energy efficiency ratio) είναι ο λόγος της παραγόμενης ενέργειας για ψύξη σε μονάδες Btu(British thermal unit)προς την συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια(Whatt).

Η διαφορά του EER με τον συντελεστή SEER είναι ότι, ο EER αναφέρεται σε μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή λειτουργίας υπό ορισμένες συνθήκες , ενώ ο SEER παριστάνει την αναμενόμενη γενική λειτουργία ενός τυπικού έτους. Γενικά ισχύει:

$$SEER= 0,875 * EER$$

$$EER= 3,413 * COP$$

Η διαφορά SEER και EER με τον COP έγγειται στο ότι, ο συντελεστής COP προκύπτει από την διαίρεση μεγεθών ίδιας μονάδας μέτρησης (Whatt) ενώ οι δύο πρώτοι εμπεριέχουν την μονάδα του χρόνου. Επιπλέον , στην βιβλιογραφία συναντάται αρκετές φορές ο όρος ‘‘τόνος θερμικής/ψυκτικής ικανότητας συστήματος’’ ο οποίος αποτελεί μονάδα μέτρησης απόδοσης αντλιών θερμότητας στις Ηνωμένες Πολιτείες και ισούται με:1 tonnage=12000 Btu/hr ή 3,51 KWh. Στο εμπόριο, οι κατασκευαστές αποδίδουν στους διαθέσιμους εξοπλισμούς συντελεστή EER από 12,0 έως 16,8 (Btu/ Wh) και COP από 1,5-6.Γενικά όσο μεγαλύτερες είναι οι τιμές των συντελεστών , τόσο οικονομικότερη καθίσταται η χρήση της αντλίας.

4.5 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ – ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ.

Με τον όρο συστήματα διανομής θερμικών-ψυκτικών φορτίων στο εσωτερικό του κτιρίου, εννοείται το σύνολο από τα δίκτυα, τα εξαρτήματα και τους αυτοματισμούς που φροντίζουν για την διανομή της παραγόμενης θερμότητας ή ψύξης στο εσωτερικό των κτιρίων. Οικεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν τη δυνατότητα απόδοσης της θερμότητας-ψύξης απευθείας σε συστήματα αέρα ή νερού. Οι αντλίες θερμότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα κοινά σώματα των καλοριφέρ, καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού, αλλά μόνο με σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (Fan Coils) ή με ενδοδαπέδια / επιτοίχια θέρμανση. Η ενδοδαπέδια θέρμανση είναι και η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες. Επιπλέον είναι ιδανική για χώρους με μεγάλο ύψος καθώς αποτρέπει την θερμική διαστρωμάτωση του αέρα. Εν τέλει ωστόσο, η διαμόρφωση των εσωτερικών δικτύων αποτελεί αρχιτεκτονική επιλογή και αποτέλεσμα μηχανολογικής μελέτης.

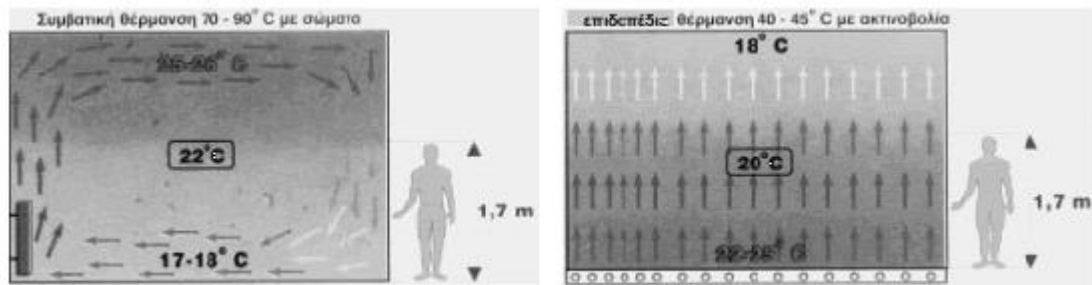
	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ		ΚΛΕΙΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	
			ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ
FAN COIL UNITS	Ισχύς αντλίας	KW	13,5	12,0	12,4	12,0
	COP		4,5	6,1	4,2	6,1
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	3,0	2,0	3,0	2,0
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	50-45	7-12	50-45	7-12
ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ - ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ	Θερμική Ισχύς αντλίας	KW	13,9	14,0	13,0	14,0
	COP		5,8	7,2	5,3	7,2
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	2,4	2,0	2,4	2,0
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	37-32	22-17	37-32	22-17
ΣΩΜΑΤΑ ΧΑΜΗΛΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ	Ισχύς αντλίας	KW	13,2		12,2	
	COP		3,9		3,7	
	Ηλεκτρική κατανάλωση	KW	3,3	ΜΗ ΕΦΙΚΤΟ	3,3	ΜΗ ΕΦΙΚΤΟ
	Θερμοκρασίες ανακυκλοφορίας	°C	55-50		55-50	

Χαρακτηριστικά συστημάτων αντλιών σε συνδυασμό με συστήματα διανομής στο εσωτερικό.

4.5.1 ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Μία εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες, κατοικιών, σχολείων, δημόσιων κτηρίων, επαγγελματικών χώρων, ξενοδοχείων, υπόγειων κατασκευών κλπ χωρίς όμως να περιορίζεται εκεί το εύρος των εφαρμογών της . Λόγω της ομοιόμορφης και οριζόντιας κατανομής θερμότητας από το δάπεδο προς την οροφή, επιτρέπει τηνθέρμανση χώρων με μεγάλο ύψος οροφής όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις , εκκλησίες κτλ. Η ενδοδαπέδια θέρμανση, λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, από 30οC έως 45οC που κυκλοφορεί σε σωλήνες εγκιβωτισμένους στο δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμομπετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο ακτινοβολεί θερμότητα. Αυτό σημαίνει ότι αυτή η μορφή θέρμανσης χρησιμοποιεί σαν θερμαντικό σώμα το δάπεδο και αυτό ακριβώς είναι το χαρακτηριστικό που προσδίδει στην ενδοδαπέδια θέρμανση την πλειοψηφία των πλεονεκτημάτων που εμφανίζει.

Η θέρμανση του χώρου πραγματοποιείται με ακτινοβολία θερμότητας από το δάπεδο, και διαχέεται ομοιόμορφα από τα πόδια προς το κεφάλι, προσφέροντας μία αίσθηση θερμικής θαλπωρής. Προσφέρει πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος γιατί λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια την χαμηλή κατανάλωση καυσίμου. Το σύστημα αυτό είναι σημαντικά οικονομικότερο, φιλικό προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα πολύ αποδοτικό, αφού η επιφάνεια των σωμάτων ενός αντίστοιχου συστήματος, έχει αντικατασταθεί στην δαπεδοθέρμανση, με την επιφάνεια όλου του δαπέδου, με συνέπεια την μεγάλη αύξηση της θερμαντικής ισχύς. Απαλλάσσοντας το κτήριο από τα εμφανή θερμαντικά σώματα, επιτρέπει την εκμετάλλευση όλων των χώρων με λειτουργικό τρόπο προσφέροντας ένα καλαίσθητο αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα.



Οι χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, απαλλάσσουν από την ξηρότητα του αέρα του χώρου και δίνουν ένα πραγματικά υγιεινό περιβάλλον. Επιπλέον, λόγω των χαμηλών θερμοκρασιών το σύστημα αυτό δεν δημιουργεί ρεύματα αέρα κι έτσι δεν υπάρχουν φαινόμενα όπως μαυρίσματα στους τοίχους ή μεταφορά σωματιδίων και μικροβίων. Ορισμένοι από τους παράγοντες που συμβάλλουν στην απόσβεση του κόστους μιας εγκατάστασης ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι:

- Η μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, που προαναφέρθηκε (πάνω από 30%).
- Το μειωμένο κόστος κτηριακής συντήρησης
- Το μηδενικό κόστος συντήρησης και αντικατάστασης θερμαντικών σωμάτων
- Αύξηση του χρόνου ζωής του καυστήρα ο οποίος λειτουργεί λιγότερες ώρες.



Το σύστημα δαπεδοδροσισμού λειτουργεί εκμεταλλευόμενο το ήδη υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων τις ενδοδαπέδιας θέρμανσης . Είναι ένα λειτουργικό σύστημα που προσφέρει άνεση, απορροφώντας ομοιόμορφα θερμότητα από όλες τις κατευθύνσεις. Όταν αναφερόμαστε στην έννοια του δροσισμού εννοούμε ότι μετατρέπουμε το

δάπεδο σε μια τεράστια ψυχρή επιφάνεια. Η θερμοκρασία νερού προσαγωγής του δροσισμού στις σωληνώσεις είναι 18 οC – 20 οC, ενώ η θερμοκρασία του δαπέδου είναι 20οC - 22οC. Με την λειτουργία του δροσισμού επιτυγχάνουμε μείωση της θερμοκρασίας του χώρου 4οC – 6οC. Η πηγή ενέργειας που τροφοδοτεί μία εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης – δροσισμού είναι η αντλία θερμότητας αέρα-νερού. Ο δροσισμός θα μπορούσε να τεθεί σε λειτουργία πολύ αργότερα από την ενδοδαπέδια θέρμανση αρκεί κατά την εγκατάσταση του συστήματος να έχει ληφθεί μέριμνα για τοποθέτηση τερματικών μονάδων νερού στο χώρο, οι οποίες θα εξυπηρετήσουν στην αφύγρανση του κατά τη λειτουργία του δαπεδοδροσισμού, καθώς και των σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής κρύου νερού για την τροφοδοσία τους και του σχετικού συστήματος αυτονομίας.



Ο δροσισμός λόγω της χρήσης μεγάλης ψυκτικής επιφάνειας εμφανίζει πλεονεκτήματα όπως άνεση και υγιεινό περιβάλλον, απόλυτη ελευθερία στην διαμόρφωση των χώρων, μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και μειωμένο αρχικό κόστος κτήσης αφού χρησιμοποιούμε το ήδη υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων, ενώ το ψυκτικό μηχάνημα υποδιαστασιολογείται γιατί στην συγκεκριμένη εγκατάσταση εκμεταλλευόμαστε την αδράνεια και την θερμοχωρητικότητα του συστήματος.

4.5.2 ΣΩΜΑΤΑ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Παρόμοια με την ενδοδαπέδια εγκατάσταση που προαναφέρθηκε, έτσι και τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (fan coil), απαιτούν για την λειτουργία τους νερό χαμηλών θερμοκρασιών. Τα Fan Coils μοιάζουν εξωτερικά με τα κοινά κλιματιστικά, αλλά λειτουργούν με τροφοδοσία θερμού ή κρύου νερού, το οποίο

χρησιμοποιούν για να ζεστάνουν ή να δροσίσουν τον αέρα. Αντίθετα με τα κλιματιστικά, τα Fan Coils δεν χρειάζονται πολλές μικρές μονάδες στους εξωτερικούς χώρους, αλλά μόνο μία κεντρική αντλία θερμότητας.



Fan coils ενσωματωμένα στην οροφή



τυπική μονάδα δαπέδου fan coil και το εσωτερικό της

Μία μονάδα fan coil είναι ένα απλό μηχάνημα το οποίο ουσιαστικά αποτελείται από ένα θερμικό/ψυκτικό πηνίο και τον ανεμιστήρα. Η λειτουργία τους βασίζεται στην θέρμανση –ψύξη του ψυκτικού μέσου που ρέει στις σπείρες σωλήνων

στο εσωτερικό τους οι οποίες με τη σειρά τους θερμαίνουν ή ψύχουν τον αέρα που κυκλοφορεί μέσω των ειδικών περυγίων και διανέμεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση, η θέρμανση/ψύξη προέρχεται από την αντλία θερμότητας. Κατά την ψυκτική λειτουργία της σπείρας σωληνών, προβλέπεται η ταυτόχρονη αφύγρανση του εισερχόμενου αέρα. Το προϊόν της συμπύκνωσης είναι διασταλλάζοντα υγρά η απομάκρυνση των οποίων πραγματοποιείται με ειδικό κύκλωμα αποστράγγισης.

Τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας μπορούν να είναι εντοιχισμένα στην οροφή και στο δάπεδο καθώς και εγκατεστημένα σε φανερά σημεία ανάλογα με τα συμβατικά σώματα θέρμανσης.

Συγκριτικά με τα συμβατικά κλιματιστικά θέρμανσης/ψύξης αποτελούν πολύ οικονομικότερη επιλογή. Από τον πίνακα του σχήματος 2.4.1 φαίνεται πως η απόδοση (COP) της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας είναι μικρότερη στην περίπτωση των fan coils απ'ότι στην ενδοδαπέδια θέρμανση το οποίο προκύπτει και από το γεγονός ότι απαιτούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες για τη λειτουργία τους. Η εξοικονόμηση χρημάτων σε σύγκριση με ένα σύστημα καυστήρα-λέβητα εκτιμάται στο 55% , ενώ όσον αφορά την ψύξη, η εξοικονόμηση χρημάτων αγγίζει το 35% συγκριτικά μ'ένα κλιματιστικό αέρα-αέρα.

Κεφάλαιο 5

Χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας

Η χρήση γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού έχει διαδοθεί λόγω διαφόρων παραγόντων. Οι χώρες όπου επικρατούν οι γεωθερμικές πηγές επιθυμούν να αναπτύξουν τους ίδιους πόρους αντί του να εισάγουν καύσιμα για παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε χώρες όπου διατίθενται πολλές εναλλακτικές πηγές για παραγωγή ηλεκτρισμού, συμπεριλαμβανόμενης της γεωθερμίας, αυτή προτιμάται καθώς δε μπορεί να μεταφερθεί προς πώληση, ενώ μέσω αυτής επιτρέπεται η χρήση των συμβατικών καυσίμων για ανώτερους και καλύτερους σκοπούς από την παραγωγή ηλεκτρισμού.

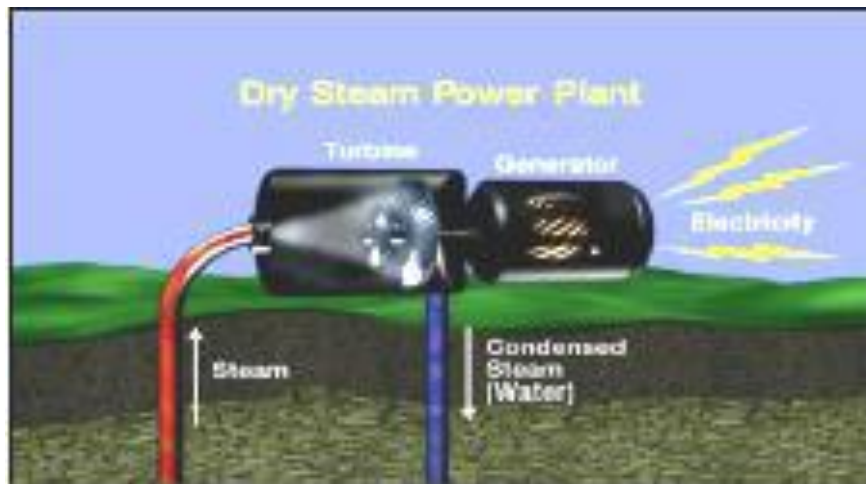
Ο πλέον συνήθης (και τεχνοοικονομικά συμφέρον) τρόπος αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας είναι η χρήση τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η διεργασία που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροπαραγωγή ποικίλει ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής. Σχεδόν όλες οι πηγές που έχουν ήδη εξερευνηθεί είναι οι υδροθερμικού τύπου (ζεστό νερό υπό πίεση), η εκμετάλλευση των οποίων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Εάν η θερμοκρασία της πηγής είναι κάτω από 204° C, το γεωθερμικό φρέαρ εξοπλίζεται με αντλία που δημιουργεί ικανή πίεση στη γεωθερμική άλμη ώστε να διατηρείται ως ζεστό νερό υπό πίεση. Για τις πηγές άνω των 204° C, η καταλληλότερη μέθοδος παραγωγής είναι η φυσική ροή από το φρέαρ, η οποία αποφέρει ένα ακαριαία ατμοποιούμενο μίγμα άλμης και ατμού. Ο τύπος μετατροπής της γεωθερμίας που χρησιμοποιείται, εξαρτάται από την κατάσταση του ρευστού (είτε είναι ατμός είτε είναι νερό), τη θερμοκρασία του, την πίεση και την παροχή. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι τρεις.

5.1 Ξηρού ατμού (θερμοκρασία ρευστών >180° C)

Αρκετές γεωθερμικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας βασίζονται στις υψηλές θερμοκρασίες του ατμού, ώστε να παρέχουν άμεσα την

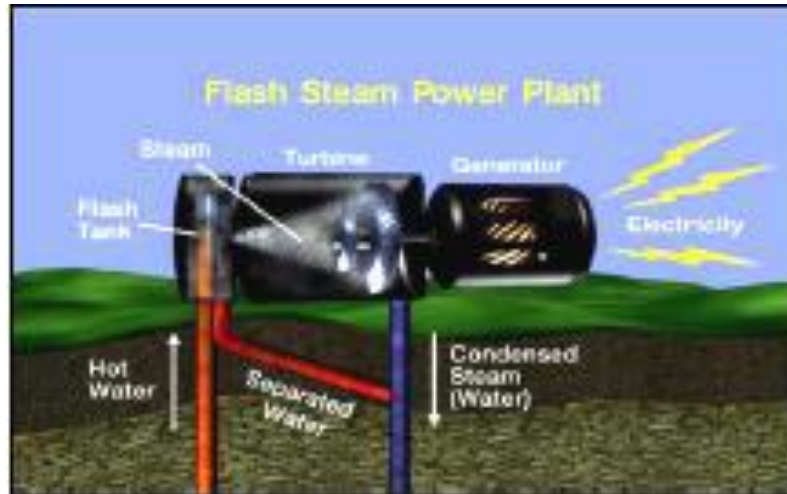
ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτός ο τύπος εγκατάστασης καλείται εγκατάσταση «ξηρού ατμού» επειδή ο ατμός απελευθερώνεται από την πίεση ενός πεδίου μεγάλου βάθους, διαμέσου ενός βραχώδους πετρώματος και οδηγείται στους στροβίλους. Τα εδάφη ξηρού ατμού χρησιμοποιούν το νερό από το φλοιό της γης, το οποίο θερμαίνεται από το μανδύα και απελευθερώνεται από διεξόδους σε μορφή ατμού. Η συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι κατάλληλη εκεί όπου ο γεωθερμικός ατμός δεν αναμιγνύεται με νερό. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται στην εγκατάσταση διαμέσου στροβίλων ατμού ώστε να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Σε απλές εγκαταστάσεις ο ατμός χαμηλής πίεσεως που εξάγεται από τον στρόβιλο οδηγείται στην ατμόσφαιρα, αλλά συνήθως ο ατμός περνάει από ένα συμπυκνωτή ώστε να μετατραπεί σε νερό. Αυτό βελτιώνει την απόδοση του στροβίλου και προλαμβάνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούνται από την άμεση εκτόνωση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Το νερό αυτό οδηγείται μέσω γεωτρήσεων εμπλουτισμού πίσω στο έδαφος. Ο ταμιευτήρας επανατροφοδοτείται με το νερό της βροχής καθώς αυτό οδηγείται στο φλοιό της γης. Επειδή αυτό συμβαίνει σε συνεχή βάση η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικής εγκατάστασης. Στη μέγιστη παραγωγή η εγκατάσταση μπορεί να παρέχει πάνω από 2,000 MW ηλεκτρικής ενέργειας την ώρα. Αυτό είναι περίπου διπλάσιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας από αυτό που μπορεί να παράγει μία πυρηνική μονάδα. Η μονάδα εκπέμπει μόνο μεγάλες ποσότητες ατμού και πολύ μικρά ποσά αερίων. Ο ατμός οδηγείται σε στρόβιλο, ο οποίος θέτει σε λειτουργία γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός είναι ο παλαιότερος τύπος γεωθερμικών εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χρησιμοποιήθηκε αρχικά στο Larderello στην Ιταλία το 1904 και συνεχίζει να είναι πολύ αποτελεσματικός. Η τεχνολογία ατμού χρησιμοποιείται σήμερα σε Geysers στην Β. Καλιφόρνια, που εξακολουθεί να παραμένει το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο.



εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ξηρό ατμό

5.2 Στρόβιλοι υγρού ατμού (θερμοκρασία ρευστών $>150^{\circ}\text{C}$)

Τα θερμό διάλυμα [νερού – ατμού] εξέρχεται από την παραγωγική γεώτρηση και εισάγεται σε μία δεξαμενή εκτόνωσης [flash], όπου η μειωμένη πίεση της οδηγεί στην επιπλέον ατμοποίηση του διαλύματος. Ο παραγόμενος ατμός διοχετεύεται σε έναν ατμοστρόβιλο με σκοπό την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στην γεννήτρια του ατμοστροβίλου. Το υδάτινο διάλυμα το οποίο δεν κατάφερε να εκτονωθεί και παρέμεινε στην υγρή κατάσταση του, συμπεριλαμβανομένου των συμπυκνωμάτων του ατμού από την έξοδο της ατμογεννήτριας, επιστρέφουν στην υπόγεια υδροφορία από όπου αντλήθηκαν μέσω μιας γεώτρησης εμπλουτισμού. Ο εμπλουτισμός του διαλύματος θα πρέπει να πραγματοποιείται αρκετά βαθιά ώστε να φτάσει τα υπόγεια πετρώματα σε θερμοκρασία υψηλότερη από το σημείο βρασμού του νερού, με στόχο την έπανα-ατμοποίηση του. Το νερό φιλτράρεται από τα πετρώματα όπου γίνεται θερμότερο και ανεβαίνει πάνω διαμέσου της παραγωγικής γεώτρησης. Η εγκατάσταση δύναται να χρησιμοποιηθεί τόσο για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας όσο και παραγωγή θερμικής ενέργειας – τηλεθέρμανση. Επομένως, η χρήση του γεωθερμικού πεδίου αναφέρεται σε συστήματα συμπαραγωγής. Τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Imperial Valley στην Καλιφόρνια.

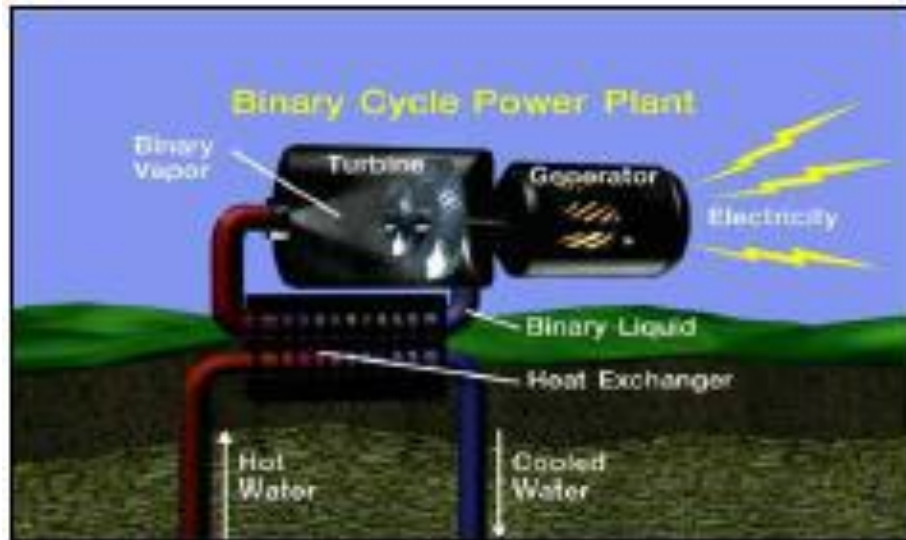


εγκατ'ασταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με στρόβιλο υγρού ατμού

5.3 Διαδικός κύκλος με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό (θερμοκρασία ρευστών $>90^{\circ}\text{C}$)

Οι συγκεκριμένες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που το γεωθερμικό ρευστό είναι χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία δεν είναι αρκετή ώστε να παράγει ατμό που θα μπορούσε να περιστρέψει ένα στρόβιλο. Το νερό από το υπέδαφος δεν έρχεται ποτέ σε άμεση επαφή με τα πτερύγια του στρόβιλου και χρησιμοποιεί γεωθερμικά ρευστά μεταξύ 80°C και 180°C . Στο διαδικό σύστημα το θερμό γεωθερμικό ρευστό αντλείται στην επιφάνεια και περνάει μέσα από εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος περιέχει ένα ρευστό όπως βουτάνιο ή πεντάνιο με πολύ χαμηλότερο σημείο βρασμού από το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στον στρόβιλο και εν συνεχεία στον συμπυκνωτή. Τέλος το ρευστό από το συμπυκνωτή συμπιέζεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη μέσω της αντλίας ανακυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου, καθώς το θερμό γεωθερμικό ρευστό εισάγεται πίσω στον γεωλογικό σχηματισμό από τον οποίο προήλθε, ξαναθερμαίνεται και είναι διαθέσιμο ώστε να ανακυκλοφορήσει ξανά διαμέσου του εναλλάκτη. Γι αυτό το λόγο η γεωθερμία θεωρείται ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς ένας γεωλογικός σχηματισμός κατάλληλα διαμορφωμένος μπορεί να παράγει ενέργεια επ' άοριστον. Τα γεωθερμικά ρευστά μέσης θερμοκρασίας είναι πολύ πιο συχνά από τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής θερμοκρασίας. Το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση (και εξάτμιση) σ έναν εναλλάκτη του

δευτερεύοντος ρευστού (νερό και αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO₂ κλπ) το οποίο έχει μικρότερο σημείο ζέσεως σε σχέση με το νερό. Μια τέτοια εγκατάσταση λειτουργεί στο Soda lake στη Νεβάδα.



εγκατάσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας δυαδικού κύκλου με πτητικό μέσο

Κεφάλαιο 6

Άλλες εφαρμογές της Γεωθερμίας

6.1. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές η αφαλάτωση θαλασσινού νερού είναι μια σημαντική εφαρμογή της γεωθερμίας. Αφαλάτωση θαλασσινού νερού με γεωθερικά ρευστά σαν θερμαντικό μέσο δύνανται να επιτευχθεί με τη μέθοδο της πολυσταδιακής εξάτμισης εν κενώ (MES). Για να είναι οικονομικά συμφέρουσα η αφαλάτωση πρέπει η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών να είναι τουλάχιστον 60°C. Η θερμοκρασία απόρριψης σχεδιάζεται να είναι 40-50°C. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για περίπτωση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με γεωθερικά ρευστά θερμοκρασίας 75°C και παροχής 100 m³/h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600 m³/h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 550.000,000 δρχ. και κόστος αφαλάτωσης νερού περί της 350 δρχ./m³. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μία εκμετάλλευση αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας πρέπει το κόστος της γεωθερμικής ενέργειας να αντιστοιχεί το πολύ στο 60% του κόστους αφαλάτωσης με πετρέλαιο.



Αφαλάτωση νερού στην Κίμωλο(Ν. Ανδρίτσος)

6.2 Αγροτικές Εφαρμογές

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίστανται κυρίως στις ανοικτές καλλιέργειες και τη θέρμανση θερμοκηπίων. Συγκεκριμένα το πεδίο εφαρμογής καλύπτει τους παρακάτω τομείς:

- Θέρμανση θερμοκηπίων κηπευτικών
- Θέρμανση θερμοκηπίων παραγωγήςμανιταριών
- Θέρμανση φυτειών σπαραγγιών με σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης
- Αντιπαγετική προστασία σε ιχθυοκαλλιέργειες
- Θέρμανση εγκαταστάσεων ιχθυογεννητικών σταθμών
- Καλλιέργεια φυκιών
- Εντατική ιχθυοκαλλιέργεια
- Ξήρανση – αφυδάτωση αγροτικών προϊόντων
- Ξήρανση – αφυδάτωση ζωοτροφών
- Θέρμανση σταβλικών εγκαταστάσεων και ορνιθοτροφείων

Το θερμό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις ανοικτές καλλιέργειες για την άρδυσή τους και/ή τη θέρμανση του εδάφους. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα της άρδευσης με χλιαρό νερό εντοπίζεται στο γεγονός ότι, για να επιτευχθεί κάποια αξιόλογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Βέλτιστη λύση είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης. Η χημική σύσταση των γεωθερμικών νερών που χρησιμοποιούνται για άρδευση θα πρέπει να εξετάζεται και να παρακολουθείται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

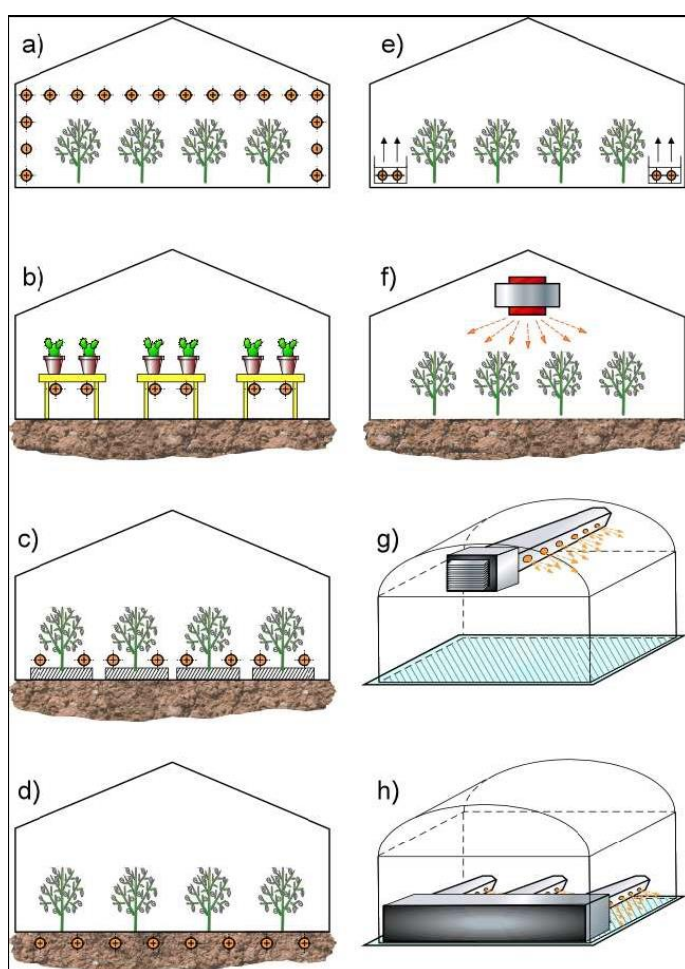
Ο θερμοκρασιακός έλεγχος στις ανοικτές καλλιέργειες έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- (α) αποτρέπει τις ζημιές λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, παγετού, κλπ.,
- (β) επεκτείνει την περίοδο ανάπτυξης των φυτών και δίνει σημαντική ώθηση στην παραγωγή, και

- (γ) αποστειρώνει το έδαφος (Barbier and Fanelli, 1977).

Τα θερμαινόμενα θερμοκήπια και εδάφη χρησιμοποιούνται για την αύξηση της παραγωγής και την πρωίμιση καλλιεργειών. Οι απαιτούμενες ποσότητες ενέργειας όμως είναι μεγάλες, με αποτέλεσμα η γεωθερμία να αποτελεί την ιδανική μορφή ενέργειας για αγροτικές εφαρμογές, λόγω του μικρού κόστους της. Τα

θερμοκήπια και η θέρμανση εδαφών απαιτούν την παρουσία γεωθερμικών ρευστών σε θερμοκρασία που υπερβαίνει τους 30°C. Ο χώρος ενός θερμοκηπίου μπορεί να θερμανθεί με πέντε τρόπους (Σχήμα 47): α) με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm), β) με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο), γ) με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου, δ) με ψεκάσμο της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία) και ε) με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).



Συστήματα θέρμανσης σε γεωθερμικά θερμοκήπια.

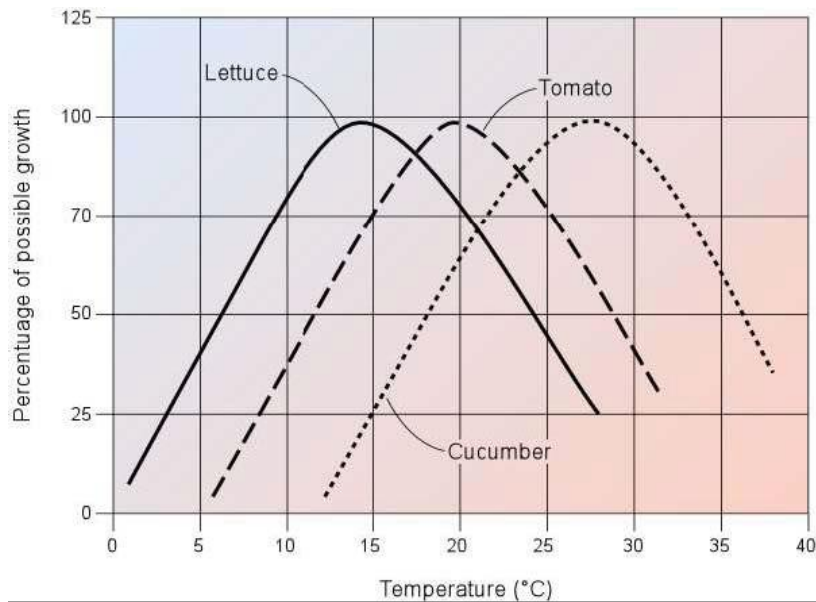
Εγκαταστάσεις θέρμανσης με φυσική κίνηση του αέρα (φυσική συναγωγή):

(α) εναέριοι σωλήνες θέρμανσης (β) θέρμανση πάγκων (γ) σωλήνες θέρμανσης που είναι τοποθετημένοι χαμηλά (δ) θέρμανση εδάφους

Εγκαταστάσεις θέρμανσης με εξαναγκασμένη κίνηση του αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή)

(ε) πλευρική τοποθέτηση σωλήνων (στ) εναέριο αερόθερμα (ζ) αγωγοί τοποθετημένοι ψηλά (η) αγωγοί τοποθετημένοι χαμηλά (von Zabeltitz, 1986)

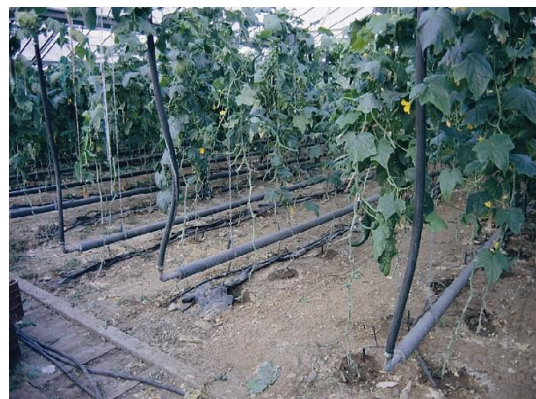
Υπάρχουν ποικίλες λύσεις για την επίτευξη των βέλτιστων συνθηκών ανάπτυξης των φυτών, οι οποίες βασίζονται στη χρήση της καλύτερης θερμοκρασίας για το κάθε είδος (Σχήμα 48), στη σωστή ένταση του φωτός, στην ιδανική συγκέντρωση CO₂ μέσα στο θερμοκήπιο, στην κατάλληλη υγρασία του εδάφους και του αέρα και στην κίνηση του αέρα μέσα στα θερμοκήπια.



Πρωίμηση παραγωγών με σωλήνες PP με πτυχώσεις (N. Ανδρίτσος)

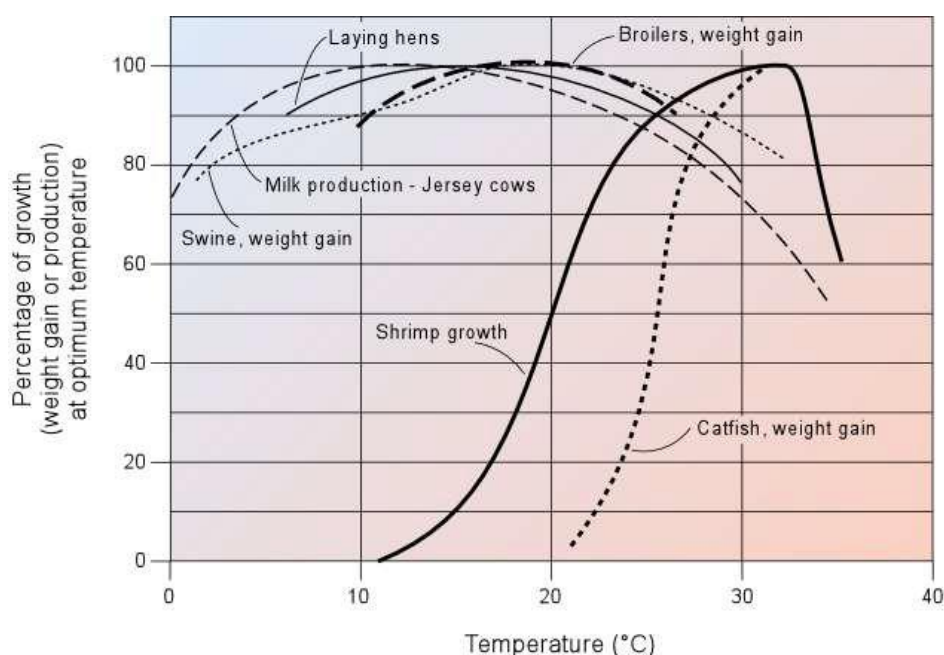


Σακούλες» PE



Μεταλλικοί αγωγοί με πτερόγια

Η εκτροφή κτηνοτροφικών ειδών και οι υδρόβιοι οργανισμοί, όπως ακριβώς και τα φυτά, επωφελούνται σημαντικά από τις άριστες συνθήκες της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, τόσο ως προς την ποιότητα όσο και ως προς την ποσότητα παραγωγής τους (Σχήμα 52). Σε πολλές περιπτώσεις τα γεωθερμικά νερά θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν ακόμη επικερδέστερα, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για τη θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας επιφάνειας, οπότε η κλιμακωτή χρήση των γεωθερμικών ρευστών θεωρείται ενδεδειγμένη. Η εκτροφή ζώων σε ένα περιβάλλον ελεγχόμενης θερμοκρασίας συνεισφέρει στη βελτίωση της υγείας τους, ενώ η χρήση των θερμών ρευστών θα μπορούσε να επεκταθεί στον καθαρισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους (Barbier and Fanelli, 1977).



Επίδραση της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη ή παραγωγή ζώων που εκτρέφονται για κατανάλωση (Beall and Samuels, 1971)

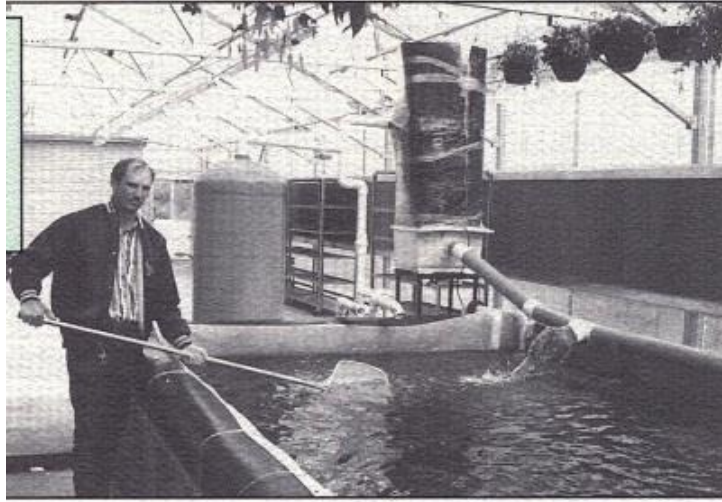
6.3 Υδατοκαλλιέργειες

Ο όρος υδατοκαλλιέργεια περιλαμβάνει την καλλιέργεια ή εκτροφή υδρόβιων οργανισμών με τη χρήση διάφορων τεχνικών με σκοπό την αύξηση, πέραν των φυσικών ικανοτήτων του περιβάλλοντος, της παραγωγής των εν λόγω οργανισμών. Οι οργανισμοί αυτοί παραμένουν, καθ' όλη τη διάρκεια εκτροφής ή καλλιέργειάς τους μέχρι την εξαλίευσή τους, στην ιδιοκτησία φυσικού ή νομικού προσώπου. (Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του Ε.Π.Χ.Σ.Α.Α. για τις Υδατοκαλλιέργειες). Στις υδατοκαλλιέργειες ο έλεγχος της θερμοκρασίας του νερού μπορεί να απαιτείται σε διάφορες περιπτώσεις, για παράδειγμα στην αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης, στο καθορισμό συγκεκριμένου μεγέθους ψαριού σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, στην αναπαραγωγή, εκκόλαψη και στα πρώτα στάδια ανάπτυξης. Τα διάφορα είδη οργανισμών έχουν διαφορετικές βέλτιστες θερμοκρασίες. Εάν η περιβάλλουσα θερμοκρασία νερού είναι ψυχρότερη ή θερμότερη από την ιδανική θερμοκρασία τότε είναι χρήσιμη η παρέμβαση.

Ο τύπος υδατοκαλλιέργειας στον οποίο είναι δυνατή η θερμοκρασιακή παρέμβαση είναι στα κλειστά κυκλώματα εκτροφής. Δηλαδή στις εκμεταλλεύσεις υπερεντατικής υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες βασίζονται στην επαναχρησιμοποίηση του νερού εκτροφής, εντός θερμομονωμένων εγκαταστάσεων με τη χρήση τεχνητών μέσων, στις οποίες δημιουργούνται ιδανικές συνθήκες εκτροφής. Χαρακτηρίζονται από τις περιορισμένες ανάγκες σε νερό, το υψηλό κόστος κατασκευής και λειτουργίας και τις αυξημένες διαχειριστικές διαδικασίες.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την θέρμανση στις υδατοκαλλιέργειες δεν διαφέρουν από αυτές στον οικιακό και βιομηχανικό τομέα. Ωστόσο τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται στις υδατοκαλλιέργειες πρέπει να θερμάνουν μεγάλες ποσότητες νερού και γι' αυτό οφείλουν να είναι αποδοτικά. Προσοχή επίσης χρειάζεται στο είδος του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιηθεί (εναλλάκτες σωληνώσεις κτλ) ώστε να μην επηρεαστεί αρνητικά το υδάτινο περιβάλλον αλλά και να συνεχίσει η εγκατάσταση να λειτουργεί αξιόπιστα.

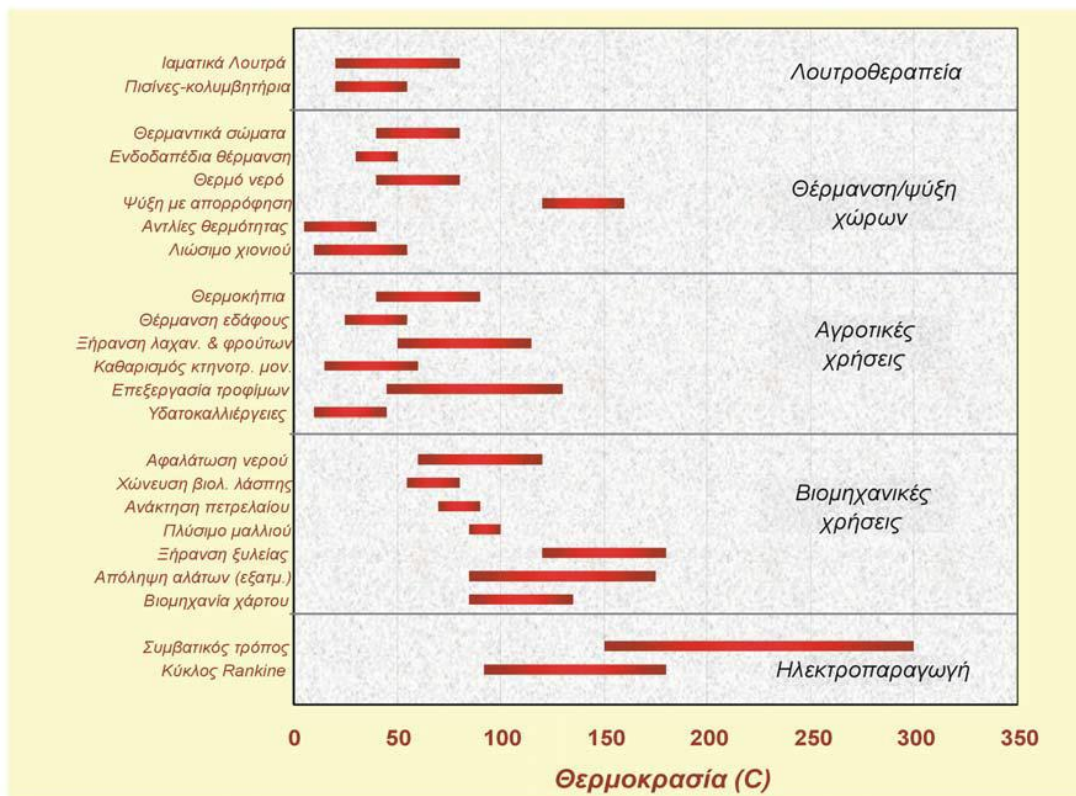
Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας θα έδινε ανταγωνιστικό πλεονέκτημα ανάλογα με την απαιτούμενη 960 ποσότητα θέρμανσης. Επίσης, χάρη στην υψηλή απόδοση στη θέρμανση και ψύξη, η χρήση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πρόσβαση σε γεωθερμικά πεδία αποτελεί ελκυστική λύση.



Υδατοκαλλιέργεια των τροπικών tilapia σε θερμοκρασίες 26~32°C σε δεξαμενές 350 m³, με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

6.4 Βιομηχανικές εφαρμογές

Τα γεωθερμικά ρευστά, σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό τους εύρος, είτε πρόκειται για ατμό είτε για νερό, μπορούν να αξιοποιηθούν και σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπως άλλωστε φαίνεται από το διάγραμμα του Lindal



Τροποποιημένο διάγραμμα Lindal.

Οι διάφορες δυνατές μορφές αξιοποίησης περιλαμβάνουν θέρμανση κατά τη διεργασία, εξάτμιση, ξήρανση, απόσταξη, αποστείρωση, πλύσιμο, λιώσιμο πάγων και ανάκτηση αλάτων.

Η χρήση της γεωθερμικής θερμότητας κατά τη βιομηχανική επεξεργασία διάφορων προϊόντων εφαρμόζεται σε 19 χώρες (Lund and Freeston, 2001), όπου οι εγκαταστάσεις είναι γενικά πολύ μεγάλες και η κατανάλωση ενέργειας υψηλή.

Άλλα συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η εμφιάλωση νερού και ανθρακούχων ποτών, η παραγωγή χαρτιού, τμημάτων αυτοκινήτων, η ανάκτηση λαδιού, η παστερίωση γάλακτος, η χρήση στη βυρσοδεψία, η χημική ανάκτηση προϊόντων, η παραγωγή με διαχωρισμό του CO₂, η χρήση σε πλυντήρια, η ξήρανση γης δια τόμων, η επεξεργασία πολτού και χαρτιού και η παραγωγή βορικών αλάτων και βορικού οξέος.

Στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ρευστών σε διαδικασίες προθέρμανσης ή η ανύψωση της θερμοκρασίας τους με τη χρήση αντλιών θερμότητας ή με συμπληρωματική θέρμανση (με συμβατικά καύσιμα). Απαραίτητη προϋπόθεση για τη χρησιμοποίηση των γεωθερμικών ρευστών από υφιστάμενη βιομηχανική μονάδα είναι η γειτνίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο (B. Lindal 1992).

Υπάρχουν επίσης εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας για λιώσιμο πάγου και αντιπαγετική προστασία πεζοδρομίων, δρόμων και πλατειών, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια.

Στην Ιαπωνία λειτουργεί μια μικρή βιομηχανία που χρησιμοποιεί τις λευκαντικές ιδιότητες του υδρόθειου (H₂S) των γεωθερμικών νερών για την παραγωγή πρωτοποριακών και εξαιρετικής ποιότητας υφασμάτων για γυναικεία ρούχα. Στην ίδια χώρα, εφαρμόζεται σε πειραματικό στάδιο μια τεχνική για τη βιοτεχνική-βιομηχανική παρασκευή ενός ελαφρού 'γεωθερμικού ξύλου', το οποίο θεωρείται ιδιαίτερα κατάλληλο για ειδικές κατασκευές. Κατά την επεξεργασία του κανονικού ξύλου με το νερό μιας γεωθερμικής πηγής, τα πολυσακχαρίδιά του υφίστανται υδρόλυση, οπότε το υλικό γίνεται πιο πορώδες και συνεπώς ελαφρύτερο.

Οι βιομηχανικές εφαρμογές από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχούν σε 120,3 MW_{th}, περίπου το 25% του συνόλου παγκοσμίως. Η πλειοψηφία των εφαρμογών βρίσκεται στην Ισλανδία (60 MW_{th}), τη Ρωσία (25 MW_{th}), τη Ρουμανία (14,1 MW_{th}), την Ιταλία (10,2 MW_{th}) και τη Γεωργία (7,1 MW_{th}).

Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10^η θέση των κρατών της Ευρώπης, με εγκατεστημένη ισχύ μό-

λις 0,2 MW_{th}. Πρόκειται για μία μονάδα αφυδάτωσης ντομάτας στο Νέο Εράσμιο Ξάνθης, η οποία μάλιστα ήταν η πρώτη τέτοια μονάδα στον κόσμο.



*Γεωθερμικό ξηραντήριο
τομάτας τύπου σήραγγας στο
Ν. Εράσμιο της Ξάνθης*



*Δύο μονάδες για αντιπαγετική προστασία και
θέρμανση τεχνητών λιμνών για ιχθυοκαλλιέργεια στο
Πόρτο-Λάγος και στο Ν. Εράσμιο Ξάνθης*

6.5 Λουτροθεραπεία - Θέρμανση πισινών - Ιατρικές εφαρμογές

Μία από τις πλέον δημοφιλείς χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισινών και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μία πληθώρα από λουτροπόλεις που χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπεία είτε για αναζωογόνηση. Σε ότι αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (θερμοκρασία, μεταλλικά στοιχεία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι αφορά τις εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού (Φυτίκας Μ., Ανδρίτσος Ν. 2005).

Η εγκατεστημένη ισχύς για θέρμανση πισινών και ιατρικές εφαρμογές στην Ευρώπη το 2005 ανήλθε σε 1.476,43 MW_{th}. Πρώτη έρχεται η Τουρκία με 402 MW_{th} και ακολουθεί η Ουγγαρία με 350 MW_{th}. Με διαφορά ακολουθούν η Ιταλία (158,8 MW_{th}), η Σλοβακία (118,3 MW_{th}), η Κροατία (77 MW_{th}), η Ισλανδία (75 MW_{th}), η Ρουμανία (42,4 MW_{th}), η Ελβετία (40,8 MW_{th}), ενώ 9^η στην κατάταξη έρχονται η Ελλάδα και η Σερβία με εγκατεστημένη ισχύ 36 MW_{th}.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα

να υπάρχουν σχεδόν σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού.

Ειδικότερα η Ελλάδα διαθέτει:

- Περισσότερες από 700 θερμές πηγές

- 52 θεραπευτικά κέντρα

Σημειώνεται ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρείται στασιμότητα, αν και γίνεται προσπάθεια για ανακαίνιση και αναβάθμιση των υπηρεσιών (Αιδηψός, Καμένα Βούρλα, Σιδηρόκαστρο, Ν. Απολλωνία κτλ.)



Θερμά Λουτρά Αιδηψού και Θερμοπυλών

6.6. Άλλες χρήσεις

Η αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών δεν περιορίζεται μόνο στη χρήση της θερμικής ενέργειας την οποία περιέχουν. Τα ρευστά αυτά μεταφέρουν μια σειρά από διαλυμένα σε αυτά στοιχεία, τα οποία μπορούν με συγκεκριμένες τεχνικές να ανακτηθούν και να αξιοποιηθούν κατάλληλα. Τέτοια στοιχεία είναι π.χ. ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, το στρόντιο, το μαγνήσιο, το βόριο, το αντιμόνιο, κ.α. Σε προηγούμενη ενότητα έχει αναφερθεί η παραγωγή βορικού οξέως από εξάτμιση γεωθερμικού ρευστού, στο Larderello της Ιταλίας, δραστηριότητα η οποία συνεχίζεται μέχρι και σήμερα έχοντας ήδη 200 χρόνια εφαρμογής. Αντίστοιχα στην Ισλανδία λειτουργεί μονάδα ανάκτησης διαφόρων αλάτων και στο Μεξικό ανακτάται κάλιο και μαγνήσιο από γεωθερμικά ρευστά [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004]. Εκτός όμως από τα στερεά στοιχεία και τις χημικές ενώσεις, τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν διαλυμένα και αέρια. Από τα αέρια αυτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η ανάκτηση και αξιοποίηση του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2).

6.6.1. Ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα υπάρχει σε πολλά γεωθερμικά πεδία και μπορεί εύκολα να δεσμευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως εμπορικό παραπροϊόν. Χαρακτηριστικό είναι το

παράδειγμα στο Kizildere της Τουρκίας όπου παράλληλα με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανακτώνται και ποσότητες CO₂ οι οποίες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία αναψυκτικών. Μονάδες ανάκτησης του CO₂ από γεωθερμικά ρευστά υπάρχουν επίσης και στην Ισλανδία, στην Κένυα, στις Η.Π.Α., κ.α. [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004]. Το διοξείδιο του άνθρακα χρησιμοποιείται εκτός από τη βιομηχανία αναψυκτικών για την παρασκευή των αεριούχων ποτών και ως πυροσβεστικό μέσο, συστατικό για τη συντήρηση των τροφίμων, ως πρώτη ύλη στη χημική βιομηχανία, για τη σύνθεση ανόργανων και οργανικών χημικών ενώσεων, όπως επίσης και για την εξόρυξη πετρελαίου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η χρήση του CO₂ ως πρόσθετο στην ατμόσφαιρα των θερμοκηπιακών καλλιέργειών. Η προσθήκη διοξειδίου του άνθρακα στα θερμοκήπια έχει ως στόχο την αύξηση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών λόγω της επιτάχυνσης του φαινομένου της φωτοσύνθεσης. Πρέπει όμως στο σημείο αυτό να τονιστεί πως η ανάκτηση του CO₂ από γεωθερμικές πηγές εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη ζήτηση του προϊόντος αλλά και από τους τεχνικούς περιορισμούς λόγω προβλημάτων που εμφανίζονται στην αποθήκευση για μεγάλο χρονικό διάστημα και στη μεταφορά του.

6.6.2. Διάφορες Χρήσεις

Εκτός όμως από τις χρήσεις της γεωθερμίας που παρουσιάστηκαν αναλυτικά στις προηγούμενες παραγράφους, υπάρχει και μια πληθώρα άλλων σημαντικών εφαρμογών περισσότερο ή λιγότερο διαδεδομένων. Ορισμένες από τις χρήσεις αυτές είναι [Φυτίκας, Μ., και Ανδρίτσος, Ν., 2004], [Lund, κ.α., 2011]:

- το πλύσιμο και διαύγαση ινών,
- η παραγωγή αποσταγμένου νερού,
- η χώνευση λυμάτων,
- το πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού,
- ο εμπλουτισμός υπόγειων υδροφόρων οριζόντων,
- η αντιπαγετική προστασία δρόμων, γεφυρών, πλατιών,
- η επεξεργασία πατάτας,
- η άρδευση,
- η ψύξη των κτιρίων με τη χρήση συστημάτων απορρόφησης, προσρόφησης,
- η θέρμανση κτηνοτροφικών μονάδων,
- η αποστείρωση φιαλών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

7.1 Επιπτώσεις κατά το στάδιο έρευνας των γεωθερμικών πεδίων

Για να ξεκινήσει η έρευνα και η αναζήτηση για τον εντοπισμό γεωθερμικών πεδίων θα πρέπει να υπάρχουν θετικές ενδείξεις για την ύπαρξη ηφαιστειακών και πλουτώνιων πετρωμάτων. Τέτοιες ενδείξεις συναντώνται σε ηφαιστειογενείς περιοχές ή σε περιοχές που γειτνιάζουν με μαγματικές εστίες σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια. Επιφανειακές εκδηλώσεις που πιστοποιούν την ύπαρξη θερμών πετρωμάτων σε μικρό σχετικά βάθος από την επιφάνεια είναι οι θερμομεταλλικές πηγές, οι οποίες είναι καθοδηγητικές για την αναζήτηση γεωθερμικών πεδίων. Τα στάδια έρευνας για την αναζήτηση ενός γεωθερμικού πεδίου περιλαμβάνουν τις εξής εργασίες:

1. Γεωλογικές και υδρογεωλογικές μελέτες.
2. Γεωχημικές έρευνες.
3. Γεωφυσικές έρευνες. Οι παράμετροι ενδιαφέροντος των σχηματισμών και οι μέθοδοι προσδιορισμού είναι:
 - Θερμοκρασία (θερμική έρευνα)
 - Ηλεκτρική αγωγιμότητα (γεωηλεκτρική και ηλεκτρομαγνητική μέθοδος)
 - Ταχύτητα διάδοσης των ελαστικών κυμάτων (σεισμική μέθοδος)
 - Πυκνότητα (βαρυτομετρική μέθοδος)
 - Μαγνητική επιδεκτικότητα (μαγνητική μέθοδος)
4. Όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων.
5. Χρήσεις γης

Από τα προαναφερόμενα στάδια σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις παρουσιάζει η όρυξη ερευνητικών γεωτρήσεων μιας και επιβαρύνει με υψηλά επίπεδα ηχορύπανσης την ευρύτερη περιοχή καθώς επίσης αλλάζει σημαντικά και την αισθητική του τοπίου. Επίσης σε μικρότερο βαθμό περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκαλεί και η γεωφυσική έρευνα με χρήση ελαστικών κυμάτων (σεισμική μέθοδος)

μιας και επηρεάζει την πανίδα και επιπλέον αυξάνει τα επίπεδα θορύβου της περιοχής.

7.2 Επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας έρευνας και εφόσον διαπιστωθεί η ύπαρξη εκμεταλλεύσιμων γεωθερμικών πεδίων, ακολουθεί η ανάπτυξη της υποδομής που απαιτείται για την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών. Κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Ορυξη των γεωτρήσεων παραγωγής – και των γεωτρήσεων επανεισαγωγής (εάν αυτό έχει κριθεί απαραίτητο για τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών μετά την εκμετάλλευσή τους).
2. Κατασκευή του δικτύου άντλησης, μεταφοράς και τελικής διάθεσης (απόρριψης) των γεωθερμικών ρευστών.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά το στάδιο ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων διακρίνονται σε:

1. Επιπτώσεις κατά την κατασκευή της παραγωγικής γεώτρησης και της γεώτρησης επανεισαγωγής
2. Αύξηση στάθμης Θορύβου
3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς
4. Πρόκληση καθιζήσεων
5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας
6. Υδροθερμικές εκρήξεις

7.2.1. Επιπτώσεις από τη γεώτρηση την παραγωγή και την επανεισαγωγή

Η πρώτη περιβαλλοντική επίπτωση που γίνεται αντιληπτή από τα πρώτα κιόλας στάδια εφαρμογής ενός γεωθερμικού έργου είναι οι γεωτρήσεις, ανεξάρτητα αν αυτές φτάνουν σε μικρά βάθη και αποσκοπούν στη μέτρηση της γεωθερμικής βαθμίδας κατά το στάδιο έρευνας ή αν είναι γεωτρήσεις παραγωγής και επανεισαγωγής. Η εγκατάσταση ενός γεωτρητικού συγκροτήματος, που περιλαμβάνει και όλο το

βοηθητικό εξοπλισμό του, απαιτεί τη διάνοιξη-επισκευή δρόμων για την πρόσβαση στο σημείο των γεωτρήσεων. Αποτέλεσμα των εργασιών αυτών είναι η ελαφρά τροποποίηση της επιφανειακής μορφολογίας της περιοχής ενώ δεν αποκλείεται η πιθανότητα πρόκλησης μικρών ζημιών στη χλωρίδα και την πανίδα. Επίσης, κατά τη διάρκεια κατασκευής των γεωτρήσεων ή των δοκιμών παραγωγής, υπάρχει κίνδυνος διαφυγής στην ατμόσφαιρα κάποιων ανεπιθύμητων αερίων. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων, σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) και από τις όχι καλά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες των γεωθερμικών ρευστών. Αρκετά υψηλή μπορεί να είναι επίσης και η οπτική όχληση κατά τη διάρκεια της διάτρησης, οφειλόμενη στην παρουσία των γεωτρυπάνων και στην έκταση του εργοταξίου.

7.2.2. Αύξηση στάθμης Θορύβου

Κατά το στάδιο ανόρυξης των γεωτρήσεων και της κατασκευής της μονάδας υπάρχει πιθανότητα να παρουσιαστούν αυξημένα επίπεδα θορύβου τα οποία επιβαρύνουν και την ευρύτερη περιοχή και κυρίως το προσωπικό του εργοταξίου κατασκευής της γεωθερμικής μονάδας.

7.2.3. Εγκατάσταση δικτύου μεταφοράς

Η εγκατάσταση του δικτύου μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών και η κατασκευή των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης, επηρεάζει επιπλέον την πανίδα, τη χλωρίδα και την επιφανειακή μορφολογία της περιοχής. Το τοπίο της περιοχής μπορεί να αλλάξει ελαφρώς αν και είναι εφικτό το δίκτυο των σωληνώσεων που διαπερνά την περιοχή και οι πύργοι ψύξης των εργοστασίων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να σχεδιαστούν έτσι ώστε να γίνουν αναπόσπαστα τμήματα του τοπίου.

7.2.4. Πρόκληση καθιζήσεων

Η αφαίρεση μεγάλων ποσοτήτων νερού ή ατμού από ένα γεωθερμικό πεδίο, ειδικά όταν οι ταμιευτήρες του αποτελούνται από πορώδεις σχηματισμούς, μπορεί να προκαλέσει ορισμένες φορές καθίζηση του εδάφους η οποία κυμαίνεται από λίγα εκατοστά μέχρι και μερικά μέτρα. Η καθίζηση του εδάφους μπορεί να έχει επιπτώσεις είτε στη σταθερότητα των σωληνώσεων των δικτύων είτε σε άλλα μέρη της εγκατάστασης. Μπορεί επίσης να προκαλέσει το σχηματισμό λιμνών και ρωγμών στο έδαφος και εάν η θέση των εγκαταστάσεων είναι κοντά σε κατοικημένη περιοχή μπορεί να οδηγήσει σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και σε αστάθεια των κτιρίων.

7.2.5. Δημιουργία μικροσεισμικότητας

Με την επανεισαγωγή των υγρών στον ταμιευτήρα υπάρχει πιθανότητα πρόκλησης μικροσεισμών στην περιοχή για το λόγο ότι τα υγρά κατά την επανεισαγωγή τους δρουν ως λιπαντικό για τα υπερκείμενα πετρώματα. Επειδή τα περισσότερα γεωθερμικά πεδία βρίσκονται σε σειсмоγενείς περιοχές, είναι πιθανόν οι μικροί αυτοί σεισμοί να «ανακουφίζουν» τις τοπικές συνθήκες και έτσι να συνδράμουν στην αποφυγή μεγαλύτερου σεισμού.

7.2.6. Υδροθερμικές εκρήξεις

Αυτές είναι σπάνιες αλλά είναι ένας πιθανός κίνδυνος στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας. Εμφανίζονται όταν η πίεση ατμού στα υδροφόρα στρώματα κοντά στην επιφάνεια μπορεί να εκτινάξει το εδαφικό υλικό και να προκαλέσει τη δημιουργία κρατήρων. Οι διαστάσεις των κρατήρων μπορεί να κυμαίνονται από 5 m – 500 m διάμετρο και βάθος έως 500 m (αν και οι περισσότερες εκρήξεις δημιουργούν κρατήρες με βάθος λιγότερο από 10 m).

7.3 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες υψηλής ενθαλπίας

Τα γεωθερμικά ρευστά υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση των τεσσάρων τεχνολογιών που έχουν ήδη αναφερθεί (ξηρού ατμού, στρόβιλοι υγρού ατμού, δυαδικού κύκλου με πτητικό ρευστό ή κύκλος Rankine με οργανικό ρευστό, συνδυασμένος κύκλος).

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας έχει τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με άλλες μεθόδους. Οι επιπτώσεις αυτές κατηγοριοποιούνται σε:

1. Εκπομπές αερίων
2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση
3. Απόθεση στερεών αποβλήτων
4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση
5. Θόρυβος

7.3.1. Εκπομπές αερίων

Τα μη συμυκνώσιμα αέρια που εμπεριέχονται στον γεωθερμικό ατμό και μπορούν να απελευθερωθούν στην ατμόσφαιρα είναι κυρίως το διοξείδιο του άνθρακα και το υδρόθειο. Επίσης, υπάρχει περίπτωση να περιέχετε αμμωνία, υδρογόνο, άζωτο, μεθάνιο και ραδόνιο σε δευτερεύουσες ποσότητες, καθώς επίσης και πτητικά σωματίδια βορίου, αρσενικού και υδραργύρου. Η εκπομπή υδρόθειου (H₂S) αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή ρύπανσης. Χαρακτηρίζεται από μία «οσμή κλούβιων αυγών» και ανιχνεύεται από τον άνθρωπο ακόμη και σε συγκεντρώσεις μικρότερες από 0,03 ppmv (parts per million by volume). Το υδρόθειο επιταχύνει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αποκλείει τη χρήση ορισμένων μεταλλικών υλικών. Στις γεωθερμικές εγκαταστάσεις με εκπομπές υδροθείου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται φορητές συσκευές για την ανίχνευσή του, ιδιαίτερα για το προσωπικό που εισέρχεται σε κλειστούς χώρους. Οι ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) που εκπέμπονται από τις γεωθερμικές μο-νάδες εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του πεδίου και από την τεχνολογία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από γεωθερμικές μονάδες είναι κατά πολύ μικρότερες από τις αντίστοιχες εκπομπές ατμοηλεκτρικών μονάδων και συγκρίνονται ευνοϊκά με τις εκπομπές (έμμεσες) από άλλες μορφές ΑΠΕ. Οι γεωθερμικές μονάδες νέας γενιάς εκπέμπουν λιγότερο από 0,5 kg διοξειδίου του άνθρακα ανά MWh, συγκρινόμενες με τα 1000 kg περίπου διοξειδίου του άνθρακα ανά MWh που εκπέμπονται από ατμοηλεκτρικούς σταθμούς που χρησιμοποιούν άνθρακα. Από τους υπόλοιπους αέριους ρύπους που εκπέμπονται, η αμμωνία μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό των ματιών, των ρινικών κοιλοτήτων και του αναπνευστικού συστήματος, ενώ το ραδόνιο είναι καρκινογόνο εάν εισπνευσθεί. Οι εκπομπές αυτών

των δύο αερίων είναι κανονικά σε χαμηλά επίπεδα και δεν προκαλούν ανησυχία. Από τα διάφορα μεταλλικά στοιχεία που εκπέμπονται, το αρσενικό είναι καρκινογόνο καθώς επίσης προσβάλλει και το δέρμα, το βόριο ερεθίζει το δέρμα και τους βλεννογόνους υμένες και επιπλέον είναι τοξικό και για τα φυτά και τέλος η εισπνοή ή η κατάποση του υδραργύρου μπορεί να προκαλέσει νευρολογικές διαταραχές. Όμως, αυτά τα μέταλλα εκπέμπονται γενικά σε χαμηλές ποσότητες με αποτέλεσμα να μη θέτουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Τα μέταλλα είναι πιθανό επίσης να αποτεθούν στο έδαφος και με τη διήθηση τους να συμβάλουν στη μόλυνση των υπόγειων νερών.

7.3.2. Υδάτινη και θερμική ρύπανση

Η κύρια ανησυχία από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας υψηλής ενθαλπίας προέρχεται από τη διάθεση των γεωθερμικών ρευστών στους υδάτινους αποδέκτες. Η σύσταση ενός γεωθερμικού ρευστού εξαρτάται από το είδος και την προέλευση των πετρωμάτων του ταμιευτήρα καθώς επίσης και από τη θερμοκρασία και την πίεση του. Η απόρριψη ή η διαρροή του γεωθερμικού ρευστού, από το οποίο έχει εξαχθεί ή όχι η θερμότητα, δημιουργεί συνήθως περιβαλλοντικό πρόβλημα (υδάτινη ρύπανση ή ρύπανση του εδάφους), τόσο λόγω της περιεκτικότητάς του σε διάφορα χημικά συστατικά (αρσενικό, βόριο, φθόριο, κλπ), όσο και λόγω της αρκετά υψηλότερης θερμοκρασίας του σε σχέση με τη θερμοκρασία των αποδεκτών. Ιδιαίτερα προβλήματα διαρροών μπορεί να υπάρξουν κυρίως στα αρχικά στάδια αξιοποίησης του πεδίου (από τα ρευστά που εκρέουν κατά την ανόρυξη των γεωτρήσεων) σε περίπτωση ατυχήματος ή διάρρηξης των σωληνώσεων (παραγωγής και επανεισαγωγής) ή από τις μη αποτελεσματικά στεγανοποιημένες τεχνητές λίμνες των γεωθερμικών ρευστών.

7.3.3. Απόθεση στερεών αποβλήτων

Επιπτώσεις από τη γεωθερμία στο έδαφος ή στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν και από την απόθεση στερεών αποβλήτων. Σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις στερεά απόβλητα μπορεί να δημιουργηθούν από τις εξής πηγές: α) λάσπη γεωτρήσεων και θρύμματα των διατρούμενων σχηματισμών κατά τη διάρκεια της διάτρησης, β) απόβλητα από τις τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου και γ) στερεά άλατα από την

απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό ρευστό ή από τον καθαρισμό των σωληνώσεων από τις επικαθίσεις (ανθρακικό ασβέστιο, θειούχες ενώσεις βαρέων μετάλλων, πυριτικές ενώσεις). Οι ποσότητες στερεών αποβλήτων δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες, ειδικά όταν συγκρίνονται με απόβλητα από μονάδες που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα και τα περισσότερα από αυτά δεν μπορούν να χαρακτηριστούν ως τοξικά.

7.3.4. Χρήση γης και οπτική ρύπανση

Το κύριο χαρακτηριστικό της γεωθερμικής ενέργειας αυτής της κατηγορίας είναι ότι απαντά σε ορισμένες μόνο περιοχές και η αξιοποίησή της γίνεται επιτόπου. Το θετικό σε αυτήν την περίπτωση είναι ότι ο «συνολικός κύκλος παραγωγής της ενέργειας» περιορίζεται σε μία μόνον περιοχή, κάτι που εξαλείφει την ανάγκη μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών σε αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικά χιλιόμετρα. Η έκταση που απαιτείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας (πχ για την εγκατάσταση της μονάδας, το χώρο των γεωτρήσεων, τις σωληνώσεις μεταφοράς και τους δρόμους πρόσβασης) είναι γενικά μικρότερη από την έκταση της γης που απαιτούν άλλες μορφές ενέργειας, ιδιαίτερα αν συγκρίνει κανείς με τις εκτάσεις που απαιτούνται για την εξόρυξη και την αποθήκευση των καυσίμων ή τη δημιουργία φραγμάτων και τεχνητών λιμνών. Το ίδιο ισχύει και για την οπτική ρύπανση από τις γεωθερμικές μονάδες μιας και το κυριότερο ορατό τμήμα μίας μονάδας είναι ο πύργος ψύξης.

7.3.5. Θόρυβος

Κατά τη φάση λειτουργίας της γεωθερμικής μονάδας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπάρχει αρκετά υψηλό επίπεδο θορύβου που προέρχεται κυρίως από τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης, τον εκτοξευτή ατμού και το βόμβο των ατμοστροβίλων. Ο θόρυβος ελέγχεται κυρίως από μόνιμες εγκαταστάσεις σιγαστήρων ή άλλων συσκευών μείωσης θορύβου.

7.4 Επιπτώσεις από γεωθερμικές μονάδες χαμηλής ενθαλπίας

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερη σε σχέση με την επιβάρυνση από τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Η περιεκτικότητα των ρευστών σε μη συμπτυκνώσιμα αέρια είναι γενικά περιορισμένη, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα. Προβλήματα καθιζήσεων ή δημιουργίας μικροσεισμικότητας δεν έχουν ποτέ καταγραφεί σε πεδία χαμηλής θερμοκρασίας. Η θερμική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη, με την προϋπόθεση ότι τα νερά μετά τη χρήση τους έχουν θερμοκρασία μικρότερη από 30-35°C. Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής θερμοκρασίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη του θερμικού φορτίου τους. Η επιφανειακή διάθεση (τεχνητές ή φυσικές λίμνες, χείμαρροι, ποταμοί, θάλασσα) αποτελεί τη φθηνότερη λύση και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τις αρχές της αξιοποίησης της γεωθερμίας. Τρία προβλήματα σχετίζονται με τη λύση αυτή: α) η αυξημένη θερμοκρασία των νερών (θερμική ρύπανση), β) η σχετικά υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε διάφορα συστατικά (υδροθείο, βαρέα μέταλλα, κλπ) και γ) η «εξάντληση» του πεδίου με το χρόνο. Η διάθεση σε λίμνες, ποτάμια και χείμαρρους, λόγω της ευαισθησίας αυτών των οικοσυστημάτων, θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ύστερα από εμπειρισταωμένη μελέτη και με την προϋπόθεση ότι πληρούνται οι όροι διάθεσης των νερών στους συγκεκριμένους φυσικούς αποδέκτες. Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο έχει εκδώσει σειρά κατευθυντήριων οδηγιών που αφορούν την ποιότητα γλυκών επιφανειακών υδάτων προοριζομένων για υδροληψία, διαβίωση ιχθύων και κολύμβηση, όπου θεσπίζονται μέγιστα επιτρεπόμενα και επιθυμητά όρια συγκεντρώσεων των διαφόρων ουσιών. Οι οδηγίες αυτές έχουν κυρωθεί με νόμους και από το Ελληνικό Κράτος. Για τους θαλάσσιους αποδέκτες η θέσπιση αντίστοιχων περιβαλλοντικών ορίων είναι ιδιαίτερα δύσκολη εξαιτίας της μεγάλης ποικιλίας των υδροδυναμικών συνθηκών που επικρατούν. Η EPA (Environmental Protection Agency) έχει προτείνει ανώτατα και συνιστάμενα όρια ορισμένων ουσιών που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σαν οδηγοί κατά τη μελέτη διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών σε θαλάσσια ύδατα. Επίσης, επιπτώσεις στο έδαφος ή στο υπέδαφος μπορεί να υπάρξουν και από την απόθεση στερεών αποβλήτων. Πρόκειται για στερεά άλατα από την απομάκρυνση των διαλυμένων αλάτων στο γεωθερμικό ρευστό (π.χ. πυριτικά άλατα) ή από τον καθαρισμό των σωληνώσεων από τις

επικαθήσεις (ανθρακικό ασβέστιο, θειούχες ενώσεις βαρέων μετάλλων, πυριτικές ενώσεις). Τέλος υπάρχει και κίνδυνος από διαρροή υγρών ή αερίων αποβλήτων τα οποία επιβαρύνουν την χλωρίδα και την πανίδα της περιοχής.

7.5 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας

7.5.1. Εισαγωγή

Αν και η γεωθερμία αποτελεί μία ήπια μορφή ενέργειας σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές η ιδιάζουσα φύση των γεωθερμικών ρευστών μπορεί να προκαλέσει επιδράσεις στο περιβάλλον όπως αναλυτικά έχουν αναφερθεί. Η τεχνολογία που είναι διαθέσιμη διεθνώς, μπορεί να συμβάλλει στην αντιμετώπιση των εκπομπών υδρόθειου, της απόρριψης γεωθερμικών ρευστών, κλπ. Ταυτόχρονα έχουν θεσπιστεί παγκοσμίως κατάλληλοι περιβαλλοντικοί κανονισμοί που στηρίζουν την ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας. Θετικό είναι το γεγονός ότι οι περισσότερες από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μπορούν να ελεγχθούν ή να περιοριστούν σε μεγάλο βαθμό.

7.5.2. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τα στάδια έρευνας και ανάπτυξης των γεωθερμικών πεδίων

Όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλούνται από τις γεωτρητικές εργασίες τόσο στο στάδιο έρευνας όσο και σ' αυτό της παραγωγής εκλείπουν με το πέρας αυτών εφόσον εφαρμοστεί η εγκεκριμένη περιβαλλοντική μελέτη. Βέβαια, στη φάση της διάτρησης και των δοκιμών παραγωγής, για να μην υπάρξει επιβάρυνση και ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών από τη λάσπη της διάτρησης αλλά και τα στερεοποιημένα άλατα, απαιτούνται τεχνητές λίμνες απόλυτα στεγανοποιημένες. Οι καθιζήσεις μπορούν να αποφευχθούν ή να μειωθούν με την επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμιευτήρα, ενώ η διατήρηση της πίεσης στον ταμιευτήρα μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της πιθανότητας εμφάνισης υδροθερμικών εκρήξεων.

7.5.3. Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

7.5.3.1 Αντιμετώπιση αέριων εκπομπών

7.5.3.1.1 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών υδρόθειου (H₂S)

Οι διαθέσιμες τεχνολογίες δέσμευσης του υδρόθειου μπορούν γενικά να χωριστούν σε δύο κατηγορίες, αυτές που απομακρύνουν το υδρόθειο από τα απαέρια (πρωτογενής καθαρισμός) και αυτές που απομακρύνουν το υδρόθειο που έχει διαλυθεί στο συμπύκνωμα ή στο μίγμα συμπυκνώματος – νερού ψύξης (δευτερογενής καθαρισμός). Η κατανομή του υδρόθειου σ' αυτά τα ρεύματα είναι βασικής σημασίας για το σχεδιασμό της κατάλληλης μεθόδου αντιρρύπανσης.

α) Διεργασία Stretford: Η διεργασία Stretford είναι μία διαδικασία αποθείωσης υγρού- τύπου που χρησιμοποιείται σε διάφορες βιομηχανίες κατά την οποία το υδρόθειο αφαιρείται από τον ατμό του αερίου και ανακτάται το θείο. Πρόκειται για διαδικασίες αποθείωσης με άριστη απόδοση (σχεδόν 99,9%). Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να απομακρυνθεί το υδρόθειο από τα απαέρια του συμπυκνωτή. Για μονάδες με εναλλάκτη έμμεσης επαφής, οι οποίες τροφοδοτούνται με σχετικά καθαρό ατμό που δεν περιέχει αμμωνία, η μονάδα Stretford μπορεί να επιτυγχάνει τον απαιτούμενο βαθμό απομάκρυνσης του υδρόθειου χωρίς δευτερογενή καθαρισμό.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της διαδικασίας Stretford είναι τα παρακάτω:

- 1) Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται σε οποιοδήποτε αέριο.
- 2) Το υδρόθειο που περιέχεται στο αέριο μπορεί να μειωθεί σε λιγότερο από 0,1 ppm σε ατμοσφαιρικές και υψηλότερες πιέσεις.
- 3) Το θείο ανακτάται με υψηλή καθαρότητα, περισσότερο από το 99,5% κατά βάρος.
- 4) Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία είναι σταθερές, μη τοξικές και επεξεργάζονται εύκολα.
- 5) Η λύση της απορρόφησης είναι ελαφρώς αλκαλική (pH 8,5 – 9,0) και δεν προκαλεί διαβρώσεις.

Η τεχνολογία Stretford χρησιμοποιεί καταλύτη βαναδίου για τη μετατροπή του υδρόθειου σε στοιχειακό θείο και η αναγέννηση του καταλύτη γίνεται με τη βοήθεια δισουλφονικού οξέως ανθρακικών. Η διεργασία συνίσταται στην απομάκρυνση του

υδρόθειου με απορρόφηση από υδατικό διάλυμα ανθρακικού νατρίου και στη συνέχεια καταλυτική οξειδωση του προς στοιχειακό θείο με αναγωγή πεντασθενούς βαναδίου. Το οξειδωτικό διάλυμα αναγεννάται με τροφοδοσία οξυγόνου που επαναφέρει το βανάδιο στην πεντασθενή του μορφή. Η μονάδα συμπληρώνεται με εγκαταστάσεις απομάκρυνσης του καθαρισμού του στοιχειακού θείου που παράγεται. Η μέθοδος αυτή χαρακτηρίζεται τεχνικά αξιόπιστη, ικανή να κατεργαστεί ρεύματα με διαφορετικά επίπεδα συγκέντρωσης του ρυπαντή και απαλλαγμένα σοβαρών μειονεκτημάτων. Για την ολοκληρωμένη αξιολόγηση όμως της μεθόδου για γεωθερμικές εφαρμογές θα πρέπει να τονισθούν και τα εξής σημεία:

- Η διεργασία Stretford είναι μία, σχετικά πολύπλοκη, χημική διεργασία που απαιτεί στενή παρακολούθηση και ρύθμιση. Επιπλέον απαιτεί σοβαρή τεχνική υποστήριξη ώστε να υπάρχει δυνατότητα αντιμετώπισης μίας σειράς προβλημάτων, όπως απόφραξης συσκευών, αφρισμού και αυξημένης κατανάλωσης χημικών.
- Έχει αναγνωρισθεί διεθνώς η αναγκαιότητα ανάπτυξης μεθόδων καθαρισμού του ατμού από το υδρόθειο. Εκτιμάται ότι μέθοδοι καθαρισμού των αερίων, όπως η διεργασία Stretford, θα έχουν μελλοντικά μάλλον συμπληρωματικό ρόλο στις γεωθερμικές εφαρμογές.

β) Δευτερογενής καθαρισμός: Ο καθαρισμός του συμπυκνώματος και νερού ψύξης από το διαλυμένο υδρόθειο επιτυγχάνεται συνήθως με οξειδωσή του προς στοιχειακό θείο. Η οξειδωση μπορεί να γίνει με τρισθενή ιόντα σιδήρου που εισάγονται στο κύκλωμα με τη μορφή χημικών συμπλοκών. Στη συνέχεια τα ιόντα σιδήρου αναγεννώνται με ατμοσφαιρικό οξυγόνο στον πύργο ψύξης. Τα κυριότερα τεχνικά προβλήματα αυτής της μεθόδου καθαρισμού είναι η μείωση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης λόγω διάβρωσης και τα προβλήματα αποφράξεων από το κolloειδές θείο που παράγεται.

γ) Διεργασία καύσης/έκπλυσης: Η μέθοδος αυτή αποτελεί βελτίωση του δευτερογενούς διαχωρισμού που περιγράφηκε παραπάνω. Το υδρόθειο καίγεται προς διοξείδιο του θείου το οποίο δεσμεύεται σε πλυντρίδα (scrubber) με το σχηματισμόθειώδους και θειικού οξέος. Εν συνεχεία, χρησιμοποιούνται χηλικές ενώσεις σιδήρου για το σχηματισμό θειοθειικών αλάτων. Το κύριο προϊόν της διεργασίας είναι διάλυμα θειοθειικών, το οποίο επανεισάγεται στον ταμιευτήρα με το συμπύκνωμα. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, το παραγόμενο με τη μέθοδο θειικό οξύ μπορεί να

χρησιμοποιηθεί για τη μείωση του pH των γεωθερμικών νερών και τον έλεγχο της δημιουργίας επικαθίσεων.

7.5.3.1.2 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂)

Για τον περιορισμό της περιεκτικότητας των γεωθερμικών ρευστών από το διοξείδιο του άνθρακα, μπορεί να εφαρμοστεί η υγρή λεγόμενη επανεισαγωγή των αερίων στον ταμιευτήρα. Με τη μέθοδο αυτή, το διοξείδιο του άνθρακα διαλύεται στο θερμό αλμόλοιπο, το οποίο εν συνεχεία επανεισάγεται στον ταμιευτήρα μέσω των γεωτρήσεων επανεισαγωγής.

7.5.3.1.3 Μέθοδοι περιορισμού εκπομπών από άλλα αέρια

Όπως αναφέρθηκε ανωτέρω, η αμμωνία εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες σε πολλά γεωθερμικά συστήματα. Στα γεωθερμικά εργοστάσια ξηρού ατμού, η αμμωνία οξειδώνεται σε άζωτο και νερό καθώς περνά στην ατμόσφαιρα. Άλλα επικίνδυνα αέρια που τυχόν υπάρχουν όπως το ραδόνιο, μεθάνιο, κλπ επανεισάγονται στον ταμιευτήρα. Τα φίλτρα επίσης μειώνουν τις αέριες εκπομπές αλλά παράγουν μία υγρή λάσπη πλούσια σε θείο και βανάδιο, ένα μέταλλο που είναι τοξικό σε μεγάλες συγκεντρώσεις. Επιπρόσθετη λάσπη παράγεται όταν υδροθερμικός ατμός συμπυκνώνεται προκαλώντας την καθίζηση των διαλυμένων στερεών. Αυτή η λάσπη έχει γενικά υψηλή περιεκτικότητα σε πυριτικά συστατικά, χλωρικά, αρσενικό, υδράργυρο, νικέλιο και άλλα τοξικά βαρέα μέταλλα. Μία δαπανηρή μέθοδος απόθεσης των αποβλήτων περιλαμβάνει την ξήρανση τους (όσο το δυνατόν περισσότερο) και τη μεταφορά σε χώρους που έχουν ειδική άδεια για απόθεση τοξικών αποβλήτων.

7.5.3.2 Αντιμετώπιση υδάτινης και θερμικής μόλυνσης

7.5.3.2.1 Επανεισαγωγή

Η πλέον περιβαλλοντικά αποδεκτή μέθοδος διάθεσης των γεωθερμικών ρευστών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Για την επανεισαγωγή αρκεί να διανοιχτούν γεωτρήσεις μεγάλου βάθους, μέσα από τις οποίες τα ρευστά είτε με την υφιστάμενη πίεση τους, είτε με τη βαρύτητα, είτε με τη χρήση αντλιών, προωθούνται

στο υπέδαφος. Τα απορριπτόμενα ρευστά μπορεί να είναι άλμη, συμπύκνωμα ατμού, μίγμα αυτών ή τέλος μίγμα με άλλο διαθέσιμο νερό (για αραιώση τυχόν συστατικών). Η θερμοκρασία των ρευστών μπορεί να είναι χαμηλότερη από 50°C, αν επανεισάγεται συμπύκνωμα ή μίγμα με ψυχρά ρευστά, ή και μεγαλύτερη από 100°C, αν επανεισάγεται κατ' ευθείαν άλμη από διαχωριστή υψηλής πίεσης. Από το είδος των ρευστών και τη θερμοκρασία τους εξαρτάται η επιτυχία της μεθόδου. Ο λόγος για τον οποίο μπορεί να μην είναι εφαρμόσιμη η επανεισαγωγή είναι ο σχηματισμός αποθέσεων με αποτέλεσμα την απαίτηση όλο και μεγαλύτερων πιέσεων και τελικά την απόφραξη των διαδρόμων ροής των ρευστών. Οι αποθέσεις αυτές δημιουργούνται όταν επανεισάγεται υπέρκορη άλμη ή όταν εισάγεται μίγμα συμπυκνώματος με άλλο νερό, που έχουν συστατικά των οποίων η διαλυτότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Συνήθως, αντιμετωπίζεται η πρώτη από τις δύο αυτές περιπτώσεις, που όπως και η δεύτερη, έχουν ως αποτέλεσμα να θέτουν περιορισμούς στο χρόνο ζωής της γεώτρησης επανεισαγωγής. Ο χρόνος ημι-ζωής μίας γεώτρησης επανεισαγωγής ορίζεται ως το χρονικό διάστημα μέσα στο οποίο η απαιτούμενη πίεση για την επανεισαγωγή ρευστών με σταθερή παροχή έχει πια, λόγω αποθέσεων, διπλασιαστεί

7.5.3.2.2 Φυσικοχημική επεξεργασία του αλμόλοιπου πριν τη διάθεση

Τα συστατικά εκείνα που υπολογίζεται ότι, μετά τη διάλυση, θα εξακολουθούσαν να βρίσκονται σε συγκεντρώσεις πάνω από τα ανεκτά όρια, θα πρέπει να υποστούν κατάλληλη επεξεργασία, πριν αποτεθούν σε κάποιο υδάτινο αποδέκτη. Παρακάτω αναφέρονται μέθοδοι επεξεργασίας που έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές από τις μέχρι τώρα εφαρμογές:

- Πυριτικά και κολλοειδή στερεά: Ο βέλτιστος τρόπος μείωσης τους είναι η κροκίδωση και χημική κατακρήμνιση με άλατα σιδήρου ή αλουμινίου ή με υδροξείδιο του ασβεστίου, που συνήθως προτιμάται για οικονομικούς λόγους. Οι απαιτούμενες δοσολογίες εξαρτώνται από τη σύσταση του αλμολοίπου και κυρίως από την αλκαλικότητά του.
- Αρσενικό: Επειδή το αρσενικό βρίσκεται στα αλμόλοιπα συνήθως σε τρισθενή μορφή, είναι απαραίτητη κατ' αρχήν η οξειδωσή του σε πεντασθενές αρσενικό που είναι λιγότερο διαλυτό. Η οξειδωση επιτυγχάνεται με κατεργασία του αλμολοίπου με υποχλωριώδες νάτριο, σε αναλογίες 20-50 mg/L, ανάλογα με τη συ-

γκέντρωση του αρσενικού. Μετά την οξείδωση είναι δυνατή η κατακρήμνιση του αρσενικού με υδροξείδιο του ασβεστίου ή άλατα σιδήρου ή αργιλίου.

- Βαρέα μέταλλα (Fe, Cr, Cd, Cu, Pb, Hg): Τα περισσότερα από τα βαρέα μέταλλα κατακρημνίζονται αμέσως με κατεργασία με υδροξείδιο του ασβεστίου. Οι απαιτούμενες αναλογίες εξαρτώνται από την αλκαλικότητα.
- Μαγγάνιο: Το μαγγάνιο κατακρημνίζεται με ασβέστη σε υψηλές τιμές pH.
- Βόριο, Βάριο: Το Βόρειο και το Βάριο είναι τα στοιχεία που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη δυσκολία απομάκρυνσης με τις απλές φυσικοχημικές μεθόδους που εφαρμόζονται στη κατεργασία των αλμολοίπων.
- Αμμωνία: Η αμμωνία δεν απομακρύνεται γενικά με φυσικοχημικές μεθόδους παρά σε μικρά ποσοστά της τάξης του 20-30%. Εφόσον η συγκέντρωσή της είναι υψηλή και αποτελεί πρόβλημα για τον αποδέκτη, απαιτείται η αφαίρεση της με άλλες μεθόδους (ammonia stripping) ή με βιολογική επεξεργασία. Σε περιπτώσεις διάθεσης του αλμολοίπου στο έδαφος σε περιοχές υπόγειας υδροφορίας, η πρόβλεψη των θέσεων και της έκτασης μίας ενδεχόμενης μελλοντικής ρύπανσης πηγών υδροληψίας μπορεί να είναι εξαιρετικά δυσχερής λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας στις τιμές των συντελεστών διασποράς, της μεγάλης βραδύτητας διάδοσης της ρύπανσης και της σωρευτικής συμπεριφοράς ορισμένων συστατικών στον εδαφικό ιστό. Συνίσταται γι' αυτό η εφαρμογή επεξεργασίας ικανής να απομακρύνει τα επιβλαβή συστατικά σε βαθμό τουλάχιστον ανάλογο εκείνου που απαιτείται για διάθεση σε επιφανειακά ύδατα. Τέλος, ο καλύτερος τρόπος αντιμετώπισης της θερμικής ρύπανσης είναι η ψύξη του νερού πριν διατεθεί σε υδάτινους αποδέκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με τη φυσική ψύξη κατά την παραμονή του σε τεχνητές λίμνες. Άλλος τρόπος μείωσης του θερμικού φορτίου αποτελεί η διαδοχική χρήση των γεωθερμικών ρευστών (εν σειρά εφαρμογής).

7.5.3.3 Αντιμετώπιση των στερεών αποβλήτων

Τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας παράγουν κατά μέσο όρο 45 kg στερεών αποβλήτων ανά MWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόσφατες τεχνολογικές πρόοδοι μειώνουν σημαντικά την προς απόθεση ποσότητα. Μερικά εργοστάσια, έχουν σήμερα την ικανότητα να αφυδατώνουν τα υποπροϊόντα και να τα αποπλύνουν, αφαιρώντας με τον τρόπο αυτό τα βαρέα μέταλλα. Το νερό που χρησιμοποιείται για την απόπλυση των βαρέων μετάλλων, επανεισάγεται στον

ταμιευτήρα και τα εναπομείναντα στερεά, κυρίως πυριτικό οξύ, χρησιμοποιούνται ως υλικό πλήρωσης στο τσιμέντο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή δρόμων και αντιπλημμυρικών έργων. Τα άλατα που περιέχονται στα γεωθερμικά ρευστά κρυσταλλώνονται, απομακρύνονται και ανακυκλώνονται. Ο πολύτιμος ψευδάργυρος διαχωρίζεται και πωλείται, όχι μόνο ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα αλλά και συμβάλλοντας στο οικονομικό κέρδος του εργοστασίου.

7.5.3.4 Αντιμετώπιση θεμάτων που σχετίζονται με τις χρήσεις γης

Η χρήση γης για την ανάπτυξη της γεωθερμίας μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τον περιορισμό της περιοχής των γεωτρήσεων (χρήση κατευθυνόμενων τεχνικών διάτρησης) και με την αύξηση της δυναμικότητας των μονάδων ηλεκτροπαραγωγής.

7.5.4 Αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τις χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερες από αυτές της υψηλής ενθαλπίας. Παρ' όλα αυτά, η υδάτινη και η θερμική μόλυνση που τυχόν εμφανίζονται, αντιμετωπίζονται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, όπως αναφέρθηκε και στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δηλαδή, είτε με επανεισαγωγή των χρησιμοποιημένων ρευστών στον ταμιευτήρα ή με φυσικοχημική διεργασία των αλμολοίπων από τα τοξικά συστατικά και απόθεσή τους σε επιφανειακούς αποδέκτες. Βέβαια, ανάλογα με τη χρήση των γεωθερμικών ρευστών, υπάρχουν ορισμένοι ακόμη τρόποι αντιμετώπισης, οι οποίοι αναφέρονται παρακάτω.

7.5.4.1 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις αντλίες θερμότητας

Ισχύουν ακριβώς τα ίδια για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, όσον αφορά τα ψυκτικά υγρά που χρησιμοποιούνται στα κυκλώματα, θα πρέπει να πληρούν όλες τις προδιαγραφές έτσι ώστε να μην συμβάλουν στην καταστροφή της στιβάδας του όζοντος. Η χρήση των χλωροφθορανθράκων που θεωρούνταν ιδανικοί για το σκοπό αυτό, έχει απαγορευτεί

με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987), τον Κανονισμό (ΕΚ) αριθ. 2037/2000 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και την Απόφαση 94/68/ΕΚ. Χρήση οποιονδήποτε άλλων ψυκτικών απαγορεύεται και τιμωρείται με ιδιαίτερα υψηλές κυρώσεις. Ψυκτικά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το R417a, HFC134a, R407c, R410a,b και τα Εξατμιστικά / Αποξηραντικά ψυκτικά.

7.5.4.2 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τη θέρμανση κολυμβητικών δεξαμενών και ιατρικών εφαρμογών

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τα περισσότερα από τα αέρια που περιέχονται στο γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Επομένως, δεν απομακρύνονται, παρά μόνο ελέγχονται πολύ προσεκτικά οι συγκεντρώσεις τους. Για τη μείωση των υγρών αποβλήτων τόσο κατά τη θέρμανση των κολυμβητικών δεξαμενών όσο και κατά τη χρήση των ρευστών σε θέρετρα αναψυχής και λουτροθεραπευτικά κέντρα, γίνεται χρήση ειδικών φίλτρων. Κατά την είσοδο και την έξοδο του, το νερό φιλτράρεται κι έτσι είναι ασφαλές είτε να επανεισαχθεί και να χρησιμοποιηθεί ξανά, είτε να αποτεθεί σε επιφανειακούς αποδέκτες.

7.5.4.3 Αντιμετώπιση των επιπτώσεων από τις βιομηχανικές εφαρμογές

Ισχύουν όσα αναφέρθηκαν σχετικά με την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας διάφορα φίλτρα στις καπνοδόχους των βιομηχανιών.

Κεφάλαιο 8: Παραδείγματα και εφαρμογές

8.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Δημαρχείο Πυλαίας Θεσσαλονίκης

Το Σεπτέμβριο του 2002 τέθηκε σε λειτουργία ένα αβαθές γεωθερμικό σύστημα για τον πλήρη κλιματισμό του Νέου Δημαρχείου Πυλαίας στο Νομό Θεσσαλονίκης. Το σύστημα αποτελείται από τον κατακόρυφο γεωεναλλάκτη, έντεκα (11) αντλίες θερμότητας νερού- νερού, τρεις (3) κλιματιστικές μονάδες, τερματικές μονάδες ανεμιστήρα-στοιχείου (fan coils), καθώς και από τα απαραίτητα δίκτυα νερού και αέρα. Η εφαρμογή είναι πρωτοποριακή σε μέγεθος για τον Ελλαδικό χώρο και παρακολουθείται συνεχώς από το Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών (ΕΚΣΔ) του Α.Π.Θ.



Δημαρχείο Πυλαίας

Το Νέο Δημαρχείο έχει συνολική επιφάνεια περίπου 2.500 τ.μ. και είναι θερμομονωμένο, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στον Εθνικό Κανονισμό θερμομόνωσης, που είναι ως γνωστόν από τους αυστηρότερους του κόσμου. Για τη θέρμανση και ψύξη των χώρων έχουν προβλεφθεί μονάδες αντλιών θερμότητας, οι οποίες είναι συνδεδεμένες με ένα δίκτυο 21 τυφλών γεωτρήσεων η καθεμιά από τις οποίες φθάνει σε βάθος 80 μ. Το νερό θέρμανσης ή ψύξης κυκλοφορεί σε δίκτυο

σωλήνων, που έχουν προβλεφθεί στις γεωτρήσεις και τροφοδοτεί τις αντλίες θερμότητας, έτσι ώστε τελικώς η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τις αντλίες θερμότητας να μειώνεται περίπου στο 50% εκείνης που απαιτείται για θέρμανση το χειμώνα και ψύξη το καλοκαίρι αν δεν υπήρχαν οι γεωτρήσεις και φυσικά το δίκτυο των σωλήνων μέσα από αυτές. Όπως γίνεται αντιληπτό, εδώ πρόκειται για πολύ σημαντική βελτίωση και εξοικονόμηση ενέργειας με απλά μέσα, δεδομένου ότι οι γεωτρήσεις δεν είναι σωληνωμένες, πράγμα που θα τις έκανε ακριβές, έχουν διάμετρο το πολύ 15 εκατοστά του μέτρου και τσιμεντάρονται μετά την τοποθέτηση πλαστικού σωλήνα σε σχήμα ύψιλον για την κυκλοφορία του νερού του συστήματος. Τελικά η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται με τη χρήση του γεωεναλλάκτη οφείλεται αφ' ενός μεν στο ότι η απαιτούμενη ενέργεια παραλαμβάνεται από τη γη, αφ' ετέρου δε στο ότι η θερμοκρασία του γεωεναλλάκτη μεταβάλλεται σε πολύ στενή περιοχή, σε αντίθεση με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα του περιβάλλοντος (με τον οποίο εργάζονται οι πύργοι ψύξης). Για τον τελευταίο αυτό λόγο ο συντελεστής συμπεριφοράς COP βελτιώνεται σε περίπου 4,0 αντί 2,0 των κλασικών εγκαταστάσεων. Πέραν αυτών το σύστημα με γεωεναλλάκτη μειώνει τις αιχμές ηλεκτρικής ενέργειας κίνησης των αντλιών θερμότητας κατά 30% περίπου και επιπλέον εξαφανίζει την τοπική ρύπανση της ατμόσφαιρας και συμβάλλει στη μείωση του CO₂, κυρίως υπεύθυνου του φαινομένου του θερμοκηπίου. Το κόστος κατασκευής αποσβένεται σε χρονικό διάστημα 3 – 5 ετών, ενώ η διάρκεια ζωής του προβλέπεται να ξεπερνά τα 25 χρόνια.



8.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2 Μονοκατοικία στο Gosau, Αυστρία

Η μονοκατοικία αυτή βρίσκεται στην Βόρεια Αυστρία ,σε υψόμετρο 800 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η επιφάνεια η οποία θερμαίνεται είναι 240 m² ενώ οι συνολικές ανάγκες για θέρμανση είναι 11,3 KWh και καλύπτονται από μία αντλία θερμότητας απ' ευθείας εκτόνωσης.



Ταυτόχρονα πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση μίας δεύτερης αντλίας θερμότητας απ' ευθείας εκτόνωσης για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, θερμικής ικανότητας 2,8 KWh Το ψυκτικό υγρό που ρέει στους σωλήνες του γεωθερμικού συστήματος δεν είναι άλλο από το R410A. Η θερμική ικανότητα του συστήματος υπολογίστηκε στα 7,9KW σε θερμοκρασίες 4/35οC. Ο οριζόντιος γεωεναλλάκτης καλύπτει συνολική επιφάνεια 260 m² , περιλαμβάνοντας 7 σκάμματα σπειρωειδούς σωλήνωσης 65 m στο καθένα.5 Σύμφωνα με τα αποτελέσματα μετρήσεων σε μία περίοδο θέρμανσης το SPF ήταν 4,78.

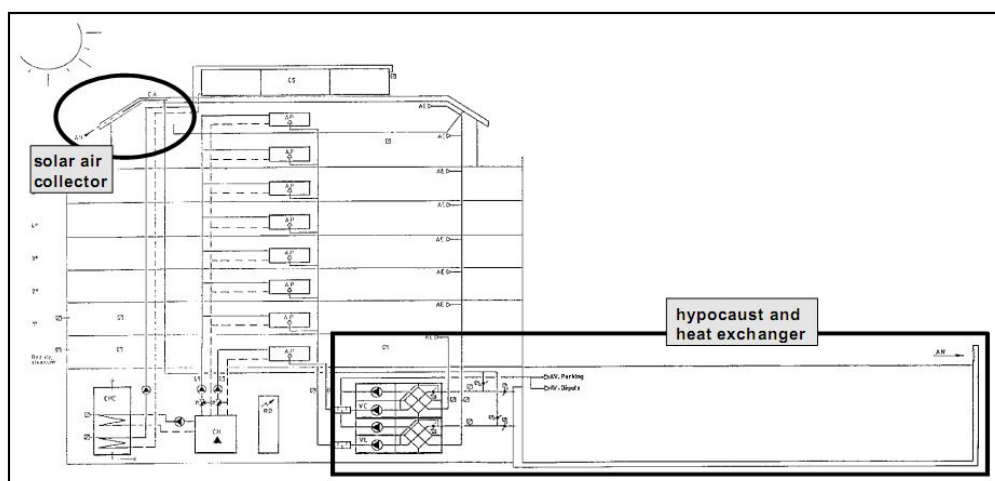
Επιπλέον το σύστημα θέρμανσης της κατοικίας περιλαμβάνει 212 m² ενδοδαπέδιας θέρμανσης με μέγιστη θερμοκρασία προσαγωγής 35οC με θερμοκρασιακή διαφορά 5οC.



8.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3 Κτίριο Caroubiers, Geneva

Η ανάγκη για θέρμανση στην Ελβετία διαρκεί 7 περίπου μήνες του έτους λόγω των καιρικών συνθηκών, κατά τη διάρκεια των οποίων η αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα αποτελεί αρνητικό παράγοντα στο ενεργειακό ισοζύγιο των κτιρίων, απαιτώντας περίπου 100MJ/m² για σταθερό ρυθμό εξαερισμού 0,5vol/h. Σε καλά θερμομονωμένα κτίρια, ο φραγμός αυτός αποδεικνύεται να είναι ένα σημαντικό τμήμα της γενικότερης απαίτησης για θέρμανση. Στο εμπορικό κτίριο ‘‘Caroubier’’ στην Geneva, η εγκατάσταση υπόγειων αγωγών για την προθέρμανση φρέσκου αέρα αποτέλεσε μία πιθανή απάντηση στην απαίτηση αυτή μία λύση απαλλαγμένη από την καύση πετρελαίου, ενώ λειτούργησε ταυτόχρονα με εναλλάκτη θερμότητας και ηλιακό συλλέκτη αέρα. Συγκεκριμένα, ο ‘‘φρέσκος αέρας’’, εξαρτώμενος από την ηλιακή ακτινοβολία, αντλείται είτε από τον ηλιακό συλλέκτη είτε από τους υπόγειους αεραγωγούς οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με εναλλάκτη θερμότητας για την εξάτμιση του αέρα.

Το υπεδάφιο σύστημα αγωγών αποτελούνταν από 49 σωλήνες, 12,5 cm διαμέτρου, 50m μήκους, 30cm μεταξύ τους απόσταση. Η εγκαταστασή τους πραγματοποιήθηκε σε επιφάνεια συνολικής έκτασης 980m², 50 cm κάτω από τον χώρο στάθμευσης και μόλις 10cm πάνω από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.



Layout				Heat gains		
description	hypocaust length [m]	heat exch. effic. [%]	solar air collector	hypocaust [kWh/yr]	heat exch. [kWh/yr]	total [kWh/yr]
as constructed	50 m	60 / 68	yes	27'100	31'900	59'000
hypocaust half sized	25 m	60 / 68	yes	21'700	35'100	56'800
heat ex. alone	-	60 / 68	yes	-	49'600	49'600
heat ex. alone, optimized	-	80 / 85	yes	-	64'200	64'200
solar collector inactive	50 m	60 / 68	no	27'500	39'300	66'800

	Capital		Heating only			Cooling only		
	invest. Fr	repay. Fr/yr	gains kWh/yr	cost cts/kWh	eq. cost cts/kWh	gains kWh/yr	cost cts/kWh	eq. cost cts/kWh
as constructed	137'000	8'691	27'050	32.1	24.1	19'589	44.4	88.7
half sized + under paving	48'000	3'045	22'395	13.6	10.2	18'394	16.6	33.1
as const. + high ventilation	137'000	8'691	25'675	33.9	25.4	66'771	13.0	26.0

Όπως φαίνεται στο πίνακα του τα θερμικά κέρδη από την λειτουργία του θερμικού εναλλάκτη σε συνδυασμό με το σύστημα υπεδάφιας αγωγών υπολογίστηκε στις 59.000 kWh/yr με τον εναλλάκτη να παρουσιάζει απόδοση της τάξεως του 60/68 %. Παρολ' αυτά υπολογισμοί απέδειξαν ότι, τα θερμικά κέρδη από την λειτουργία μόνο του θερμικού εναλλάκτη δεν απέχουν πολύ από την εκδοχή που εφαρμόθηκε συγκριτικά πάντα με το κόστος κατασκευτής των υπόγειων αγωγών. Αντίθετα τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κατά τη θερινή περίοδο, το υπεδάφιο σύστημα αγωγών βοήθησε σημαντικά στην εξομάλυνση των ημερήσιων θερμοκρασιακών μεταβολών διατηρώντας τον αέρα του εσωτερικού του κτιρίου σε σταθερές θερμοκρασίες με θερμικά κέρδη της τάξεως των 19.589 kWh/yr.

8.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4 Κτίριο Perret , Satigny Geneva

Η διοικητική έδρα της κοινότητας Perret στο Satigny της Geneva είναι ένα κτίριο δύο ορόφων πάνω από το έδαφος με επιφάνειας κάλυψης οικοπέδου 360 m², συνολικού εμβαδού 1080 m². Το κτίριο φιλοξενεί γραφεία ενώ το υπόγειο αυτού χρησιμοποιείται για την αποθήκευση αρχείων χωρίς απαιτήσεις θέρμανσης, εξαιρουμένου ενός συνεδριακού χώρου έκτασης 75m².

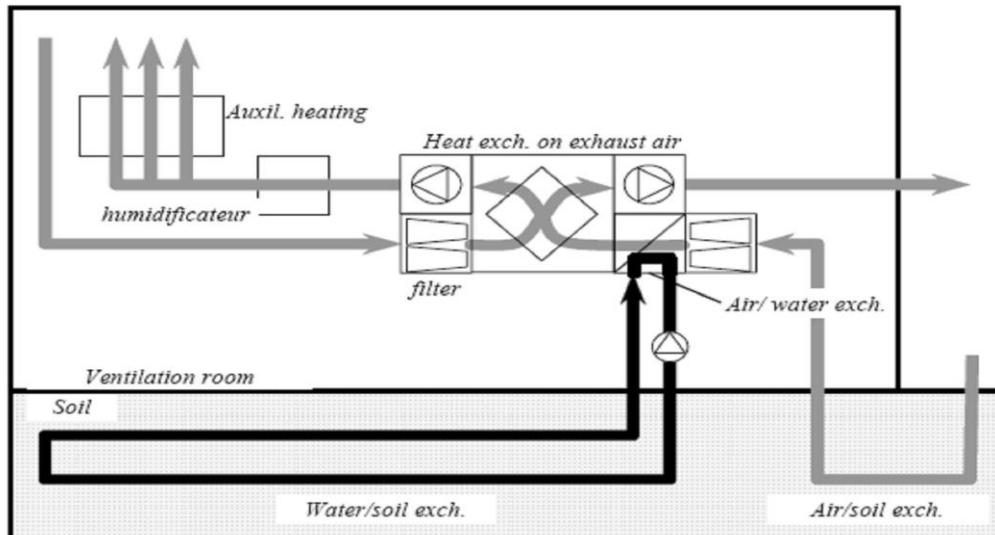
Εκτός από δύο καλοριφέρ στα επίπεδα των ορόφων, η θέρμανση εξασφαλίζεται εξ'ολοκλήρου μέσω συστήματος εξαναγκασμένου αερισμού. Η θερμομόνωση και η θερμική αδράνεια του κτιρίου επιτρέπουν ποσοστό ανανέωσης του αέρα της τάξεως των 0,6 vol/h (1840 m³/h κατά μέσο ετήσιο όρο) μεταξύ 0 και 20:00 ώρας. Πριν τη σύνδεση με το λέβητα πετρελαίου, ο φρέσκος αέρας λαμβάνεται στη βάση της βορειοδυτικής πρόσοψης διέρχεται μέσω δύο συστημάτων υπόγειας αποθήκευσης. Συγκεκριμένα το σύστημα αποτελείται:

- Μία παροχή εισαγωγής αέρα, στη βάση της βορειοδυτικής πρόσοψης γύρω από το

χώρο εξαερισμού. Αποτελείται από 4 αγωγούς PVC διαμέτρου 25 cm, 10 μέτρα μήκους ο καθένας, καταλαμβάνοντας συνολική έκταση 30m², 70 cm κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ο εναλλάκτης αέρα/εδάφους αποτελεί παραλλαγή των τυπικών καναδέζικων εναλλακτών μειωμένου μεγέθους.

- Συνδέεται μέσω ενός εναλλάκτη αέρα- νερού, ένας γεωεναλλάκτης νερού αποτελούμενος από 10 αγωγούς PE μήκους 100 m ο καθένας, διαμέτρου 28/32 mm τοποθετημένοι σε βάθος 45 cm κάτω από το κτίριο και συνολικής έκτασης εγκατάστασης 360 m².

- Το σύστημα ανάκτησης θερμότητας του εξερχόμενου αέρα ακολουθεί έναν υγροποιητή, ο οποίος συνεισφέρει επίσης στην προθέρμανση του αέρα και εν συνεχεία υπάρχει μία μπαταρία θέρμανσης συνδεδεμένη στο λέβητα πετρελαίου. Το σύστημα λειτουργεί αντίστοιχα με το χειμώνα και το καλοκαίρι για την ανανέωση του αέρα στο κτίριο αλλά με λειτουργία πρόψυξης του εισερχόμενου στο κτίριο αέρα.



- 1)εναλλάκτης αέρα/εδάφους, 2) εναλλάκτης νερού/εδάφους 3)εναλλάκτης αέρα/νερού
- 4)σύστημα ανάκτησης θερμότητας του εξωτερικού αέρα 5) υγραποιητής 6) θέρμανση

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ένα μεγάλο μέρος του προθερμασμένου αέρα το χειμώνα , της τάξεως του 75%, προέρχεται από τη διάχυση της θερμότητας από τους δύο υπόγειους εναλλάκτες. Το υπόλοιπο χάνεται από την ανάκτησης θερμότητας του εξωτερικού αέρα, διάταξη η οποία θα απέδιδε καλύτερα εάν ήταν απ'ευθείας συνδεδεμένη με τον εναλλάκτη αέρα/εδάφους. Η χειμερινή χρήση του εναλλάκτη αέρα / εδάφους / νερού με τον τρόπο που χρησιμοποιήθηκε είχε ως αποτέλεσμα ένα φτωχό θερμικά δίκτυο , αποτέλεσμα όμως που θα μπορούσε να ήταν διαφορετικό εάν το κτίριο διέθετε καλύτερη θερμομόνωση.



εγκατάσταση εναλλάκτη νερού / εδάφους

Το δυναμικό των υπόγειων εναλλακτών αφορά κυρίως στη θερινή περίοδο, κατά τη διάρκεια της οποίας παρατηρείται η μέγιστη απορρόφηση θερμότητας. Έτσι ακόμη και αν η σύνδεση με το κτίριο εισάγει, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, μία ελαφριά προθέρμανση του φρέσκου αέρα, αυτός εν τέλει εισέρχεται στο κτίριο σε πολύ σταθερές θερμοκρασίες. Τις ώρες του καύσωνα, όπου η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 26οC, ο φρέσκος αέρα στην έξοδο του εναλλάκτη αέρα/εδάφους δεν ξεπερνά τους 22 οC ενώ στην έξοδο του τελικού εναλλάκτη αέρα/εδάφους/νερού η θερμοκρασία του αέρα δεν ξεπερνά τους 20 οC.

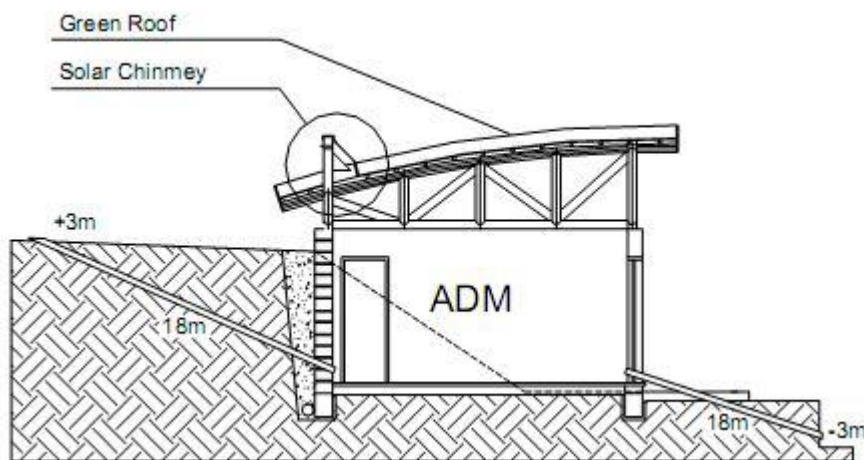
8.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 5 Μικρό σχολείο στο Viamao, Βραζιλία

Κατά τη διάρκεια του 2005 , χτίστηκε ένα μικρό σχολείο για βιοτεχνικές εργασίες στο Viamao στη μητροπολιτική περιοχή του Porto Alegre στην βόρεια Βραζιλία ως αποτέλεσμα της συνεργασίας ενός ιδιωτικού θεσμού και του UFRGS. Το κτίριο αυτό έκτασης μόλις 45 m² , χτίστηκε σ' ένα επίπεδο, διαθέτει μία κεντρική αίθουσα διδασκαλίας, ένα μικρό γραφείο και μία τουαλέτα στην ανατολική και στην δυτική του πλευρά αντίστοιχα. Το σχολείο αυτό σχεδιάστηκε από μία ομάδα μεταπτυχιακών φοιτητών (NORIS) για εργασίες πάνω σε θέματα βιώσιμων κατασκευαστικών τεχνικών.

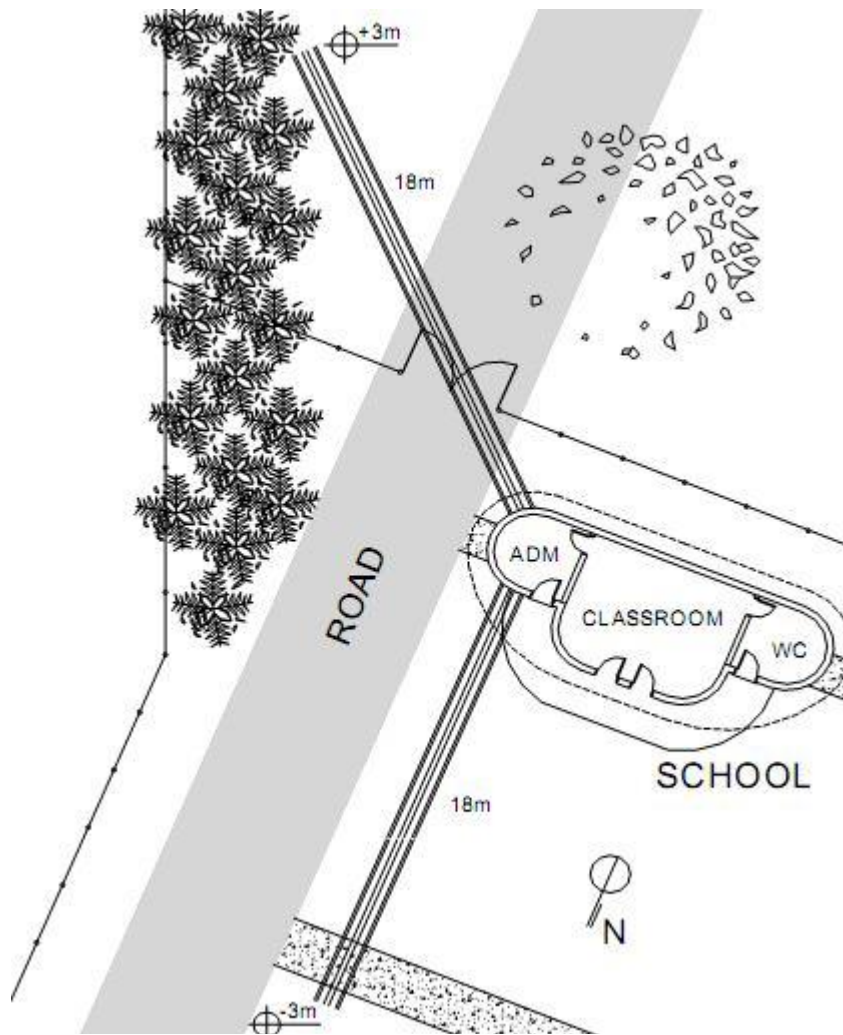


Εκτός των γεωθερμικών συστημάτων που κατασκευάστηκαν, αξιοσημειώτες είναι οι γενικότερες τεχνικές βιοκλιματικού σχεδιασμού που εφαρμόστηκαν για την βελτίωση της παθητικής θερμικής απόδοσης του κτιρίου. Η εγκατάσταση του έγινε αντίθετα από την φυσική κλίση του εδάφους με αποτέλεσμα την πλήρη ενσωμάτωση αυτού με την τοπογραφία της περιοχής. Ταυτόχρονα υιοθετήθηκε τέτοιος προσανατολισμός έτσι η κύρια πρόσοψη να συναντά τον ήλιο και σε συνδυασμό με μεγάλα παράθυρα να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση του φωτός και της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη χειμερινή περίοδο. Η κατασκευή ηλιακής καμινάδας στην οροφή του γραφείου και

της τουαλέτας εξασφάλισε την κυκλοφορία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου κατά τη διάρκεια υπάνεμων ημερών ή μειωμένης φυσικής συναγωγής. Επιπλέον, η πράσινη οροφή πάχους 20cm, με τους μεγάλους πάχους τοίχους και την εδαφική μάζα στην νότια πλευρά του, κατασκευάστηκαν με σκόπο να επιτρέψουν την εξέλιξη της επιρροής των υπόγειων αγωγών που θα περιγραφούν παρακάτω. Όσον αφορά την εκμετάλλευση της θερμότητας του εδάφους, εγκαταστάθηκαν δύο έμμεσα γεωθερμικά συστήματα στο κτίριο. Με τον ένα επιτυγχάνεται η άντληση νερού από γειτονικό υδροφορέα παράλληλα με τη λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας. Με το άλλο σύστημα πρόκειται για υπόγειους αεραγωγούς, έγινε προσπάθεια εξομάλυνσης των διακυμάνσεων του εξωτερικού αέρα. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν έξι αγωγοί εκ των οποίων οι 4 διαμέτρου 100mm και οι δύο 200mm. Εκμεταλλεζόμενοι της υφιστάμενης κλίσης του εδάφους διαχωρίστηκαν σε καθοδικούς και ανοδικούς. Όπως φαίνεται και στην εικόνα του οι αγωγοί είναι μεταβλητού βάθους μέχρι τη σύνδεση με το κτίριο στην βόρεια και νότια πλευρά.



Τομή



Κάτοψη

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η περίοδος παρακολούθησης χαρακτηρίζεται από υψηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας με κατά περιόδους συννεφιάς. Η εξωτερική ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζε τακτική κυκλική συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της ημέρας, όπου σημειώνονται και οι μέγιστες τιμές, ενώ ηρεμία επικρατεί κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η μέση ταχύτητα του ανέμου ήταν 0,8 vol / s με μέγιστη τιμή 4,8 vol / s. Η εξωτερική θερμοκρασία ήταν σχετικά υψηλή, κυμαινόμενη από 18 ° C με 29,2 ° C, αγγίζοντας το μέγιστο των 39,7 ° C. Οι εσωτερικές μετρήσεις, ωστόσο, έδειξαν ότι η θερμοκρασία του αέρα

κυμάνθηκε ως επί το πλείστον μεταξύ 21,8 ° C και 25,7 ° C με μέγιστο τιμή 30,0 ° C. Επιπλέον, αξιοσημειώτες είναι και οι υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας που καταγράφηκαν με μέσο όρο 71,4% και 81,1% στο εξωτερικό και στο εσωτερικό αντίστοιχα. Ο ρόλος των αεραγωγών ήταν σαν ρυθμιστής των εσωτερικών θερμοκρασιών του κτιρίου. Όταν η θερμοκρασία του δωματίου ήταν χαμηλότερη από την εξωτερική, ο αέρας θερμαίνεται στο εσωτερικό των αγωγών με μέση θερμοκρασιακή άνοδο 3,8 ° C ενώ στην αντίθετη περίπτωση ψύχεται επιτυγχάνοντας μέση πτώση θερμοκρασίας 1,9 ° C. Συνοπτικά, το έδαφος, μέσω των αγωγών, έψυξε τον αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και τον θερμαίνει κατά την διάρκεια της νύχτας. Το γεγονός αυτό φυσικά εξηγείται από ότι το έδαφος διαθέτει πολύ μεγαλύτερη θερμική μάζα από αυτή των κατασκευών και κατ'επέκταση εξασφαλίζεται επιτυχής εναλλαγή θερμοκρασίας μεταξύ του αέρα και του εδάφους. Συμπερασματικά, μέσω των αεραγωγών επιτεύχθηκε η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Επιπλέον, κρίνοντας το γεγονός ότι τα επίπεδα της υγρασίας στο εσωτερικό παραμένουν σταθερά σε αντίθεση με τις μεγάλες εξωτερικές διακυμάνσεις, προκύπτει ότι οι αεραγωγοί δεν συνεισφέρουν με αρνητικό τρόπο στην υγρασία του αέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γρηγόριος Ι.Καρυδάκης, ''Γεωθερμική Ενέργεια'', Αθήνα, 2005
2. Αναστασία Μπένου, ''Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας'', ΚΑΠΕ, 2009
3. Βουρδουμπάς Ιωάννης, ''Εφαρμογές των γεωθερμικών αντλιών στα κτίρια'', ΤΕΙ Κρήτης, Τμήμα Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος
4. Φυτίκας, Μ., Ανδρίτσος, Ν., (2004). Γεωθερμία. Εκδόσεις Τζιόλα.
5. ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ. (2011). *Η πρόοδος προς την επίτευξη του στόχου για την ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές το 2020*
6. European Geothermal Energy Council. (2011). *Deep Geothermal Market Report 2011.*
7. Greenpeace International. (2011). *Energy [R]evolution vs. IEA World Energy Outlook scenario 2011.*
8. European Geothermal Energy Council. (2011). *Deep Geothermal Market Report 2011.*
9. Mihalakakou G., J. O. Lewis, M. Santamouris (1996), '' *The influence of different ground covers on the heating potential of earth-to-air heat exchangers*'' Renewable Energy, Vol. 7, No. 1, pp. 3346,
10. Ολυμπία Πολύζου (2007), Γεωθερμία, βιώσιμη ανάπτυξη και τοπικές κοινωνίες, Διδακτορική Διατριβή στο τμήμα Μεταλλείων- Μεταλλουργών Μηχανικών Ε.Μ.Π.
11. Δίας Χαραλαμπίδης, Γεωθερμική ενέργεια - σημειώσεις, Τμήμα περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
12. Γκαρδιάκος, Χ., (2010). Αξιοποίηση της Γεωθερμίας για Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας. Διπλωματική Εργασία στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π. *Επιβλέπων: Καθ. Αρθούρος Ζερβός*

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

<http://www.energy.ca.gov/geothermal/>
<http://www.eere.energy.gov/>
<http://www.egec.net/>
<http://www.geothermie.de/>
<http://www.energia.gr/>
<http://www.jardhitafelag.is/english/>
<http://www.geo-energy.org/>
<http://geothermal.marin.org/>
<http://geocen.iyte.edu.tr/>
<http://www.geoexchange.org/>
<http://www.thermia.com/>
<http://www.cres.gr/kape/index.htm>
<http://www.rae.gr>
<http://www.geothermal-energy.org/index.php>