



**ΤΕΙ Κρήτης**  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

# Θέρμανση θερμοκηπίου με χρήση αβαθούς γεωθερμίας

---



**Όνοματεπώνυμο Σπουδαστή:** Δαμβουνέλης Θωμάς  
**Αριθμός Μητρώου Σπουδαστή:** 5659  
**Επιβλέπων Καθηγητής:** Κατσαπρακάκης Δημήτριος

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2017**

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	5
Abstract .....	6
1. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ.....	7
1.1 Ορισμός γεωθερμίας.....	7
1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμίας.....	9
1.3 Ιστορική αναδρομή.....	12
1.4 Εφαρμογές σήμερα .....	13
1.4.1 Θερμική Παραγωγή.....	14
1.4.2 Τηλεθέρμανση .....	15
1.4.3. Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών .....	15
1.4.4 Γεωργία – Κτηνοτροφία .....	16
1.4.5 Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες.....	17
1.4.6 Βιομηχανικές εφαρμογές .....	17
1.4.7 Θέρμανση πισινών – Ιατρικές εφαρμογές.....	18
1.4.8 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού .....	18
1.4.9 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	19
1.5 Νομοθεσία.....	21
2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ .....	25
2.1 Θερμοκήπιο .....	25
2.1.1 Κατασκευαστικές δυνατότητες .....	26
2.1.2 Εξαερισμός και σκίαση .....	28
2.1.3 Έλεγχος θερμοκρασίας.....	29
2.2 Θερμοκηπιακές καλλιέργειες.....	30
2.3 Θέρμανση Θερμοκηπιων.....	34
2.3.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης.....	34
2.3.1.1 Τοπικά συστήματα θέρμανσης.....	34
2.3.1.2 Κεντρικά συστήματα θέρμανσης.....	37
2.3.2 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης.....	37
2.3.2.1 Βιομάζα.....	37
2.3.2.2 Ηλιακά συστήματα .....	38
2.3.2.3 Αντλίες Θερμότητας και η αρχή λειτουργίας τους.....	38
3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ .....	39
3.1 Γεωεναλλάκτες .....	39

3.1.1 Γεωεναλλάκτες Ανοιχτού Κυκλώματος.....	40
3.1.2 Γεωεναλλάκτες Κλειστού Κυκλώματος.....	42
3.1.2.1 Οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα.....	42
3.1.2.2 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα .....	43
3.2 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Γ.Α.Θ).....	44
3.2.1 Αρχές λειτουργίας-Βαθμός επίδοσης .....	46
3.2.2 Τύποι αντλιών θερμότητας.....	49
3.2.3 Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας.....	51
3.3 Συστήματα Διανομής Θερμικών και Ψυκτικών Φορτίων.....	52
3.3.1 Ενδοδαπέδια Θέρμανση.....	53
3.3.2 Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας (Fan Coils).....	55
3.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ .....	56
3.4.1 Διαστασιολόγηση του συστήματος .....	56
3.4.2 Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη.....	58
3.5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	59
4. PROJECT ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟ ΡΕΘΥΜΝΟ ΚΡΗΤΗΣ.....	60
4.1 Μορφολογία Εδάφους Ρέθυμνου.....	60
4.2 Καλλιέργεια του Θερμοκηπίου .....	60
4.3 Περιγραφή θερμοκηπίου.....	61
4.4 Υπολογισμός των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων.....	62
4.4.1. Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα .....	63
4.4.1.1 Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας .....	64
4.4.1.2 Η θερμική αντίσταση του υλικού .....	64
4.4.1.3 Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας.....	65
4.4.2. Απώλειες από διαφυγές του αέρα .....	66
4.4.3 Υπολογισμός των συνολικών απωλειών .....	66
4.5 Υπολογισμός Διαστασιολόγησης Οριζοντίου γεωεναλλάκτη.....	67
4.5.1 Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας .....	67
4.6 Κοστολόγηση Γεωθερμικού Συστήματος Θερμοκηπίου.....	71
4.6.1 Κοστολόγηση Κλειστού Γεωθερμικού Συστήματος .....	72
4.7 Σύγκριση Ενεργειακής Ανάλυσης και Κόστους Λειτουργίας.....	73
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	76



## Περίληψη

Η χώρα μας έχει πλούσια γεωθερμική ενέργεια και αυτό είναι ευκαιρία ανάπτυξης για την ελληνική γεωργία. Σε διάφορα μέρη της Ελλάδας έχουν βρεθεί πεδία υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας. Ειδικά τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας που είναι διασκορπισμένα σε ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση θερμοκηπίων προσφέροντας φθηνή ενέργεια σε θερμοκηπιακές καλλιέργειες. Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της γεωθερμίας και κάποιες γενικές πληροφορίες για αυτή την ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Επίσης παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή, τότε χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά και πως εξελίχθηκε μέχρι τις μέρες μας. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι τρόποι θέρμανσης ενός θερμοκηπίου. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης μιας θερμοκηπιακής μονάδας. Καθώς επίσης αναφέρεται στην διαστασιολόγηση και το κόστος λειτουργίας του. Και τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο αφορά το πρότζεκτ μιας γεωθερμικής θερμοκηπιακής μονάδας στην ευρύτερη περιοχή του Ρεθύμνου καθώς και την επιλογή του κατάλληλου γεωθερμικού συστήματος.

Λέξεις κλειδιά : Γεωθερμική θέρμανση, Γεωθερμική αντλία θερμότητας, Συστήματα Γεωθερμίας.

## **Abstract**

Greece has an abundance of geothermal energy resources which in term are favourable to potential agricultural development. High, average and low enthalpy sources of geothermal energy have been discovered throughout Greece. In particular, low enthalpy geothermal sources are widespread and can be exploited as a low cost energy source for greenhouse cultivation. The first chapter defines the term geothermal energy and provides general information on geothermal energy as a source of renewable energy. Also presented is a history of geothermal energy tracing it from when it was first utilized through its evolution to the present. In the second chapter the methods of geothermal heating of greenhouses are examined. Chapter three analyzes the geothermal system of a greenhouse unit. It also examines dimensioning and provides an evaluation of the running cost of the unit. Finally, the fourth chapter provides an example of a greenhouse unit in the Rethymno area of Crete and selection of the most suitable geothermal system for it.

Key Words: Geothermal heating, Geothermal heat pump, Geothermal System

## 1. ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

### 1.1 Ορισμός γεωθερμίας

Γεωθερμία ονομάζεται η ενέργεια η οποία προέρχεται από το εσωτερικό της γης, συνήθως με μορφή ατμών, νερών, αερίων ή μειγμάτων αυτών ή ακόμη και ως ενέργεια από τα πετρώματα και αποτελεί μια σημαντική Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (Α.Π.Ε). Είναι μια φυσική ενέργεια της γης όπου το θερμό εσωτερικό του πλανήτη διαρρέεται προς την επιφάνεια.

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δυο τρόπους:

1. Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό  $0,04 - 0,06 \text{ W/m}^2$
2. Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω υδροθερμικών και ηφαιστειακών φαινομένων.

Η θερμότητα που περιέχεται στο εσωτερικό της γης αποτελεί την γεωθερμική ενέργεια και είναι τόσο μεγάλη ώστε μπορεί να θεωρηθεί πρακτικά ανεξάντλητη μορφή ενέργειας για τα ανθρώπινα μέτρα. 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 έως 150 m. και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% από τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) από τη γήινη επιφάνεια και που στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή ( $10-18 \text{ }^\circ\text{C}$ ) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , το καλοκαίρι για ψύξη νερού κλιματισμού έως  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

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.

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.

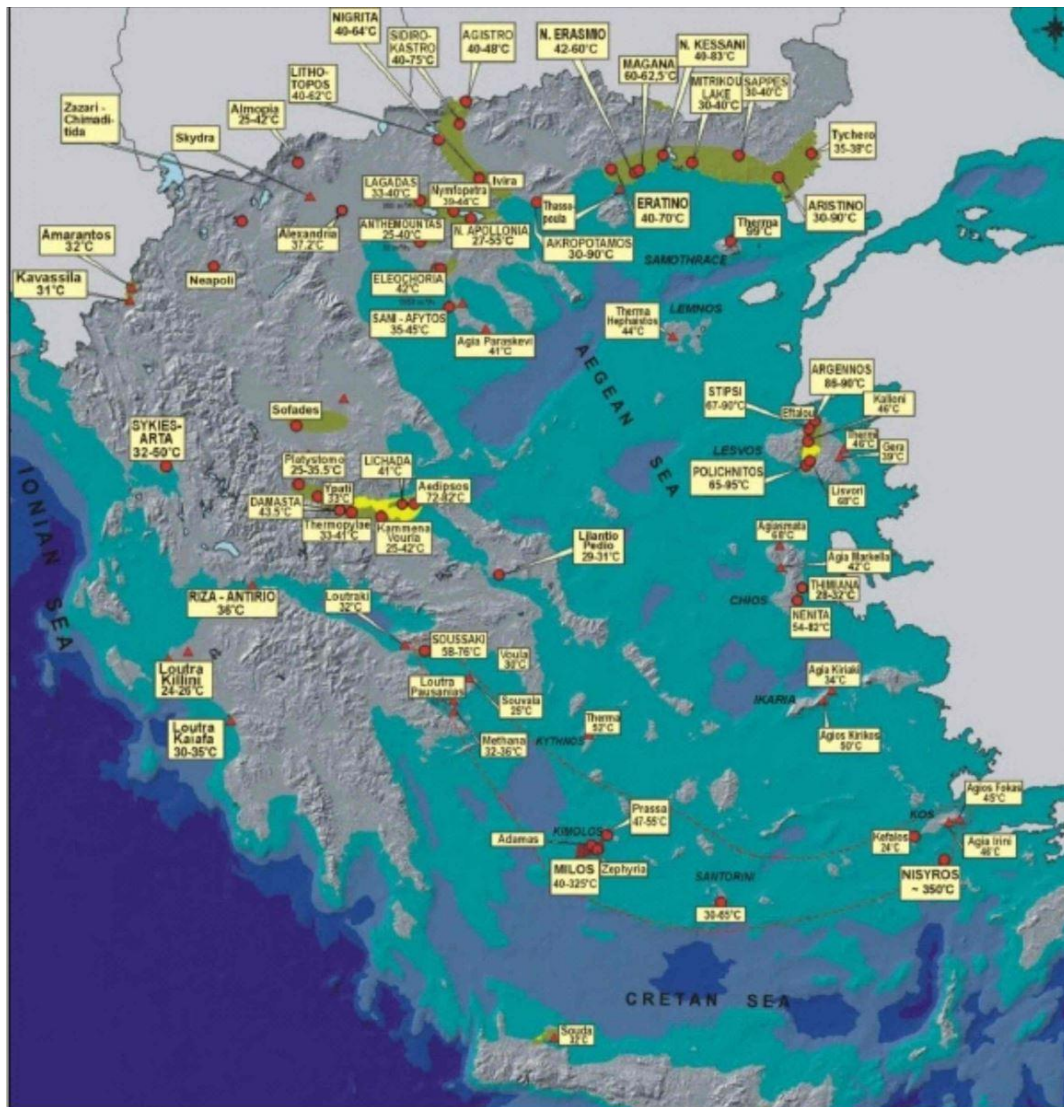
Οι περιοχές της γης όπου υπάρχουν γεωθερμικά ρευστά (δηλαδή νερό, αέρια ή μίγμα νερού και αερίων) σε ικανοποιητική ποσότητα, θερμοκρασία και βάθος ονομάζονται γεωθερμικά πεδία. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο τους διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

1. Υψηλής Ενθαλπίας (>150 °C) που χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού.
2. Μέσης Ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).
3. Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως 80°C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού 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 Ελλάδα είναι πολύ ευνοημένη γεωθερμικά. Γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας έχουν εντοπισθεί στη Νίσυρο και Μήλο, με ρευστά θερμοκρασίας μέχρι 325 και 350°C αντίστοιχα, ενώ περιοχές ευνοϊκές για τον εντοπισμό γεωθερμικών ρευστών μέσης ή και υψηλής ενθαλπίας είναι η Κίμωλος, η Σαντορίνη, η Κως, η Λέσβος, η Χίος, η Σαμοθράκη, το Σουσάκι Κορινθίας κ.ά.





Εικόνα 1 Γεωθερμικές περιοχές Ελλάδας

## 1.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της γεωθερμίας

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και με μειονεκτήματα της γεωθερμίας.

- Δροσιά χωρίς κόστος το καλοκαίρι και ζεστό νερό χειμώνα και καλοκαίρι.
- Αθόρυβη λειτουργία. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για να είναι σχεδόν αθόρυβες. Θα λειτουργούν πιο αθόρυβα και από το ψυγείο.
- Ενέργεια σε ελάχιστο κόστος. Λόγω της χαμηλής κατανάλωσης και της σχεδόν ανύπαρκτης συντήρησης του εξοπλισμού, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού μπορούν να εξοικονομήσουν από 55% μέχρι και 70% από την ετήσια δαπάνη σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης και δροσισμού. Το μόνο λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης είναι η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον συμπιεστή και τις αντλίες, το οποίο είναι οικονομικότερο σε σχέση με τη χρήση λέβητα πετρελαίου κατά 20-25%

- Απόδοση, ένα γεωθερμικό σύστημα είναι τρεις έως πέντε φορές αποδοτικότερο από ένα συμβατικό σύστημα. Επειδή δεν καίει ορυκτά καύσιμα για να παράγει θερμότητα, παρέχει τρεις έως πέντε μονάδες ενέργειας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που τροφοδοτεί το σύστημα
- Ευελιξία, Άνεση και Αυτονομία, τα γεωθερμικά συστήματα παράγουν θέρμανση και δροσισμό σε μια εγκατάσταση, με αποτέλεσμα να καταργούν το συμβατό τρόπο θέρμανσης, τους πύργους δροσισμού και τα κλιματιστικά διαιρούμενου τύπου. Παρουσιάζουν ευελιξία στην αυτονομία, σε μελλοντικές επεκτάσεις και σε διαθεσιμότητα χώρου. Έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και είναι αξιόπιστα σε ακραίες συνθήκες θέρμανσης και δροσισμού.
- Ασφάλεια, με ένα σύστημα γεωθερμίας, δεν υπάρχει καύση και φλόγα, δεν υπάρχουν καπνοί, καπναγωγοί και οσμές. Δεν υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης, φωτιάς ή ασφυξίας από το μονοξείδιο.

Επίσης η γεωθερμική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας η όποια είναι φιλική προς το περιβάλλον με πολύ μικρές έως και μηδαμινές περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της. Με τη χρήση της τεχνολογίας όμως, μπορούν να αντιμετωπιστούν και κάποιες περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις που υπάρχουν. Παρακάτω αναγράφονται τα κύρια πλεονεκτήματα της γεωθερμικής ενέργειας:

- Είναι διαθέσιμη μέρα και νύχτα όλο το χρόνο και δεν επηρεάζεται από καιρικές συνθήκες.
- Αναπτύσσεται σε πεδινές περιοχές με άριστες συνθήκες αξιοποίησης στη σύγχρονη γεωργία, αγροτοβιομηχανία, ιχθυοκαλλιέργεια, αστικές και βιομηχανικές χρήσεις κλπ.
- Προσφέρεται έτοιμη σαν θερμικό προϊόν. Δεν μπορεί να μεταφερθεί μακριά, άρα θα πρέπει να αξιοποιηθεί επί τόπου από τις παραγωγικές δυνάμεις.
- Μπορεί να συμβάλλει στην αγροτουριστική και οικοτουριστική ανάπτυξη.
- Λόγω της αυξημένης θερμικής ροής της περιοχής μπορεί να γίνει χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμικής ενέργειας:

- Συνεχόμενη παροχή ενέργειας με υψηλό συντελεστή λειτουργίας >90%.
- Μικρό λειτουργικό κόστος, αν και το κόστος εγκατάστασης είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.
- Δεν παράγει επικίνδυνα αέρια καύσης (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> κλπ), ούτε σωματίδια, ούτε τέφρα, ούτε καπνό.

- Μικρή απαίτηση γης για την αξιοποίηση της (εγκατάσταση μονάδας, χώρος γεωτρήσεων, σωληνώσεις μεταφοράς κτλ) συγκριτικά με αυτή που απαιτείται από ατμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς σταθμούς κτλ.
- Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του πρωτόκολλου του Κιότο.
- Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό εισαγωγών ορυκτών καυσίμων.

Για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας συναντά ορισμένα βασικά προβλήματα τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά, που σχετίζονται άμεσα με την ιδιάζουσα χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών, είναι:

- Ορισμένες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους και εκπομπές τοξικών αερίων κυρίως του υδρόθειου.
- Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό. Ο σχηματισμός επικαθίσεων σε γεωθερμικές μονάδες μπορεί να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό, αν όχι ολοκληρωτικά, με μια πληθώρα τεχνικών και μεθόδων. Μερικές τυπικές πρακτικές είναι να γίνεται σωστός σχεδιασμός της μονάδας και η επιλογή των κατάλληλων συνθηκών λειτουργίας της. Να ρυθμίζεται το pH του ρευστού, να απομακρύνονται τα σχηματιζόμενα στερεά με χημικά ή φυσικά μέσα στη διάρκεια προγραμματισμένων ή όχι διακοπών λειτουργίας της μονάδας, καθώς και να γίνεται η προσθήκη χημικών ουσιών (αναστολέων δημιουργίας επικαθίσεων).
- Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών. Οι δυνατότητες ελέγχου της διάβρωσης στις γεωθερμικές μονάδες επικεντρώνονται στο να γίνεται η σωστή επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής να πραγματοποιηθεί επικάλυψη των μεταλλικών επιφανειών με ανθεκτικά στη διάβρωση στρώματα, πρόσθεση αναστολέων διάβρωσης, τέλος και κυριότερο ο σωστός σχεδιασμός της μονάδας.

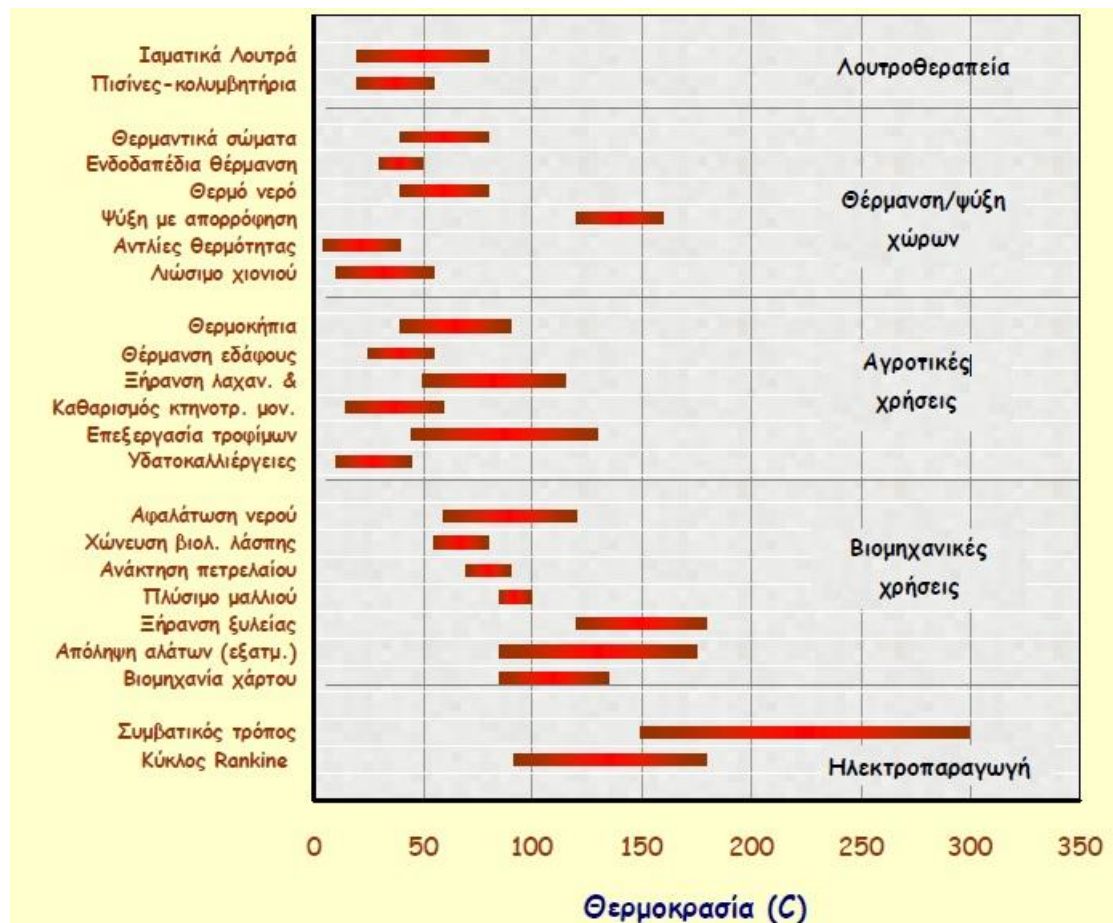
### 1.3 Ιστορική αναδρομή

Στο παρελθόν η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας περιοριζονταν σε περιοχές όπου οι γεωλογικές συνθήκες επέτρεπαν σε ένα μέσο (νερό σε υγρή ή αέρια φάση) να μεταφέρει τη θερμότητα από τις βαθιές θερμές ζώνες στην επιφάνεια ή κοντά σε αυτήν. Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν οι γεωθερμικοί πόροι. Με το πέρασμα των χρόνων και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και για την εκμετάλλευση της θερμότητας του υπεδάφους (αβαθής γεωθερμία).

Μία από τις αρχαιότερες πηγές πρωτογενούς ενέργειας που εκμεταλλεύθηκε ο άνθρωπος είναι η γεωθερμική ενέργεια. Σύμφωνα με την αρχαία ελληνική ιστορία αρκετοί ιεροί χώροι βρίσκονταν κοντά σε θερμές πηγές. Άλλοι αρχαίοι λαοί, όπως οι Ετρούσκοι και οι Ρωμαίοι, αξιοποιούσαν τις θερμικές και ιαματικές ιδιότητες των ζεστών πηγών. Τα φυσικά λοιπόν θερμά ρευστά χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά, κυρίως για τις θεραπευτικές τους ιδιότητες, σπάνια για τις ενεργειακές του δυνατότητες. Οι σύγχρονες τεχνολογικές εξελίξεις επέτρεψαν, κατά τον προηγούμενο κυρίως αιώνα, την απόληψη της γεωθερμικής θερμότητας. Στη σύγχρονη εποχή, η πρώτη βιομηχανική αξιοποίηση της γεωθερμίας πραγματοποιήθηκε στο Larderello της Ιταλίας στις αρχές του 1900, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρώτη συστηματική αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων και κτηρίων ξεκίνησε στη δεκαετία του 1920 στην Ισλανδία. Ουσιαστικά όμως, το 1955 στη Ν. Ζηλανδία, άρχισε η εμπορική γεωθερμική ανάπτυξη. Στην Ελλάδα οι εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας ξεκίνησαν να εμφανίζονται από το 1990 και μετέπειτα. 22 Σήμερα ο συνολικός αριθμός των χωρών σε παγκόσμιο επίπεδο, που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για θερμικούς σκοπούς, υπερβαίνει τις 60. Κατά το έτος δε 2000 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για άμεσες χρήσεις ήταν 15145 MWt, ενώ για παραγωγή ηλεκτρισμού 7975 MWt (Lund and Freeston, 2001, Huttner, 2001). Ιδιαίτερα πρέπει να σημειωθεί ότι σε ολόκληρη την πόλη Ρέικγεβικ (Reykjavik) της Ισλανδίας και στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας αυτής, η θέρμανση κτιρίων γίνεται με χρήση γεωθερμικής ενέργειας. Τέλος σημειώνεται ότι στην Κίνα το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας που χρησιμοποιείται, παρέχεται για τη θέρμανση χώρων. Όσον αφορά την Ευρώπη, υπάρχουν 28 <> ενεργές χώρες με εφαρμογές άμεσων χρήσεων και 5 χώρες με γεωθερμική ηλεκτροπαραγωγή (Ιταλία, Ισλανδία, Γαλλία, Αυστρία και Πορτογαλία), με εγκατεστημένη ισχύ 971 MWe και παραγωγή 5635 GWh το χρόνο ηλεκτρικής ενέργειας (Huttner, 2001).

## 1.4 Εφαρμογές σήμερα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι η πιο σημαντική μορφή αξιοποίησης των γεωθερμικών πόρων υψηλής θερμοκρασίας (>150 °C). Οι μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας πόροι (<150 °C) είναι κατάλληλοι για πολλούς και διαφορετικούς τύπους εφαρμογών. Το κλασικό διάγραμμα του Lindal (Εικόνα 2-7), το οποίο δείχνει τις πιθανές χρήσεις των γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους, ισχύει ακόμη μέχρι σήμερα. Οι περισσότερο καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Στο κάτω μέρος του διαγράμματος Lindal ο κορεσμένος ατμός χρησιμοποιείται αποκλειστικά στην παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών. Θα πρέπει να τονιστεί ότι διάγραμμα Lindal δεν περιορίζει το είδος των δυνατών χρήσεων, ούτε πρέπει να ληφθούν αυστηρά υπόψη τα όρια των θερμοκρασιών που θέτει.



Εικόνα 2 Διάγραμμα Lindal

Το διάγραμμα Lindal σε μια άλλη έκδοσή του (Πίνακα 1) δίνει μία πρώτη εικόνα του φάσματος των εφαρμογών στις οποίες είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν άμεσα τα γεωθερμικά ρευστά, ανάλογα με τη θερμοκρασία τους.

Α Τ Μ Ο Σ	180 °C - Εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, Ψύξη με απορρόφηση, Κατεργασία χαρτομάζας	
	170 °C - Παραγωγή βαρέος ύδατος, Ξήρανση διατομών	
	160 °C - Ξήρανση ψαριών, Ξήρανση ξυλείας	
	150 °C - Παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer	
	140 °C - Ξήρανση αγροτικών προϊόντων, Κονσερβοποίηση	
	130 °C - Εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, Ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση	
	120 °C - Αφαλάτωση με απόσταξη	
	110 °C - Ξήρανση τσιμεντόλιθων	
	Ζ Ε Σ Τ Ο Ν Ε Ρ Ο	100 °C - Ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων κ.λπ., Πλύσιμο και ξήρανση μαλλισύ
		90 °C - Ξήρανση ψαριών
80 °C - Θέρμανση θερμοκηπίων, Θέρμανση οικισμών		
70 °C - Ψύξη (κατώτερο όριο)		
60 °C - Εκτροπή διάφορων ζώων		
50 °C - Καλλιέργεια μανιταριών, Ιαματικά λουτρά		
40 °C - Θέρμανση εδάφους, Θέρμανση οικισμών (κατώτερο όριο)		
30 °C - Πισίνες, Ζύμωση, Θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών		
20 °C - Ιγθουκαλλιέργειες		

Πίνακας 1: Δυνατές χρήσεις γεωθερμικών ρευστών σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία τους

#### 1.4.1 Θερμική Παραγωγή

Οι άμεσες χρήσεις της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών για θέρμανση είναι οι παλαιότερες, οι πιο πολύπλευρες και οι πλέον συνηθισμένες μορφές αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας. Η λουτροθεραπεία, η θέρμανση χώρων και η τηλεθέρμανση, οι αγροτικές εφαρμογές, οι υδατοκαλλιέργειες και κάποιες βιομηχανικές χρήσεις είναι οι πιο γνωστές μορφές χρήσεις, όμως οι αντλίες θερμότητας αποτελούν την πιο διαδεδομένη μορφή αξιοποίησης (12,5 % της συνολικής χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας κατά το έτος 2000). Υπάρχουν φυσικά και κάποιοι άλλοι μικρότερης κλίμακας τρόποι εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, οι οποίοι όμως δεν είναι τόσο συνηθισμένοι. Στη συνέχεια αναλύονται κάποιες από τις κύριες μη ηλεκτρικές χρήσεις της γεωθερμίας.

### 1.4.2 Τηλεθέρμανση

Η περιφερειακή θέρμανση οικισμών και πόλεων βρίσκει εφαρμογή σε πολλές χώρες. Με την εφαρμογή τηλεθέρμανσης με γεωθερμική ενέργεια δύνανται να δημιουργηθούν ιδιαίτερα ευνοϊκές συνθήκες εκμετάλλευσης διότι η παραγωγή θερμικής ενέργειας εξασφαλίζεται από εγκαταστάσεις χαμηλού κόστους κατασκευής, συντηρήσεως και, κυρίως, λειτουργίας.

Τα γεωθερμικά συστήματα τηλεθέρμανσης είναι έντασης κεφαλαίου, δηλαδή απαιτούν μεγάλα αρχικά κεφάλαια. Το κύριο κόστος αφορά την αρχική επένδυση για την κατασκευή των γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, την αγορά των συστημάτων άντλησης και μεταφοράς των ρευστών, την κατασκευή των δικτύων και των σωληνώσεων, την προμήθεια του εξοπλισμού ελέγχου και παρακολούθησης των εγκαταστάσεων, την κατασκευή των σταθμών διανομής και των δεξαμενών αποθήκευσης. Παρόλα αυτά, τα λειτουργικά έξοδα, τα οποία αφορούν στην ενέργεια που καταναλώνεται για την άντληση των ρευστών, τη συντήρηση του συστήματος και η διαχείριση της εγκατάστασης, είναι σημαντικά μικρότερα σε σύγκριση με αυτά μιας συμβατικής μονάδας. Ένας κρίσιμος παράγοντας για τον υπολογισμό του αρχικού κόστους του συστήματος είναι η πυκνότητα του θερμικού φορτίου ή, αλλιώς, οι απαιτήσεις σε θέρμανση δια την επιφάνεια που καλύπτει η περιοχή που πρόκειται να θερμανθεί. Η υψηλή θερμική πυκνότητα καθορίζει την οικονομική βιωσιμότητα-σκοπιμότητα του έργου τηλεθέρμανσης, αφού το δίκτυο διανομής απορροφά μεγάλα κεφάλαια. Κάποια οικονομικά οφέλη θα μπορούσαν να προκύψουν από το συνδυασμό θέρμανσης και ψύξης σε περιοχές όπου οι κλιματικές συνθήκες επιτρέπουν τέτοιες εφαρμογές. Ο συντελεστής φορτίου σε ένα τέτοιο σύστημα ψύξης-θέρμανσης θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτόν που αντιστοιχεί μόνο στη θέρμανση, και η τιμή της ενεργειακής μονάδας πρέπει να είναι κατά συνέπεια χαμηλότερη.

### 1.4.3. Θέρμανση θερμοκηπίων και εδαφών

Οι αγροτικές εφαρμογές της γεωθερμίας συνίσταται κυρίως στις ανοιχτές καλλιέργειες και τη θέρμανση θερμοκηπίων. Το θερμό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις ανοιχτές καλλιέργειες για την άρδευση τους και την 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. Η βέλτιστη λύση φαίνεται ότι 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.

Η πιο συνηθισμένη γεωθερμική εφαρμογή στον αγροτικό τομέα είναι η θέρμανση θερμοκηπίων, η οποία αναπτύχθηκε ιδιαίτερα σε πολλές χώρες. Η εκτός εποχής καλλιέργεια κηπουρικών, οπωρικών και ανθοκομικών προϊόντων ή η ανάπτυξή τους σε περιοχές με μη ευνοϊκές κλιματολογικές συνθήκες, μπορεί σήμερα να βασιστεί σε μια ευρέως εφαρμοσμένη

τεχνολογία. 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:

1. με εναέριους, επιδαπέδιους σωλήνες ή με σωλήνες τοποθετημένους μέσα στο χώμα (σε βάθος 5-20 cm)
2. με εναλλάκτη αέρα – γεωθερμικού νερού ή νερού λειτουργίας (αερόθερμο),
3. με τοποθέτηση θερμαντικών σωμάτων στα πλευρικά τοιχώματα του θερμοκηπίου,
4. με ψεκασμό της οροφής του θερμοκηπίου με γεωθερμικό υγρό ή διέλευση υγρού στα διπλά τοιχώματα της οροφής (κυρίως για αντιπαγετική προστασία)
5. με συνδυασμό των προηγούμενων τρόπων

Τα πιο απλά θερμοκήπια κατασκευάζονται από μονά φύλλα πλαστικού, όμως τελευταίως χρησιμοποιούνται και διπλά στρώματα πλαστικών, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένα κενό αέρος. Με το σύστημα αυτό μειώνονται οι θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα σε ποσοστό μέχρι και 30-40%, οπότε αυξάνεται σημαντικά η απόδοση του θερμοκηπίου. Η θέρμανση ενός θερμοκηπίου μπορεί επίσης να επιτευχθεί με εξαναγκασμένη κυκλοφορία αέρα στους εναλλάκτες θερμότητας, στους σωλήνες ή τους αγωγούς θερμού νερού που βρίσκονται τοποθετημένοι μέσα ή πάνω στο έδαφος, στα θερμαντικά σώματα κατά μήκος των πλευρικών τοιχωμάτων και κάτω από τους πάγκους ή με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων. Η χρήση των γεωθερμικών ρευστών για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου μειώνει σημαντικά τα λειτουργικά του έξοδα, τα οποία σε κάποιες περιπτώσεις φτάνουν το 35% του κόστους παραγωγής (οπωρικά, άνθη, διακοσμητικά φυτά και δενδρύλλια). Η θέρμανση θερμοκηπίων από τη γεωθερμία στην Ευρώπη αντιστοιχεί σε 1.072,9 MWth, πάνω από το 75% του συνόλου παγκοσμίως. Η πλειοψηφία των εφαρμογών βρίσκεται στην Ουγγαρία (196,7 MWth), την Τουρκία (192 MWth), τη Γεωργία (165,7 MWth) και τη Ρωσία (160 MWth). Η Ελλάδα βρίσκεται στη 10η θέση των κρατών της Ευρώπης (Σχήμα 2.7), με εγκατεστημένη ισχύ 22,2 MWth. Συνολικά καλλιεργούνται περίπου 229,7 στρέμματα με κηπευτικά και ανθοκομικά προϊόντα μέσα σε θερμοκήπια, τα οποία είναι καλυμμένα είτε με πλαστικό, είτε με γυαλί. Τα θερμοκήπια αυτά βρίσκονται κυρίως στη Βορειοανατολική Ελλάδα και τη Λέσβο.

#### 1.4.4 Γεωργία – Κτηνοτροφία

Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας στην γεωργία και την κτηνοτροφία, γίνεται συνήθως σε ανοικτές καλλιέργειες. Το θερμό νερό χρησιμοποιείται στις καλλιέργειες αυτές 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 αξιολογη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους θα πρέπει οι μεγάλες ποσότητες νερού να έχουν θερμοκρασία τόσο χαμηλή ώστε να μην προκαλούν ζημιές στις αρδευόμενες καλλιέργειες. Η



βέλτιστη λύση φαίνεται ότι είναι ο συνδυασμός θέρμανσης εδάφους και άρδευσης.

Τα γεωθερμικά νερά καθώς και η χημική τους σύσταση, θα πρέπει να εξετάζονται και να παρακολουθούνται προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται τυχόν βλαβερές συνέπειες στα φυτά.

Ένας τρόπος που θα μπορούσε να αποδειχτεί πιο συμφέρων οικονομικά, από την εκμετάλλευση των γεωθερμικών νερών είναι, μέσα από τη συνδυασμένη χρήση τους σε κτηνοτροφικές μονάδες και γεωθερμικά θερμοκήπια. Η ενέργεια που χρειάζεται για την θέρμανση μιας μονάδας εκτροφής ζώων είναι περίπου το 50% αυτής που απαιτείται για ένα θερμοκήπιο ίδιας έκτασης, 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 καθορισμό και την εξυγίανση των χώρων τους, αλλά και στην ξήρανση των αποβλήτων τους.

#### 1.4.5 Υδατοκαλλιέργειες – Ιχθυοκαλλιέργειες

Η ανάπτυξη των περισσότερων ψαριών (χέλια, λαβράκια, τσιπούρες κ.ά.), των θαλάσσιων μαλακόστρακων (π.χ. γαρίδες) και ερπετών με εμπορική αξία (π.χ. αλιγάτορες) είναι πολύ μεγαλύτερη σε θερμοκρασίες νερού 20-30°C.

Η γεωθερμία μπορεί να προσφέρει και ήδη το κάνει, με οικονομικό τρόπο στη θέρμανση του νερού σε υδατοκαλλιέργειες συγκεκριμένων ειδών. Οι τρόποι θέρμανσης είναι είτε άμεσα, με την απευθείας εισαγωγή του γεωθερμικού νερού στις δεξαμενές ή λιμνούλες ανάπτυξης, είτε έμμεσα, ύστερα από τη θέρμανση γλυκού ή θαλασσινού νερού. Για την άμεση χρήση του γεωθερμικού νερού χρειάζεται να μην υπάρχουν τοξικά συστατικά στο νερό (δηλ. βαρέα μέταλλα, υδρόθειο, αρσενικό κ.ά.).

Οι απώλειες θερμότητας μιας δεξαμενής υδατοκαλλιέργειας που δεν είναι καλυμμένη και βρίσκεται εκτεθειμένη στο περιβάλλον, οφείλονται στους παρακάτω λόγους: α) εξάτμιση από την ανοικτή επιφάνεια, β) συναγωγή, γ) ακτινοβολία και δ) αγωγή. Η εξάτμιση είναι η κύρια αιτία απώλειας θερμοκρασίας και συμβαίνει ακόμα κι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Οι μόνες λύσεις για τη μείωση των θερμικών απωλειών είναι ο εγκλεισμός της δεξαμενής με κατασκευή παρόμοια των θερμοκηπίων ή τη κάλυψη της επιφάνειας με πλαστικό φύλλο. Βέβαια, τις πιο πολλές φορές οι λύσεις αυτές δεν είναι και πρακτικές.

Στην κατηγορία των υδατοκαλλιεργειών υπάρχει και η ανάπτυξη ορισμένων φυκιών με εμπορική αξία, όπως η σπιρουλίνα. Σε αυτή τη περίπτωση αξιοποιείται και το διοξείδιο του άνθρακα, που συνήθως περιέχεται στα οξυανθρακούχα γεωθερμικά νερά.

#### 1.4.6 Βιομηχανικές εφαρμογές

Η βιομηχανία είναι ένας τομέας όπου η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να φανεί χρήσιμη και από οικονομικής πλευράς όπως εξίσου και από πλευράς

απόδοσης. Συγκεκριμένα παραδείγματα βιομηχανικών εφαρμογών είναι η λεύκανση λαχανικών, η προπαρασκευή κονσερβοποιημένων τροφών, η εμφιάλωση του νερού και των ανθρακούχων ποτών, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων, η παραγωγή χαρτιού κ.ά. Επίσης, άλλες εφαρμογές για χρήση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής θερμοκρασίας είναι για το λιώσιμο πάγου και αντιπαγωτική προστασία πεζοδρομίων, ως και σχέδια για τη διάλυση της ομίχλης σε κάποια αεροδρόμια.

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 γεινίαση της τελευταίας με το γεωθερμικό πεδίο.

#### 1.4.7 Θέρμανση πισινών – Ιατρικές εφαρμογές

Μια από τις πιο γνωστές χρήσεις της γεωθερμίας σε όλο τον κόσμο είναι η θέρμανση πισινών και οι ιατρικές εφαρμογές. Σήμερα, υπάρχει μια πληθώρα από «λουτρά» και πολλά και στην Ελλάδα, τα οποία χρησιμοποιούν το γεωθερμικό νερό είτε για θεραπευτικούς λόγους είτε για αναζωογόνηση. Όσον αφορά τις θεραπευτικές εφαρμογές, οι δράσεις των γεωθερμικών νερών στον ανθρώπινο οργανισμό διαφέρουν ανάλογα με τη σύστασή τους (μεταλλικά στοιχεία, θερμοκρασία) αλλά και με τον τρόπο χρήσης τους. Οι κυριότερες εφαρμογές είναι: λουτροθεραπεία, ποσιθεραπεία, εισπνοθεραπεία και λασποθεραπεία. Σε ότι έχει να κάνει με εφαρμογές αναζωογόνησης, πρόκειται για λουτροπόλεις με κέντρα υγείας και ομορφιάς, κύριος στόχος των οποίων είναι η ξεκούραση και η ανανέωση του ανθρώπινου οργανισμού.

Στην Ελλάδα η εφαρμογή αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη, με λουτροθεραπευτικά κέντρα σε όλη τη χώρα, με πιο γνωστά αυτά των Θερμοπυλών και της Αιδηψού.

#### 1.4.8 Αφαλάτωση θαλασσινού νερού

Το πρόβλημα της επάρκειας γλυκού νερού είναι αρκετά έντονο σε πολλές περιοχές του κόσμου, όπως και της Ελλάδας. Η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με χρήση γεωθερμικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με τους παρακάτω τρόπους:

- Με απευθείας συμπύκνωση γεωθερμικού ατμού. Μπορεί να εφαρμοσθεί στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας της Μήλου και της Νισύρου.
- Με εξάτμιση θαλασσινού νερού σε συνθήκες μερικού κενού.
- Με τη μέθοδο της αντίστροφης ώσμωσης με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τη γεωθερμία.

Οι βασικές τεχνικές για τη θερμική αφαλάτωση του νερού είναι δύο. Η πρώτη και παλαιότερη μέθοδος είναι η πολυβάθμια εκτονωτική εξάτμιση (MSF) και η δεύτερη μέθοδος είναι η απόσταξη πολλαπλού φαινομένου (MED).

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 γεωθερμικά ρευστά θερμοκρασίας 75°C και παροχής 100m<sup>3</sup> /h επιτυγχάνεται αφαλάτωση 600m<sup>3</sup> /h την ημέρα, σε οκτώ δράσεις, με εκτιμώμενο κόστος επένδυσης 1600€ και κόστος αφαλάτωσης νερού περί το 1€/m<sup>3</sup>. Για να θεωρείται οικονομικά συμφέρουσα μια 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 της αφαλάτωσης με πετρέλαιο.

#### 1.4.9 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Ένας από τους πιο διαδεδομένους τρόπους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση γεωθερμίας αποτελεί η χρήση συμβατικών ατμοστρόβιλων. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών που έχουν υψηλές θερμοκρασίες τουλάχιστον 150 οC. Η μονάδα λειτουργεί με συμπυκνωτές, όπου η πίεση διατηρείται συνεχώς σε χαμηλά επίπεδα ή χωρίς, οπότε γίνεται διάθεση του ατμού στην ατμόσφαιρα. Ο τύπος με ατμοστρόβιλους ατμοσφαιρικής εκτόνωσης είναι απλούστερος και φθηνότερος. Ο ατμός που έρχεται, είτε απευθείας από γεωτρήσεις που παράγουν ξηρό ατμό, είτε από γεωτρήσεις με υγρό ατμό αφού γίνει ο διαχωρισμός του νερού, περνά από τον ατμοστρόβιλο και στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα.

Ένας άλλος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί η χρήση δευτερεύοντος οργανικού ρευστού. Το γεωθερμικό ρευστό χρησιμοποιείται για τη θέρμανση σε έναν εναλλάκτη του δευτερεύοντος ρευστού (νερό και αμμωνία, ισοβουτάνιο, ισοπεντάνιο, CO<sub>2</sub> κτλ.) το οποίο έχει χαμηλότερο σημείο ζέσης σε σχέση με το νερό. Οι ατμοί του δευτερεύοντος ρευστού οδηγούνται αρχικά στον στρόβιλο και στη συνέχεια στον συμπυκνωτή. Τέλος το ρευστό από τον συμπυκνωτή συμπιέζεται και επανεισάγεται πάλι στον εναλλάκτη θερμότητας. Το μεγαλύτερο γεωθερμικό έργο παγκόσμια ευρίσκεται στα Geysers στη Β. Καλιφόρνια. Η εγκατεστημένη ισχύς υπερβαίνει τα 1.300 MW και καλύπτει το 6% της ηλεκτρικής ενέργειας της Β. Καλιφόρνιας. Παρά το μεγάλο γεωθερμικό δυναμικό της Ελλάδας, η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Δεν υπάρχει καμιά εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής θερμοκρασίας (>130 °C) εντοπίζονται στο ηφαιστειακό τόξο του Νότιου Αιγαίου που εκτείνεται από τη νήσο Νίσυρο μέχρι το Σουσάκι - Αγ. Θεοδώρους. Σημαντικότερα απ' αυτά είναι το πεδίο της νήσου Μήλου με απολήσιμο δυναμικό 120 MWe και της Νισύρου με 50 MWe. Έγινε μία πρώτη προσπάθεια με μια πρώτη πιλοτική μονάδα από τη ΔΕΗ στη Μήλο, η οποία προκάλεσε τις αντιδράσεις των κατοίκων της περιοχής αφού επειδή δεν ελήφθησαν τα κατάλληλα μέτρα σημειώθηκε έκλυση στην ατμόσφαιρα κάποιων αερίων, όπως το θείο, που μυρίζει πολύ άσχημα. Οι κάτοικοι

έκλεισαν την πιλοτική μονάδα και επηρέασαν και αυτούς της Νισύρου οι οποίοι με τη σειρά τους δεν επέτρεψαν να γίνει εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής στο νησί. Σήμερα οι κάτοικοι δείχνουν να είναι πιο θετικοί στο ενδεχόμενο εγκατάστασης μιας μονάδας ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία, εφόσον βέβαια υπάρξουν οι κατάλληλες εγγυήσεις σχετικά με την περιβαλλοντική προστασία. Στην Ελλάδα τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας βρίσκονται κυρίως στο νότιο τμήμα της χώρας. Η ανάπτυξη μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και η διασύνδεσή τους στο σύστημα, θα βοηθήσουν στο να αποκατασταθεί, η ανισορροπία που υπάρχει αυτή τη στιγμή καθώς η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος γίνεται κυρίως στη βόρειο Ελλάδα, ενώ η μεγάλη κατανάλωση στα νότια και αυτό αποτελεί μεγάλο πρόβλημα καθώς υπάρχουν απώλειες κατά τη μεταφορά και μεγάλα προβλήματα στην εξισορρόπηση φορτίου. Στον Πίνακα 2. αναφέρονται οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού, καθώς και η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς: και η αύξηση μεταξύ των ετών 1995-2000. Στον ίδιο πίνακα φαίνεται επίσης η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 2003 (8402,21MWe). Η εγκατεστημένη γεωθερμική ηλεκτρική ισχύς στις αναπτυσσόμενες χώρες το 1995 και το 2000 αντιπροσωπεύει αντίστοιχα το 38% και το 47% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος παγκοσμίως. Το 2007 η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με γεωθερμική ενέργεια εφαρμόζονταν σε 24 χώρες και η εγκατεστημένη ισχύς των μονάδων παραγωγής ενέργειας στον κόσμο ανέρχονταν στα 9.735 MWe, σημειώνοντας αύξηση περισσότερων από 800 MWe σε σχέση με το 2005.

Country	Capacity (MW) 2007	Capacity (MW) 2010	Capacity (MW) 2013	Capacity (MW) 2015
 USA	2687	3086	3389	3450
 Philippines	1969.7	1904	1894	1870
 Indonesia	992	1197	1333	1340
 Mexico	953	958	980	1017
 New Zealand	471.6	628	895	1005
 Italy	810.5	843	901	916
 Iceland	421.2	575	664	665
 Kenya	128.8	167	215	594
 Japan	535.2	536	537	519
 Turkey	38	82	163	397
 Costa Rica	162.5	166	208	207
 El Salvador	204.4	204	204	204
 Nicaragua	87.4	88	104	159
 Russia	79	82	97	82
 Papua New Guinea	56	56	56	50
 Guatemala	53	52	42	52
 Portugal	23	29	28	29
 China	27.8	24	27	27
 Germany	8.4	6.6	13	27
 France	14.7	16	15	16
 Ethiopia	7.3	7.3	8	7.3
 Austria	1.1	1.4	1	1.2
 Australia	0.2	1.1	1	1.1
 Thailand	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>TOTAL</b>	<b>9,731.9</b>	<b>10,709.7</b>	<b>11,765</b>	<b>12,635.9</b>

Πίνακας 2. Οι χώρες που χρησιμοποιούν τη γεωθερμική ενέργεια για παραγωγή ηλεκτρισμού.

### 1.5 Νομοθεσία

Με το νέο ΦΕΚ Τεύχος Β 1249/24-06-2009 καθορίζονται οι όροι, οι προϋποθέσεις, τα απαιτούμενα δικαιολογητικά και η διαδικασία έκδοσης άδειας για τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού (ανοικτά και κλειστά). Η εκμετάλλευση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα για θέρμανση-ψύξη αποτελεί μία νέα κατηγορία υδρογεωτρήσεων και η χορήγηση άδειας εγκατάστασης του υδροφόρου ορίζοντα δεν υπόκειται στην υφιστάμενη νομοθεσία περί υδρευτικών ή αρδευτικών γεωτρήσεων. Με άλλα λόγια, επιτρέπει την ανόρυξη των απαραίτητων υδρογεωτρήσεων για την αξιοποίηση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα με την προϋπόθεση ότι το σύστημα επανεισάγει ολόκληρη την ποσότητα του νερού που αντλήθηκε από τον υδροφόρο ορίζοντα χωρίς να μεταβάλλει τη φυσικοχημική σύσταση του. Το

δικαίωμα αναζήτησης, έρευνας και διαχείρισης του γεωθερμικού δυναμικού (σύνολο θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που υπερβαίνουν τους 25°C) και των γεωθερμικών πεδίων (ενιαίος μεταλλευτικός χώρος εντός του οποίου εντοπίζεται αυτοτελές δυναμικό) ανήκει μόνο στο δημόσιο (άρθρο 3 τεύχος πρώτο). Στην περίπτωση μη ερευνημένων χώρων ή Πιθανών γεωθερμικών πεδίων, το δημόσιο διατηρεί το δικαίωμα εκμίσθωσης της έρευνας και διαχείρισης γεωθερμικού δυναμικού. Η εκμίσθωση πραγματοποιείται κατόπιν πλειοδοτικού διαγωνισμού με γραπτές σφραγισμένες προσφορές, για πέντε (5) χρόνια με δικαίωμα μονομερούς παράτασης από το μισθωτή μέχρι συμπλήρωσης τριακονταετίας. (άρθρο 4 τεύχος πρώτο). Στην περίπτωση Βεβαιωμένων γεωθερμικών πεδίων, το δημόσιο αυτή τη φορά εκμισθώνει το δικαίωμα διαχείρισης. Μερικά από τα κριτήρια που συνυπολογίζονται πριν παραχωρηθεί το δικαίωμα διαχείρισης στον διαγωνιζόμενο είναι μεταξύ άλλων το ύψος του προϋπολογισμού, η βιωσιμότητα της προτεινόμενης επένδυσης και ο βαθμός ορθολογικής διαχείρισης του γεωθερμικού πεδίου. Όποιος ερευνά ή διαχειρίζεται ή εκμεταλλεύεται γεωθερμικά πεδία χωρίς να έχει αποκτήσει σχετικό δικαίωμα, τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών (3) μηνών και με πρόστιμο από χίλια (1.000) ΕΥΡΩ έως εκατό χιλιάδες (100.000) ΕΥΡΩ. (άρθρο 9)

Για την εγκατάσταση για ίδια χρήση ενεργειακών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης χώρων μέσω της εκμετάλλευσης της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και των νερών, επιφανειακών και υπόγειων που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, απαιτείται άδεια που χορηγείται στον κύριο του ακινήτου από την αρμόδια Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση (άρθρο 11). Προκειμένου να εκδοθεί η σχετική άδεια σε περίπτωση ανόρυξης γεωτρήσεων θα πρέπει αυτές να βρίσκονται εντός των ορίων της ιδιοκτησίας (οικοπέδου ή αγροτεμαχίου ή γηπέδου) επί της οποίας βρίσκονται οι προς κλιματισμό χώροι. Ειδικότερα οι γεωτρήσεις οφείλουν να απέχουν τουλάχιστον:

- α) Δύο (2) μέτρα από τα όρια της ιδιοκτησίας.
- β) Πέντε (5) μέτρα από υφιστάμενο γειτονικό κτίσμα διαφορετικής ιδιοκτησίας.
- γ) Πέντε (5) μέτρα από το όριο της απαλλοτριωμένης ζώνης σιδηροδρομικής γραμμής.
- δ) Δέκα (10) μέτρα από κεντρικό αγωγό μεταφοράς φυσικού αερίου. Ως κεντρικός εννοείται ο αγωγός ο οποίος χρησιμεύει στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορά στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο.
- ε) Πέντε (5) μέτρα από κεντρικούς υπόγειους αγωγούς (ύδρευσης, άρδευσης, αποχέτευσης κλπ.). Ως κεντρικοί αγωγοί νοούνται οι αγωγοί μεγάλης διαμέτρου οι οποίοι χρησιμεύουν στην τροφοδοσία/επικοινωνία κεντρικών μονάδων του δικτύου και δεν αφορούν στη σύνδεση του τελικού χρήστη με το δίκτυο. Σε κάθε γεώτρηση να γίνεται τσιμέντωση τουλάχιστο για τα 5 ανώτερα μέτρα και τοποθέτηση στο ίδιο μήκος περιφραγματικής χαλύβδινης σωλήνωσης. Σε περίπτωση όπου στην περιοχή του ακινήτου απαγορεύεται η διάνοιξη υδρογεωτρήσεων, επιτρέπεται η εγκατάσταση και λειτουργία εναλλακτών κλειστού κυκλώματος. Σε περίπτωση εκμετάλλευσης θερμότητας με τη χρήση επιφανειακών ή υπόγειων νερών, ο χρήστης υποχρεούται στην επαναφορά του συνόλου των χρησιμοποιηθέντων νερών και στην ίδια ποιότητα, στον αρχικό αποδέκτη. Σε αντίθετη περίπτωση όπου υπάρχει

ανάλωση ποσότητας νερού ή αλλοίωσης της ποιότητας του, η έκδοση της σχετικής άδειας υπόκειται και στις διατάξεις του ν.3199/2003 (ΦΕΚ 280 Α'). (άρθρο 4 τεύχος δεύτερο).

Συνοπτικά, η διαδικασία χορήγησης άδειας εκμετάλλευσης του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

ΣΤΑΔΙΟ 1. Η διεύθυνση Ανάπτυξης της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, μετά τον έλεγχο της πληρότητας των δικαιολογητικών και αφού διαπιστώσει ότι η περιοχή του ακινήτου βρίσκεται εντός χαρακτηρισμένου γεωθερμικού πεδίου, απευθύνεται στον Υπουργό Ανάπτυξης ή στο Γενικό Γραμματέα Περιφέρειας. Έπειτα, μετά από γνωμοδότηση του Ι.Γ.Μ.Ε θα καθοριστεί το μέγιστο βάθος μέχρι το οποίο είναι επιτρεπτή η άντληση ρευστών ή γενικότερα η εκμετάλλευση της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών που δεν χαρακτηρίζονται γεωθερμικό δυναμικό. Επιπλέον θα προσδιοριστούν οι όροι της εγκατάστασης για την προστασία του γεωθερμικού δυναμικού και του περιβάλλοντος.

ΣΤΑΔΙΟ 2. Αν διαπιστωθεί ότι δεν συντρέχουν οι προϋποθέσεις για την έκδοση της αιτούμενης αδείας, εκδίδεται αιτιολογημένη απορριπτική απόφαση του νομάρχη.

ΣΤΑΔΙΟ 3. Αν διαπιστωθεί ότι συντρέχουν οι προϋποθέσεις εκδίδεται η αιτούμενη άδεια. (άρθρο 6 τεύχος δεύτερο).

Η απόφαση χορήγησης της αδείας περιλαμβάνει απαραίτητως:

- α) Τα στοιχεία του ιδιοκτήτη ή επικαρπωτή και τη θέση του ακινήτου.
  - β) Την ισχύ του συστήματος, το μέγιστο βάθος διατρήσεων και τις θέσεις των γεωτρήσεων.
  - γ) Το χρόνο αποπεράτωσης των εργασιών εγκατάστασης του συστήματος.
  - δ) Όρο ότι μετά την αποπεράτωση του συστήματος θα υποβληθεί γεωλογική τομή κλίμακας μέχρι 1:500 ή μεγαλύτερης, των γεωτρήσεων που ανορύχθηκαν καθώς και πλήρη στοιχεία σχετικά με τα χαρακτηριστικά τους (βάθη, ποσότητα αντλούμενου – επανεισαγόμενου νερού/ρευστού κάθε γεώτρηση, θερμοκρασία άντλησης– επανεισαγωγής, μετρήσεις θερμοκρασίας κατά την ανόρυξη σε ενδεικτικά μέτρα ανόρυξης, μήκη φιλτροσωλήνων και τυφλών σωλήνων κτλ). Τα στοιχεία αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εκπόνηση σχετικών γεωλογικών μελετών.
  - ε) Όρο ότι θα τοποθετηθούν υδρομετρητές και καταγραφικά θερμομέτρα στα στόμια των γεωτρήσεων(παραγωγικής ή και επανεισαγωγής).
  - στ) Όρο ότι θα χρησιμοποιείται το προβλεπόμενο από την κείμενη νομοθεσία εργατοτεχνικό προσωπικό και το προσωπικό επίβλεψης και θα λαμβάνονται όλα τα απαραίτητα μέτρα για τον περιορισμό των παρενοχλήσεων των περιοίκων καθώς και για την προστασία της υγείας και ασφάλειας των εργαζόμενων και του περιβάλλοντος.
  - ζ) Όρο ότι θα εφαρμοσθεί η εγκεκριμένη μελέτη και οι όροι της αδείας και της παρούσης αποφάσεως.
  - η) Όρο ότι η αρμόδια υπηρεσία της νομαρχίας έχει το δικαίωμα να ελέγχει σε τακτά χρονικά διαστήματα την όλη εγκατάσταση. (άρθρο 6 τεύχος δεύτερο)
- Τέλος για την εγκατάσταση, διαχείριση και εκμετάλλευση δικτύου διανομής Θερμικής Ενέργειας σε Τρίτους (τηλεθέρμανση - τηλεψύξη), απαιτείται άδεια διανομής Θερμικής Ενέργειας, η οποία χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης μετά από γνώμη της ΡΑΕ. Η Άδεια Διανομής Θερμικής Ενέργειας χορηγείται μόνο σε νομικά πρόσωπα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, για

την εξυπηρέτηση συγκεκριμένης γεωγραφικής περιοχής και για συγκεκριμένες θερμικές χρήσεις της θερμικής ενέργειας από τους καταναλωτές. Με την άδεια καθορίζονται ιδίως ο χρόνος ισχύος της, η περιοχή κατασκευής των εγκαταστάσεων, η τεχνολογία και το πρόγραμμα κατασκευών και προσδιορίζονται ειδικότερα οι όροι και οι προϋποθέσεις της διανομής θερμικής ενέργειας σε τρίτους καταναλωτές.

Επιχορηγήσεις στον τομέα της γεωθερμίας, τα γεωθερμικά συστήματα κλιματισμού επιχορηγούνται από το 4ο κοινοτικό πλαίσιο στήριξης. Στις συνολικές δαπάνες συμπεριλαμβάνονται η ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων, ο γεωεναλλάκτης, τα δίκτυα διανομής του νερού, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, ο ηλεκτρολογικός πίνακας, οι μελέτες και η επίβλεψη του έργου καθώς επίσης και οι μονάδες εξαναγκασμένης επανακυκλοφορίας αέρα ή ενδοδαπέδια θέρμανση. Την επιχορήγηση έχουν το δικαίωμα να την λάβουν νομικά πρόσωπα και μόνο, κι εφόσον πληρούν τις προϋποθέσεις της επιχορήγησης. Το ποσοστό επιχορήγησης είναι συνάρτηση του κεντρικού άξονα στον οποίο υπάγεται η επιχορήγηση. Στον τομέα του εκσυγχρονισμού το ποσοστό επιχορήγησης κυμαίνεται βάσει της γεωγραφικής τοποθεσίας που υπάγεται τι έργο, ενώ στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι σταθερή σε ολόκληρη την ελληνική επικράτεια.



## 2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΗ ΜΟΝΑΔΑ

### 2.1 Θερμοκήπιο

Θερμοκήπιο είναι στεγασμένος και περιφραγμένος χώρος, που σκοπό του έχει να προφυλάξει τα φυτά από το κρύο του χειμώνα.

Τα θερμοκήπια μπορεί να είναι κατασκευασμένα πάνω σε μόνιμους σιδερένιους σκελετούς από γυαλί ή μπορεί να είναι από πλαστικό, που στηρίζεται πάνω σε ξύλινο σκελετό. Η κατασκευή των θερμοκηπίων εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες, που επικρατούν τους χειμωνιατικούς μήνες σε μια περιοχή και από το είδος των φυτών που πρόκειται να καλλιεργηθούν. Τα θερμοκήπια των βόρειων χωρών έχουν βαριές κατασκευές και, πολλές φορές αποτελούνται από διπλά τζάμια και διπλή οροφή. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο κάλυμμα από γυαλί, το οποίο πρέπει να είναι τέλεια μονωτικό και διάφανο. Ανάλογα με την προέλευση των φυτών που καλλιεργούνται, διακρίνεται σε θερμοκήπιο εύκρατης, τροπικής, χαμηλής θερμοκρασίας κτλ. Επίσης ανάλογα με τη θέση τους, διακρίνονται σε επίγεια και υπέργεια. Τα θερμοκήπια αυτά θερμαίνονται. Αντίθετα, στις νότιες περιοχές της Ελλάδος, όπως π.χ. στη νότια Μεσσηνία και στην Κρήτη, οι κατασκευές είναι πολύ ελαφριές, αποτελούνται από πλαστικό απλωμένο πάνω σε ξύλινο σκελετό, χωρίς να θερμαίνεται.

Στα θερμοκήπια καλλιεργούνται φυτά κατά τη διάρκεια του χειμώνα, που δεν είναι δυνατό να ευδοκιμήσουν στον ανοιχτό χώρο. Τα τελευταία χρόνια η τεχνική της καλλιέργειας μέσα στα θερμοκήπια έχει αναπτυχθεί σε σημαντικό βαθμό. Έτσι, όλο το χρόνο στην Ελλάδα παράγονται προϊόντα τέτοια όπως π.χ. ντομάτες, μελιτζάνες, κολοκύθια κλπ. , που καλύπτουν τις ανάγκες της ελληνικής αγοράς, ενώ ένα μεγάλο μέρος προορίζεται για εξαγωγή. Ακόμη στα θερμοκήπια καλλιεργούνται και λουλούδια τέτοια που ευδοκίμουν μόνο το καλοκαίρι ή λουλούδια των τροπικών χωρών που σε διαφορετικές περιπτώσεις θα ήταν αδύνατη η καλλιέργειά τους. Τέτοια λουλούδια είναι π.χ. οι ορχιδέες που απαιτούν θερμοκρασία πάνω από 28° C και μεγάλη υγρασία, πράγμα που δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί έξω από τα θερμοκήπια.

Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσεται ένας άλλος τύπος θερμοκηπίων, τα λεγόμενα χημικά θερμοκήπια. Αυτά δεν είναι τίποτε περισσότερο από χημική ουσία που μοιάζει με αφρό, με την οποία ραντίζουν τα φυτά σε πολύ μεγάλες εκτάσεις. Η χημική ουσία καλύπτει τελείως τα φυτά και τα προστατεύει από το κρύο. Λειτουργεί δηλαδή με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν και τα

θερμοκήπια από πλαστικό. Ο τρόπος αυτός ακόμη βρίσκεται στο στάδιο των ερευνών και του πειραματισμού και, σύμφωνα με τις απόψεις των ερευνητών θα λύσει το πρόβλημα της μαζικής καλλιέργειας των εκτός εποχής φυτών.

Η ιστορία των θερμοκηπίων δεν είναι υπόθεση των τελευταίων χρόνων. Ένα από τα πρώτα θερμοκήπια που φτιάχτηκαν στην Ευρώπη ήταν στη Βοημία περίπου το 1680. Στο θερμοκήπιο αυτό καλλιεργήθηκαν οι πρώτες ορχιδέες στην Ευρώπη. Αργότερα, περίπου το 1750, ο πρίγκιπας του Λίχτενσταϊν έφτιαξε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Ευρώπη στην πόλη Λέννιτσε (Lednice) στη νότια Τσεχία.

Ένα θερμοκήπιο, πρέπει να βρίσκεται σε θέση που να εκμεταλλεύεται πλήρως τον ήλιο, να του παρέχεται νερό για το πότισμα και να χρησιμοποιούνται ανεμοθραύστες (εάν χρειάζεται). Ένα ξεχωριστό μικρό οίκημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση εργαλείων και προμηθειών, για να παρέχει χώρο εργασίας και ίσως για να στεγάσει το σύστημα θερμάνσεως. Το μέγεθος του θερμοκηπίου πρέπει να σχεδιασθεί καλά. Εάν η ερασιτεχνική ή επαγγελματική προσπάθεια αποδειχτεί επιτυχής, γρήγορα το θερμοκήπιο θα είναι μια πραγματικότητα. Σχεδιάζουμε το μέγεθος, την τοποθεσία και τον αυλόγυρο του θερμοκηπίου έτσι ώστε να είναι δυνατή μια μελλοντική επέκταση.

Τα μεγαλύτερα θερμοκήπια είναι περισσότερο αποτελεσματικά και περισσότερο οικονομικά από τα μικρά γιατί κοστίζουν λιγότερο ανά τετραγωνικό μέτρο και το περιβάλλον μπορεί να διατηρηθεί πιο ομοιόμορφο. Τα συστήματα θερμάνσεως και εξαερισμού είναι τα πιο ακριβά κονδύλια που διαθέτουμε για ένα θερμοκήπιο. Το κόστος τους ανά μονάδα επιφανείας είναι μικρότερο σε μεγάλα θερμοκήπια.

### 2.1.1 Κατασκευαστικές δυνατότητες

Υπάρχουν πολλά είδη σκελετών θερμοκηπίων. Μπορείτε να διαλέξετε έναν ο οποίος είναι ευχάριστος και πρακτικός για σας. Ο σκελετός μπορεί να είναι από ξύλο, ασάλι ή αλουμίνιο. Το κάλυμμα μπορεί να είναι γυαλί, πλαστικό φύλλο ή Fiberglass, κάθε ένα διατιθέμενο σε διαφορετικά μεγέθη και ποιότητες.

Ένα λαοφιές και χαμηλού κόστους θερμοκήπιο είναι εκείνο που έχει σκελετό από σωλήνες (θολωτό στυλ, τύπου Toll). Η θεμελίωση είναι μια σειρά από σωλήνες παραχωμένους στο έδαφος, για να υποστηρίξουν τα μέρη του

θόλου. Τα μέρη της οροφής μπορεί να είναι φτιαγμένα από ατσάλι ή σωλήνες αλουμινίου ή μπορεί να είναι σκεπαστός θόλος.

Το κάλυμμα είναι ένα πλαστικό φύλλο μονής ή διπλής στρώσεως ειδικό για θερμοκήπια που κατακρατεί την υπεριώδη ακτινοβολία, πάχους 0,15 mm ή βαρύτερο. Το πλαστικό φύλλο είναι ο κατάλληλο για ένα ή δύο χρόνια, ανάλογα με την ποιότητα του υλικού και τον καιρό. Μια πλαστική ταινία σε διπλή στρώση φουσκωμένη με αέρα, μπορεί να ελαττώσει το κόστος θερμάνσεως 30% περίπου.

Για πιο ανθεκτικό κάλυμμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα ειδικό για θερμοκήπια Fiberglass. Το Fiberglass είναι διαθέσιμο σε διάφορες ποιότητες που έχουν διάρκεια ζωής από λίγα χρόνια μέχρι ίσως και 20 χρόνια.

Υπάρχουν διάφορα σχέδια για θερμοκήπια με σκελετό από ξύλο τα οποία μπορούν να καλυφθούν από πλαστικό Film ή Fiberglass. Το ξύλο σε επαφή με το έδαφος πρέπει να προστατευτεί με μια αντισηπτική ουσία όπως π.χ. άλατα χαλκού, κρεόζωτο, πενταχλωροφαινόλη, που είναι αβλαβείς ουσίες για τα φυτά.

Ένα καλής ποιότητας θερμοκήπιο μπορεί να κατασκευάσω με γερά θεμέλια και στερεό σκελετό. Ένα φθινό θερμοκήπιο μπορεί να κατασκευαστή με έναν προσωρινό σκελετό για να δώσει εποχιακή προστασία στα φυτά.

Ένα γυάλινο θερμοκήπιο είναι η τρίτη δυνατότητα. Το γυαλί και το αλουμίνιο ή το ατσάλι συνδυάζονται για να δώσουν ένα μεγάλης διάρκειας ωραίο θερμοκήπιο. Το γυαλί, το σκληρό αλουμίνιο (Ντουραλουμίνιο) ή ο ατσάλινος σκελετός και η γερή στερεά θεμελίωση κάνουν την αρχική επένδυση υψηλή. Πάντως η ετήσια συντήρηση είναι πολύ μικρότερη.

Εφόσον το γυάλινο θερμοκήπιο είναι ένας χώρος επιδείξεως, ο αρχάριος θα βρει το φθινότερο προσωρινό θερμοκήπιο που του ταιριάζει σαν πρώτη κατασκευή, κατασκευάζοντάς το από πλαστικό ή από Fiberglass.

Δύο πρόσθετα δομικά στοιχεία είναι: Το κυρίως θερμοκήπιο και ο ψυχρός σκελετός. Αυτά είναι χαμηλότοιχα σκελετά με κάλυμμα για να δίνουν στα φυτά προστασία κατά την διάρκεια του ψυχρού καιρού της ανοίξεως. Ένα κυρίως θερμοκήπιο έχει μια πηγή θερμάνσεως μέσα στο έδαφος. Ένας ψυχρός σκελετός 1Χ2 μέτρα ή ένα κυρίως θερμοκήπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πλεονέκτημα σαν αρχή φυτεύσεως λαχανικών και ανθοφόρων φυτών.

### 2.1.2 Εξαερισμός και σκίαση

Ο εξαερισμός είναι ουσιώδης για την παραγωγή καλής ποιότητας φυτών. Η θερμοκρασία δεν πρέπει να ανεβαίνει πολύ ψηλά και πρέπει να υπάρχει μια παροχή διοξειδίου του άνθρακος. Ο εξαερισμός μπορεί να εξασφαλιστεί με φυσική κυκλοφορία του αέρος, χρησιμοποιώντας παράθυρα πλευρικά και οροφής ή με μηχανικά μέσα χρησιμοποιώντας αντλητικούς ανεμιστήρες και εσωτερικά ανοίγματα, θερμοστάτες και ηλεκτρικά μοτέρ χρησιμοποιούνται για τον αυτοματισμό του εξαερισμού.

Το σύστημα εξαερισμού πρέπει να είναι ικανό να αλλάζει τον αέρα μια φορά το λεπτό σε ένα μεγάλο θερμοκήπιο, και να τον αλλάζει μιάμιση φορά κάθε λεπτό σε μικρά θερμοκήπια.

Οι απαιτήσεις για εξαερισμό τον χειμώνα είναι περίπου 25% αλλαγή του αέρα το λεπτό. Δύο ανεμιστήρες, με τον ένα να έχει δύο ταχύτητες, χρησιμοποιούνται συχνά. Η μικρή ταχύτητα του τους ανεμιστήρα είναι αρκετή για τον χειμώνα. Μηχανοποιημένα εσωτερικά ανοίγματα είναι τοποθετημένα στον απέναντι τοίχο.

Ο όγκος τους θερμοκηπίου είναι: Μήκος χ Πλάτος χ Όψης και δίνεται σε κυβικά μέτρα. Η βαθμίδα του ανεμιστήρα θα είναι σε κυβικά μέτρα ανά λεπτό.

Υλικά σκιάσεως, τους είναι τα: ύφασμα, κινούμενη λεπτή ταινία καλύψεως, ασβέστης και νερό, και διάλυμα λευκού γαλακτώδους χρώματος, χρησιμοποιούνται για να ελαττώσουν την ένταση του φωτός και για να κόψουν την ηλιακή θερμότητα το καλοκαίρι. Ελάττωση του φωτός είναι απαραίτητη για τα φυτά εκείνα που μεγαλώνουν καλύτερα σε χαμηλό φώς.

Τους από τους λειτουργίες των φυτών ελέγχονται από την διάρκεια τους ημέρας. Μερικά φυτά τους η πετούνια, το Κινέζικο άνθος και η βολβώδης Μπιγκόνια ανθίζουν συνήθως τους μεγάλες μέρες του καλοκαιριού (μακροήμερα φυτά) και άλλα τους τα Χρυσάνθεμα ή η Ποϊνσέττια, ανθίζουν τους μικρές μέρες του φθινοπώρου ή τον χειμώνα (βραχυήμερα φυτά).

Άλλα φυτά τους το γαρύφαλλο, τριαντάφυλλο, κρίνα και αειθαλής Μπιγκόνια ανθίζουν ανεξάρτητα από την διάρκεια τους ημέρας (ουδέτερα φυτά). Ένας διαχειριστής θερμοκηπίου πρέπει να προστατεύει τα βραχυήμερα φυτά με ένα αδιαπέραστο απ' το φώς κάλυμμα, για να υποκινήσει την άνθηση

όταν οι μέρες είναι μεγάλες. Τεχνητό φως χρησιμοποιείται στα μακροήμερα φυτά για να υποκινήσει την ανθοφορία κατά τους χειμερινούς μήνες.

### 2.1.3 Έλεγχος θερμοκρασίας

Ένα καλώς σχεδιασμένο σύστημα θερμάνσεως και εξαερισμού επιτρέπει στον χειριστή του θερμοκηπίου να διατηρεί την πιο κατάλληλη και οικονομική θερμοκρασία για την ανάπτυξη των φυτών. Οι βραδινές θερμοκρασίες του θερμοκηπίου διατηρούνται γενικώς στους 10 με 21 βαθμούς C, ανάλογα με το είδος του φυτού. Η θερμοκρασία επιτρέπεται να ανέβει 1 με 3 βαθμούς κατή την διάρκεια της ημέρας πριν από την έναρξη του εξαερισμού.

Το αποτέλεσμα της θερμοκρασίας στην ανάπτυξη διαφοροποιείται ανάλογα με τα φυτά. Καλλιέργειες πολλών σποροφύτων αρχίζουν σε υψηλή θερμοκρασία και κατόπιν αναπτύσσονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Αυτό ισχύει σε ετήσια λαχανικά και ανθοφόρα φυτά που βλαστάνουν στους 21 - 24 βαθμούς C αναπτύσσονται στους 18 βαθμούς C και τελειώνουν στους 13 βαθμούς C.

Το νερό που είναι κατάλληλο για πόσιμο, είναι ότι πρέπει για χρήση σε ένα θερμοκήπιο. Νερό από λίμνες και πηγάδια είναι κατάλληλο υπό τον όρο να μην περιέχει υψηλή ποσότητα αλάτων.

Όταν ποτίζετε τα φυτά, μεταχειριστείτε μια ικανοποιητική ποσότητα νερού για να υγραίνεται όλος ο όγκος του εδάφους και λίγο περισσότερο έτσι ώστε η περίσσεια του νερού να διηθείται σιγά - σιγά. Αυτή η διήθηση βοηθά στο να αποφεύγεται η δημιουργία αλάτων από το νερό ή το λίπασμα που χρησιμοποιείται. Η συχνότητα του ποτίσματος εξαρτάται από το μέγεθος των φυτών, την θερμοκρασία και την ικανότητα συγκρατήσεως του νερού της καλλιέργειας.

Το νερό παρέχεται με το χέρι με ένα ποτιστήρι ή με λάστιχο ποτίσματος. Ψεκαστικοί σωλήνες ή πορώδεις πλαστικοί σωλήνες χρησιμοποιούνται για το πότισμα ανθοφόρων καλλιεργειών. Σωλήνες που στάζουν μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν (στάγδην άρδευση). Τέτοια συστήματα ποτίσματος μπορούν να αυτοματοποιηθούν, χρησιμοποιώντας ένα χρονοδιακόπτη που ποτίζει σε τακτά χρονικά διαστήματα ή χρησιμοποιώντας μηχανικά συστήματα που λειτουργούν όταν το έδαφος ξεραίνεται.

Το πότισμα με την μέθοδο της τριχοειδούς αγωγιμότητας σε γλάστρες φυτών είναι δυνατόν να γίνει τοποθετώντας τα σε ένα στρώμα άμμου που παραμένει διαρκώς υγρή. Τελευταίως ένας τύπος φυσικού τάπητος ή συνθετικών ινών χρησιμοποιήθηκε αντί της άμμου.

## 2.2 Θερμοκηπιακές καλλιέργειες

Στην Ελλάδα, η εκτός εποχής παραγωγή κηπευτικών σε θερμοκήπια αποτελεί μία από τις σημαντικότερες γεωργικές δραστηριότητες, όπως συμβαίνει σε όλες σχεδόν τις χώρες της μεσογειακής λεκάνης. Ο ανταγωνισμός όμως, τόσο με τις χώρες της Βόρειας Ευρώπης, όσο και με τις χώρες της Μεσογειακής λεκάνης, είναι ιδιαίτερα οξύς. Ταυτόχρονα, το μέσο τεχνολογικό επίπεδο των Ελληνικών θερμοκηπίων υστερεί σε σύγκριση με αυτό των περισσότερων ανταγωνιστριών χωρών, με αποτέλεσμα η παρουσία των ελληνικών θερμοκηπιακών προϊόντων στις διεθνείς αγορές να είναι κατώτερη των φυσικών δυνατοτήτων της χώρας. Σε διεθνές επίπεδο, οι σύγχρονες θερμοκηπιακές μονάδες δίνουν ιδιαίτερη έμφαση στη βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων παρά στην αύξηση της παραγωγής, καθώς και στη μείωση των ενεργειακών και χημικών εισροών. Κάτι τέτοιο όμως προϋποθέτει τη χρήση νέων τεχνολογιών στη διαδικασία της παραγωγής, η εφαρμογή των οποίων οδηγεί σε θερμοκήπια φιλικότερα στο περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία αρχικά επιχειρείται μία συνοπτική αναφορά στο πλαίσιο, εντός του οποίου αναπτύσσονται σήμερα στην Ελλάδα και διεθνώς οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες κηπευτικών. Ακολουθεί η παρουσίαση ορισμένων σύγχρονων τεχνολογικών εξελίξεων και η εργασία κλείνει με ορισμένα συμπεράσματα σχετικά με την μελλοντική ανάπτυξη των θερμοκηπιακών καλλιεργειών κηπευτικών στην Ελλάδα.

Στον Πίνακα 3 παρατίθενται πρόσφατα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων σχετικά με την συνολική έκταση των θερμοκηπίων που καλλιεργούνται με κηπευτικά στην Ελλάδα, την κατανομή τους ανά καλλιεργούμενο φυτό (κύρια καλλιέργεια) καθώς και τις αντίστοιχες μέσες και συνολικές αποδόσεις. Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι η συνολική έκταση των θερμοκηπίων που καλλιεργήθηκαν με κηπευτικά στην Ελλάδα το 2005 ανήλθε σε 53.328 στρέμματα. Διαπιστώνεται επίσης ότι περίπου η μισή από την παραπάνω έκταση (28.392 στρέμματα) αντιστοιχεί σε καλλιέργειες τομάτας, οι οποίες έδωσαν συνολική παραγωγή 232.171 τόνους και μέση παραγωγή 8,177 τόνους ανά στρέμμα. Η δεύτερη σε έκταση καλλιέργεια θερμοκηπίου είναι το αγγούρι με 9.375 στρέμματα και ακολουθούν η πιπεριά με 5.770 στρέμματα και η φράουλα με 3.512 στρέμματα. Ένα μέρος από την παραπάνω έκταση θερμοκηπίων χρησιμοποιήθηκε μετά την ολοκλήρωση της κύριας καλλιέργειας για την εγκατάσταση μίας δεύτερης καλλιέργειας

βραχύτερης διάρκειας. Στον Πίνακα 4 παρατίθεται αριθμητικά δεδομένα σχετικά με την έκταση των θερμοκηπίων που χρησιμοποιήθηκαν για μία δεύτερη καλλιέργεια κηπευτικού στη διάρκεια της ίδιας χρονιάς, την κατανομή της ανά είδος κηπευτικού, καθώς και το αντίστοιχο ύψος της συνολικής και της μέσης παραγωγής για κάθε καλλιεργούμενο φυτό. Από τα δεδομένα αυτά προκύπτει ότι το πλέον σύνθηες λαχανικό που καλλιεργείται ως δεύτερη καλλιέργεια στα Ελληνικά θερμοκήπια, είναι και πάλι η τομάτα, αν και το ποσοστό της επί του συνόλου (περίπου 30%) είναι μικρότερο σε σύγκριση με τα αντίστοιχα δεδομένα για την κύρια καλλιέργεια.

Είδος κηπευτικού	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τόνοι)	Μέση παραγωγή (τόνοι/στρ.)
Τομάτα	28.392	232.171	8,177
Αγγούρι	9.375	116.358	12,412
Κολοκυθάκι	1.699	11.113	6,541
Μελιτζάνα	1.519	11.688	7,695
Πιπεριά	5.770	44.653	7,739
Φασολάκι νωπό	1.905	4.965	2,606
Μαρούλι	632	1.661	2,628
Πεπόνι	244	1.353	5,545
Καρπούζι	280	1.460	5,214
Φράουλα	3.512	13.140	3,741
ΣΥΝΟΛΟ	53.328		

Πίνακας 3. Συνολική έκταση θερμοκηπίων στην Ελλάδα, κατανομή της ανά είδος κηπευτικού που καλλιεργήθηκε σε αυτά ως κύρια καλλιέργεια, καθώς και μέσο και συνολικό ύψος παραγωγής που ελήφθη από κάθε είδος κηπευτικού.

Είδος κηπευτικού	Έκταση (στρ.)	Παραγωγή (τόνοι)	Μέση παραγωγή (τόνοι/στρ.)
Τομάτα	6.457	59.917	9,279
Αγγούρι	4.597	51.631	11,231
Κολοκυθάκι	659	3.183	4,830
Μελιτζάνα	122	613	5,025
Πιπεριά	847	5.079	5,996
Φασολάκι νωπό	1.347	3.072	2,281
Μαρούλι	2.268	5.214	2,299
Πεπόνι	780	4.455	5,712
Καρπούζι	600	3.000	5,000
Φράουλα			
ΣΥΝΟΛΟ	17.659		

Πίνακας 4. Συνολική έκταση θερμοκηπίων στην Ελλάδα στα οποία πραγματοποιήθηκε και μία δεύτερη καλλιέργεια την ίδια καλλιεργητική περίοδο, κατανομή της ανά είδος κηπευτικού, καθώς και μέσο και συνολικό

ύψος παραγωγής που ελήφθη από την δεύτερη καλλιέργεια για κάθε είδος κηπευτικού.

Τα δεδομένα των Πινάκων 3 και 4 δείχνουν ότι οι μέσες στρεμματικές αποδόσεις που λαμβάνονται στα Ελληνικά θερμοκήπια είναι γενικά χαμηλές και υπολείπεται κατά πολύ αυτών που επιτυγχάνονται σε σύγχρονα θερμαινόμενα θερμοκήπια χωρών της Βόρειας Ευρώπης. Οι χαμηλές αποδόσεις ανά μονάδα καλλιεργούμενης επιφάνειας οφείλονται στο γεγονός ότι τα περισσότερα Ελληνικά θερμοκήπια είναι χαμηλής τεχνολογίας, με μειωμένες έως ανύπαρκτες δυνατότητες ελέγχου του εσωτερικού κλίματος. Επιπλέον, το επίπεδο της τεχνογνωσίας όσον αφορά κυρίως την θρέψη και την φυτοπροστασία είναι πολύ χαμηλό. Τέλος, λόγω των ανεπαρκειών στην ρύθμιση του εσωτερικού κλίματος και στην τεχνική της καλλιέργειας, η καλλιεργητική περίοδος στα Ελληνικά θερμοκήπια συνήθως είναι μικρή. Επομένως, οι παραγωγές των Πινάκων 3 και 4 για τα καρποδοτικά λαχανικά, οι οποίες λαμβάνονται από καλλιεργητικές περιόδους μέσης διάρκειας 5-6 μηνών, δεν είναι συγκρίσιμες με εκείνες π.χ. της Ολλανδίας, οι οποίες προέρχονται από καλλιεργητικές περιόδους 10-11 μηνών.

Τα τελευταία χρόνια αυξάνεται σταθερά και στην Ελλάδα το ποσοστό των κηπευτικών που διακινούνται στην λιανική αγορά μέσω των μεγάλων καταστημάτων τροφίμων (super markets). Η εξέλιξη αυτή συμβάλλει στην αύξηση των εισαγωγών λαχανικών από το εξωτερικό, κυρίως επειδή οι αλυσίδες των μεγάλων πολυεθνικών πολυκαταστημάτων προμηθεύονται μεγάλο μέρος των οπωροκηπευτικών με βάση εμπορικές συμφωνίες που γίνονται σε υπερεθνικό επίπεδο. Ταυτόχρονα όμως, το δημιουργούνται νέα δεδομένα όσον αφορά τις απαιτήσεις τόσο σε ποιότητα όσο και σε ποσότητες για τα λαχανικά που αυτές προμηθεύονται από την εγχώρια αγορά. Η προμήθεια των κηπευτικών βασίζεται σε ενιαίες προδιαγραφές ποιότητας και τυποποίησης, ενώ παράλληλα απαιτείται σταθερή προσφορά προϊόντων σε σταθερή ποιότητα. Η κατάσταση αυτή μειώνει κατά πολύ τις δυνατότητες των μικρών παραγωγών να διαπραγματεύονται από μόνοι τους τις τιμές πώλησης και να διαθέτουν τα προϊόντα τους στη χονδρική αγορά. Εκτός από τις παραπάνω αλλαγές στον τρόπο λιανικής διάθεσης των λαχανικών θερμοκηπίου, σημαντικές μεταβολές έχουν επέλθει τα τελευταία χρόνια και στις απαιτήσεις των καταναλωτών, οι οποίες ασκούν καθοριστική επιρροή στον τρόπο παραγωγής των κηπευτικών στα θερμοκήπια. Οι σύγχρονοι καταναλωτές νωπών οπωροκηπευτικών είναι ιδιαίτερα ευαισθητοποιημένοι στα θέματα της ασφάλειας των τροφίμων και απαιτούν ποιοτικά προϊόντα απαλλαγμένα από υπολείμματα επικίνδυνων αγροχημικών. Λαμβάνοντας υπόψη την ευαισθησία του καταναλωτή για υγιεινά και ασφαλή γεωργικά προϊόντα και προκειμένου να αυτοπροστατευθούν από πιθανά διατροφικά σκάνδαλα, τα μεγάλα πολυκαταστήματα έχουν προχωρήσει σε Ευρωπαϊκό επίπεδο στην θέσπιση ενός ενιαίου συστήματος πιστοποίησης της ποιότητας



των νωπών οπωροκηπευτικών που προμηθεύονται από την χονδρική αγορά. Αυτό το σύστημα πιστοποίησης μέχρι σήμερα ήταν γνωστό ως EUREPGAP και αφορούσε την Ευρωπαϊκή αγορά, ενώ πρόσφατα επεκτάθηκε σε παγκόσμιο επίπεδο και μετονομάστηκε σε GLOBALGAP. Βάση του συστήματος αυτού είναι η ιχνηλασιμότητα από το ράφι ως το χωράφι, δηλαδή η γνώση της προέλευσης των προϊόντων που πιστοποιούνται. Η θέσπιση της ιχνηλασιμότητας αποσκοπεί αφενός μεν στην αύξηση της υπευθυνότητας του παραγωγού στην χρήση αγροχημικών και αφετέρου στην δυνατότητα ελέγχου των εφαρμοζόμενων γεωργικών πρακτικών. Η πιστοποίηση μέσω του GLOBALGAP βασίζεται σε ένα πρότυπο ορθών γεωργικών πρακτικών (Good Agricultural Practices, GAP). Το πρότυπο αυτό πρέπει ο παραγωγός να το ακολουθήσει πιστά με τήρηση βιβλίων και ημερολογίων εργασιών, ώστε να λάβει την πιστοποίηση. Οπωροκηπευτικά προϊόντα που δεν είναι πιστοποιημένα με την παραπάνω διαδικασία από έγκυρο πιστοποιητικό οργανισμό αναγνωρισμένο και πιστοποιημένο από την GLOBALGAP δεν μπορούν πλέον να διακινηθούν στις μεγάλες αγορές χονδρικής του εξωτερικού. Εκτός από το διεθνές σύστημα πιστοποίησης GLOBALGAP υπάρχουν και τα εθνικά συστήματα AGRO2.1 και AGRO2.2, τα οποία έχει θεσπίσει ο κρατικός Οργανισμός Πιστοποίησης & Ελέγχου Γεωργικών Προϊόντων (Ο.Π.Ε.Γ.Ε.Π.). Τα συστήματα αυτά όμως προς το παρόν είναι χρήσιμα μόνο για προϊόντα που διακινούνται στην εσωτερική αγορά, αφού στις διεθνείς αγορές δεν αναγνωρίζονται. Γενικά, οι ορθές γεωργικές πρακτικές βασίζονται στις αρχές της ολοκληρωμένης φυτοπροστασίας και γενικότερα της ολοκληρωμένης διαχείρισης της παραγωγής (ΟΔΠ). Η ΟΔΠ συνδυάζει όλες τις καλλιεργητικές τεχνικές και τα μέσα που είναι διαθέσιμα και επιτρεπτά, με στόχο την ελαχιστοποίηση των εισροών ενέργειας και αγροχημικών, χωρίς αυτό να αποβαίνει σε βάρος της παραγωγής. Στα θερμοκήπια ειδικότερα, η ΟΔΠ περιλαμβάνει κυρίως τα παρακάτω: α) κατάλληλη υλικοτεχνική υποδομή θερμοκηπίου, β) υποκατάσταση χημικών επεμβάσεων με φυσικές μεθόδους και μέσα όπου είναι δυνατόν, γ) όταν η χρήση φυτοπροστατευτικών προϊόντων είναι αναγκαία, επιλέγονται ουσίες χαμηλής τοξικότητας και υπολειμματικότητας, δ) δίνεται έμφαση στην πρόληψη των φυτοασθενειών και άλλων διαταραχών ανάπτυξης και καρποφορίας, ε) η υποβοήθηση της καρπόδεσης στα καρποδοτικά λαχανικά γίνεται με βομβίνους, στ) εφαρμόζεται ορθολογική άρδευση – λίπανση με βάση τις ανάγκες της καλλιέργειας και στόχους την ελαχιστοποίηση των απορροών, την αποφυγή ρύπανσης των υδάτινων πόρων με υπολείμματα λιπασμάτων και την παραγωγή λαχανικών με χαμηλή περιεκτικότητα σε νιτρικά. Γενικά, στόχος της ΟΔΠ δεν είναι μόνο η μέγιστη παραγωγή αλλά ταυτόχρονα και η άριστη ποιότητα του προϊόντος. Η πιστοποίηση εφαρμογής ορθών γεωργικών πρακτικών σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα στην πραγματικότητα αναφέρεται στην διαδικασία παραγωγής και μόνο έμμεσα πιστοποιεί και την ποιότητα και ασφάλεια του προϊόντος. Παρόλα αυτά όμως, η εφαρμογή της πιστοποίησης στα θερμοκήπια έχει ήδη επιφέρει σημαντικές

αλλαγές στην νοοτροπία των παραγωγών. Κατ' αρχήν οι παραγωγοί που εφαρμόζουν συστήματα πιστοποίησης μαθαίνουν να συμπεριφέρονται πιο υπεύθυνα, αφού για πρώτη φορά νοιώθουν ότι δεν μπορούν να κάνουν ανεξέλεγκτη χρήση αγροχημικών χωρίς να έχουν σοβαρές συνέπειες. Παράλληλα, εφαρμόζοντας τα πρωτόκολλα πιστοποίησης οι παραγωγοί μαθαίνουν να εργάζονται και να οργανώνουν την θερμοκηπιακή τους εκμετάλλευση πιο επαγγελματικά και επομένως πιο αποδοτικά.

### 2.3 Θέρμανση Θερμοκηπίων

Κύριος σκοπός των θερμοκηπίων είναι η παραγωγή αγροτικών προϊόντων εκτός εποχής. Πολλές φορές, για να είναι εφικτή η καλλιέργεια σε ένα θερμοκήπιο, ακόμη και σε χρονικά διαστήματα του έτους κατά τα οποία οι κλιματολογικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές, θα πρέπει να διαθέτουν σύστημα θέρμανσης. Η καλλιέργεια και ο τόπος στον οποίο είναι εγκατεστημένο το θερμοκήπιο διαμορφώνουν ανάλογα τις απαιτήσεις για θέρμανση. Τα συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε συμβατικά και σε εναλλακτικά, όπου θα αναλυθούν παρακάτω.

#### 2.3.1 Συμβατικά συστήματα θέρμανσης

Στην ενότητα αυτή περιγράφονται η δομή και η λειτουργία των συμβατικών συστημάτων θέρμανσης που εγκαθίστανται σε θερμοκήπια για την κάλυψη των θερμικών τους αναγκών. Τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης διακρίνονται στα τοπικά και στα κεντρικά συστήματα.

##### 2.3.1.1 Τοπικά συστήματα θέρμανσης

Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μικρού μεγέθους θερμοκήπια και όταν όλες οι επιμέρους συσκευές τους βρίσκονται στο εσωτερικό του θερμοκηπίου, λέγονται τοπικά [1]. Τοπικά συστήματα θέρμανσης είναι:

- Οι θερμάστρες συναγωγής
- οι συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας
- τα αερόθερμα.

Η εγκατάσταση αποτελείται από τη θερμάστρα που βρίσκεται τοποθετημένη εντός του θερμοκηπίου και το σωλήνα ροής του καυσαερίου να διατρέχει όλο το μήκος του χώρου. Το καυσαέριο κατά τη διαδρομή αυτή αποδίδει θερμότητα στο χώρο. Σε περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλο μήκος σωλήνα, γίνεται βεβιασμένη έξοδος του καυσαερίου με την τοποθέτηση αποροφητήρα στην έξοδό του. Με τον τρόπο αυτό, διευκολύνεται η κυκλοφορία και αποφεύγονται οι διαφυγές του καυσαερίου στο χώρο του θερμοκηπίου. Η

εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος γίνεται σπάνια και, συνήθως, σε μικρά ή ερασιτεχνικά θερμοκήπια, λόγω του χαμηλού του κόστους.

Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας, στα συστήματα αυτά, η θερμότητα στέλνεται απευθείας από την πηγή στο δέκτη, δηλαδή στα φυτά και στο έδαφος, με τη μορφή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαίνεται με συναγωγή από τα φυτά, το έδαφος και τα διάφορα αντικείμενα που υπάρχουν στο χώρο του θερμοκηπίου.

Σύμφωνα με τη λειτουργία των συστημάτων αυτών, η θερμοκρασία των φύλλων και του εδάφους, αν δεν σκιάζεται, είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή του αέρα του θερμοκηπίου. Επίσης, η χρήση ανεμιστήρων στο χώρο του θερμοκηπίου είναι ανεπιθύμητη, καθώς η κυκλοφορία του αέρα μειώνει τη θερμοκρασία των φυτών.

Η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος θέρμανσης γίνεται, συνήθως, με τη χρήση σωλήνων ως πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι σωλήνες αυτοί τοποθετούνται ψηλά κατά μήκος του θερμοκηπίου και μέσα τους κυκλοφορεί κάποιο ρευστό υψηλής θερμοκρασίας.

Αερόθερμα, η χρήση των αερόθερμων ως σύστημα θέρμανσης θερμοκηπίου είναι πολύ συχνή λόγω του χαμηλότερου κόστους της αρχικής εγκατάστασης σε σύγκριση με τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης με ζεστό νερό. Το σύστημα αυτό έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείται εύκολα και δεν παρουσιάζει αδράνεια στη μεταβολή της θερμοκρασίας του χώρου. Ο αέρας του θερμοκηπίου θερμαίνεται σε πολύ μικρό χρονικό από τη στιγμή που ο θερμοστάτης θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να ξεκινήσει ή να σταματήσει, αντίστοιχα, τη λειτουργία του.

Μειονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος αποτελεί η γρήγορη ψύξη του θερμοκηπίου σε περίπτωση βλάβης. Επιπρόσθετα, σε σύγκριση με το σύστημα θερμού νερού, τα αερόθερμα θερμαίνουν λιγότερο το έδαφος.

Ανάλογα με την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιούν τα αερόθερμα διακρίνονται στα ηλεκτρικά αερόθερμα, στα αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού και στα αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων.

Ηλεκτρικά αερόθερμα, τα ηλεκτρικά αερόθερμα αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό ανεμιστήρα και ηλεκτρικές αντιστάσεις. Με τη βοήθεια του ανεμιστήρα ο αέρας του θερμοκηπίου περνάει από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις, θερμαίνεται και επαναπροωθείται στο θερμοκήπιο.

Τα ηλεκτρικά αερόθερμα χρησιμοποιούνται σε πειραματικά και ερασιτεχνικά θερμοκήπια, καθώς δεν παράγουν καυσαέριο, αυτοματοποιούνται εύκολα και ρυθμίζουν με ακρίβεια τη θερμοκρασία του χώρου. Μειονέκτημά τους αποτελεί το αρκετά υψηλό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καθιστά αυτόν τον τρόπο θέρμανσης ακριβό.

Αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού, ο ατμός ή το ζεστό νερό παράγονται από ένα λέβητα και κυκλοφορούν σε σωλήνες μεγάλης επιφάνειας. Ο αέρας του θερμοκηπίου περνάει μεταξύ των σωλήνων αυτών, ώστε να θερμανθεί, με τη βοήθεια ενός ηλεκτροκίνητου ανεμιστήρα. Η απόδοσή του εξαρτάται από την ταχύτητα ροής του ρευστού στους σωλήνες, το μέγεθος της επιφάνειας των σωλήνων και την παροχή του ανεμιστήρα. Τα ηλεκτρικά αερόθερμα τοποθετούνται ψηλά για τη βελτίωση της θέρμανσης των επάνω φύλων των φυτών.

Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται συνήθως ως συμπληρωματική θέρμανση σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης με σωλήνες θερμού νερού.

Αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων, τα αερόθερμα αερίων καυσίμων διαθέτουν λέβητα με ενσωματωμένο καυστήρα ανοιχτού ή κλειστού θαλάμου καύσης.

Ο καυστήρας με ανοιχτό θάλαμο καύσης λαμβάνει τον απαιτούμενο αέρα από τον αέρα του θερμοκηπίου και απελευθερώνει το καυσαέριο στον ίδιο χώρο. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνεται στο χώρο ευνοεί τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης για τα φυτά, κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, η ποσότητα του οξυγόνου μειώνεται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται προβλήματα στην αποτελεσματικότητα της καύσης και στην καθαρότητα του αέρα του εσωτερικού χώρου της μονάδας.

Τα αερόθερμα που διαθέτουν κλειστό θάλαμο καύσης, λαμβάνουν τον αναγκαίο αέρα με τη βοήθεια αεραγωγού και απάγουν το καυσαέριο στον εξωτερικό χώρο με τη βοήθεια καπνοδόχου. Η καπνοδόχος εξέρχεται οριζόντια από το θερμοκήπιο και πρέπει να διαθέτει κατάλληλο ύψος ώστε να μην επιστρέφει ο καπνός στο εσωτερικό. Η λειτουργία αυτών των συσκευών στηρίζεται στην καύση του καυσίμου στο θάλαμο καύσης, ώστε να παραχθεί θερμότητα που θα θερμάνει τον αέρα που πρόκειται να εισαχθεί στο χώρο του θερμοκηπίου.

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελούνται τα αερόθερμα κλειστού θαλάμου είναι:

Ο καυστήρας

Ο εναλλάκτης θερμότητας

Ο ανεμιστήρας κυκλοφορίας του αέρα

Η ρύθμιση της λειτουργίας των αερόθερμων γίνεται είτε χειροκίνητα, είτε μέσω θερμοστάτη κατάλληλα τοποθετημένου στο θερμοκήπιο. Το κόστος λειτουργίας των αερόθερμων είναι πολύ μεγάλο, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται, συνήθως, μόνο ως βοηθητικά κυρίως τις πρώτες μέρες της χειμερινής περιόδου για προθέρμανση του χώρου.

### 2.3.1.2 Κεντρικά συστήματα θέρμανσης

Σε μεγάλου μεγέθους θερμοκήπια χρησιμοποιούνται κεντρικά συστήματα θέρμανσης, στα οποία ο χώρος παραγωγής της θερμικής ενέργειας είναι ανεξάρτητος του θερμοκηπίου.

Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης που χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση θερμοκηπίων αποτελούνται, συνήθως, από λέβητα παραγωγής θερμού νερού ή ατμού και δίκτυο σωληνώσεων. Σε κάποιο άκρο του θερμοκηπίου κατασκευάζεται το λεβητοστάσιο, στο οποίο τοποθετείται ο λέβητας μαζί με τον καυστήρα (υγρών και αερίων καυσίμων), το δοχείο προθερμάνσεως του καυσίμου (κυρίως όταν το καύσιμο είναι μαζούτ) και οι συλλέκτες διανομής.

Από τους συλλέκτες διανομής ξεκινά, συνήθως, ένας κλάδος τροφοδοσίας για τις σωληνώσεις διανομής θερμότητας και ένας για τα αερόθερμα. Οι σωληνώσεις διανομής της θερμότητας στο χώρο λειτουργούν ως εναλλάκτες θερμότητας νερού-αέρα ή ατμού-αέρα. Είναι συνήθως μεταλλικές, μεγάλου μήκους, που διατρέχουν το θερμοκήπιο και δημιουργούν μια μεγάλη επιφάνεια μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή και ακτινοβολία. Κάθε κλάδος έχει τους δικούς του κυκλοφορητές και ηλεκτροβάννες για μεγαλύτερη αυτονομία της μονάδας.

Ένα τέτοιο σύστημα, σωστά σχεδιασμένο, παρέχει ικανοποιητική θέρμανση του αέρα και του εδάφους του θερμοκηπίου, αλλά έχει μεγαλύτερη θερμική αδράνεια από τα αερόθερμα, καθώς και μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης.

Οι λέβητες ατμού σε σύγκριση με τους κοινούς λέβητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση λόγω των μικρότερων απωλειών. Πλεονεκτούν, επίσης, στο γεγονός της χρήσης του παραγόμενου ατμού για την απολύμανση του εδάφους και των φυτών. Βασικό τους μειονέκτημα, όμως, είναι το υψηλότερο κόστος αγοράς, ενώ απαιτούν και εξειδικευμένη συντήρηση.

### 2.3.2 Εναλλακτικά συστήματα θέρμανσης

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση του ενεργειακού κόστους στα θερμοκήπια είχε ως αποτέλεσμα τις εκτενείς προσπάθειες αξιοποίησης των ηπίων μορφών ενέργειας για θέρμανση των θερμοκηπίων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που εφαρμόζονται στη θέρμανση θερμοκηπίων είναι η ηλιακή ενέργεια, η ενέργεια που προέρχεται από καύση βιομάζας και η γεωθερμική ενέργεια.

#### 2.3.2.1 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική προέλευση. Η αξιοποίηση των οργανικών υπολειμμάτων και αποβλήτων που παράγονται κατά τη ζωική ή φυτική παραγωγή είναι το αντικείμενο αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Τέτοια υπολείμματα και απόβλητα είναι το άχυρο των σιτηρών, τα στελέχη του βαμβακιού, ο κόπρος των ζώων κ.ά. Οι βασικότερες μέθοδοι αξιοποίησης της βιομάζας είναι η καύση και η αεριοποίησή της. Η αξιοποίηση της βιομάζας για τη θέρμανση των θερμοκηπίων γίνεται μέσω της

καύσης της. Βασικό μειονέκτημα της καύσης της Εργαστήριο Κατασκευής Συσκευών Διεργασιών βιομάζας είναι η απαίτηση για πολύ μεγαλύτερη ποσότητα σε σχέση με την ποσότητα των συμβατικών καυσίμων λόγω της μικρότερης θερμογόνου δύναμης.

### 2.3.2.2 Ηλιακά συστήματα

Τα συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια διακρίνονται σε παθητικά και υβριδικά.

Η αρχή λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ενώ δεν γίνεται καθόλου χρήση συμβατικών καυσίμων. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίου κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το μέσο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας που μπορεί να είναι το νερό, ένα υλικό αλλαγής φάσης, ένα στρώμα από χαλίκια ή ένας υπόγειος εναλλάκτης θερμότητας εδάφους-αέρα .

Ένα υβριδικό ηλιακό σύστημα αποτελείται από το παθητικό ηλιακό σύστημα και ένα βοηθητικό συμβατικό σύστημα. Τα πλέον διαδεδομένα υβριδικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στη θέρμανση των θερμοκηπίων είναι:

- Σύστημα εξωτερικού ηλιακού συλλέκτη ζεστού νερού και υπόγεια αποθήκη θερμότητας νερού.
- Σύστημα εξωτερικού ηλιακού συλλέκτη ζεστού αέρα και αποθήκη θερμότητας με πετρώδη υλικά ή υλικά αλλαγής φάσης.
- Σύστημα ηλιακών συλλεκτών, οι οποίοι ενσωματώνονται στην εγκατάσταση του θερμοκηπίου, με ή χωρίς αποθήκη θερμότητας.
- Σύστημα υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας εδάφους-αέρα.

### 2.3.2.3 Αντλίες Θερμότητας και η αρχή λειτουργίας τους

Η αντλία θερμότητας είναι η συσκευή που αντλεί θερμική ενέργεια από μια θερμή δεξαμενή (αναφέρεται ως πηγή) που βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία προς μια καταβόθρα (συνήθως αέρας ή νερό) που βρίσκεται σε υψηλότερη θερμοκρασία είτε με την χρήση μηχανικού έργου είτε με την βοήθεια μιας θερμής δεξαμενής πολύ υψηλής θερμοκρασίας.

### 3. ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

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 τη φέρνει στη μονάδα εσωτερικά του κτιρίου. Η μονάδα αντλεί τη θερμότητα σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και τη 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 τη λειτουργία του συστήματος δηλαδή του συμπιεστή και των κυκλοφορητών. Το σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη τα οποία είναι ο γεωεναλλάκτης, η γεωθερμική αντλία θερμότητας (Γ.Α.Θ) και το σύστημα διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων.

#### 3.1 Γεωεναλλάκτες

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. Τον ρόλο αυτό αναλαμβάνουν οι λεγόμενοι γεωεναλλάκτες. 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 γεωθερμικές αυτές συνδέσεις με το έδαφος μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες, όπως προαναφέρθηκε:

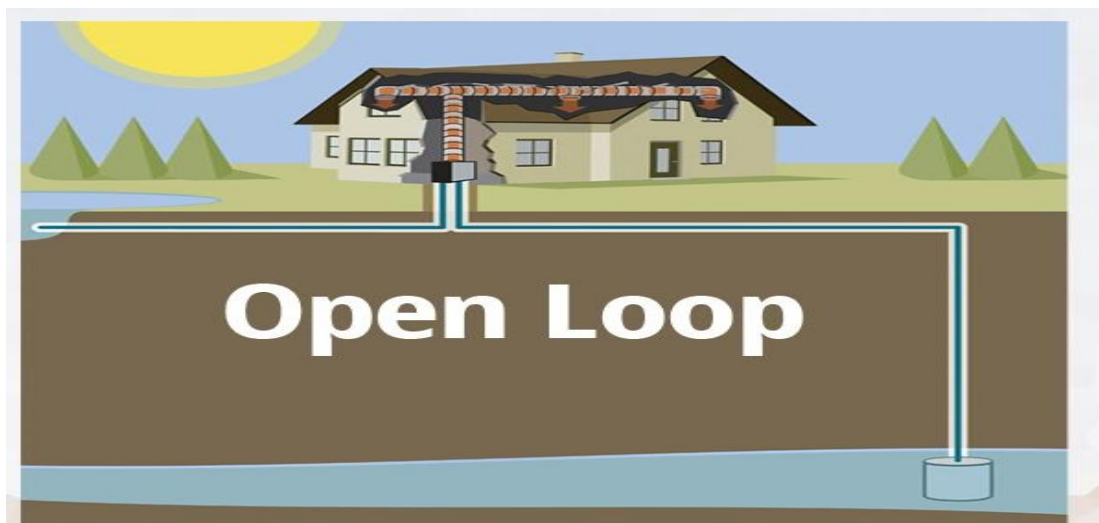
- Γεωεναλλάκτες κλειστού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που βρίσκεται αποθηκευμένη στους γεωλογικούς σχηματισμούς.

- Γεωεναλλάκτες ανοιχτού βρόγχου οι οποίοι εκμεταλλεύονται την παρουσία υπόγειου νερού ή επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα.

### 3.1.1 Γεωεναλλάκτες Ανοιχτού Κυκλώματος

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 στη γεώτρηση της άντλησης. Τα ανοιχτά 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.



Εικόνα 3. Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος

Τα γεωθερμικά συστήματα ανοιχτού βρόγχου συμπεριλαμβάνουν ένα ή περισσότερα φρεάτια άντλησης και ένα ή περισσότερα φρεάτια επαναφόρτισης. 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 στη διαδικασία θέρμανσης-ψύξης. Αφού το νερό διέλθει μέσω της αντλίας 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 τη 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. Παρόλο βέβαια που χρησιμοποιούνται λιγότερο απ' ό,τι 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. Θα πρέπει επίσης να τονιστεί το γεγονός ότι, νερό φτωχό σε ποιότητα μπορεί να δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα στις συγκεκριμένες εφαρμογές. Για το λόγο αυτό συνιστάται 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 τη 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 τη 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 ή θερμικό φορτίο του συστήματος, την τυπική διάρκεια του μέγιστου φορτίου, καθώς και από το πάχος και τη φυσική ροή του υδροφορέα. Εάν δε ληφθεί η απαραίτητη προσοχή στο συγκεκριμένο παράγοντα σχεδιασμού, τότε μπορεί να προκληθεί αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφορέα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών.

### 3.1.2 Γεωεναλλάκτες Κλειστού Κυκλώματος

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 συλλέκτες μεταφέρουν θερμότητα, στη λειτουργία της θέρμανσης από το έδαφος, ή στη λειτουργία της ψύξης προς το έδαφος. Τα κλειστά γεωθερμικά κυκλώματα, αποτελούνται από το 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 είναι εξαιρετικής ανθεκτικότητας, καθώς και μεγάλης διάρκειας ζωής, επιτρέποντας ταυτόχρονα τη 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.

#### 3.1.2.1 Οριζόντια κλειστά γεωθερμικά συστήματα

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 τη 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 150 m<sup>2</sup> έως 300 m<sup>2</sup> ανά τόνο θερμικής/ψυκτικής ικανότητας, ενώ ταυτόχρονα καθοριστικό ρόλο έχουν οι ιδιότητες και η θερμοκρασία του εδάφους. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν περιορισμοί στη διαθέσιμη 38 έκταση γης για την εγκατάσταση της

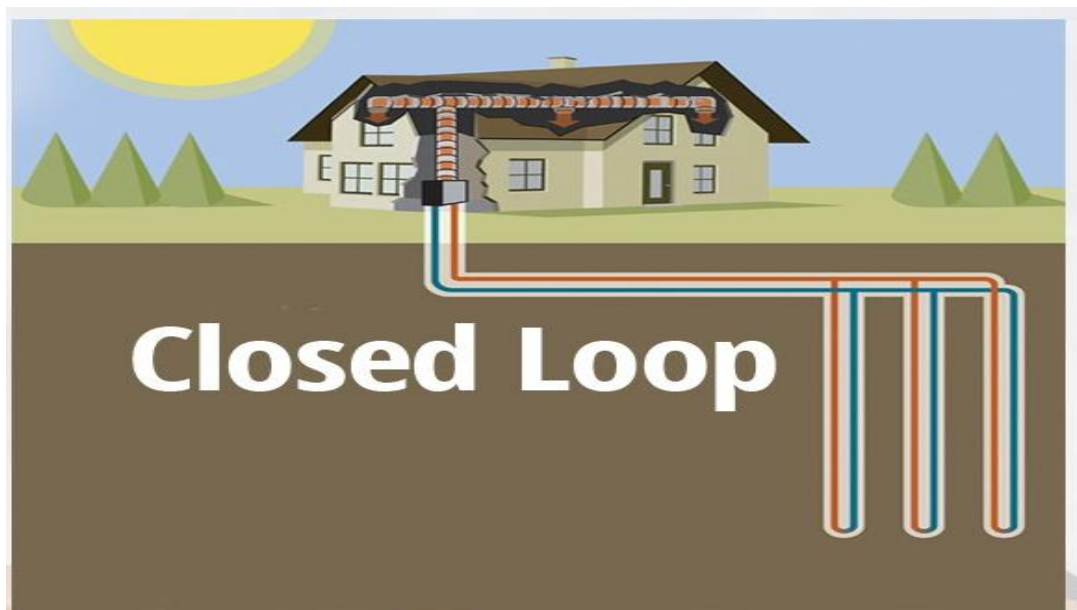
διάταξης, οι αγωγοί τοποθετούνται με σχετικά πιο πυκνή διάταξη και συνδέονται, ανάλογα την περίπτωση, είτε σε σειρά είτε παράλληλα. Μία άλλη διάταξη τοποθέτησης του κυκλώματος είναι η σπειροειδής. Ο τρόπος αυτός εφαρμόζεται με σκοπό τη μείωση του μήκους του γεωεναλλάκτη ανά μήκος ορύγματος, απαιτεί όμως περισσότερο μήκος αγωγού ανά τόνο ικανότητας. Ο αγωγός περιστρέφεται σε σπειροειδή μορφή, επικαλυπτόμενος και εν συνεχεία τοποθετείται μέσα στο όρυγμα. 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. Τέλος, μία εναλλακτική λύση τοποθέτησης του κυκλώματος που έχει αναπτυχθεί λόγω ανεπάρκειας διαθέσιμης έκτασης, είναι η εγκατάσταση των αγωγών σε μικρότερη επιφάνεια αλλά 39 σε μεγαλύτερο βάθος ορύγματος, υπό τη μορφή κυκλωμάτων στενής διαμέτρου αγωγού, όπως απεικονίζεται παραπάνω.

### 3.1.2.2 Κατακόρυφα κλειστά γεωθερμικά συστήματα

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 γεωτρήπανου, μήκους 50 έως 150 μέτρα, ακολουθεί τοποθέτηση μονών ή πολλαπλών αγωγών σχήματος U στον πυθμένα της γεώτρησης και τέλος ακολουθεί εγκιβωτισμός των αγωγών. Κάθε κατακόρυφος αγωγός συνδέεται εν συνεχεία με οριζόντιο υπόγειο αγωγό, μέσα στον οποίο κυκλοφορεί το ρευστό από και προς την εσωτερική μονάδα εναλλαγής θερμότητας. Είναι γεγονός, ότι η τοποθέτηση κατακόρυφου συστήματος γεωεναλλακτών είναι πιο ακριβή, απαιτεί όμως μικρότερο μήκος αγωγών από 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 τις 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. Εμπειρικές τεχνικές 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 m<sup>2</sup> ανά τόνο θερμικής/ψυκτικής ικανότητας. Διάφοροι τύποι κατακόρυφων

γεωεναλλακτών έχουν χρησιμοποιηθεί και ελεγχθεί. Η γεωθερμική βιμηχανία 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 1. Στις Η.Π.Α. αντιθέτως, συνηθίζεται περισσότερο η χρήση μονού ζεύγους αγωγών. Μία αξιοσημείωτη μέθοδος κατακόρυφων γεωθερμικών συστημάτων, είναι αυτή των ενεργειακών πασσάλων. Πρόκειται για εξοπλισμό των πασσάλων θεμελίωσης σε συστήματα αγωγών γεωεναλλακτών. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε προκατασκευασμένους ή σε επί τόπου χωνευτούς πασσάλους, μεγέθους 3" έως 16".



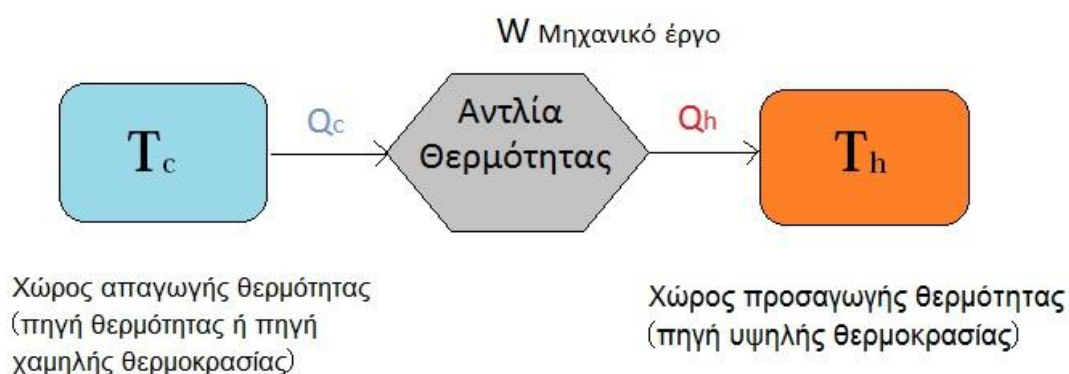
Εικόνα 4. Σύστημα κλειστού κυκλώματος κατακόρυφης διάταξης.

### 3.2 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Γ.Α.Θ)

Η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή η οποία έχει την ικανότητα να αντλεί θερμότητα από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας και να τη μεταφέρει σε έναν αποδέκτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, κατά τη χειμερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από τον ψυχρό εξωτερικό αέρα σε ένα χώρο, με σκοπό τη θέρμανση του χώρου. Επίσης κατά τη θερινή περίοδο μία αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο προς τον θερμότερο εξωτερικό αέρα, με σκοπό την ψύξη του χώρου. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας είναι σχεδιασμένες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να μπορούν να αντιστρέφουν την ψυκτική και τη θερμαντική τους λειτουργία. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της ίδιας συσκευής για ψύξη και θέρμανση. 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. Υπάρχουν διαφορετικά είδη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας σχεδιασμένες για τις αντίστοιχες εφαρμογές. Για παράδειγμα, πολλές γεωθερμικές αντλίες θερμότητας προορίζονται για χρήση μόνο με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες υπόγειου νερού, όπως στα ανοιχτά κυκλώματα. Άλλες λειτουργούν με θερμοκρασίες εισόδου τόσο χαμηλές, όπως  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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

Η αντλία θερμότητας αποτελείται από τέσσερα κατασκευαστικά μέρη, τον συμπιεστή, τον συμπυκνωτή, τον εξατμιστή και την εκτονωτική βαλβίδα. Η μεταφορά της θερμότητας από την χαμηλή στην υψηλή θερμοκρασία γίνεται με κατανάλωση μηχανικής ενέργειας για την λειτουργία του συμπιεστή της συσκευής. Η ενέργεια αυτή προέρχεται είτε από ηλεκτρικό κινητήρα είτε από μία μηχανή εσωτερικής καύσης (πετρελαίου ή φυσικού αερίου). Το μηχανικό έργο που δαπανάται για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας χρησιμεύει για την μεταφορά μιας ποσότητας θερμότητας, που ήδη υπάρχει σε μία πηγή ενέργειας (αέρας, νερό, έδαφος), σε υψηλότερη θερμοκρασία και όχι για την παραγωγή θερμότητας. Συνήθως η διεργασία αυτή της μεταφοράς θερμότητας έχει ένα βαθμό επίδοσης από 2 έως 4, δηλαδή η αντλία θερμότητας παρέχει από 2 έως 4 φορές περισσότερη θερμότητα (kWth) από την ηλεκτρική ενέργεια (kWe) που καταναλώνει. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμότητα που μεταφέρεται στην υψηλή θερμοκρασία περιέχει τόσο το μηχανικό έργο όσο και τη θερμική ενέργεια που απορροφάται στη χαμηλή θερμοκρασία, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 5. Κίνηση ενέργειας κατά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας

Η μεταφορά της θερμότητας μεταξύ των δύο χώρων διαφορετικής θερμοκρασίας γίνεται με τη βοήθεια των ψυκτικών ρευστών. Τα ψυκτικά

ρευστά, ακολουθώντας μία κυκλική λειτουργία σε ένα θερμοδυναμικό κύκλο, απορροφούν θερμότητα όταν εξατμίζονται και αποβάλλουν θερμότητα όταν συμπυκνώνονται. Η χρήση των ψυκτικών ρευστών είναι πολύ διαδεδομένη γιατί τα περισσότερα έχουν την ιδιότητα να εξατμίζονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι μπορούν να απορροφήσουν θερμότητα ακόμη και όταν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας (π.χ. αέρας) είναι μικρότερη από τους 0°C. Βέβαια όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας.

Γενικά, μικρές τοπικές αντλίες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και ψύξη μικρών χώρων (κατοικιών, γραφείων, καταστημάτων κ.λ.π.). Για τη θέρμανση και ψύξη μεγαλύτερων χώρων (νοσοκομείων, πολυκαταστημάτων, γραφείων, θερμοκηπίων), για τη θέρμανση νερού σε κολυμβητήρια και για την κεντρική παραγωγή θερμού νερού χρήσης χρησιμοποιούνται μεγάλα κεντρικά συστήματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αντί να χρησιμοποιηθεί μία μόνο αντλία θερμότητας, η συνολική ισχύς μοιράζεται σε πολλές μικρότερης ισχύος συσκευές, για να εξυπηρετηθεί ένα κτίριο κατά ζώνες. Επίσης συχνά εγκαθίστανται συστήματα με αντλίες θερμότητας, τα οποία παρέχουν συγχρόνως θέρμανση και ψύξη σε ένα κτίριο.

### 3.2.1 Αρχές λειτουργίας-Βαθμός επίδοσης

Η αρχή λειτουργίας των αντλιών θερμότητας είναι ίδια με αυτή που εφαρμόζεται στα κοινά ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από τον χώρο του ψυγείου (~ 5oC) στον χώρο του περιβάλλοντος (~ 20oC). Οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για θέρμανση μεταφέρουν θερμότητα από το εξωτερικό περιβάλλον σε έναν θερμαινόμενο χώρο, ενώ οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για ψύξη μεταφέρουν θερμότητα από ένα χώρο που ψύχεται προς το εξωτερικό περιβάλλον. Συνήθως οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται τόσο για τη θέρμανση όσο και για την ψύξη ενός χώρου, χωρίς αυτό να αποτελεί τον κανόνα, διότι σε πολλές περιπτώσεις μία αντλία θερμότητας εγκαθίσταται αποκλειστικά για θέρμανση.

Η λειτουργία των αντλιών θερμότητας βασίζεται σε διάφορους ψυκτικούς κύκλους με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών ενός ψυκτικού ρευστού. Για την λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών είναι απαραίτητες οι παρακάτω συσκευές:

1. ο συμπιεστής
2. ο συμπυκνωτής
3. ο εξατμιστής
4. η εκτονωτική διάταξη
5. η τετράοδη βαλβίδα.

Οι συσκευές αυτές είναι κοινές για όλους τους τύπους των αντλιών θερμότητας που θα αναφερθούν στην συνέχεια.

Ο συμπιεστής είναι το πιο σημαντικό μηχανικό μέρος των συστημάτων που εργάζονται με βάση τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμών. Ο συμπιεστής είναι μια αντλία ατμού. Αναρροφά τους ατμούς του ψυκτικού ρευστού από τον εξατμιστή, τους συμπιέζει από τη χαμηλή πίεση στην υψηλή και καλύπτει τις απώλειες πίεσης στις σωληνώσεις και τα εξαρτήματα του ψυκτικού κύκλου. Οι

πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι συμπιεστών είναι οι φυγοκεντρικοί, οι κοχλιωτοί, οι παλινδρομικοί (εμβολοφόροι), οι σπειροειδείς συμπιεστές καθώς και οι συμπιεστές τύπου τυμπάνου.

Ο συμπυκνωτής είναι το τμήμα της αντλίας θερμότητας από το οποίο αποβάλλεται η θερμότητα. Ουσιαστικά ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ του ψυκτικού ρευστού και της πηγής/αποδέκτη θερμότητας. Κατά την θερμαντική λειτουργία, ο συμπυκνωτής αποδίδει θερμότητα στο μέσον ή το χώρο που πρέπει να θερμανθεί. Αντίστροφα κατά την ψυκτική λειτουργία ο συμπυκνωτής απορρίπτει θερμότητα στο εξωτερικό περιβάλλον. Στην πράξη αυτό γίνεται με την αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου και την εναλλαγή της λειτουργίας του συμπυκνωτή και του εξατμιστή. Οι συμπυκνωτές διακρίνονται σε δύο κατηγορίες τους αερόψυκτους και τους υδρόψυκτους.

Οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες με εξωτερικά πτερύγια (από χαλκό ή αλουμίνιο), μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ψυκτικό ρευστό. Τα πτερύγια αυξάνουν την επιφάνεια εναλλαγής έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερα η αποβολή της θερμότητας. Ο αέρας κυκλοφορεί με την βοήθεια ανεμιστήρα (εξαναγκασμένη κυκλοφορία) κάτι που καθιστά τον συμπυκνωτή ιδιαίτερα θορυβώδη και απόλυτα εξαρτημένο από την απαίτηση για συχνή συντήρηση (καθαρισμό, έλεγχο του ανεμιστήρα).

Οι υδρόψυκτοι συμπυκνωτές ψύχονται με την βοήθεια του νερού. Χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας με πηγή/αποδέκτη θερμότητας το νερό (ανοιχτό κύκλωμα) ή το έδαφος (κλειστό κύκλωμα). Κατασκευάζονται και αυτοί από χαλκοσωλήνες όπως και οι αερόψυκτοι συμπυκνωτές.

Ο εξατμιστής είναι το τμήμα της αντλίας θερμότητας που απορροφά θερμότητα από έναν χώρο ή ένα μέσον. Όπως ο συμπυκνωτής, έτσι και ο εξατμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας μεταξύ ψυκτικού ρευστού και πηγής/αποδέκτη θερμότητας.

Η απορρόφηση θερμότητας γίνεται με εξάτμιση του ψυκτικού μέσου υπό σταθερή πίεση. Οι εξατμιστές κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες, σε αντίστοιχους τύπους με τους συμπυκνωτές ( υδρόψυκτοι- αερόψυκτοι).

Οι υδρόψυκτοι εξατμιστές συνδυάζονται με αντλίες θερμότητας που έχουν ως πηγή/αποδέκτη θερμότητας το νερό (αντλίες θερμότητας νερού/νερού και εδάφους/νερού). Αντίστοιχα οι αερόψυκτοι εξατμιστές τοποθετούνται στις αντλίες θερμότητας με πηγή/αποδέκτη θερμότητας τον αέρα ( αντλίες θερμότητας αέρα – αέρα και αέρα νερού).

Το μειονέκτημα των εξατμιστών είναι ότι λόγω της λειτουργίας τους, συχνά ρίχνουν την θερμοκρασία της πηγής θερμότητας σε πολύ χαμηλά επίπεδα, με κίνδυνο να σχηματιστεί πάγος στην επιφάνεια των σωλήνων. Αυτό μπορεί να προκαλέσει μηχανικές βλάβες στους σωλήνες, ενώ εμποδίζει και τη μετάδοση θερμότητας. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός, στους υδρόψυκτους εξατμιστές κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιείται διάλυμα αντιπηκτικού αντί για νερό. Αντίστοιχα, στους αερόψυκτους εξατμιστές ανοικτού κυκλώματος, όταν η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας πέσει χαμηλά, ενεργοποιείται η διαδικασία της αποπάγωσης.

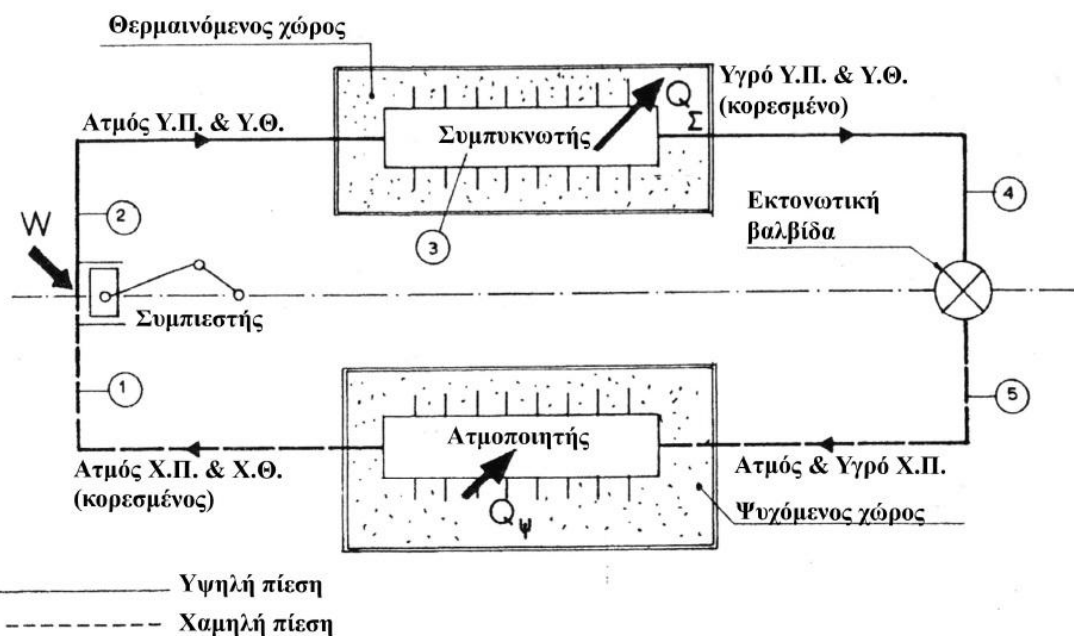
Η εκτονωτική διάταξη ρυθμίζει την ποσότητα του υγρού ψυκτικού ρευστού από τον συμπυκνωτή προς τον εξατμιστή και αλλάζει τα θερμοδυναμικά

χαρακτηριστικά του ψυκτικού ρευστού έτσι ώστε από υγρό υψηλής πίεσης στην έξοδό του, να μετατρέπεται σε μίγμα υγρού-ατμού σταθερής χαμηλής πίεσης. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εκτονωτικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται στις αντλίες θερμότητας είναι η θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα και ο τριχοειδής σωλήνας.

Η τετράοδη βαλβίδα ανάμιξης είναι η συσκευή μέσω της οποίας γίνεται η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου από ψύξη σε θέρμανση. Η ενεργοποίησή της γίνεται από την διάταξη ελέγχου που έχει κάθε αντλία θερμότητας.

Γενικά εκτός από τις πέντε παραπάνω βασικές συσκευές, οι αντλίες θερμότητας περιλαμβάνουν ανάλογα με την κατασκευή τους και διάφορα άλλα εξαρτήματα και μηχανισμούς, που έχουν ως αποστολή την καλύτερη ρύθμιση και την ασφαλή λειτουργία τους. Ενδεικτικότερα μπορούν να αναφερθούν:

- ο διαχωριστής λαδιού, που τοποθετείται στην έξοδο του συμπιεστή και έχει ως σκοπό να διαχωρίσει το λάδι λίπανσης από τους υπέρθερμους ατμούς του ψυκτικού ρευστού
- το φίλτρο-ξηραντήρας, που συγκρατεί τα στερεά σωματίδια και τα ίχνη υδρατμού ή νερού που περιέχονται στο ψυκτικό ρευστό
- οι βαλβίδες αντεπιστροφής, που επιτρέπουν τη ροή του ψυκτικού μόνο προς μία κατεύθυνση
- οι ρυθμιστές υψηλής και χαμηλής πίεσης
- οι διατάξεις αποπάγωσης
- οι θερμοστάτες
- οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου κ.ά.



Εικόνα 6. Ψυκτική διάταξη Γ.Α.Θ

Σε χαμηλή πίεση τα ψυκτικά ρευστά εξατμίζονται σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι αφαιρούν εύκολα θερμότητα. Αντίθετα, σε υψηλή πίεση έχουν υψηλή θερμοκρασία και αποβάλλουν εύκολα τη θερμότητα που περιέχουν.



Οι ψυκτικές διατάξεις, εκτός από τις παραπάνω τέσσερις βασικές συσκευές, περιέχουν και διάφορα άλλα εξαρτήματα, όργανα και συσκευές (π.χ. σωληνώσεις κυκλοφορίας του ψυκτικού μέσου, βαλβίδες, φίλτρα, αφυγραντήρες, όργανα αυτοματισμού και ελέγχου, καλωδιώσεις κ.λ.π.).

Αν η καταναλισκόμενη ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι  $W$ , τότε η θερμότητα που μεταφέρεται στο χώρο του θερμοκηπίου είναι  $Q+W$ .

Ο συντελεστής λειτουργίας (COP) της αντλίας θερμότητας είναι:

$$COP = ( Q + W ) / W$$

Η αποτελεσματικότερη λειτουργία της αντλίας θερμότητας επιτυγχάνεται, όταν η μεταφερόμενη θερμότητα  $Q$  είναι η μεγαλύτερη δυνατή και η καταναλισκόμενη ενέργεια, η μικρότερη δυνατή.

Ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας, μειώνεται κατά πολύ σε περιόδους που οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγάλες. Έτσι, ενώ ο ονομαστικός βαθμός απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας είναι συνήθως 3,25 για 10°C στο εξωτερικό περιβάλλον και 21°C στο εσωτερικό, ο βαθμός αυτός πέφτει κάτω του 1,5 όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από τους -6°C. Αυτό σημαίνει ότι απαιτούνται αντιστάσεις θέρμανσης οι οποίες θα καλύψουν το επιπλέον φορτίο.

Ανάλογα με την απαραίτητη ισχύ που θα πρέπει να καταναλώνεται στις αντιστάσεις, προκύπτει το τελικό συμπέρασμα για την οικονομικότητα ή όχι των αντλιών θερμότητας σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση. Για ήπια κλίματα σαν της χώρας μας, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει υψηλό συντελεστή απόδοσης (COP).

Η αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμοκήπια για:

- Θέρμανση ή/και ψύξη
- Αφύγρανση
- Αφύγρανση σε συνδυασμό με θέρμανση ή ψύξη

Η χρησιμοποίηση της αντλίας θερμότητας ως συσκευής ψύξης του θερμοκηπίου κρίνεται εντελώς ασύμφορη, γιατί τα φορτία θερμότητας που πρέπει να αντληθούν το καλοκαίρι από το θερμοκήπιο είναι πάρα πολύ μεγάλα και η αφυδάτωση του χώρου είναι επίσης υψηλή.

### 3.2.2 Τύποι αντλιών θερμότητας

Ανάλογα με την πηγή θερμότητας που χρησιμοποιούν και το μέσο διανομής της θερμότητας στο χώρο του θερμοκηπίου, οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε:

Νερού-Νερού: Συνήθως η αντιστροφή της λειτουργίας γίνεται μέσω τετράοδης βαλβίδας στον κύκλο του ψυκτικού υγρού. Είναι όμως και εδώ πιο απλό και πρακτικό να γίνει η αντιστροφή αυτή με εναλλαγή του κύκλου του νερού, όπως φαίνεται και στο αντίστοιχο διάγραμμα του πίνακα 5. Στην περίπτωση που η πηγή έχει σταθερή θερμοκρασία και η διαφορά θερμοκρασίας εξατμιστή

και συμπυκνωτή δεν είναι μεγάλη, η μέγιστη απόδοση (COP) είναι 5, η μέση τιμή του είναι 3,5 και η ελάχιστη τιμή του 2,5-3.

Αέρα-Αέρα: Υπάρχουν δύο τύποι κύκλου αέρα-αέρα, όπως φαίνεται στον πίνακα 5. Έτσι έχουμε αυτόν στον οποίο η εναλλαγή λειτουργίας από ψύξη σε θέρμανση γίνεται μέσω αλλαγής της ροής του ψυκτικού υγρού με τη βοήθεια τετράοδης βαλβίδας, οπότε έχουμε την εναλλαγή των ρόλων συμπυκνωτή και εξατμιστή. Υπάρχει όμως και αυτός ο τύπος στον οποίο εναλλάσσεται η διεύθυνση της ροής του κυκλοφορούντος εξωτερικού και εσωτερικού αέρα μέσω αεροδιαφραγμάτων (dampers). Στην περίπτωση αυτή η θέση του συμπυκνωτή και του εξατμιστή παραμένουν σταθερές, αλλά ο κλιματιζόμενος αέρας περνά από τον εξατμιστή το καλοκαίρι και από τον συμπυκνωτή τον χειμώνα. Ο μέσος COP στην περίπτωση αυτή είναι περίπου 2

Νερού-Αέρα: Η πηγή (ή ο αποδέκτης θερμότητας) είναι το νερό, ενώ ο αέρας είναι το μέσο μεταφοράς της θερμότητας, στον ή από τον εσωτερικό χώρο του θερμοκηπίου. Ο μέσος COP είναι 3,5.

Αέρα-Νερού: Μπορεί να χρησιμοποιείται μόνο για θέρμανση νερού ή για θέρμανση και ψύξη νερού με τη χρήση τετράοδης βαλβίδας. Ο μέγιστος COP είναι 3-4 και ο μέσος περίπου 2,5.

Για την επιλογή της αντλίας θερμότητας ως συστήματος θέρμανσης στο θερμοκήπιο, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη η διαθέσιμη πηγή θερμότητας (νερό, αέρας), το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος ή του συμβατικού καυσίμου, το αρχικό κόστος εγκατάστασης και οι δαπάνες συντήρησης που δεν είναι καθόλου ευκαταφρόνητες.

ΦΥΣΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ «ΑΠΟΘΗΚΗ»	ΡΕΥΣΤΟ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ	
ΑΕΡΑΣ	ΑΕΡΑΣ	ΜΕ ΦΥΚΤΙΚΟ	
ΑΕΡΑΣ	ΑΕΡΑΣ	ΜΕ ΑΕΡΑ	
ΝΕΡΟ	ΑΕΡΑΣ	ΜΕ ΦΥΚΤΙΚΟ	
ΑΕΡΑΣ	ΑΕΡΑΣ	ΜΕ ΦΥΚΤΙΚΟ	
ΓΗ (ΕΔΑΦΟΣ)	ΑΕΡΑΣ	ΜΕ ΦΥΚΤΙΚΟ	

Πίνακας 5. Τύποι αντλιών θερμότητας.

### 3.2.3 Πλεονεκτήματα των Αντλιών Θερμότητας

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 CO<sub>2</sub>.
- 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.

### 3.3 Συστήματα Διανομής Θερμικών και Ψυκτικών Φορτίων

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 τη διανομή της παραγόμενης θερμότητας ή ψύξης στο εσωτερικό των κτιρίων. Οι γεωθερμικές 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/επιτοιχία 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 τη θερμική διαστρωμάτωση του αέρα. Ωστόσο, η διαμόρφωση των εσωτερικών δικτύων αποτελεί αρχιτεκτονική επιλογή και αποτέλεσμα μηχανολογικής μελέτης.

	ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΜΟΝΑΔΕΣ	ΑΝΟΙΚΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ		ΚΛΕΙΣΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	
			ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΨΥΞΗ
<b>FAN COIL UNITS</b>	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
<b>ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ - ΔΡΟΣΙΣΜΟΣ</b>	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

Πίνακας 6. Προδιογραφές συστημάτων διανομής θερμικών και ψυκτικών φορτίων

### 3.3.1 Ενδοδαπέδια Θέρμανση

Μια εγκατάσταση ενδοδαπέδιας θέρμανσης καλύπτει απόλυτα τις ανάγκες κατοικιών, επαγγελματικών χώρων καθώς και θερμοκηπίων 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 τη θέρμανση χώρων με μεγάλο ύψος οροφής, όπως βιομηχανικές εγκαταστάσεις, εκκλησίες κτλ. Η θέρμανση λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, από 30 °C έως 45 °C, που κυκλοφορεί σε σωλήνες εγκιβωτισμένους στο δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμό μπετόν 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 μια αίσθηση θερμικής θαλπωρής. Προσφέρει πολύ χαμηλό λειτουργικό κόστος γιατί λειτουργεί σε χαμηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια τη 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 στη δάπεδο θέρμανση, με την επιφάνεια όλου του δαπέδου, με συνέπεια τη μεγάλη αύξηση της θερμαντικής ισχύος. Απαλλάσσοντας το κτίριο από α εμφανή θερμαντικά σώματα, επιτρέπει την εκμετάλλευση όλων των χώρων με λειτουργικό τρόπο, προσφέροντας ένα καλαίσθητο αρχιτεκτονικό αποτέλεσμα



Εικόνα 7. Σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης σε θερμοκήπιο.

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 δε 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 κτιριακής συντήρησης.
- Το μηδενικό κόστος συντήρησης και αντικατάστασης θερμαντικών σωμάτων.
- Αύξηση του χρόνου ζωής του καυστήρα, ο οποίος λειτουργεί λιγότερες ώρες.

Το σύστημα ενδοδαπέδιου δροσισμού λειτουργεί εκμεταλλευόμενο το ήδη υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων της 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 - 20 °C, ενώ η θερμοκρασία του δαπέδου είναι 20 – 22 °C. Με τη λειτουργία του δροσισμού επιτυγχάνουμε μείωση της θερμοκρασίας του χώρου 4 - 6 °C. 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 δαπέδου δροσισμού, 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 στη διαμόρφωση των χώρων, μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και μειωμένο αρχικό κόστος κτήσης, αφού χρησιμοποιούμε το ήδη υπάρχον δίκτυο σωληνώσεων, ενώ το ψυκτικό μηχάνημα υποδιαστασιολογείται, γιατί στη συγκεκριμένη εγκατάσταση εκμεταλλευόμαστε την αδράνεια και τη θερμοχωρητικότητα του συστήματος.

### 3.3.2 Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας (Fan Coils)

Παρόμοια με την ενδοδαπέδια εγκατάσταση που προαναφέρθηκε, έτσι και τα σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα, απαιτούν για τη 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 δε χρειάζονται πολλές μικρές μονάδες στους εξωτερικούς χώρους, αλλά μόνο μία κεντρική αντλία θερμότητας. Μία μονάδα fan coil είναι ένα απλό μηχάνημα, το οποίο ουσιαστικά αποτελείται από ένα θερμικό/ψυκτικό πηνίο και τον ανεμιστήρα. Η λειτουργία τους βασίζεται στη 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 πτερυγίων και διανέμεται στο εσωτερικό του κτιρίου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, η θέρμανση/ψύξη προέρχεται από την αντλία θερμότητας. Κατά την ψυκτική λειτουργία της σπείρας σωλήνων, προβλέπεται η ταυτόχρονη ύγρανση του εισερχόμενου αέρα. Το προϊόν της συμπύκνωσης είναι διαστέλλοντα 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 φαίνεται, πως η απόδοση 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 με ένα κλιματιστικό αέρα-αέρα.



Εικόνα 8. Σύστημα θέρμανσης – δροσισμού με Fan Coils.

### 3.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΣΗ

#### 3.4.1 Διαστασιολόγηση του συστήματος

Η διαστασιολόγηση του συστήματος, περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του μήκους των σωληνώσεων, της διαμέτρου των σωληνώσεων, του υλικού των σωληνώσεων και τέλος την επιλογή των όποιων συμπληρωματικών συσκευών- διατάξεων. Για το μήκος του γεωεναλλάκτη έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες κυρίως για τους κατακόρυφους γεωεναλλάκτες και λιγότερο για τους οριζόντιους.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πιο κοινές μέθοδοι υπολογισμού του γεωεναλλάκτη στη διεθνή βιβλιογραφία.

Προτεινόμενη μεθοδολογία κατά ASHRAE

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη λύση της εξίσωσης μετάδοσης θερμότητας για κυλινδρικό σωλήνα θαμμένο στη γη. Η εξίσωση καθώς και οι λύσεις της προτάθηκαν από τον Iggersol ως μία κατάλληλη μέθοδος διαστασιολόγησης γεωεναλλακτών καλύπτοντας και τις περιπτώσεις όπου οι γραμμικές εξισώσεις παρουσιάζουν σφάλματα. Η γραμμική εξίσωση δίνει καλά αποτελέσματα όταν τις δίνονται ημερήσιες μέσες τιμές της θερμοκρασιακής διακύμανσης αλλά εμφάνιζε προβλήματα όταν οι χρονικές περίοδοι γίνονταν μικρότερες των 6 ωρών. Έτσι για ακριβέστερα αποτελέσματα στις περιπτώσεις που χρειάζεται εκτίμηση με ωριαίες μεταβολές της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η εξίσωση της κυλινδρικής πηγής θερμότητας. Σ' αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι η απόδοση του γεωεναλλάκτη εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα θερμότητας που αφαιρείται και προστίθεται στο έδαφος. Έτσι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας επιτυγχάνονται σε βάθος χρόνου. Ο σχεδιασμός του γεωεναλλάκτη μπορεί να επηρεάσει αυτή τη δυναμική. Παρ' όλα αυτά η λεπτομερής πολυετή προσομοίωση των συστημάτων αυτών δεν κρίνεται απαραίτητη. Η τεράστια μάζα του εδάφους αποσβένει τις μεταβολές της μεταφοράς θερμότητας ενώ μία εκτίμηση της ετήσιας ανταλλαγής θερμότητας είναι αρκετή ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση του συστήματος. Η μεγαλύτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στον χειρισμό των ημερήσιων ή ακόμα και ωριαίων μεταβολών της μετάδοσης θερμότητας από και προς το έδαφος η οποία αποτυπώνεται στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Με τη μέθοδο του Iggersol μπορεί να ληφθούν υπ' όψιν και αυτές οι μεταβολές μικρής περιόδου. Η μέθοδος βασίζεται σε μία απλή εξίσωση μετάδοσης θερμότητας που θεωρεί την κατάσταση σχεδόν σταθερή (steady-state).

$$q = L \frac{(t_g - t_w)}{R}$$



Η παραπάνω εξίσωση λυμένη ως προς L δίνει το απαιτούμενο μήκος σωλήνα. Η εξίσωση μπορεί να μετατραπεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να αντιπροσωπεύει τη μεταβλητή ροή θερμότητας γύρω από τον γεωεναλλάκτη χρησιμοποιώντας μία σειρά από σταθερούς θερμικούς παλμούς. Έτσι η θερμική αντίσταση του εδάφους ανά μονάδα μήκους υπολογίζεται ως συνάρτηση του χρόνου, που αντιστοιχεί στο χρόνο που ένας θερμικός παλμός λαμβάνει χώρα. Ένας όρος ακόμα περιλαμβάνεται ώστε να υπολογιστεί η θερμική αντίσταση των τοιχωμάτων του σωλήνα καθώς και η αλληλεπίδραση μεταξύ του σωλήνα και του υγρού όπως και του σωλήνα και του εδάφους. Η εξίσωση που προκύπτει έχει την παρακάτω μορφή όταν πρόκειται για εφαρμογή δροσισμού- ψύξης .

$$L_c = \frac{q_a R_{ga} + (q_{lc} - 3,41\bar{W}_c)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Και όταν πρόκειται για εφαρμογή θέρμανσης παίρνει τη μορφή:

$$L_h = \frac{q_a R_{ga} + (q_{lh} - 3,41\bar{W}_h)(R_b + PLF_m R_{gm} + R_{gd} F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

F<sub>sc</sub> : παράγοντας απωλειών θερμότητας μικρής απόστασης

L<sub>c</sub> : Απαιτούμενο μήκος σωλήνα για δροσισμό (m)

L<sub>h</sub> : Απαιτούμενο μήκος σωλήνα για θέρμανση (m)

PLF<sub>m</sub> : Παράγοντας μερικού-φορτίου κατά το μήνα σχεδιασμού

q<sub>a</sub>: Μέση ετήσια μεταφορά θερμότητας προς το έδαφος (Btu/h)

q<sub>lc</sub>: φορτίο δροσισμού σχεδιαζόμενου κτιρίου (Btu/h)

q<sub>lh</sub>: φορτίο θέρμανσης σχεδιαζόμενου κτιρίου (Btu/h)

R<sub>ga</sub>: δραστική θερμική αντίσταση του εδάφους σε ετήσια βάση (h\* Ft\* 0F/Btu)

R<sub>gd</sub>: δραστική θερμική αντίσταση του εδάφους σε ημερήσια βάση (h\* Ft\* 0F/Btu)

R<sub>b</sub>: θερμική αντίσταση σωλήνα (h\* Ft\* 0F/Btu)

t<sub>g</sub>: αδιατάραχτη θερμοκρασία εδάφους (0F)

t<sub>p</sub>: διόρθωση θερμοκρασίας για τυχόν παρεμβολές από παρακείμενους σωλήνες (0F)

t<sub>wi</sub>: θερμοκρασία ρευστού κατά την είσοδο στην αντλία θερμότητας (0F)

t<sub>wo</sub>: θερμοκρασία ρευστού κατά την έξοδο από την αντλία θερμότητας (0F)

W<sub>c</sub>: Προσδιδόμενη ισχύς στο φορτίο σχεδιασμού για δροσισμό (W)

W<sub>h</sub>: Προσδιδόμενη ισχύς στο φορτίο σχεδιασμού για θέρμανση (W)

Εφόσον το σύστημα θα είναι κοινό επιλέγεται το μεγαλύτερο υπολογισμένο μήκος. Αν διαπιστωθεί ενδεχόμενη δυσλειτουργία στην εφαρμογή που αντιστοιχεί στο μικρότερο μήκος μπορεί να χρησιμοποιηθούν βοηθητικά συστήματα δροσισμού ή θέρμανσης.

Απλουστευμένες μεθοδολογίες

Ο σχεδιασμός του γεωεναλλάκτη αποτελεί ένα από τα βασικά κομμάτια στα συστήματα αβαθούς γεωθερμίας. Εκτός από τις αναλυτικές εξισώσεις οι οποίες κατά κανόνα εφαρμόζονται στην περίπτωση των κατακόρυφων συστημάτων υπάρχουν και κάποιες προσεγγιστικές λύσεις. Στην περίπτωση ειδικά των οριζόντιων συστημάτων όπου το κόστος μειώνεται σημαντικά η προσέγγιση του απαιτούμενου μήκους θεωρείται αποδεκτή λύση. Έτσι έχει προταθεί ότι το μήκος του γεωεναλλάκτη μπορεί να ληφθεί ως συνάρτηση του φορτίου θέρμανσης ή δροσισμού αντίστοιχα. Έτσι αντιστοιχεί ένα μήκος της τάξης των 35-60m ανά kW απαιτήσεων θέρμανσης ή δροσισμού. Σε αντίστοιχη προσέγγιση εκτιμάται το απαιτούμενο μήκος των σωληνώσεων 30-50m ανά kW της ονομαστικής ισχύς της αντλίας και καταλαμβανόμενη επιφάνεια περίπου 50-100m<sup>2</sup>/kW σε οριζόντια συστήματα με συμβατική τοποθέτηση σωληνώσεων. Για τους κατακόρυφους γεωεναλλάκτες εκτιμάται περίπου 10-25m ανά kW.

### 3.4.2 Τοποθέτηση γεωεναλλάκτη

Όπως ήδη έχει περιγραφεί η τοποθέτηση των σωληνώσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθέσιμη επιφάνεια, τη φύση του εδάφους και το μέγεθος του συστήματος. Ενώ στα κτίρια υπάρχουν αρκετά παραδείγματα τοποθέτησης- στην περίπτωση των θερμοκηπίων δεν υπάρχουν τόσες πολλές περιπτώσεις ώστε να οδηγήσουν σε ασφαλή συμπεράσματα για την ορθότερη επιλογή. Υπάρχει η δυνατότητα του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη όπου σε πειραματική διάταξη αποδείχθηκε ότι με τη βοήθεια κάποιου δεύτερου συστήματος μπορεί να καλύψει τις ανάγκες ενός θερμοκηπίου.

Από τη σκοπιά της αποδοτικότητας του συστήματος, ενεργειακά, δε φαίνεται να υπάρχει διάταξη γεωεναλλάκτη που να μη μπορεί να καλύψει τα φορτία. Σε σχετική μελέτη ανάλυση κύκλου ζωής αποδείχθηκε ότι ένα σύστημα αβαθούς γεωθερμίας για θέρμανση θερμοκηπίου καθίσταται βιώσιμο αν οι τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένουν υψηλές και αν το αρχικό κόστος της εγκατάστασης μπορεί να κρατηθεί σε σχετικά χαμηλά επίπεδα. Δεδομένου ότι τα οικονομικά δεδομένα αποτελούν βασικό παράγοντα η λύση της οριζόντιας τοποθέτησης φαίνεται να είναι η περισσότερο ενδεδειγμένη.

Η σπειροειδής διάταξη απαιτεί τη λιγότερη δυνατή επιφάνεια είτε αυτή τοποθετείται οριζόντια σε τάφρο ή αυλάκι ή και στην περίπτωση της κάθετης τοποθέτησης. Στη συμβατική τοποθέτηση απαιτείται πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια που δεν είναι πάντα δυνατό ειδικά σε θερμοκηπιακές κατασκευές που ήδη υφίστανται (οι περιβάλλοντες χώροι μπορεί να είναι δεσμευμένοι).

### 3.5 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα στοιχεία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάθε φορά που γίνεται εκτίμηση του κόστους ανάπτυξης και παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας είναι πολύ περισσότερα και πιο σύνθετα σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας. Συνεπώς, θα πρέπει όλα αυτά τα στοιχεία να συλλέγονται και να αξιολογούνται πολύ προσεκτικά πριν την κατασκευή μιας γεωθερμικής μονάδας. Το κόστος ανάπτυξης και παραγωγής της γεωθερμικής ενέργειας, για την καλύτερη κατανόηση της δομής του, χωρίζεται σε δυο τομείς. Ο πρώτος ονομάζεται κόστος κύριας επένδυσης και ο δεύτερος, δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης. Οι δύο αυτοί τομείς επηρεάζονται από μια σειρά παραμέτρων και έτσι λοιπόν, το συνολικό κόστος της γεωθερμικής ενέργειας εμφανίζει μεγάλη ποικιλομορφία. Η οικονομική-τεχνική μελέτη πραγματοποιείται από τον μηχανολόγο μηχανικό.

Το κόστος της αρχικής και κύριας επένδυσης περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες σχετικά με την ανάπτυξη του έργου, μέχρις ότου τεθεί σε λειτουργία το σύστημα. Η ανάπτυξη αυτή αποτελείται από τρεις διαδοχικές φάσεις οι οποίες περιλαμβάνουν τον εντοπισμό του γεωθερμικού πεδίου (εξερεύνηση), την επιβεβαίωση της παραγωγικής του ικανότητας (επιβεβαίωση) και την κατασκευή των εγκαταστάσεων (εργασίες ανάπτυξης).

Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης αποτελείται από όλες τις δαπάνες που πραγματοποιούνται κατά τη διάρκεια της φάσης λειτουργίας του γεωθερμικού συστήματος. Οι δαπάνες αυτές εξαρτώνται από την ποιότητα και το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων παραγωγής, τα χαρακτηριστικά της γεωθερμικής πηγής και τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Σημαντικές ακόμη παράμετροι που έχουν επιπτώσεις στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης σχετίζονται με τις δαπάνες εργασίας, την ποσότητα των χημικών ουσιών και των υπόλοιπων αναλωσίμων υλικών που χρησιμοποιούνται κατά τη λειτουργία, το μέγεθος των γεωτρήσεων συντήρησης που απαιτούνται, και το κόστος του εξοπλισμού που πρέπει να αντικατασταθεί στη διάρκεια ζωής του έργου. Επίσης, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός γεωθερμικού συστήματος δεν είναι σταθερό καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών λειτουργίας, οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης αναμένονται να είναι σχετικά χαμηλές αλλά αυξάνονται σταδιακά, καθώς με την πάροδο του χρόνου αυξάνεται η ηλικία του εξοπλισμού, πράγμα που οδηγεί στην αύξηση του κόστους συντήρησης, ενώ συχνά απαιτούνται και αντικαταστάσεις ορισμένων τμημάτων. Το κόστος συντήρησης συγκεκριμένα περιλαμβάνει όλες τις δαπάνες σχετικές με τη συντήρηση του εξοπλισμού για την ομαλή και αποδοτική λειτουργία του συστήματος.

#### **4. PROJECT ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΣΤΟ ΡΕΘΥΜΝΟ ΚΡΗΤΗΣ**

Το κεφάλαιο που ακολουθεί αναφέρεται στο project για την μελλοντική υλοποίηση μικρού θερμοκηπίου με θέρμανση αβαθούς γεωθερμίας κλειστού συστήματος, οριζόντιας διάταξης στην ευρύτερη περιοχή του Ρέθυμνου, συγκεκριμένα στο χωριό Βιράν Επισκοπή. Η Βιράν Επισκοπή είναι ένα χωριό στο νομό Ρεθύμνου, στην παλιά εθνική οδό Ρεθύμνου – Ηρακλείου και 14 περίπου χιλιόμετρα ανατολικά του Ρεθύμνου.

##### **4.1 Μορφολογία Εδάφους Ρέθυμνου**

Το έδαφος του νομού Ρεθύμνου είναι ορεινό, με εξαιρετικά έντονο ανάγλυφο στο ανατολικό τμήμα, όπου υψώνεται ο Ψηλορείτης με την ψηλότερη κορυφή του Τίμιος Σταυρός (2.456 μ.) και με τις χαμηλότερες Κουρούνα (1.855 μ.), Σιτάρας (1.575 μ.), Χαμένη (1.281 μ.), Τυμπανάτορας (1.491 μ.), Σκίναγας (1.752 μ.) κ.ά. νοτιοδυτικά του Ψηλορείτη και σχεδόν παράλληλα υψώνεται ο Κέδρος (1.777 μ.), ο οποίος προεκτείνεται στα βόρεια με τις κορυφές Σωρός (1.186 μ.) και Φορτέσα (658 μ.). νοτιοδυτικά του Κέδρου και παράλληλα σχεδόν εκτείνεται μια χαμηλότερη σειρά από όρη, που αρχίζει με τη Βουβάλα (947 μ.), της οποίας οι κλιτύς πέφτουν απότομα στον κόλπο της Μεσσαράς, και συνεχίζεται στα βόρεια με τον Σιδέρωτα (1.136 μ.), το Ξηρό Όρος (904 μ.), την Κουρούπα (984 μ.) και τον Κρουονερίτη (1312 μ.), που αποτελεί την ανατολικότερη κορυφή των Λευκών Ορέων, που υψώνονται στον νομό Χανίων. Οι περιορισμένες πεδινές εκτάσεις του νομού σχηματίζονται στις παράκτιες περιοχές και μεταξύ των οροσειρών, όπως η κοιλάδα του Αμαρίου, μεταξύ Ψηλορείτη και Κέδρου, και η κοιλάδα του Μυλοποτάμου μεταξύ Ψηλορείτη και Κουλούκωνα (1.083 μ.). Το υδρογραφικό δίκτυο του νομού είναι περιορισμένο σε ασήμαντα υδάτινα ρεύματα. Στο Κρητικό πέλαγος χύνονται ο Μουρσέλας (στα όρια με τον νομό Χανίων), ο Πετρέας, το Σφακορύακο, ανατολικά του Ρεθύμνου, και ο Γεροπόταμος. Στο Λιβυκό πέλαγος χύνονται ο Πλατύς (στον όρμο της Μεσσαράς), ο Ακουμιανός δυτικότερα και ο Κουρταλιώτης, που έχει διαμορφώσει το γνωστό Κουρταλιώτικο φαράγγι. Η ακτογραμμή του νομού στο Κρητικό πέλαγος και στο Λιβυκό, δεν παρουσιάζει αξιόλογες κολπώσεις. Το κλίμα του νομού Ρεθύμνου, ήπιο στις παράκτιες περιοχές, γίνεται δριμύ στις ορεινές και κυρίως στον Ψηλορείτη. Οι βροχές, όπως συμβαίνει σε ολόκληρη την Κρήτη, είναι περισσότερες στα νότια παράλια.

##### **4.2 Καλλιέργεια του Θερμοκηπίου**

Η τομάτα είναι ένα φυτό της οικογένειας των Σολανοειδών (Solanaceae) και είναι ιθαγενές από την Κεντρική και Νότιο Αφρική. Αποτελεί το δεύτερο πιο σημαντικό λαχανικό στον κόσμο μετά την πατάτα και αναμφισβήτητα την πιο δημοφιλή καλλιέργεια κηπευτικών, αφού θεωρείται ως η πλέον συμφέρουσα από οικονομικής απόψεως καλλιέργεια.

Το έτος 2007 καλλιεργήθηκαν στην Ελλάδα 182.000 στρέμματα με τομάτα νωπής κατανάλωσης, εκ των οποίων τα 34.000 στρέμματα αφορούσαν τομάτες θερμοκηπίου. Ως αναφορά την παραγωγή για το ίδιο έτος,

παρήχθησαν 684.000 τόνοι τομάτας, από τους οποίους οι 262.000 τόνοι παρήχθησαν σε θερμοκήπια. Οι καλλιέργειες αυτές βρίσκονταν κατά κύριο λόγο στην Κρήτη, στη Β. Ελλάδα και στην Πελοπόννησο. Τα δεδομένα αυτά είναι τα πιο πρόσφατα σύμφωνα με το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων.

Θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος, το καλύτερο εύρος θερμοκρασιών για τη βλαστική ανάπτυξη της τομάτας παρατηρείται στους 20-25°C. Όταν παρατηρείται διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα σε μέρα και νύχτα 4-5°C είναι δυνατή μια γρηγορότερη βλαστική ανάπτυξη. Κατά το στάδιο της καρπόδεσης καταλληλότερη θερμοκρασία είναι από 16 έως 22°C. Η καρπόδεση δεν είναι εφικτή σε θερμοκρασίες άνω των 30-35°C και κάτω των 10-15°C, λόγω του σχηματισμού ατελούς άνθους ή εξαιτίας του γεγονότος ότι η χαμηλή θερμοκρασία επιδρά δυσμενώς στη γονιμοποίηση.

Απαιτήσεις φωτός, το φυτό της τομάτας ανθίζει σε οποιαδήποτε φωτοπερίοδο. Αν η φωτοπερίοδος είναι μικρή, τότε παρουσιάζεται πρωιμότερη ανθοφορία. Η καταλληλότερη ένταση φωτός για την ανάπτυξη και την καρπόδεση της τομάτας είναι περίπου 50.000 LUX.

Σχετική υγρασία εσωτερικού περιβάλλοντος, η βλαστική ανάπτυξη της τομάτας ευνοείται σε συνθήκες υψηλής έντασης, ακτινοβολίας και σχετικής υγρασίας. Για την κανονική ανάπτυξη του φυτού, στο θερμοκήπιο απαιτείται σχετική υγρασία σε εύρος 60-75%.

#### 4.3 Περιγραφή θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο που αναφέρεται στην παρούσα διπλωματική εργασία πρόκειται για ένα αμφίρρικτο πολλαπλό θερμοκήπιο με τις παρακάτω διαστάσεις και χαρακτηριστικά:

Πλάτος βασικής κατασκευαστικής μονάδας: 5 m

Μήκος βασικής κατασκευαστικής μονάδας: 5 m

Αριθμός βασικών κατασκευαστικών μονάδων: 9

Πλάτος θερμοκηπίου: 9 m

Μήκος θερμοκηπίου: 15 m

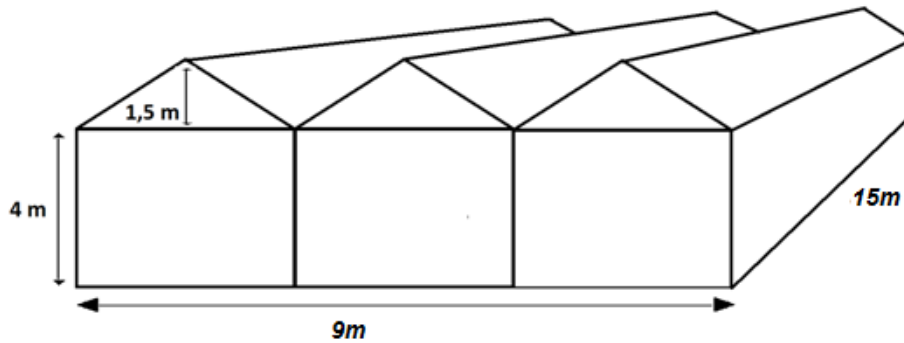
Εμβαδόν θερμοκηπίου: 135 m<sup>2</sup>

Ύψος υδρορροής: 4 m

Μέγιστο ύψος: 5,5 m

Εμβαδόν υλικού κάλυψης: 468 m<sup>2</sup>

Όγκος θερμοκηπίου: 722 m<sup>3</sup>



Εικόνα 10. Διαστάσεις του θερμοκηπίου

Η κατασκευή του θερμοκηπίου είναι μεταλλική με αντηρίδες στήριξης και το υλικό κάλυψής του είναι γυαλί με συντελεστής θερμοπερατότητας  $U = 5,7 \text{ W/m}^2\text{°C}$ . Ο σκελετός του θερμοκηπίου αποτελείται από διατομές από γαλβανισμένη λαμαρίνα S235 Γαλβανισμένη σιδηροσωλήνα S235 Γαλβανισμένα ελάσματα S235. Ο αερισμός του θερμοκηπίου επιτυγχάνεται με φυσικό τρόπο, καθώς υπάρχουν ανοίγματα κατά μήκος της οροφής.

#### 4.4 Υπολογισμός των θερμικών αναγκών των θερμοκηπίων

Οι απώλειες θερμότητας για τις περιπτώσεις που δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια, ιδιαίτερα για τον προσδιορισμό του μέγιστου ποσού θερμικών απωλειών, μια περισσότερο απλοποιημένη μέθοδος είναι συνήθως αρκετή. Σε αυτή την περίπτωση το θερμοκήπιο θεωρείται ως ένα σώμα που αυξάνει την ενέργειά του με την ακτινοβολία που δέχεται από τον ήλιο και τη θερμότητα που απελευθερώνεται μέσα σ' αυτό από το σύστημα θέρμανσης και χάνει ενέργεια μέσω του καλύμματος και με τις διαφυγές του αέρα από το χώρο του. Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο μπορούν να εκφραστούν ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους, από τη σχέση:

$$q = q_c + q_v \text{ [W /m}^2 \text{ ]}$$

όπου:

$q_c$  είναι όλες οι απώλειες ενέργειας (κυρίως με συναγωγή και ακτινοβολία) μέσω του καλύμματος σε  $\text{W /m}^2$

$q_v$  είναι οι απώλειες ενέργειας από τις διαρροές αέρα σε  $\text{W /m}^2$

#### 4.4.1. Απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα

Οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα με αρκετά καλή προσέγγιση, μπορούν να εκφραστούν από τη γραμμική σχέση:

$$q_c = \frac{A_c}{A_g} \times K_c \times (T_i - T_o) \text{ [W /m}^2 \text{ ]}$$

όπου:

$A_c$  είναι η επιφάνεια του καλύμματος του θερμοκηπίου σε  $m^2$

$A_g$  είναι η επιφάνεια του εδάφους του θερμοκηπίου σε  $m^2$

$T_i$  είναι η μέση επιθυμητή θερμοκρασία του εσωτερικού του θερμοκηπίου σε  $^{\circ}\text{C}$

$T_o$  είναι η μέση θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος σε  $^{\circ}\text{C}$  .

$K_c$  είναι ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας από το κάλυμμα σε  $\text{W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K}$

Η  $T_i$  εξαρτάται από το είδος της καλλιέργειας

Η  $T_o$  αναζητείται στο διαδίκτυο. Υπάρχουν διάφορες ιστοσελίδες από τις οποίες προκύπτει η  $T_o$ , π.χ. η ιστοσελίδα της EMY:

<http://www.hnms.gr/hnms/greek/climatology/> ή η ιστοσελίδα της meteo :

[www.meteo.gr/meteorplus/ClimaticDataGR.xls](http://www.meteo.gr/meteorplus/ClimaticDataGR.xls) . Στην οικοδομική, για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας των κατασκευών, έχει εισαχθεί η έννοια των συνθηκών επιφανείας, για να εκφραστεί η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική ή την εξωτερική πλευρά ενός κατασκευαστικού στοιχείου με ακτινοβολία, συναγωγή και συμπύκνωση - εξάτμιση.

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας των κατασκευαστικών στοιχείων, όπως τοίχοι και οροφές, μπορεί να προσδιορισθεί αν συνδυασθούν οι θερμικές αντιστάσεις των υλικών από τα οποία αποτελείται το κάθε στοιχείο, με την κατάλληλη αντίσταση συνθηκών επιφάνειας και δίνεται από τη σχέση:

$$K_c = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_{out}} \text{ [W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{K]}$$

όπου:

$R_i$  είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας σε  $m^2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$

$R_\lambda$  είναι η θερμική αντίσταση του υλικού σε  $m^2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$

$R_{out}$  είναι η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας σε  $m^2 \text{ }^{\circ}\text{K/W}$

#### 4.4.1.1 Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας

Σε μια κατασκευή όπως το θερμοκήπιο, η θερμότητα που μεταφέρεται στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος (με ακτινοβολία, συναγωγή και με τη λανθάνουσα θερμότητα όταν συμβαίνει συμπύκνωση), επηρεάζεται από τον τύπο και τη θέση του συστήματος θέρμανσης και επομένως ο συντελεστής συνθηκών επιφάνειας της εσωτερικής πλευράς του καλύμματος είναι διαφορετικός στην κάθε περίπτωση. Τιμές θερμικών αντιστάσεων συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας του καλύμματος δίδονται στον παρακάτω πίνακα.

Σύστημα θέρμανσης	Θερμική αντίσταση των συνθηκών της εσωτερικής επιφάνειας $R_i$ , [ $m^2 \text{ } ^\circ K/W$ ]
Σωλήνες ψηλά	0,09
Σωλήνες στα τοιχώματα και στους ενδιάμεσους στύλους	0,09
Σωλήνες κάτω από τραπέζια της καλλιέργειας	0,10
Σωλήνες στο έδαφος	0,12
Αερόθερμα ελεύθερα	0,09
Αερόθερμα με αγωγούς αέρα	0,10
Μικτό σύστημα θέρμανσης με σωλήνες και αερόθερμα	0,10

Πίνακας 7 Αντιστάσεις συνθηκών του εσωτερικού της επιφάνειας καλύμματος

#### 4.4.1.2 Η θερμική αντίσταση του υλικού

Η θερμική αντίσταση του υλικού του καλύμματος του θερμοκηπίου είναι:

$$R_\lambda = 1/\lambda \text{ [m}^2 \text{ } ^\circ K/W]$$

όπου  $\lambda$  είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του υλικού. Τιμές του  $R_\lambda$  για συνήθη υλικά κάλυψης θερμοκηπίου δίδονται στον πίνακα 8. Εάν το κάλυμμα του θερμοκηπίου αποτελείται από περισσότερες από μία στρώσεις, όπως διπλό ή τριπλό κάλυμμα, η συνολική θερμική αντίσταση είναι το άθροισμα των αντιστάσεων των διαφόρων στρώσεων, δηλαδή:

$$R_\lambda = \sum R_j \text{ [m}^2 \text{ } ^\circ K/W]$$

όπου  $R_j$  η θερμική αντίσταση μίας στρώσης



Υλικό κάλυψης	Θερμική αντίσταση του υλικού $R_{\lambda}$ [ $m^2 \cdot K/W$ ]
Απλός υαλοπίνακας	0,01
Απλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού, κυματοειδής πάχους 1mm	0,01
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 15mm	0,24
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,11
Διπλή επιφάνεια σκληρού πλαστικού με κενό αέρος 6mm	0,09
Απλό φύλλο πλαστικού PE, PVC	0,01
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 12mm	0,15
Διπλό φύλλο πλαστικού με κενό αέρος 5mm	0,15

Πίνακας 8. Θερμική αντίσταση υλικών κάλυψης θερμοκηπίων,  $R_{\lambda}$

Αν ένα τμήμα του θερμοκηπίου είναι κατασκευασμένο με κτιστό τοίχο, η απώλεια ενέργειας μέσω αυτού υπολογίζεται από τον ίδιο τύπο, αφού ληφθεί υπόψη η θερμική αντίσταση που παρουσιάζει ο τοίχος και η έκταση της επιφάνειας για τον υπολογισμό του ολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας.

Υλικό	Θερμική αγωγιμότητα του υλικού, $\lambda$ , $W/m^2 \cdot K$
Οπτόπλινθοι ( τούβλα)	0,84
Τσιμεντόπλινθοι	0,15 – 0,30
Τοίχος σκυροδέματος	1,4
Ξύλο μαλακό	0,13
Ξύλο σκληρό	0,15
Διογκωμένη πολυστερίνη	0,03
Πολυουρεθάνη, άκαμπτες επιφάνειες	0,02

Πίνακας 9. Θερμική αγωγιμότητα,  $\lambda$ , των υλικών τοιχοποιίας

Τα διαφανή καλύμματα επειδή έχουν μικρό πάχος (πλαστικό ή γυαλί) έχουν μικρή θερμική αντίσταση και σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες η ροή ενέργειας προς τα έξω είναι μεγάλη. Όσο η διάρκεια της νύχτας γίνεται μεγαλύτερη (λιγότερη ενέργεια από τον ήλιο στο θερμοκήπιο και έξω από αυτό), τόσο οι απαιτήσεις για θέρμανση στο θερμοκήπιο είναι μεγαλύτερες. Μερικά μονωμένα θερμοκήπια, όπου χρησιμοποιείται τεχνητός φωτισμός, απαιτούν 80 % λιγότερη θέρμανση σε σχέση με τα διαφανή

#### 4.4.1.3 Η θερμική αντίσταση συνθηκών της εξωτερικής επιφάνειας

Από την εξωτερική πλευρά του καλύμματος του θερμοκηπίου η θερμότητα μεταφέρεται με βεβιασμένη συναγωγή και θερμική ακτινοβολία. Η τιμή της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας, επηρεάζεται επομένως από τον άνεμο, τη βροχή και την ακτινοβολία του ουρανού. Τιμές της θερμικής αντίστασης των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας δίδονται στον επόμενο πίνακα 2.4.

Έκθεση στον άνεμο	Θερμική αντίσταση πλευρών $m^2 \text{ } ^\circ K/W$	Θερμική αντίσταση οροφής $m^2 \text{ } ^\circ K/W$
Υπήνεμη	0,080	0,070
Κανονική	0,055	0,045
Προσήνεμη	0,030	0,020

Πίνακας 10. Αντιστάσεις των συνθηκών του εξωτερικού της επιφάνειας καλύμματος του θερμοκηπίου

#### 4.4.2. Απώλειες από διαφυγές του αέρα

Αφορούν την ενέργεια που ανταλλάσσεται με την είσοδο και έξοδο του αέρα στο θερμοκήπιο. Ο ρυθμός ανταλλαγών αέρα εξαρτάται από το σχήμα του θερμοκηπίου, το υλικό κάλυψης, τον τρόπο προσαρμογής του υλικού κάλυψης, τη θέση των παραθύρων εξαερισμού και την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου. Για τον προσδιορισμό της ανταλλασσόμενης ενέργειας από τις διαρροές του αέρα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η επόμενη σχέση:

$$q_v = C_p \times \rho \times \frac{V_o}{Ag} \times R \times (T_i - T_o) [W /m^2 ]$$

όπου:

$V_o$  είναι ο όγκος του θερμοκηπίου σε  $m^3$

$R$  είναι ο αριθμός των ανανεώσεων του αέρα ανά ώρα

$C_p$  είναι η ειδική θερμότητα του αέρα για σταθερή πίεση σε  $J /Kg \text{ } ^\circ K$

$\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα σε  $Kg/m^3$

$R$  είναι οι ανανεώσεις του αέρα την ώρα σε  $1/h$

#### 4.4.3 Υπολογισμός των συνολικών απωλειών

Οι συνολικές απώλειες θερμότητας από το θερμοκήπιο στη μονάδα χρόνου και ανά μονάδα καλυμμένου εδάφους και με δεδομένα και από τους παραπάνω πίνακες όπου:

$$V_o = 722 \text{ } m^3$$

$$A_c = 468 \text{ } m^2$$

$$A_g = 135 \text{ } m^2$$

$$T_i = 20 \text{ } ^\circ C$$

$$T_o = 6 \text{ } ^\circ C$$

$$R_i = 0,10 \text{ } m^2 \text{ } ^\circ K/W$$

$$R_\lambda = 0,01 \text{ } m^2 \text{ } ^\circ K/W$$

$$R_{out} = 0,060 \text{ } m^2 \text{ } ^\circ K/W$$

Οπότε ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας:

$$K_c = \frac{1}{R_i + R_\lambda + R_{out}} = \frac{1}{0,10 + 0,01 + 0,06} = 5,88 [W/m^2 \text{ } ^\circ K]$$

Στην συνέχεια οι απώλειες ενέργειας από το κάλυμμα:

$$q_c = \frac{Ac}{Ag} \times K_c \times (T_i - T_o) = \frac{468}{135} \times 5,88 \times (20 - 6) = 289,37 \text{ [W /m}^2 \text{]}$$

Έπειτα ακολουθούν οι απώλειες από διαφυγές του αερα:

$$q_v = C_p \times \rho \times \frac{V_o}{Ag} \times R \times (T_i - T_o) = 0,35 \times \frac{722}{135} \times 0,85 \times 2,95 \times (20 - 6) = 69,43 \text{ [W /m}^2 \text{]}$$

Και τέλος οι συνολικές απώλειες:

$$q = q_c + q_v = 289,37 + 69,43 = 358,8 \text{ [W /m}^2 \text{]} \text{ ή αλλιώς } q = 48,43 \text{ kW}$$

## 4.5 Υπολογισμός Διαστασιολόγησης Οριζοντίου γεωεναλλάκτη

### 4.5.1 Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 30°C και εισόδου στον εξατμιστή 15°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της γεωθερμικής αντλίας να υπερκαλύψει το Q<sub>heat</sub> επιλέγουμε την γεωθερμική αντλία θέρμανσης WW210 με παροχή Q=2,53 l/s

### 4.5.2 Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \times u \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times u}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,00253}{\pi \times 1}} = 0,05 \text{ m για ταχύτητα } u = 1 \text{ m/s}$$

Οπότε επιλέγω σωλήνα με διάμετρο Φ50mm

Επιλέγω σωλήνα με εξωτερική διάμετρο 60,3mm και εσωτερική 52,18mm τύπου SCH 40 PVC

Υποθέτοντας οριζόντιο σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου D<sub>i</sub> και εξωτερικής διαμέτρου D<sub>o</sub> όπου θάβεται σε βάθος d από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα , οι Θερμικές αντιστάσεις ανά μήκος σωλήνα για τη μεταφορά νερού θα είναι :

$$R_{conv} = \frac{1}{\pi \times D_i \times h_w} = \frac{1}{\pi \times 0,052 \times 500} = 0,0122 \text{ W/mK όπου } h_w = 500 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_{pipe} = \frac{\ln \frac{D_o}{D_i}}{2\pi \times K_{pipe}} = \frac{\ln 1,15}{2\pi \times 0,42} = 0,0532 \text{ W/mK όπου } K_{pipe} = 0,42 \text{ W/mK}$$

$$R_{soil} = \frac{1}{s \times K_{soil}} = \frac{1}{1,46 \times 2} = 0,342 \text{ W/mK} \text{ όπου } S = \frac{2\pi}{\ln\left(\frac{2d}{D_o} + \sqrt{\left(\frac{2d}{D_o}\right)^2 - 1}\right)} = 1,46$$

$$R_{total} = R_{conv} + R_{pipe} + R_{soil} = 0,407 \text{ W/mK}$$

### 4.5.3 Μήκος Εναλλάκτη

$$L = (mw \times Cw \times R_{total}) \ln \frac{\theta_{win}}{\theta_{wout}} = (0,529 \times 4200 \times 0,407) \ln 1,7 = 479 \text{ m}$$

Η επιφάνεια του χώρου για την τοποθέτηση του γεωθερμικού εναλλάκτη θα είναι : έστω 10 σειρές σωληνώσεων όπου απέχουν 0.5m απόσταση μεταξύ τους, θα έχω 5m πλάτος και μήκος  $479/10 = 47,9\text{m}$  άρα χρειαζομαι έκταση  $47,9 \times 5 = 239,5 \text{ m}^2$ .

### 4.5.4 Υπολογισμός κυκλοφορητή-Δοχείου διαστολής

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή κατάλληλου κυκλοφορητή. Καθώς να υπολογίσουμε και το δοχείο διαστολής με σκοπό την διατήρηση της πίεσης του νερού μέσα στο δίκτυο σε αποδεκτά όρια.

Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

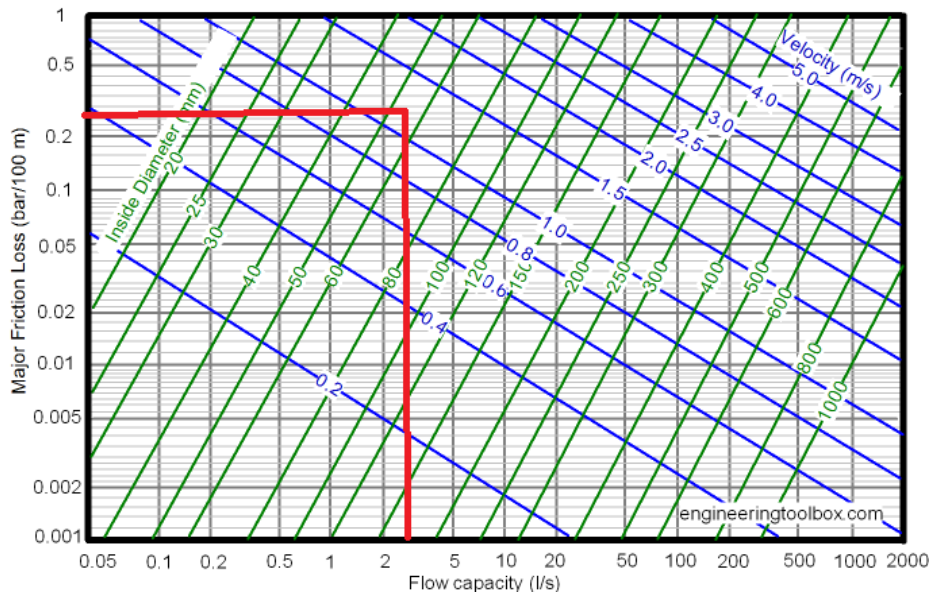
Γραμμικές απώλειες γεωθερμικών εναλλακτών.

Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar

Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar.

Οι σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο, υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στη μεταφορά θερμότητας.

Το διάγραμμα που ακολουθεί μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή , την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης

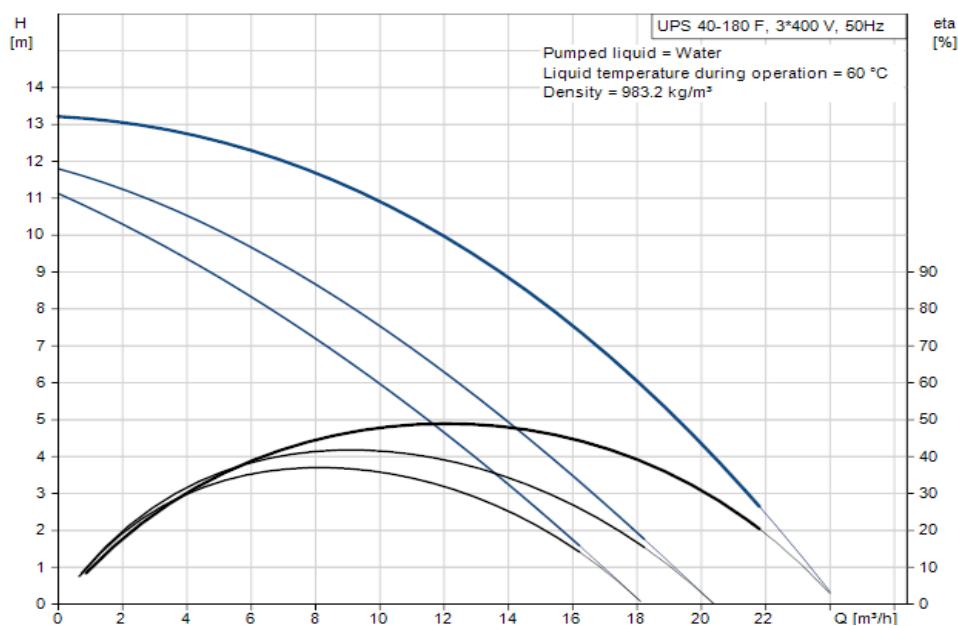


Εικόνα 11. Απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης πολυαιθλαίνιου.

Για παροχή 2,53 lt/s, ταχύτητα 1m/s και εσωτερική διάμετρο 50mm από το παραπάνω διάγραμμα έχουμε ότι οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης του οριζόντιου γεωεναλλάκτη θερμότητας θα είναι :  $\Delta p/100m=0,25 \text{ bar}$  , έχουμε 479m μήκος οριζόντιου εναλλάκτη.

Οπότε οι γραμμικές απώλειες πίεσης του εναλλάκτη θα είναι 1,28bar, 13,05 m  $H_2O$

Με  $H= 13,05 \text{ m } H_2O$  και παροχή  $V=9,10 \text{ m}^3/h$  επιλέγω κυκλοφορητή τύπου UPS 40-180F



Εικόνα 12. Χαρακτηριστική καμπύλη κυκλοφορητή

#### 4.5.5 Υπολογισμός δοχείου διαστολής

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση :

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)}$$

Όπου

$V_t$ : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε  $m^3$

$V_s$ : ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε  $m^3$

$t_1$ : η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ( $0^\circ C$ )

$t_2$ : η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου ( $50^\circ C$ )

$p_1$ : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

$p_2$ : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

$V_1$ : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε  $m^3/kg$

$V_2$ : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε  $m^3/kg$ .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι ο όγκος όπου υπάρχει στις σωληνώσεις του οριζόντιου εναλλάκτη, άρα θα έχουμε:

$$V_s = 4 \times L \times \frac{\pi d_{in}^2}{4} = 5,45 m^3$$

Ο ειδικός όγκος του νερού σε πίεση 1atm και στη θερμοκρασία των  $0^\circ C$  είναι  $V_1=0,0010002 m^3/kg$  ενώ στη θερμοκρασία των  $50^\circ C$  είναι  $V_2= 0,0010121 m^3/kg$  (από πίνακα ιδιοτήτων νερού).

Ως χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά 0,7 bar ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαίωση. Η ελαχίστη στατική πίεση για υδραυλικά δίκτυα λαμβάνεται 2m (0,2 bar) . Συνεπώς , η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται :  $p_1=0,7+0,2=0,9bar=90kPa$ .

Ως υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας . Αύτη σύμφωνα με τις προδιαγραφές πρέπει να είναι :

$$p_2= p_1 +1,3bar =220kPa.$$

Υπολογίζεται ο όγκος του δοχείου διαστολής σύμφωνα με τα παραπάνω :

$$V_t = V_s \times \frac{\left(\frac{V_2}{V_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{P_1}{P_2}\right)} = 0,139 m^3 = 139lt$$

#### 4.6 Κοστολόγηση Γεωθερμικού Συστήματος Θερμοκηπίου

Η παρούσα κοστολόγηση αναφέρεται στην εγκατάσταση γεωθερμικού συστήματος θέρμανσης και ψύξης μέσω μονάδων εξαναγκασμένης κυκλοφορίας αέρα (Fan Coil Units) ενός θερμοκηπίου. Ο συνολικός όγκος του θερμοκηπίου ανέρχεται στα 722 m<sup>3</sup>, η συνολική επιφάνεια του στα 135 m<sup>2</sup>, η επιφάνεια μόνωσης στα 468 m<sup>2</sup> και οι θερμικές απώλειες στα 48 KW. Το υλικό μόνωσης του θερμοκηπίου είναι Γυαλί. Στην κοστολόγηση υπολογίζεται το κόστος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, του απαραίτητου γεωσυλλέκτη και του επιμέρους εξοπλισμού που είναι αναγκαίος για το χώρο του μηχανοστασίου. Ειδικότερα, η παρούσα κοστολόγηση αναφέρεται στον απαραίτητο εξοπλισμό για τη σωστή λειτουργία της εκάστοτε γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ), συμπεριλαμβανομένου του αυτοματισμού και των εργασιών τοποθέτησης, σύνδεσης, εκκίνησης και ελέγχου του εξοπλισμού. Το κλειστό γεωθερμικό σύστημα αποτελείται από οριζόντιους γεωσυλλέκτες (slinky coils) που θα τοποθετηθούν σε βάθος 1,2 μέτρα από την επιφάνεια. Η παρούσα κοστολόγηση δεν συμπεριλαμβάνει τις ηλεκτρολογικές παροχές από τη ΔΕΗ στο χώρο του μηχανοστασίου, την ανόρυξη των υδρογεωτρήσεων και τις τυχόν χηματοουργικές εργασίες και την υδραυλική εργασία καθώς και τα έξοδα σωλήνων που σχετίζονται με αυτή. Τέλος δεν υπολογίζεται το κόστος, για τον τρόπο μετάδοσης του ενεργειακού φορτίου στο χώρο του θερμοκηπίου.

Στην παρακάτω εικότα παρουσιάζεται η θερμοκηπιακή μονάδα στην έκταση όπου βρίσκεται στον οικισμό Βιράν Επισκοπή. Με πράσινο χρώμα είναι θερμοκήπιο, με κόκκινο το μηχανοστάσιο της μονάδας και με καφέ χρώμα απεικονίζεται η έκταση όπου θα τοποθετηθεί ο γεωεναλλάκτης οριζόντιας διάταξης.



Εικόνα 13. Κάτοψη της θερμοκηπιακής μονάδας.

#### 4.6.1 Κοστολόγηση Κλειστού Γεωθερμικού Συστήματος

Ακολουθεί η κοστολόγηση Κλειστού Οριζόντιου Συστήματος με Slinky Coils (Γεωσυλλέκτης) οριζόντιας διάταξης όπου θα εφαρμοστεί. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι το θερμοκήπιο πρόκειται να κατασκευαστεί και στην παρούσα φάση δεν υφίσταται. Ο λόγος είναι ότι θα πρέπει να γίνει ταφή του γεωσυλλέκτη κάτω από το θερμοκήπιο.

Όπως πρόεκυψε από την διαστασιολόγηση του οριζόντιου γεωθερμικού εναλλάκτη χρειαζόμαστε 240m<sup>2</sup> ακάλυπτου χώρου, η εκσκαφή θα κοστίσει περίπου 1500€.

Το μήκος του εναλλάκτη είναι 643m και η τιμή αν μέτρο του σωλήνα είναι 1,30 €, οπότε το κόστος του σωλήνα είναι 835 €.

Το δοχείο διαστολής χωρητικότητας 140 lt που υπολογίστηκε, της GRUNDFOS κοστίζει 300 € καθώς και ο κυκλοφορητής κόστους 525 €.

Η αντλία θερμότητας, τα fan coil και τα διάφορα εξαρτήματα, καθώς και τα κόστη μελέτης και εγκατάστασης παρουσιάζονται παρακάτω.

Η γεωθερμική αντλία θερμότητας της FHP κοστίζει 11.500 € και η εγκατάσταση fan-coil ανέρχεται στα 3.000 €.

Για την μελέτη, εγκατάσταση και διάφορων εργασιών το κόστος είναι στα 1.000 €.

Τελος τα διάφορα υδραυλικά και ηλεκτρολογικά εξαρτήματα το κόστος ανέρχεται στα 3.000 €.

Το συνολικό κόστος του οριζόντιου γεωθερμικού συστήματος είναι 21.660 €



## 4.7 Σύγκριση Ενεργειακής Ανάλυσης και Κόστους Λειτουργιάς

Η σύγκριση του γεωθερμικού συστήματος με ένα κοινό σύστημα θέρμανσης που είναι ο λέβητας πετρελαίου παρουσιάζεται παρακάτω. Παρακάτω παρουσιάζεται η ενεργειακή ανάλυση που έχει ως σκοπό να προσεγγίσει το πραγματικό ετήσιο κόστος λειτουργιάς ενός θερμοκηπίου. Από τα παραπάνω στοιχεία η ενεργειακή απαίτηση του θερμοκηπίου με επιφάνεια 135 τετραγωνικών μέτρων με θερμικές απώλειες 47,39 KW και θερμικής ισχύς 59KW. Λαμβάνεται περίοδος θέρμανσης 5 μήνες επειδή στους υπόλοιπους μήνες καλύπτεται από τα ηλιακά κέρδη.

Για την περίπτωση της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας (ΓΑΘ) με βαθμό απόδοσης 3,9 COP καταναλώνει 15,12 kW ηλεκτρική ενέργεια δηλαδή 18.144 kWh/έτος. Αν λαμβάνεται ότι η κατανάλωση κοστίζει 0,14 € τότε η ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος θα είναι 2540,16 €/έτος. Στο ετήσιο λειτουργικό κόστος είναι και η ετήσια συντήρηση της ΓΑΘ όπου κυμαίνεται στα 100 €, δηλαδή 2.640 €/έτος και το κόστος του εξοπλισμού είναι 21.660 €.

Για την περίπτωση του λέβητα πετρελαίου με βαθμό απόδοσης 85% και λαμβάνεται ότι η θερμογόνος δύναμη του πετρελαίου αντιστοιχεί σε 10,5 kWh/lit. Τότε η κατανάλωση του λέβητα θα είναι 5.704 lit/έτος πετρελαίου, και η τιμή του λίτρου είναι 1,15 €, οπότε το κόστος της ετήσια κατανάλωσης πετρελαίου για τον λέβητα είναι 6.560 €/έτος. Για το ετήσιο λειτουργικό κόστος λαμβάνεται η ετήσια συντήρηση του λέβητα 200 €, δηλαδή 6.760 €/έτος και το

ΚΟΣΤΟΣ ΗΛΕΚ. ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	€/kWh	0,140
ΚΟΣΤΟΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΥ	€/lt	1,150
ΩΡΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	h/ημέρα	8
ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ημέρες/έτος	150

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ	ΑΠΟΔΟΣΗ	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ	
			ΓΑΘ	ΛΕΒΗΤΑ
	€	kW	kW	kW
		ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ	ΘΕΡΜΑΝΣΗ
<b>ΓΑΘ</b>	21.660	59,00	15,12	-
<b>ΛΕΒΗΤΑΣ</b>	8.000	59,00	-	50,15

ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	SERVICE	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ		ΑΠΟΣΒΕΣΗ
	€	€	€	%	ΧΡΟΝΙΑ
ΓΑΘ	100	2.640	4.160	61	3,5
ΛΕΒΗΤΑΣ	200	6.760			

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι γίνεται εξοικονόμηση 61% περίπου 4.160 €/έτος σχετικά με το λειτουργικό κόστος και καταλήγουν σε απόσβεση της ΓΑΘ σε περίπου 3,5 έτη.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμία είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25οC μέχρι 360οC. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150οC), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού με στόχο την απόληψη πόσιμου, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων. Η αβαθής γεωθερμία είναι μια από τις πλέον καθαρές και ελάχιστα ρυπαντικές μορφές ενέργειας. Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να εκμεταλλευτούν στο έπακρο και να πολλαπλασιάσουν την αποτελεσματικότητα άλλων συστημάτων εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως τα θερμικά, ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά. Η μειωμένη κυβερνητική υποστήριξη και η αφθονία φθηνών συμβατικών καυσίμων (φυσικό αέριο, λιγνίτης, πετρέλαιο) εμπόδισαν την ανάπτυξη των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ενέργειας κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαπέντε ετών. Σήμερα όμως η καλπάζουσα τιμή του πετρελαίου και τα κυβερνητικά κίνητρα δημιουργούν ένα οικονομικά βιώσιμο πλαίσιο για τη γεωθερμική ανάπτυξη. Η περιβαλλοντική συνειδητοποίηση και οι κυβερνητικές πρωτοβουλίες υποστήριξης (πράσινα πιστοποιητικά, φορολογικές διευκολύνσεις κλπ) είναι βασικά στοιχεία που θα βοηθήσουν στην υπερπήδηση του εμποδίου του υψηλού κόστους της αρχικής και κύριας επένδυσης. Εντούτοις, οι αλλαγές στο νομοθετικό πλαίσιο που διέπει την ανάπτυξη των γεωθερμικών έργων (π.χ πρόσβαση σε παροχές δανείων, αδειοδοτικές διαδικασίες, πρωτοβουλίες υποστήριξης της εξερεύνησης, εγγυήσεις για εύκολη πρόσβαση στο κεφάλαιο υψηλού επιχειρηματικού κινδύνου κλπ) θα ευνοούσαν την περαιτέρω ανάπτυξη της καθαρής αυτής ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

## 6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ. Ν. Μαυρογιαννόπουλος, Θερμοκήπια, Εκδόσεις Α. Σταμούλης, Αθήνα, (2005).
2. Χρήστος Μείντάνης, Κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε θερμοκήπια, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, (2010).
3. Βουρδούμπας Γ. (2000). Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Τεχνολογιών Εξοικονόμησης Ενέργειας στη Θέρμανση Θερμοκηπίων , Εκδόσεις ΣΕΛΚΑ
4. Μ. Φυτίκας, Ν. Ανδρίτσος (2004). Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα
5. Π. Δαλαμπάκης & Α. Ηλίας, Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας-Εφαρμογές στον αγροτικό τομέα, Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη.
6. Ζαρμπτούτη Γ. - Γκακνή Α. Καλλιέργειες σε Θερμοκήπιο , Εκδόσεις ΙΩΝ
7. American Society of Agricultural Engineers, Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses, ASAE Standards, ΗΠΑ, (2003).
8. Κατσαπρακάκης Δ. σημειώσεις Α.Π.Ε, ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ
9. Δημήτριος Γ. Ανωγειανάκης Διπλωματική εργασία Θέρμανση Ψύξη κατοικίας με χρήση αβαθούς γεωθερμίας (Ηράκλειο 2013)
10. Θέρμανση θερμοκηπίων-Αντλίες θερμότητας Ε.Παπάζογλου, Σ.Κυρίτση, Χ.Σούτερ - Αθήνα,Ελληνικό κεντρο παραγωγικότας
11. Συστήματα Θέρμανσης θερμοκηπίων, Εργαστήριο Γεωργικών Κατασκευών και Ελέγχου Περιβάλλοντος, Ν.Κατσούλας, Κ. Κίττας.
12. Σελλούντος, Β.Η.(1996) Θέρμανση-Κλιματισμός. Εκδόσεις Δορυφόρος, Αθήνα
13. Μαυρογιαννόπουλος Γ. (1994). Θερμοκήπια , Εκδόσεις Σταμούλη , Αθήνα-Πειραιάς

Σελίδες στο διαδίκτυο:

1. [www.egec.net](http://www.egec.net)
2. [www.geoheat.oit.edu](http://www.geoheat.oit.edu)
3. [www.geothermal.org](http://www.geothermal.org)
4. [www.bosch.com](http://www.bosch.com)

5. [www.aidengineering.gr](http://www.aidengineering.gr)
6. [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
7. [www.grundfos.com](http://www.grundfos.com)
8. [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org)
9. [el.wikipedia.org](http://el.wikipedia.org)

