

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΜΕ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :

**ΚΕΡΑΜΑΣ ΘΑΝΑΣΗΣ
ΜΠΟΥΧΑΛΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο τμήμα Μηχανολογίας του Ανώτατου Τεχνολογικού Ιδρύματος Πάτρας των σπουδαστών Μπούχαλη Παναγιώτη και Κεραμά Θανάση, στο οποίο θα αναφέρουμε πως μπορούμε να θερμάνουμε και να ψύξουμε ένα χώρο με γεωθερμία για εξοικονόμηση ενέργειας.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να βοηθήσει τους αναγνώστες της να κατανοήσουν την λειτουργία και το σκοπό της χρήσης τέτοιων συστημάτων, μέσα από την ανάλυσή τους, καθώς επίσης και τις δυσκολίες που υπάρχουν για την εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος.

Ευχαριστούμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Καλογήρου Ιωάννη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την εκπόνηση της Εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στη μελέτη της θέρμανσης και ψύξης κτηρίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας η οποία είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες, όπως είναι η θέρμανση και ψύξη χώρων, για αγροτικές χρήσεις, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, για βιομηχανικές χρήσεις κ.λ.π.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες για τη γεωθερμία. Γίνεται ιστορική αναδρομή της γεωθερμικής ενέργειας, περιγράφονται τύποι των συστημάτων αγωγών για γεωθερμική άντληση θερμότητας, καθώς και η αρχή λειτουργίας της γεωθερμικής αντλίας. Επίσης αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ενός γεωθερμικού συστήματος και το πώς συμβάλει η γεωθερμία στο περιβάλλον. Τέλος δίνονται πληροφορίες για τη χρήση της γεωθερμίας σήμερα στην Ελλάδα και τον υπόλοιπο κόσμο.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η ανάπτυξη του προβλήματος. Δίνονται τα σχέδια του κτηρίου που έχουμε να μελετήσουμε καθώς και διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά που χρειαζόμαστε για τη μελέτη του. Γίνονται οι υπολογισμοί των θερμικών απωλειών και των ψυκτικών φορτίων του κτηρίου των οποίων αναγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο υπολογίστηκαν. Οι υπολογισμοί αυτοί ήταν απαραίτητο να διεξαχθούν για τον υπολογισμό των κυκλωμάτων του ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης – ψύξης.

Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με το ενδοδαπέδιο σύστημα που θα χρησιμοποιήσουμε για τη θέρμανση και το δροσισμό του κτηρίου μας. Δίνονται μερικές γενικές πληροφορίες για τα ενδοδαπέδια συστήματα, επισημαίνονται οι βασικές αρχές λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης και ψύξης, και αναφέρονται οι λόγοι για τους οποίους επιλέξαμε το συγκριμένο σύστημα¹. Στη συνέχεια γίνεται αναλυτική περιγραφή στον τρόπο διεξαγωγής των υπολογισμών, οι οποίοι μας δίνουν στοιχεία για την απόσταση των σωλήνων στο δάπεδο, το πλήθος των κυκλωμάτων που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των θερμαινόμενων χώρων, η παροχή του ζεστού νερού προς όλα τα κυκλώματα του συστήματος, τη συνολική ισχύς ενδοδαπέδιας θέρμανσης, κ.α. Τέλος ακολουθούν τα σχέδια του κτηρίου με τη διάταξη των συστημάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η μελέτη της γεωθερμίας. Αναφέρονται πληροφορίες για τη θερμότητα στο εσωτερικό της γης, για τη μετάδοση αυτής της θερμότητας, για τα γεωδυναμικά και τα άλλα γεωλογικά – τεκτονικά φαινόμενα που συντελούν για τη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για τη γεωθερμία, για τα τεχνικά προβλήματα που υπάρχουν για την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για να υπάρχει οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας και περιγράφονται τα τέσσερα στάδια που ακολουθούνται για μια γεωθερμική έρευνα. Επίσης γίνεται η γεωθερμική μελέτη για το κτήριο μας από όπου δίνονται πληροφορίες για τη ΓΑΘ που επιλέξαμε για τον γεωθερμικό εναλλάκτη τον αριθμό των γεωτρήσεων κ.α.

Τα σπουδαιότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη παρούσα εργασία είναι (α) θεωρώντας ότι ο χρόνος ζωής μιας γεωθερμικής εφαρμογής είναι πάνω από πενήντα χρόνια και βλέποντας την αλματώδη πορεία του πετρελαίου θέρμανσης, οι

γεωθερμικές εφαρμογές είναι συμφέρουσες και για τον ιδιοκτήτη αλλά και για το περιβάλλον και (β) λόγω της μεγάλης χρονικής διάρκειας που χρειαζόμαστε για να κάνουμε απόσβεση το συγκεκριμένο σύστημα δεν συμφέρει για το κτήριο μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	iv
1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Ιστορική αναδρομή της γεωθερμικής ενέργειας	3
1.3 Τύποι συστημάτων αγωγών για γεωθερμική άντληση θερμότητας	6
1.3.1 Συστήματα κλειστού κυκλώματος	6
1.3.1.1 Οριζόντιο σύστημα κλειστού κυκλώματος.....	6
1.3.1.2 Κάθετο σύστημα κλειστού κυκλώματος	7
1.3.1.3 Σύστημα κλειστού κυκλώματος Δεξαμενής/Λίμνης	8
1.3.2 Σύστημα ανοιχτού κυκλώματος.....	9
1.4 Γεωθερμική αντλία θερμότητας.....	9
1.4.1 Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας.....	10
1.5 Πλεονεκτήματα μειονεκτήματα με τη χρήση της γεωθερμίας	11
1.6 Εφαρμογές της γεωθερμικής ενέργειας.....	13
1.6.1 Γενικά.....	13
1.6.1.1 Άμεσες χρήσεις.....	14
1.6.2 Συστήματα παραγωγής και μεταφοράς γεωθερμικών ρευστών	16
1.6.2.1 Σχήματα γεωτρήσεων	16
1.6.2.2 Αντλίες παραγωγής	17
1.6.2.3 Σωληνώσεις μεταφοράς των γεωθερμικών νερών	17
1.6.2.4 Εναλλάκτες θερμότητας	18
1.6.2.5 Θέρμανση χώρων	18
1.6.2.6 Αγροτικές Χρήσεις	19
1.6.2.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	20
1.7 Γεωθερμία και περιβάλλον.....	20
1.7.1 Αειφορία και ανανεωσιμότητα της γεωθερμίας.....	21
1.7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	23
1.7.3 Επιπτώσεις από μονάδες χαμηλής ενθαλπίας.....	23
1.7.4 Περιβαλλοντικά οφέλη	24
1.8 Η Γεωθερμία στην Ελλάδα.....	25
2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	27
2.1 Ανάλυση προβλήματος.....	27
2.2 Υπολογισμός θερμικών απωλειών.....	32
2.2.1 Περιγραφή και τρόπος συμπλήρωσης των πινάκων.....	32
2.2.2 Πινάκες υπολογισμών θερμικών απωλειών	34
2.2.3 Συνολικές απώλειες χώρων	39
2.3 Υπολογισμός ψυκτικών φορτίων.....	40

2.3.1	Πίνακες υπολογισμών.....	40
2.3.2	Συνολικά ψυκτικά φορτία χώρων	47
3.ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ		49
3.1	Εισαγωγή.....	49
3.2	Λίγα λόγια για την ενδοδαπέδια θέρμανση	49
3.2.1	Βασικές αρχές λειτουργίας.....	50
3.2.2	Θερμική άνεση και κατανομή θερμοκρασιών	52
3.3	Λίγα λόγια για τον ενδοδαπέδιο δροσισμό	54
3.3.1	Πλεονεκτήματα συστήματος.....	55
3.4	Μελέτη ενδοδαπέδιας θέρμανσης.....	55
3.4.1	Προϋποθέσεις του υπολογισμού	55
3.4.2	Το αντικείμενο του υπολογισμού.....	56
3.4.3	Το φύλο υπολογισμού	58
3.4.4	Παρατηρήσεις στη χρήση των διαγραμμάτων.....	64
3.4.5	Υπολογισμοί μελέτης	64
3.4.6	Σχέδια ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης κτηρίου.....	67
4.ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ		69
4.1	Εισαγωγή.....	69
4.2	Θερμότητα του εσωτερικού της γης	69
4.2.1	Μετάδοση της θερμότητας της γης και τρόποι μετρήσεις.....	71
4.2.2	Ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες.....	75
4.2.3	Τιμές της ροής θερμότητας	78
4.2.4	Τεχνικά προβλήματα κατά την αξιοποίηση της γεωθερμίας.....	79
4.2.4.1	Σχηματισμός επικαθίσεων	80
4.2.4.2	Διάβρωση σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις	81
4.3	Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	82
4.3.1	ΓΑΘ συνδεδεμένες με το υπέδαφος.....	84
4.3.2	ΓΑΘ που λειτουργούν με υπόγεια νερά	86
4.3.3	ΓΑΘ που λειτουργούν με επιφανειακά νερά.....	88
4.3.4	Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και αγροτικές χρήσεις	88
4.4	Στάδια γεωθερμικής έρευνας	89
4.4.1	Πρώτο στάδιο γεωθερμική έρευνα κλίμακας.....	89
4.4.2	Δεύτερο στάδιο λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων περιοχών.....	90
4.4.3	Τρίτο στάδιο εντοπισμός – περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων με γεωτρήσεις και μελέτη των χαρακτηριστικών τους.....	91
4.4.4	Τέταρτο στάδιο ανάπτυξη και διαχείριση γεωθερμικών πεδίων	92
4.5	Γεωθερμική μελέτη κτηρίου.....	94
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		96
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		97

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο όρος **Γεωθερμία** αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία στον εφαρμοσμένο επιστημονικό κλάδο που περιλαμβάνει όλο το φάσμα της έρευνας, από τη μελέτη της γήινης ροής θερμότητας, τις συνθήκες κατανομής των θερμοκρασιών στο υπέδαφος, το μηχανισμό της κυκλοφορίας των υπόγειων θερμών ρευστών σε συνδυασμό με τις γεωλογικές συνθήκες, καθώς και τα φυσικό-χημικά χαρακτηρίστηκα τους, μέχρι τον εντοπισμό και την αξιολόγηση των γεωθερμικών πεδίων με κατάλληλες γεωθερμικές γεωτρήσεις.

Γεωθερμική ενέργεια ονομάζεται η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμφανίζεται με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού. Η ενέργεια αυτή σχετίζεται με την ηφαιστειότητα και τις ειδικότερες γεωλογικές και γεωτεκτονικές συνθήκες της κάθε περιοχής. Είναι μια ήπια και σχετικά ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή, που με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα μπορεί να καλύψει σημαντικές ενεργειακές ανάγκες. Οι γεωθερμικές περιοχές συχνά εντοπίζονται από τον ατμό που βγαίνει από σχισμές του φλοιού της γης ή από την παρουσία θερμών πηγών. Για να υφίσταται διαθέσιμο θερμό νερό ή ατμό σε μια περιοχή πρέπει να υπάρχει κάποιος υπόγειος ταμιευτήρας αποθήκευσης του κοντά σε ένα θερμικό κέντρο. Στην περίπτωση αυτή, το νερό του ταμιευτήρα που συνήθως είναι βρόχινο νερό που έχει διεισδύσει στους βαθύτερους ορίζοντες της γης, θερμαίνεται και ανεβαίνει προς την επιφάνεια. Τα θερμικά αυτά ρευστά εμφανίζονται στην επιφάνεια είτε με τη μορφή θερμού νερού ή ατμού όπως προαναφέρθηκε είτε αντλούνται με γεώτρηση και αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική τους ενέργεια, γίνεται επανέγχυση του ρευστού στο έδαφος με δεύτερη γεώτρηση. Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος.

Η γεωθερμική ενεργεία μεταφέρεται στην επιφάνεια με θερμική επαγωγή και με την είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της. Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ζεστό νερό σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 150°C μέχρι περισσότερο από 370°C μεταφέρεται σε γεωτρήσεις από υπόγειες δεξαμενές σε ειδικές δεξαμενές και με την απελευθέρωση της πίεσης μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός διαχωρίζεται από τα ρευστά που διοχετεύονται σε περιφερειακά τμήματα της δεξαμενής για να βοηθήσουν να διατηρηθεί η πίεση. Αν η δεξαμενή χρησιμοποιηθεί για άμεση χρήση της θερμότητας τα γεωθερμικά ρευστά τροφοδοτούν έναν εναλλακτήρα θερμότητας και να επιστέψουν στη γη. Το ζεστό νερό από την έξοδο του εναλλακτήρα χρησιμοποιείται για την θέρμανση κτηρίων, θερμοκηπίων κ.α.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού (θερμό νερό ή/και ατμός, θερμός αέρας) ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Σύμφωνα με την ελληνική νομοθεσία, τα γεωθερμικά πεδία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Ø Στα πεδία χαμηλής θερμοκρασίας, στα οποία η θερμοκρασία του προϊόντος (νερού, ατμού) κυμαίνεται από 25 °C έως και 90 °C
- Ø Στα πεδία υψηλής θερμοκρασίας, στα οποία η θερμοκρασία του προϊόντος (νερού, ατμού) υπερβαίνει τους 90 °C



Σχήμα 1.1 : Παράδειγμα εφαρμογής αβαθής γεωθερμίας σε μονοκατοικία

Δυνατότητα όμως εκμετάλλευσης ενέργειας γεωλογικού ή υδρολογικού σχηματισμού υπάρχει και όταν η θερμοκρασία είτε του προϊόντος, είτε του σχηματισμού είναι μικρότερη από 25°C . Στις περιπτώσεις αυτές το βάθος εκμετάλλευσης συνήθως δεν υπερβαίνει τα 150 m από την επιφάνεια του εδάφους και για το λόγω αυτό χαρακτηρίζεται από τους επιστήμονες ως **αβαθής γεωθερμία** (Σχήμα 1.1). Η διαφορά ανάμεσα στις δύο μορφές έγκειται στο γεγονός ότι η αβαθής γεωθερμική ενέργεια προέρχεται κυρίως από την αποθήκευση προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια, ενώ η κάθε αυτού γεωθερμική ενέργεια, προϊόν γεωθερμικού δυναμικού, οφείλεται στη μεταφορά θερμότητας από το μάγμα του πυρήνα της Γης στα ανώτερα στρώματα του εδάφους. Αν και η γεωθερμία παρουσιάζει μεγαλύτερη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας ανά μονάδα μάζας του γεωθερμικού προϊόντος, η αβαθής γεωθερμία πλεονεκτεί στο ότι βρίσκεται διαθέσιμη και εκμεταλλεύσιμη παντού, είναι αρκετά εύκολη στην αξιοποίησή της και μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως π.χ. με την ηλιακή.

Συνοπτικά, λοιπόν, αναφερόμαστε στη θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης στοχεύοντας στην εκμετάλλευση της ενέργειας από το εσωτερικό της γης, την εκμετάλλευση δηλαδή της θερμότητας των γεωλογικών σχηματισμών και νερών επιφανειακών ή υπογείων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, όπου επιτρέπεται η μεταφορά θερμότητας από και προς το έδαφος για παραγωγή δροσισμού, θέρμανσης και ζεστού νερού χρήσης για οικιακές αλλά και ευρύτερης κλίμακας εφαρμογές, που θα αναλύσουμε παρακάτω.

Η γεωθερμία αποτελεί μια καινοτομία εξέλιξης στον τομέα της θέρμανσης-δροσιάς. Η χρήση της ενδείκνυται για όλους τους χώρους (οικιακούς χώρους, ξενο-

δοχειακές επιχειρήσεις, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, κτηνοτροφικές μονάδες, θερμοκήπια, ιχθυοκαλλιέργειες) όπου απαιτείται η ύπαρξη θέρμανσης και δροσιάς. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C), η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν, όμως, η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιρίων ή κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λ.π.

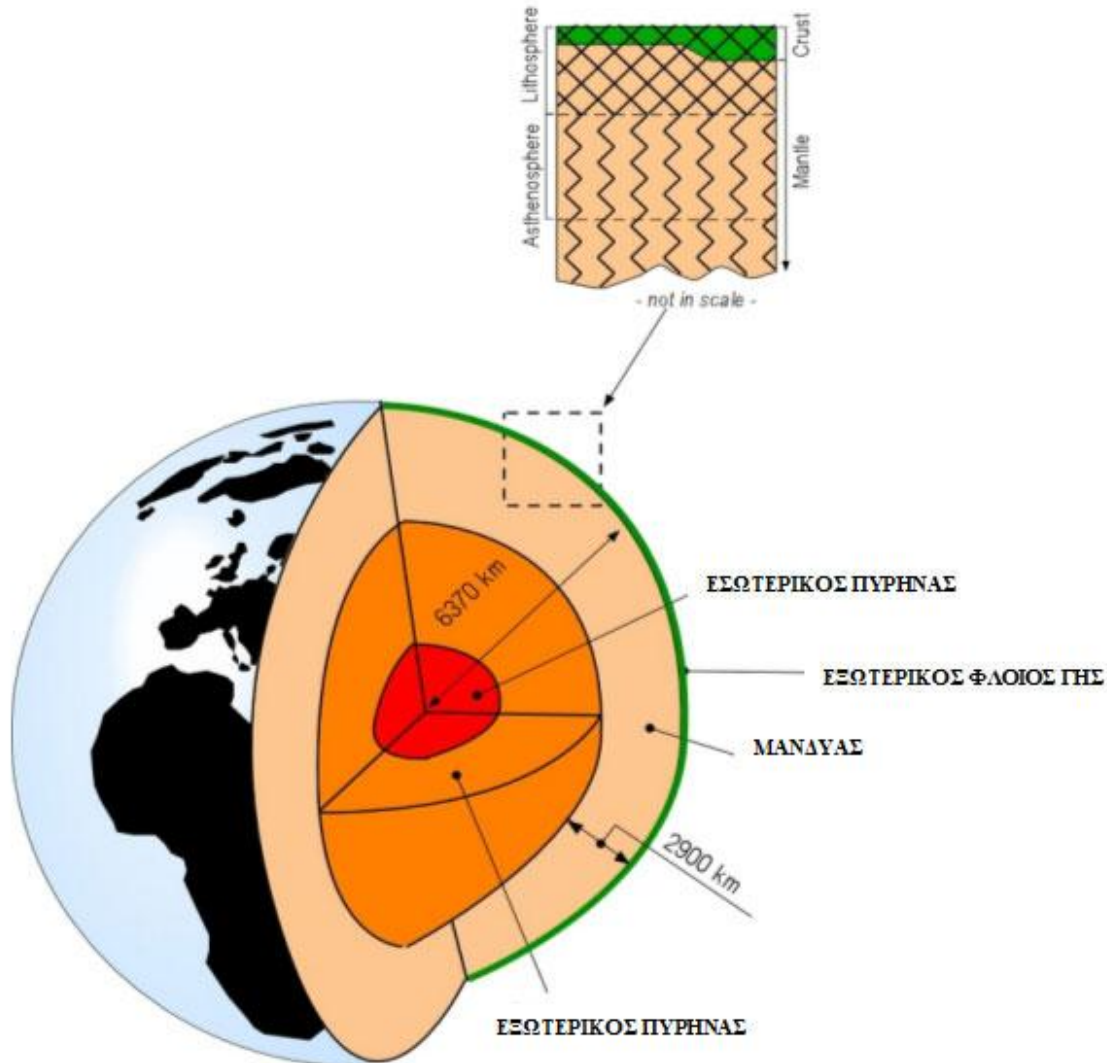
1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η παρουσία ηφαιστείων, θερμών πηγών και άλλων επιφανειακών εκδηλώσεων θερμότητας είναι αυτή που οδήγησε τους προγόνους μας στο συμπέρασμα ότι το εσωτερικό της γης είναι ζεστό. Όμως, μόνο κατά την περίοδο μεταξύ του 16^{ου} και 17^{ου} αιώνα, όταν δηλαδή κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλεία που ανορύχθηκαν σε βάθος μερικών εκατοντάδων μέτρων κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, οι άνθρωποι, με τη βοήθεια κάποιων απλών φυσικών παρατηρήσεων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος.

Οι πρώτες μετρήσεις με θερμόμετρο έγιναν κατά πάσα πιθανότητα το 1740, σε ένα ορυχείο κοντά στο Belfort της Γαλλίας (Bullard, 1965). Ήδη από το 1870, για τη μελέτη της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης χρησιμοποιούνταν κάποιες προχωρημένες για την εποχή επιστημονικές μέθοδοι, ενώ η θερμική κατάσταση που διέπει τη γη, η θερμική ισορροπία και εξέλιξή της κατανοήθηκαν καλύτερα τον 20^ο αιώνα, με την ανακάλυψη του ρόλου της «ραδιενεργής θερμότητας». Πράγματι, σε όλα τα σύγχρονα πρότυπα (μοντέλα) της θερμικής κατάστασης του εσωτερικού της γης πρέπει να συμπεριλαμβάνεται η θερμότητα που συνεχώς παράγεται από τη διάσπαση των μακράς διάρκειας ζωής ραδιενεργών ισότοπων του ουρανίου (U238, U235), του θορίου (Th232) και του καλίου (K40), τα οποία βρίσκονται στο εσωτερικό της γης. Εκτός από τη ραδιενεργό θερμότητα, δρουν αθροιστικά, σε απροσδιόριστες όμως ποσότητες, και άλλες δυναμικές πηγές θερμότητας, όπως είναι η «αρχέγονη ενέργεια» από την εποχή δημιουργίας και μεγέθυνσης του πλανήτη. Μέχρι τη δεκαετία του 1980 τα μοντέλα αυτά δεν βασίζονταν σε κάποιες ρεαλιστικές θεωρίες. Τότε όμως αποδείχθηκε ότι αφενός δεν υπάρχει ισοζύγιο μεταξύ της ραδιενεργής θερμότητας που δημιουργείται στο εσωτερικό της γης και της θερμότητας που διαφεύγει από τη γη προς στο διάστημα, και αφετέρου ότι ο πλανήτης μας ψύχεται με αργό ρυθμό και στο εσωτερικό του.

Ως μια γενική ιδέα της φύσης και της κλίμακας του εμπλεκόμενου φαινομένου, μπορεί να αναφερθεί η λεγόμενη «θερμική ισορροπία», όπως διατυπώθηκε από τους **Stacey** και **Loper** (1988). Σύμφωνα με αυτήν, η ολική ροή θερμότητας από τη γη (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) εκτιμάται ότι ανέρχεται στα 42×10^{12} W. Από αυτά, 8×10^{12} W προέρχονται από το φλοιό, που αντιπροσωπεύει μόνο το 2% του συνολικού όγκου της γης αλλά είναι πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα, $32,3 \times 10^{12}$ W προέρχονται από το μανδύα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 82 % του συνολικού όγκου της γης, και $1,7 \times 10^{12}$ W προέρχονται από τον πυρήνα, ο οποίος αντιπροσωπεύει το 16% του συνολικού όγκου της γης και δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα (βλέπε Σχήμα 1.2, ένα σχήμα της εσωτερικής δομής της γης). Αφού η ραδιενεργή θερμότητα του μανδύα εκτιμάται σε 22×10^{12} W, η μείωση της θερμότητας στο συγκεκριμένο τμήμα της γης είναι $10,3 \times 10^{12}$ W. Σύμφωνα με πιο πρόσφατες εκτιμήσεις και υπολογισμούς, που βασίζονται σε μεγαλύτερο αριθμό δεδομένων, η ολική θερμική ροή της γης είναι περίπου 6% υψηλότερη από τις τιμές που χρησιμοποίησαν οι Stacey και Loper. Ού-

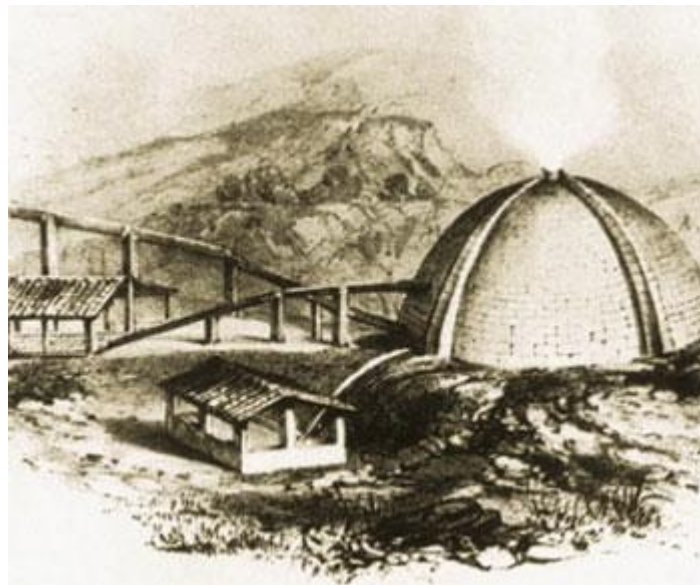
τως ή άλλως όμως, η διαδικασία δροσισμού παραμένει αργή. Η θερμοκρασία του μανδύα δεν έχει μειωθεί περισσότερο από 300-350 °C τα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια, παραμένοντας περίπου στους 4000 °C στη βάση του. Έχει υπολογιστεί ότι το συνολικό θερμικό περιεχόμενο της γης (για θερμοκρασίες πάνω από τη μέση επιφανειακή των 15°C) είναι της τάξης των $12,6 \times 10^{24}$ MJ και του φλοιού $5,4 \times 10^{21}$ MJ.



Σχήμα 1.2 : Ο Φλοιός, ο Μανδύας και ο Πυρήνας της γης. Πάνω δεξιά: τομή του φλοιού και του ανώτερου μανδύα

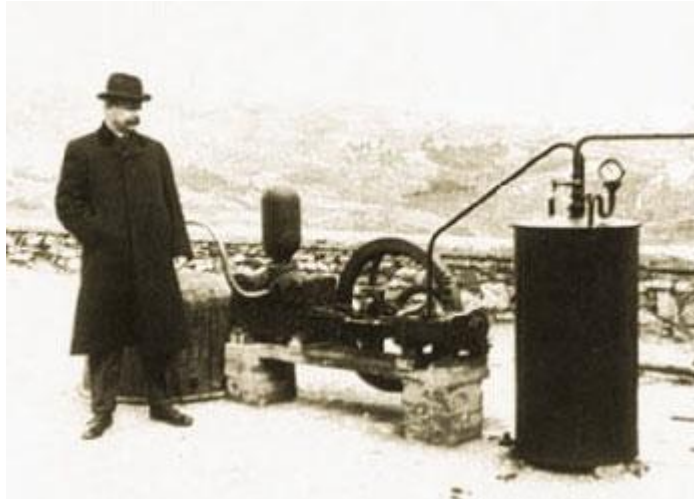
Σε πολλούς τομείς της ανθρώπινης ζωής οι πρακτικές εφαρμογές προηγούνται της επιστημονικής έρευνας και της τεχνολογικής ανάπτυξης. Η γεωθερμία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού. Αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχόμενου των γεωθερμικών ρευστών γινόταν ήδη από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Εκείνη την περίοδο, στην Τοσκάνη της Ιταλίας, και συγκεκριμένα στην περιοχή του Larderello, λειτουργούσε μια χημική βιομηχανία για την παραγωγή βορικού οξέος από τα βοριούχα θερμά νερά που ανέβλυζαν από φυσικές πηγές ή αντλούνταν από ρηχές γεωτρήσεις. Η παραγωγή του βορικού οξέος γινόταν με εξάτμιση των βοριούχων νερών μέσα σε σιδερένιους «λέβητες», χρησιμοποιώντας ως καύσιμη ύλη ξύλα από τα κοντινά δάση. Το 1827, ο **Francesco Larderel**, ιδρυτής της βιομηχανίας αυ-

τής, αντί να καίγονται ξύλα από τα διαρκώς αποψιλούμενα δάση της περιοχής, ανέπτυξε ένα σύστημα για τη χρήση της θερμότητας των βοριούχων ρευστών στη διαδικασία εξάτμισης (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 : Η καλυμμένη «λιμνούλα» (covered lagoon), που χρησιμοποιούνταν κατά το πρώτο μισό του 19ου αιώνα στην περιοχή του Larderello, για τη συλλογή των βοριούχων υδάτων και την παραγωγή βορικού οξέος.

Η εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του φυσικού ατμού ξεκίνησε περίπου την ίδια περίοδο. Ο γεωθερμικός ατμός χρησιμοποιήθηκε για την ανέλκυση των ρευστών, αρχικά με κάποιους πρωτόγονους αέριους ανυψωτήρες και στη συνέχεια με παλινδρομικές και φυγοκεντρικές αντλίες και βαρούλκα. Ανάμεσα στο 1850 και 1875, οι εγκαταστάσεις του Larderello κατείχαν το μονοπώλιο παραγωγής βορικού οξέος στην Ευρώπη. Μεταξύ του 1910 και του 1940, στην περιοχή αυτή της Τοσκάνης, ο χαμηλής πίεσης ατμός άρχισε να χρησιμοποιείται για τη θέρμανση βιομηχανικών κτιρίων, κατοικιών και θερμοκηπίων. Εν τω μεταξύ, ολοένα και περισσότερες χώρες άρχισαν να αναπτύσσουν τους γεωθερμικούς τους πόρους σε βιομηχανική κλίμακα. Το 1892, το πρώτο γεωθερμικό σύστημα τηλε-θέρμανσης (district heating) τέθηκε σε λειτουργία στο Boise του Άινταχο των Η.Π.Α.. Το 1928, μια άλλη πρωτοπόρος χώρα στην εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας, η Ισλανδία, ξεκίνησε επίσης την εκμετάλλευση των γεωθερμικών ρευστών (κυρίως θερμών νερών) για τη θέρμανση κατοικιών. Το 1904, έγινε η πρώτη απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό, και πάλι στο Larderello της Ιταλίας (Σχήμα 1.4). Η επιτυχία της αυτής πειραματικής προσπάθειας έδωσε μια ξεκάθαρη ένδειξη για τη βιομηχανική αξία της γεωθερμικής ενέργειας και σηματοδότησε την έναρξη μιας μορφής εκμετάλλευσης, που επρόκειτο έκτοτε να αναπτυχθεί σημαντικά. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στο Larderello αποτέλεσε πράγματι μια εμπορική επιτυχία. Το 1942, η εγκατεστημένη γεωθερμο-ηλεκτρική ισχύς ανερχόταν στα 127.650 kW. Σύντομα, πολλές χώρες ακολούθησαν το παράδειγμα της Ιταλίας. Το 1919 κατασκευάστηκαν οι πρώτες γεωθερμικές γεωτρήσεις στο Beppu της Ιαπωνίας, ενώ το 1921 ακολούθησαν εκείνες στο Geysers στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ. Το 1958 ένα μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τέθηκε σε λειτουργία στη Νέα Ζηλανδία, ένα άλλο στο Μεξικό το 1959, στις ΗΠΑ το 1960 και ακολούθησαν πολλά άλλα σε διάφορες χώρες.



Σχήμα 1.4 : Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Larderello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό. Διακρίνεται επίσης ο εφευρέτης της, πρίγκιπας **Piero Ginori Conti**.

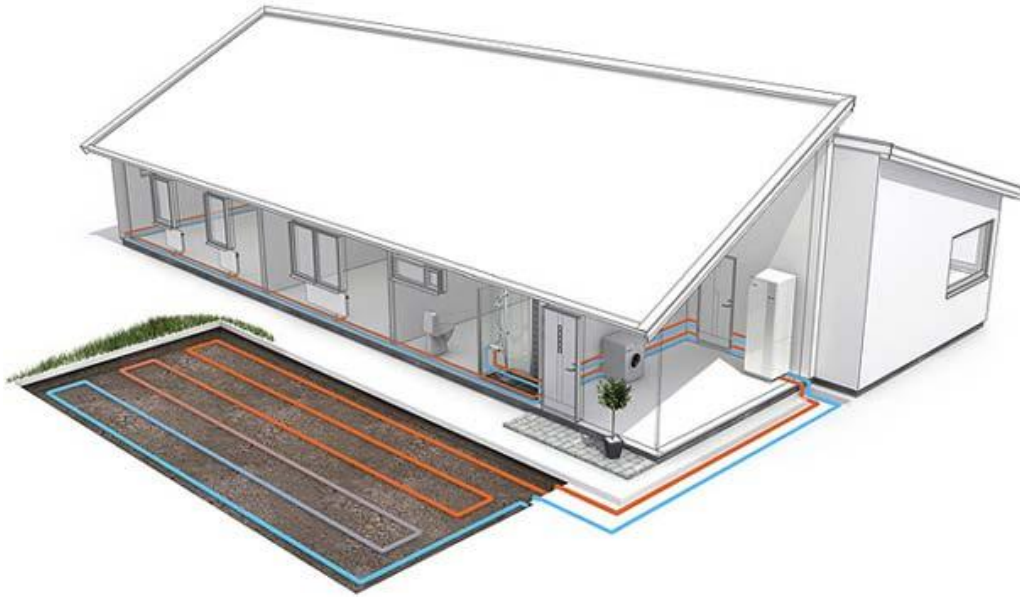
1.3 ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΓΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΗΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι κυκλώματος εδάφους. Οι τρεις από αυτούς το οριζόντιο, κάθετο και το τύπου δεξαμενής / λίμνης είναι συστήματα κλειστού κυκλώματος. Το σύστημα του τέταρτου τύπου είναι η επιλογή του ανοιχτού κυκλώματος. Ποιο από αυτά τα συστήματα είναι το καλύτερο εξαρτάται από το κλίμα, τις συνθήκες του εδάφους, τη διαθέσιμη γη και το κατά τόπους κόστος εγκατάστασης. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εφαρμογές σε κτήρια οικιακής ή εμπορικής χρήσης.

1.3.1 Συστήματα κλειστού κυκλώματος

1.3.1.1 Οριζόντιο συστήματα κλειστού κυκλώματος

Αυτός ο τύπος της εγκατάστασης είναι γενικά πολύ ανταποδοτικός του κόστους για οικιακή εγκατάσταση, ιδιαίτερα για νέες κατασκευές όπου επαρκής έκταση γης είναι διαθέσιμη. Σε αυτό το σύστημα ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι τοποθετημένος παράλληλα προς την επιφάνεια του εδάφους σε βάθος 1,2-1,8 m σε μια ή περισσότερες στρώσεις σωλήνων (Σχήμα 1.5). Τα συστήματα αυτά δίνουν 20-30W/m². (για μονοκατοικία 150 m² θερμαινόμενης επιφάνειας απαιτούνται περίπου 220-300 m² σκάμματος). Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου 1,20 – 1,40 m. Κατάλληλα είναι τα εδάφη που μπορούν να σκαφτούν.

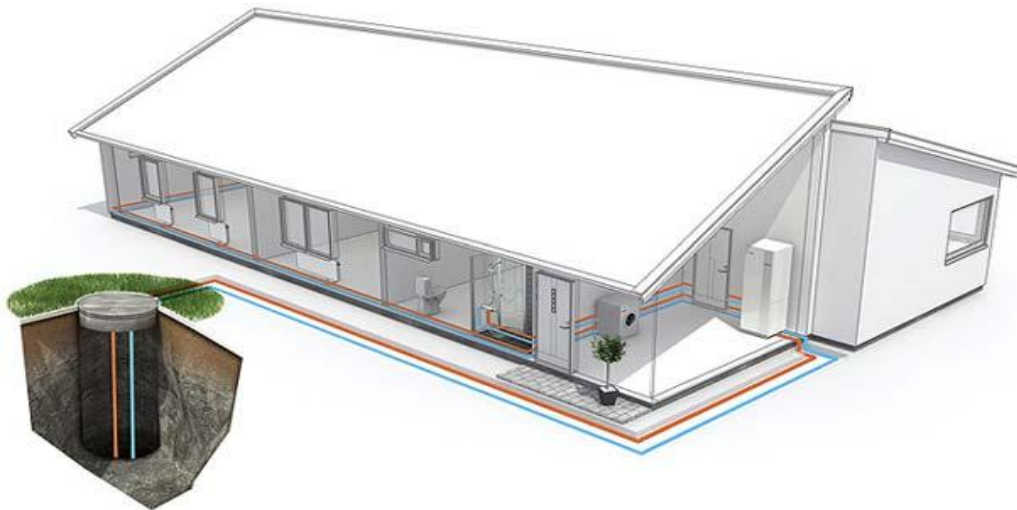


Σχήμα 1.5 : *Εικόνα ενός οριζοντίου κλειστού συστήματος γεωθερμίας δείχνει τους σωλήνες να ξεκινούν από το σπίτι και να εισέρχονται στο έδαφος, και έπειτα να διακλαδώνονται μέσα σε αυτό. Στο τέλος οι σωλήνες κατευθύνονται πάλι αρχή πίσω στο σπίτι*

1.3.1.2 Κάθετο σύστημα κλειστού κυκλώματος

Μεγάλα εμπορικά κτήρια και σχολεία συχνά χρησιμοποιούν κάθετα συστήματα διότι η έκταση γης που απαιτείται για οριζόντια συστήματα θα ήταν απαγορευτικός παράγοντας. Τα κάθετα συστήματα χρησιμοποιούνται επίσης όπου το έδαφος είναι πάρα πολύ ρηχό για αυλάκια, και τα συστήματα αυτά ελαχιστοποιούν την αναστάτωση στο υπάρχον διαμορφωμένο τοπίο. Σε αυτά τα συστήματα ο γεωθερμικός εναλλάκτης είναι τοποθετημένος κάθετα στην επιφάνεια του εδάφους, μέσα σε τρύπες ανοιγμένες από γεωτρύπανο, και σε βάθη συνήθως από 50-150m (Σχήμα 1.6). Δεν αξιοποιείται το νερό του εδάφους καθόσον το σύστημα είναι κλειστό. Χρήση αντιψυκτικού μπορεί και έχει σαν απόδοση 60-80 W/m βάθους γεώτρησης (για ένα σπίτι 150m² απαιτούνται περίπου 120-130 m γεώτρησης). Μοιράζονται και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Είναι κατάλληλη για όλα τα εδάφη. Το σύστημα αυτό είναι το πιο αποδοτικό γιατί όπως είναι γνωστό, η γεωθερμική λειτουργία βασίζεται κατά κύριο λόγο στην αξιοποίηση της θερμότητας της γης η οποία παραμένει σταθερή, μετά από κάποιο βάθος, καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Λόγω των θερμοκρασιακών διακυμάνσεων εξαιτίας των εποχών, η καλύτερη απόδοση του συστήματος επιτυγχάνεται μετά από ένα συγκεκριμένο βάθος, όπου η θερμοκρασία αρχίζει και παραμένει σταθερή. Για τον προαναφερθέντα λόγο, η χρήση οριζόντιου εναλλάκτη είναι ίσως επίφοβη για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος. Επιπλέον η εδαφική επιφάνεια όπου χρειάζεται για το σκάψιμο με σκοπό την εγκατάσταση οριζόντιων εναλλακτών είναι πολύ μεγάλη γιατί οι σωληνώσεις επεκτείνονται οριζόντια, οπότε η περίπτωση αξιοποίησης του εξωτερικού χώρου για π.χ. διαρρύθμιση κήπου, είναι χρονοβόρα, καθόσον πρέπει να ολοκληρωθούν όλες οι διεργασίες. Επίσης η λύση των γεωτρήσεων είναι επιπλέον η πιο γρήγορη γιατί οι εργασίες διάνοιξης διαρκούν

πολύ μικρό χρονικό διάστημα και σας επιτρέπουν την αξιοποίηση του εξωτερικού χώρου σας άμεσα.



Σχήμα 1.6 : Εικόνα ενός κάθετου κλειστού συστήματος γείωσης δείχνει τους σωλήνες να ξεκινούν από ένα κτήριο και να εισέρχονται στο έδαφος, έπειτα να διακλαδώνονται σε σειρές μέσα στο έδαφος. Σε κάθε σειρά, το σύστημα των σωλήνων παραμένει οριζόντιο. Στο τέλος της σειράς, η σωλήνωση κάνει καμπύλη και επιστρέφει στην αρχή της και μετατρέπεται σε έναν σωλήνα που οδηγεί πίσω στο κτήριο.

1.3.1.3 Σύστημα κλειστού κυκλώματος Δεξαμενής/Λίμνης

Αν η περιοχή έχει επαρκή όγκο νερού, αυτή ίσως είναι η επιλογή με το χαμηλότερο κόστος. Ένας σωλήνας παροχής τοποθετείται μέσα στο έδαφος, από το κτήριο έως το νερό και τυλίγεται σε σπείρες σε βάθος τουλάχιστον οκτώ ποδών κάτω από το έδαφος έτσι ώστε να αποφεύγεται το πάγωμα (Σχήμα 1.7). Οι σπείρες θα πρέπει να τοποθετηθούν μόνον σε περιοχή νερού η οποία πληροί τα κριτήρια για τον ελάχιστο επιτρεπτό όγκο, βάθος και ποιότητα νερού.



Σχήμα 1.7 : Εικόνα ενός κλειστού κυκλώματος τύπου Δεξαμενής/Λίμνης δείχνει τους σωλήνες να ξεκινούν από το σπίτι και να εισέρχονται στο έδαφος, έπειτα να εκτείνονται έως τη λιμνούλα ή λίμνη. Η

σωλήνωση βυθίζεται μέσα στη λιμνούλα ή τη λίμνη και έπειτα σχηματίζει οριζόντια συστήματα-βρόγχους , έπειτα επιστρέφει στην άκρη της υδάτινης περιοχής, εκτείνεται προς τα πάνω, κοντά στην επιφάνεια και επιστρέφει στο σπίτι.

1.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Αυτός ο τύπος του συστήματος χρησιμοποιεί πηγαδίσιο νερό ή νερό επιφανείας ως το υγρό ανταλλαγής θερμότητας το οποίο κυκλοφορεί κατ' έθυαν μέσω του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας. Εφόσον έχει κυκλοφορήσει μέσα στο σύστημα, το νερό επιστρέφει στο έδαφος μέσω του πηγαδιού, μέσω ενός πηγαδιού αναφόρτισης ή μέσω εκροής στο έδαφος (Σχήμα 1.8). Αυτή η επιλογή είναι εμφανώς πρακτική μόνον όπου υπάρχει επαρκής παροχή σχετικά καθαρού νερού, και τηρούνται όλοι οι τοπικοί κώδικες και οι κανονισμοί που αφορούν την εκροή του νερού του εδάφους.



Σχήμα 1.8 : *Εικόνα ενός ανοιχτού κυκλώματος , δείχνει έναν σωλήνα να μεταφέρει νερό από το σπίτι προς τα έξω, μέσα στο έδαφος, και από κει σε ένα πηγάδι, όπου αδειάζεται στο νερό του εδάφους. Ένας ξεχωριστός σωλήνας μέσα σε πηγάδι λίγο πιο πέρα αντλεί νερό από το πηγάδι και το επιστρέφει στο σπίτι.*

1.4 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

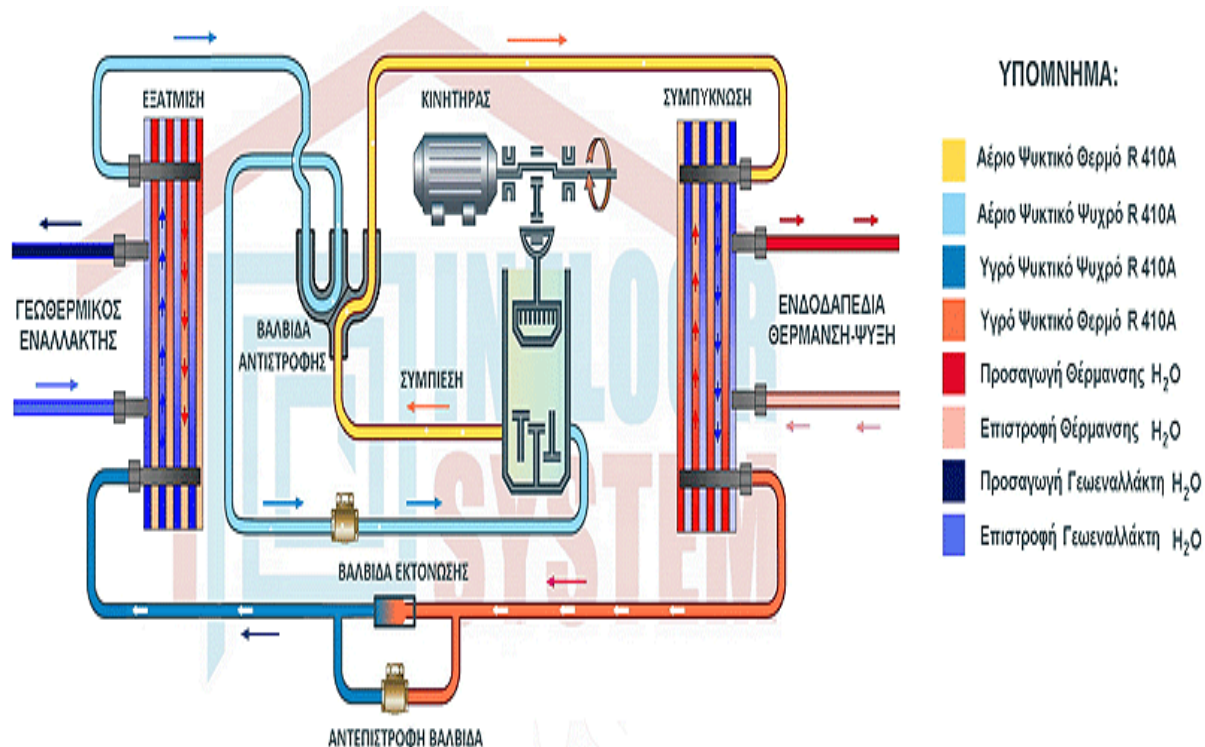
Πρακτικά δεν είναι τίποτε άλλο από μια μηχανή που μπορεί να μεταφέρει τη θερμότητα από τον ψυχρό χώρο στον θερμό, ή στη γλώσσα των μηχανικών, από τη «θερμή δεξαμενή» στην «ψυχρή δεξαμενή». Ακριβώς την ίδια δουλειά εκτελεί το οικιακό ψυγείο και το κλιματιστικό μηχάνημα που απαντάται στα σπίτια και στα γραφεία. Μια διαφορά που έχει το ψυγείο με το κλιματιστικό είναι το ότι στο δεύτερο μπορεί να οριστεί από το χρήστη η θερμή και ψυχρή δεξαμενή. Το καλοκαίρι ορίζουμε θερμή δεξαμενή το περιβάλλον και ψυχρή τον εσωτερικό χώρο (επιλέγοντας λειτουργία δροσισμού) και το μηχάνημα αποβάλλει στο περιβάλλον τη θερμότητα του σπιτιού. Το χειμώνα ορίζουμε θερμή δεξαμενή τον εσωτερικό χώρο και ψυχρή το περιβάλλον (επιλέγοντας λειτουργία θέρμανσης) και το μηχάνημα αποβάλλει τη θερμότητα που υπάρχει στο περιβάλλον μέσα στο σπίτι.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας συνδυάζονται , με σύστημα θέρμανσης - κλιματισμού του κτιρίου χαμηλής θερμοκρασίας, δηλαδή είτε με ενδοδαπέδιο, είτε με αερόθερμα (fan coil), είτε με παροχή αέρα μέσω αεραγωγών, κλπ. Παράλληλα, δύνανται να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης ανά πάσα στιγμή (χειμώνα-καλοκαίρι, μέρα-νύχτα). Επειδή η θερμοκρασία του εδάφους σε μερικά μέτρα βάθος παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους (στην κεντρική Ελλάδα 14-16°C), ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες, τα πιο πάνω γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης - κλιματισμού καταναλώνουν 40 – 60 % λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από τα κλιματιστικά τελευταίας τεχνολογίας, με αποτέλεσμα να παρέχουν αποδοτική θέρμανση, κλιματισμό και ζεστό νερό χρήσης στα κτίρια, με τρόπο φιλικό προς το περιβάλλον.

Μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι πολύ πιο αποδοτική από ένα συμβατικό σύστημα δροσισμού/θέρμανσης. Για 100 μονάδες ωφέλιμης θερμικής ενέργειας καταναλώνουμε μόνο 25 μονάδες ηλεκτρικής ενέργειας ενώ τις υπόλοιπες 75 τις παίρνουμε δωρεάν από τη γη.

1.4.1 Αρχή λειτουργία γεωθερμικής αντλίας

- 1.** Αντιψυκτικό υγρό κυκλοφορεί σε ένα σωλήνα – συλλέκτη και παίρνει τη θερμότητα (ενέργεια) από το έδαφος – νερό ή τον αέρα.
- 2.** Στην αντλία θερμότητας υπάρχει ένας εναλλάκτης που λέγεται αεροποιητής. Εκεί μεταφέρεται η ενέργεια (θερμότητα) από το αντιψυκτικό υγρό στο ψυκτικό υγρό. Αυτό έχει χαμηλό σημείο ζέσης και το οποίο εξαερώνεται και κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα.
- 3.** Στον συμπιεστή αυξάνεται η πίεση του ψυκτικού υγρού, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία στο χρησιμοποιούμενο επίπεδο.
- 4.** Από τον υγροποιητή μεταφέρεται η θερμότητα στο σύστημα θέρμανσης του σπιτιού.
- 5.** Αυτό το ξεχωριστό ψυγείο λειτουργεί σαν ξεχωριστός εναλλάκτης, απορροφά και τα τελευταία ψήγματα θερμότητας και το ψυκτικό υγρό επανέρχεται στην αρχική του σύσταση (υγρά).
- 6.** Στη βαλβίδα εκτόνωσης γίνεται αποσυμπίεση και έτσι πέφτει η πίεση.
- 7.** Το ψυκτικό υγρό μεταφέρεται πάλι στον αεριοποιητή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται



Σχήμα 1.9 : Στο διάγραμμα απεικονίζεται ο κύκλος λειτουργίας της γεωθερμικής αντλίας στην λειτουργία της θέρμανσης, ο οποίος αντιστρέφεται την καλοκαιρινή περίοδο μέσω της βαλβίδας αντιστροφής.

1.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

Πλεονεκτήματα συστήματος

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

Ανεξαρτησία από το πετρέλαιο θέρμανσης

Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης γεωθερμίας είναι η πλήρης ανεξαρτητοποίηση από το πετρέλαιο θέρμανσης. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της

Βόρειας Ελλάδας όσον αφορά στο γεωθερμικό δυναμικό της είναι ότι το άμεσα (με γεωτρήσεις) αξιοποιήσιμο θερμοενεργειακό δυναμικό στη Μακεδονία και Θράκη ξεπερνά σε ισχύ τα 200 MW και μπορεί να αντικαταστήσει 160.000 Τ.Ι.Π./έτος (Τ.Ι.Π. = Τόνοι Ισοδυνάμου Πετρελαίου). Συνεπώς λέμε αντίο στη χρήση πετρελαίου με την χρήση του ασφαλούς συστήματος γεωθερμίας (η χρήση του συμβατικού λεβητοστασίου ίσως θα μπορούσε να αποδειχθεί και επικίνδυνη κάποιες φορές λόγω της μερικής συντήρησής του, 1 στους 2 δεν συντηρείται σωστά).

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.

Φιλικό προς το περιβάλλον

Επειδή δεν χρησιμοποιούνται καύσιμα, δεν συμβάλλει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, που είναι υπεύθυνο για την αύξηση της θερμοκρασίας στον πλανήτη. Δεν απαιτείται χρήση λεβητοστασίων, δεξαμενής καυσίμων, καμινάδων.

Αθόρυβη λειτουργία

Εκτός από μια απαλή δροσιά το καλοκαίρι και μια γλυκιά ζέστη το χειμώνα τα γεωθερμικά συστήματα δεν αφήνουν κανένα άλλο ίχνος της παρουσίας τους. Οι Γ.Α.Θ. δεν χρειάζονται εκτεθειμένα θορυβώδη μηχανήματα να ενοχλούν τους ένοικους ή τους γείτονες. Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται, σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν για να είναι σχεδόν αθόρυβες. Λειτουργούν πιο αθόρυβα και από το ψυγείο.

Μικρές ανάγκες συντήρησης

Τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων, οι Γ.Α.Θ. έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν. Ο Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάστασή τους.

Γρήγορη απόσβεση

Τονίζεται ότι οι ενεργειακές επενδύσεις του είδους έχουν πολλή γρήγορη απόσβεση(5-7 χρόνια), εξασφαλίζοντας φθινό κόστος λειτουργίας στη συνέχεια.

Ζεστό νερό χειμώνα και καλοκαίρι

Δροσιά χωρίς κόστος το καλοκαίρι

Δυνατότητα επιδότησης

Αξιοπιστία κατασκευών

Τα συστήματα γεωθερμίας χρησιμοποιούνται παραπάνω από 20 χρόνια σε κράτη όπως Η.Π.Α., η Ιαπωνία, η Γερμανία, η Ελβετία, η Αυστρία και η Σουηδία.

Μειονεκτήματα συστήματος

Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από του συμβατικού.

Δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα.

Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

1.6 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.6.1 Γενικά

Οι χρήσεις της γεωθερμικής ενέργειας χωρίζονται συνήθως σε ηλεκτρικές και σε άμεσες χρήσεις. Στη δεύτερη κατηγορία γίνεται εκμετάλλευση της θερμότητας των ρευστών χωρίς να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Οι περισσότεροι καθιερωμένες εφαρμογές είναι η θέρμανση χώρων, οι ιχθυοκαλλιέργειες, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Ρευστά με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 150⁰C χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ενώ οι άμεσες χρήσεις καλύπτουν όλη την κλίμακα θερμοκρασιών.

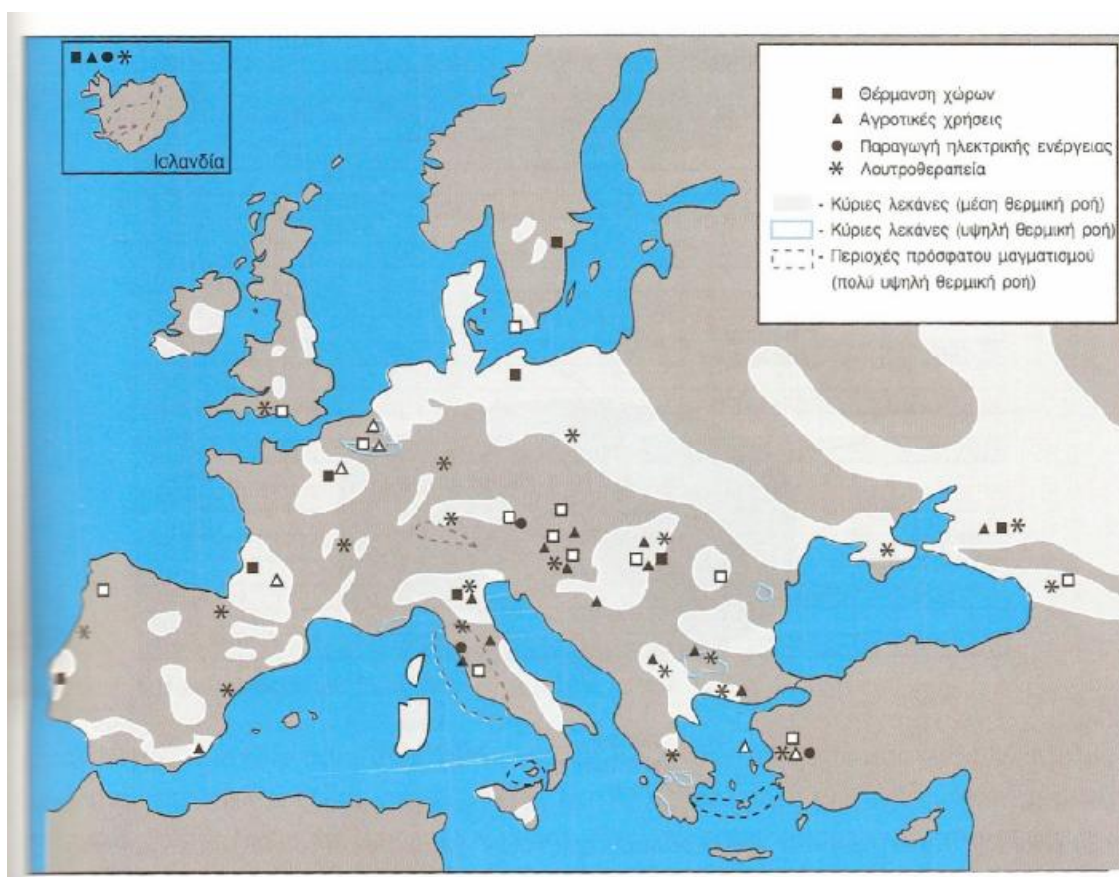
Αν και η συνολική ενεργειακή χρήση της γεωθερμίας είναι πολύ μικρή σε σχέση με τις παγκόσμιες ανάγκες (μόλις το 0,5%), για ορισμένες χώρες ο ρόλος της γεωθερμίας είναι σημαντικός. Έτσι, π.χ. για την Ισλανδία, το 50% της πρωτογενούς παραγωγής ενέργειας της χώρας προέρχεται από τα γεωθερμικά ρευστά (και ένα άλλο 18% από την υδροηλεκτρική ενέργεια), ενώ στις Φιλιππίνες το 22% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καλύπτεται από τη γεωθερμική ενέργεια.

Όσον αφορά στο κόστος της παραγόμενης θερμότητας, η γεωθερμική ενέργεια ανταγωνίζεται ικανοποιητικά το πετρέλαιο και τον άνθρακα. Η εκμετάλλευση της γεωθερμίας χαρακτηρίζεται από υψηλό κόστος κεφαλαίου (για την αρχική έρευνα και την ανάπτυξη των πεδίων), ενώ από την άλλη μεριά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης είναι περιορισμένο. Επίσης, ο τεχνολογικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για την αξιοποίηση της γεωθερμίας είναι τις περισσότερες φορές δοκιμασμένος σε άλλες τεχνολογικές εφαρμογές. Για παράδειγμα, στην ανόρυξη των βαθιών γεωτρήσεων χρησιμοποιείται τεχνολογία με πολλά στοιχεία δανεισμένα την τεχνολογία των γεωτρήσεων πετρελαίου. Για τις ρηχότερες γεωτρήσεις και για νερά χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιείται η τεχνολογία των υδρογεωτρήσεων προσαρμοσμένη στη γεωθερμία.

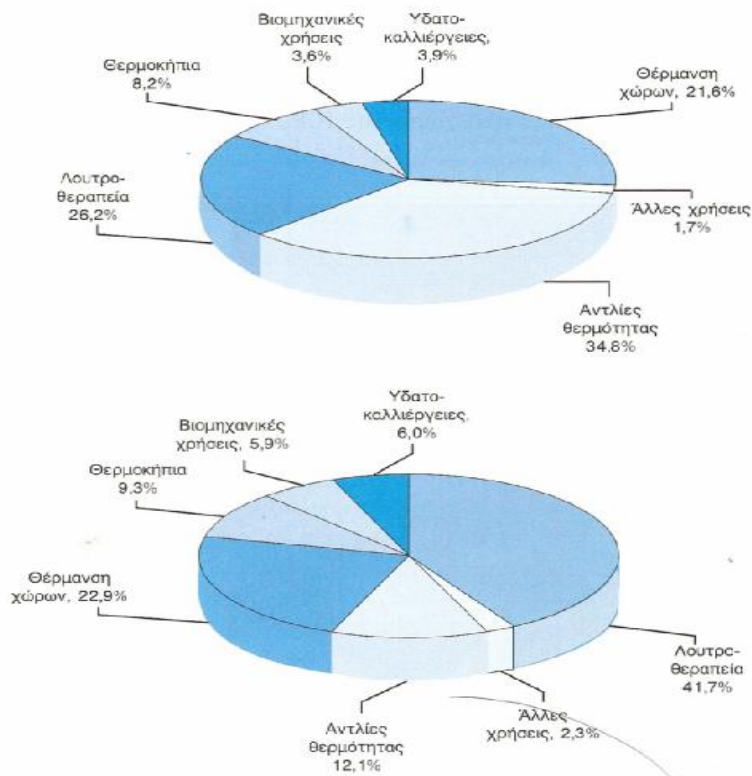
1.6.1.1 Άμεσες χρήσεις

Οι κυριότερες άμεσες εφαρμογές τις γεωθερμίας μπορούν να ταξινομηθούν στις κατηγορίες τη θέρμανση χώρων, τις αγροτικές χρήσεις, υδατοκαλλιέργειες, βιομηχανικές (και πισίνες) και αντλίες θερμότητας. Η εγκατεστημένη θερμική ισχύς των γεωθερμικών μονάδων μέσης και χαμηλής θερμοκρασίας σε 58 χώρες στον κόσμο ανήλθε το έτος 2000 στα 15.145 MWt, σημειώνοντας αύξηση κατά 75% σε σχέση με το 1995. Η ενεργειακή χρήση στην ίδια χρονιά ανήλθε σε 191GJ/έτος σημειώνοντας αύξηση 69% σε σχέση με το 1995 ή 11% σε ετήσια βάση. Η τιμή αυτή της ενεργειακής παραγωγής αντιστοιχεί σε 43 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ) ανά έτος. Συγκριτικά σημειώνεται ότι εξοικονομούνται περίπου 20 εκατ. ΤΙΠ/έτος από την αξιοποίηση άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ευρώπης υπάρχουν άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας. Στο χάρτη του σχήματος 1.10 αποτυπώνονται οι κυριότερες περιοχές στην Ευρώπη με γεωθερμικό ενδιαφέρον και σημειώνεται σε ποιες περιοχές υπάρχουν γεωθερμικές χρήσεις.



Σχήμα 1.10 : Οι κυριότερες γεωθερμικές περιοχές και χρήσεις στην Ευρώπη



Σχήμα 1.11 : Κατανομή των γεωθερμικών χρήσεων χαμηλής ενθαλπίας σε παγκόσμιο επίπεδο κατά το έτος 2000 αναφορικά, (α) με την εγκατεστημένη ισχύ και (β) με την πραγματική ενεργειακή χρήση (Lund και Freeston, 2001).

Οι άμεσες χρήσεις στο χώρο της Ε.Ε. έχουν αναπτυχθεί κυρίως στην Ιταλία, τη Γαλλία, τη Γερμανία και τη Σουηδία, αν και το είδος των χρήσεων ποικίλει από χώρα σε χώρα, εξαιτίας των γεωλογικών και κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν σε κάθε κράτος, της ενεργειακής κατάστασης, του νομικού πλαισίου προώθησης των Α.Π.Ε. κτλ. Έτσι, στη Γαλλία τα γεωθερμικά ρευστά χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση χώρων, στην Ιταλία επικρατούν οι αγροτικές χρήσεις και η λουτροθεραπεία, ενώ στη Γερμανία και τη Σουηδία οι μόνες άμεσες χρήσεις είναι ουσιαστικά οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Στην υπόλοιπη Ευρώπη, η Ισλανδία, η Γεωργία, η Ρωσική Δημοκρατία και η Ουγγαρία κατέχουν τα πρωτεία στη θέρμανση χώρων. Στην Ουγγαρία η γεωθερμία χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση θερμοκηπίων, ενώ στην Ισλανδία για θέρμανση οικιών. Είναι χαρακτηριστικό ότι σε ολόκληρη την πόλη του Reykjavík η θέρμανση των κτηρίων γίνεται με ζεστό νερό το οποίο θερμαίνεται με γεωθερμική ενέργεια σε απόσταση 30 km μακριά από την πόλη. Τέλος σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο μέρος της γεωθερμικής ενέργειας στην Ιαπωνία χρησιμοποιείται για λουτροθεραπευτικούς σκοπούς, ενώ Κίνα και τη Ν. Ζηλανδία η βασική χρήση είναι η θέρμανση χώρων και οι βιομηχανικές χρήσεις.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η κατανομή των διαφόρων χρήσεων (αναφορικά με την εγκατεστημένη ισχύ των γεωθερμικών μονάδων και την ενεργειακή χρήση) το 2000 δίνεται στο Σχήμα 1.11. Η θέρμανση χώρων περιλαμβάνει την παραγωγή θερμού νερού για θέρμανση χώρων (εκτός από τα θερμοκήπια) και την τηλεθέρμανση οικισμών. Η κατηγορία της λουτροθεραπείας περιλαμβάνει και τις πισίνες που θερμαίνονται με γεωθερμικό νερό, ενώ στις βιομηχανικές χρήσεις έχει προστεθεί η ξήρανση αγροτικών προϊόντων και στις άλλες χρήσεις το λιώσιμο του χιονιού σε δρόμους, πεζοδρόμια κτλ.

Ένα τυπικό γεωθερμικό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, ανεξάρτητα από το είδος της εφαρμογής, αποτελείται συνήθως από τέσσερα υποσυστήματα:

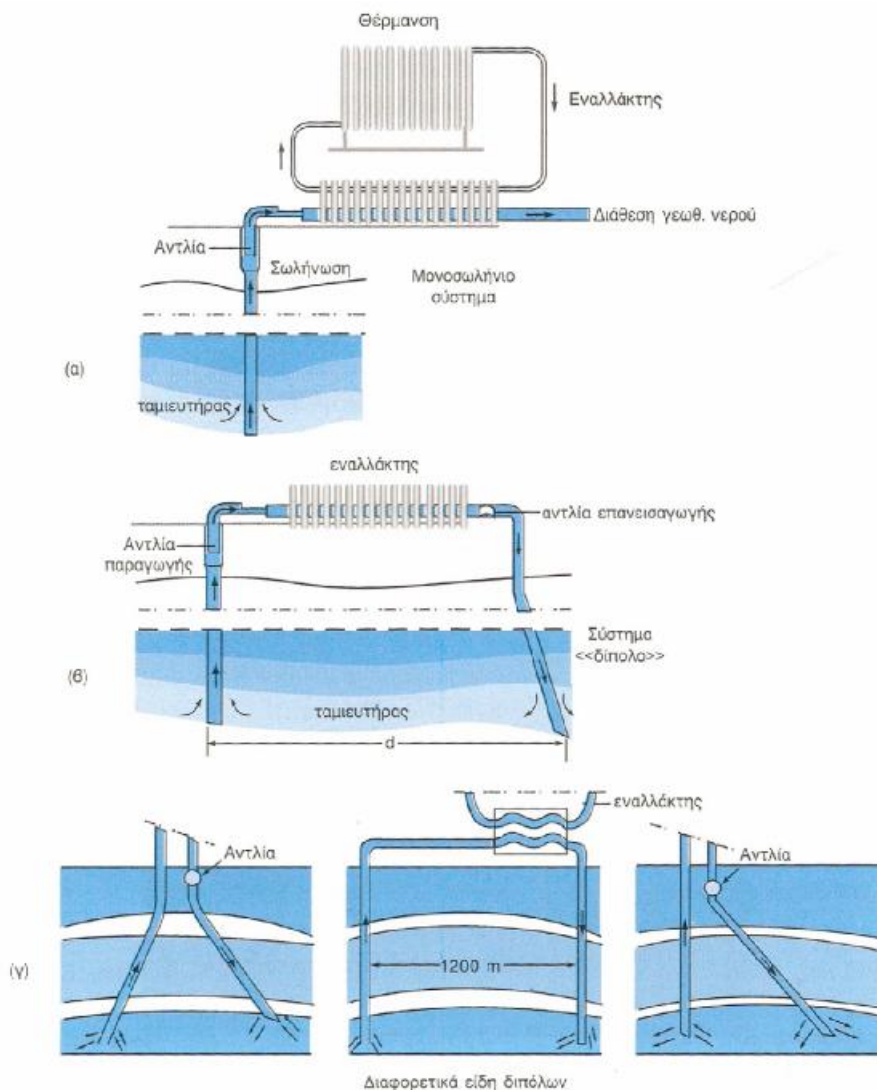
- ∅ Το σύστημα παραγωγής, που περιλαμβάνει την παραγωγική γεώτρηση, την αντλία παραγωγής και τις συσκευές στην κεφαλή της γεώτρησης.
- ∅ Το σύστημα μεταφοράς των γεωθερμικών ρευστών, από την κεφαλή της γεώτρησης μέχρι το σύστημα εφαρμογής.
- ∅ Το σύστημα εφαρμογής (σύστημα εναλλαγής της θερμότητας) μαζί με το σύστημα διανομής της γεωθερμικής ενέργειας (κυκλοφορητές, συστήματα ρύθμισης, σωληνώσεις κτλ). Συχνά, σε σχετικά μεγάλες εφαρμογές τηλεθέρμανσης τα συστήματα εφαρμογής βρίσκονται συγκεντρωμένα σε μία κεντρική εγκατάσταση, στην οποία οδηγούνται τα γεωθερμικά ρευστά από διάφορες γεωτρήσεις της περιοχής.
- ∅ Το σύστημα διάθεσης των ρευστών, μετά τη χρήση.

1.6.2 Συστήματα παραγωγής και μεταφοράς γεωθερμικών ρευστών

1.6.2.1 Σχήματα γεωτρήσεων

Τα διάφορα σχήματα με τα οποία μπορεί να αξιοποιηθεί η θερμότητα ενός γεωθερμικού ταμιευτήρα παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.12. Αρχικά, μπορεί να υπάρξει μία μονή γεώτρηση παραγωγής (μονοσωλήνιο σύστημα,), το νερό της οποίας οδηγείται για επιφανειακή διάθεση, άρδευση ή ακόμη και ύδρευση. Το οικόμικο πλεονέκτημα του σχήματος αυτού είναι προφανές, αφού η κατασκευή της γεώτρησης αντιπροσωπεύει ποσοστό σχεδόν 70% του συνολικού κόστους ενός γεωθερμικού εγχειρήματος. Εκτός από το πρόβλημα της διάθεσης των ρευστών, ένα ακόμη σοβαρό μειονέκτημα του σχήματος αυτού είναι η πιθανή μείωση της πίεσης του ταμιευτήρα με το χρόνο. Με αυτό το σχήμα αξιοποιούνται νερά χαμηλής αλατότητας τα οποία πληρούν τις προδιαγραφές ποσιμότητας, άρδευσης ή επιφανειακής διάθεσης.

Το πλέον συνηθισμένο σχήμα αξιοποίησης είναι το σύστημα των διπλών γεωτρήσεων (σύστημα «δίπολο»), όπως παρουσιάζεται στα σχήματα, στο οποίο το σύνολο του γεωθερμικού ρευστού επανεισάγεται στον ταμιευτήρα μέσω της γεώτρησης επανεισαγωγής.



Σχήμα 1.12 : Σχήματα ανάκτησης της θερμότητας από ένα γεωθερμικό ταμειυτήρα.
 (α) Σύστημα μόνης γεώτρησης. β) Σύστημα «δίπολο». (γ) Παραδείγματα δίπολων

1.6.2.2 Αντλίες παραγωγής

Η άντληση του γεωθερμικού νερού σε παροχές που μπορεί να φτάσουν τα $250 \text{ m}^3/\text{h}$ (70 kg/s) είναι σχεδόν πάντα αναγκαία, είτε για να μεταφερθεί το νερό στην επιφάνεια, είτε για να μεταφερθεί από την πηγή ή τη γεώτρηση στο σημείο της χρήσης. Υπάρχουν βεβαίως και οι σπανιότερες περιπτώσεις γεωτρήσεων που παρουσιάζουν ικανή αρτεσιανή ροή. Οι αντλίες παραγωγής χρησιμοποιούνται και για την αύξηση της πίεσης των νερών, ώστε να μην είναι δυνατόν να διαχωριστεί το διοξείδιο του άνθρακα και να προκληθούν προβλήματα σχηματισμού επικαθίσεων.

1.6.2.3 Σωληνώσεις μεταφοράς των γεωθερμικών νερών

Σχεδόν πάντα η θέση μιας γεωθερμικής γεώτρησης χαμηλής ενθαλπίας βρίσκεται σε ορισμένη απόσταση από τη θέση χρήσης των θερμών νερών. Κατά συνέπεια, απαιτείται σύστημα μεταφοράς του νερού, το οποίο σχεδιαστικά μοιάζει αρκετά με

τα συστήματα μεταφοράς πόσιμου νερού. Για τα συστήματα θέρμανσης χώρων και για άλλες χρήσεις γεωθερμικών νερών χαμηλής ενθαλπίας, το κόστος μεταφοράς των νερών αποτελεί μαζί με το κόστος της γεώτρησης τη σημαντικότερη επιβάρυνση στο πάγιο κεφάλαιο της εγκατάστασης και συχνά φτάνει στο 60% της συνολικής επένδυσης.

1.6.2.4 Εναλλάκτες θερμότητας

Στις περισσότερες γεωθερμικές εφαρμογές απαιτείται η μεταφορά της θερμότητας των γεωθερμικών ρευστών σε ένα ρευστό λειτουργίας (κυρίως γλυκό νερό) μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Βεβαίως, το ρευστό λειτουργίας μπορεί να είναι ο αέρας, όπως στα αερόθερμα. Σε κάθε σύστημα εναλλαγής θερμότητας επιλέγονται ο τύπος του εναλλάκτη, οι συνθήκες λειτουργίας του (θερμοκρασίες εισόδου-εξόδου, πτώση πίεσης), η επιφάνειά του, το υλικό κατασκευής και οι μέθοδοι για τον έλεγχο της διάβρωσης και των επικαθίσεων. Οι εναλλάκτες θερμότητας αποτελούν το σπουδαιότερο τμήμα μιας μονάδας χαμηλής ενθαλπίας μετά τη γεώτρηση.

Οι κυριότεροι τύποι εναλλακτών που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα είναι:

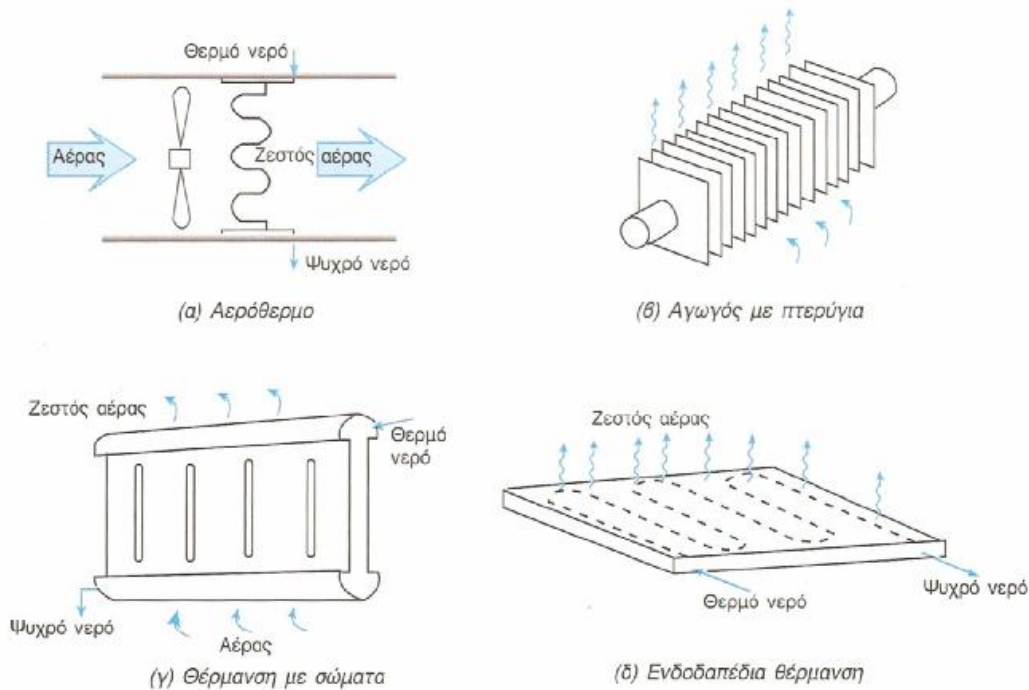
- ∅ ο εναλλάκτης πλακών
- ∅ ο εναλλάκτης αυλών και κελύφους
- ∅ ο εναλλάκτης ρευστοστερεάς κλίνης
- ∅ ο υπόγειος εναλλάκτης.

1.6.2.5 Θέρμανση χώρων

Σε γενικές γραμμές, οι τελικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στα γεωθερμικά συστήματα θέρμανσης χώρων είναι ακριβώς ίδιες με τις συσκευές που χρησιμοποιούνται με άλλα συστήματα θέρμανσης, όπως φυσικό αέριο και πετρέλαιο. Συχνά όμως, στα κτήρια που θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά οι τελικές συσκευές λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, εξαιτίας της μικρότερης θερμοκρασίας των διαθέσιμων γεωθερμικών νερών (π.χ. μικρότερη από 60 °C) ή επειδή απαιτείται η χρήση εναλλάκτη θερμότητας.

Η θέρμανση των χώρων στα κτήρια επιτελείται με τη διέλευση του γεωθερμικού νερού (ή του νερού λειτουργίας που θερμάνθηκε από γεωθερμικό ρευστό) μέσω των εναλλακτών θερμότητας αέρα-υγρού, κάτι που γίνεται και με τα συμβατικά θερμαντικά σώματα. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι τέτοιων εναλλακτών, οι κυριότεροι των οποίων, όπως απεικονίζεται σχηματικά στο Σχήμα 1.13, είναι: (α) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ροή αέρα (εξαναγκασμένη συναγωγή), (β) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με φυσική συναγωγή, και (γ) οι εναλλάκτες που λειτουργούν με ακτινοβολία (σωλήνες τοποθετημένοι στο πάτωμα, σε τοίχους ή στην οροφή).

Στη θέρμανση χώρων με γεωθερμία περιλαμβάνεται και η θέρμανση θερμού νερού, πισίνων ή κολυμβητηρίων, άμεσα ή έμμεσα με γεωθερμικό νερό. Η θέρμανση του θερμού νερού είναι προτιμότερο να γίνεται σε ένα δεύτερο εναλλάκτη, που θα εκμεταλλεύεται την έξοδο του γεωθερμικού νερού από τον εναλλάκτη θέρμανσης χώρων.



Σχήμα 1.13 : Εναλλάκτες αέρα-υγρού: (α) με εξαναγκασμένη ροή, (β) και (γ) με φυσική συναγωγή και (δ) με ακτινοβολία.

1.6.2.6 Αγροτικές Χρήσεις

Οι αγροτικές διεργασίες και η βιομηχανία επεξεργασίας τροφίμων αποτελούν ενδιαφέρουσες περιοχές για την αξιοποίηση της γεωθερμίας. Ο Πίνακας 1.1 παρουσιάζει τις θερμοκρασιακές περιοχές που απαιτούνται για ορισμένες αγροτοβιομηχανικές διεργασίες, καθώς και τις θερμοκρασίες υφιστάμενων χρήσεων σε Ελλάδα και Η.Π.Α. Βέβαια, αυτές οι θερμοκρασίες δεν είναι απόλυτες και δεν πρέπει να λαμβάνονται πολύ αυστηρά τα όριά τους. Ως παράδειγμα αναφέρεται ότι, ενώ μέχρι πριν από μερικά χρόνια θεωρούνταν ότι η χαμηλότερη θερμοκρασία για θέρμανση θερμοκηπίων ήταν περίπου $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, τώρα χρησιμοποιούνται και ρευστά με θερμοκρασία μέχρι και $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Επίσης, πρέπει να προστεθεί ότι ορισμένες από τις δυνατές αγροτικές χρήσεις του Πίνακα 1.1 έχουν μόνο θεωρητικό ενδιαφέρον, αφού έχουν εφαρμοστεί είτε μόνο σε πειραματικό επίπεδο είτε σε πολύ περιορισμένο αριθμό εγκαταστάσεων.

Τα καλύτερα αποτελέσματα αξιοποίησης της γεωθερμίας σε αγροτικές χρήσεις έχουν επιτευχθεί στη θέρμανση θερμοκηπίων και στις υδατοκαλλιέργειες, και σε μικρότερο βαθμό, στην ξήρανση αγροτικών προϊόντων.

Διεργασία	Θερμοκρασία, °C	Θερμ. χρήσεων στην Ελλάδα, °C	Θερμ. χρήσεων σε Η.Π.Α., °C
Ξήρανση δημητριακών	40-80		
Ξήρανση λαχανικών & καρπών	60-135	55-70	80-150
Θέρμανση θερμοκηπίων	40-130	38-90	35-100
Θέρμανση χώματος	25-40	35-55	
Υπεδάφια θέρμανση ποιμνιαστασίων	25-60		
Υδατοκαλλιέργεια	15-35	25-40	15-90
Καλλιέργεια μανιταριών	20-60		107
Συντήρηση τροφίμων	90-150		
Επεξεργασία γάλακτος	70-120		110

Πίνακας 1.1 : Θερμοκρασιακές περιοχές που απαιτούνται για ορισμένες αγροτοβιομηχανικές διεργασίες, καθώς και τις θερμοκρασίες υφιστάμενων χρήσεων σε Ελλάδα και Η.Π.Α.

1.6.2.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Η χρήση της γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής τα τελευταία 60 χρόνια έχει αυξηθεί σημαντικά. Το 2000, περίπου 7954 MWE_e γεωθερμικής ισχύος ήταν εγκατεστημένα σε 21 χώρες του πλανήτη μας. Ανάμεσα στο 1995 και το 2000 σημειώθηκε αύξηση 17% ή ετήσια αύξηση 3,2%. Η συνολική παραγωγή γεωθερμικού ηλεκτρισμού το 2000 αποτιμάται σε 12,5 εκατομμύρια τόνους ισοδύναμου πετρελαίου (με την υπόθεση ότι ο συντελεστής απόδοσης είναι 3-5%). Η παραγωγή ηλεκτρικής γεωθερμικής ενέργειας είχε ως αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών CO₂ στην ατμόσφαιρα κατά 11 εκατ. τόνους CO₂ το χρόνο, στην περίπτωση που η γεωθερμική ενέργεια αντικαθιστά το πετρέλαιο. Το 2002, η εγκατεστημένη γεωθερμική ισχύς ανήλθε σε 8356 MWE_e και προστέθηκε μία ακόμη χώρα με γεωθερμικό ηλεκτρισμό, η Αυστρία.

Το Κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος από τη γεωθερμία κυμαίνεται από 0,03 μέχρι 0,08 €/kW, τιμές χαμηλές όταν συγκρίνονται με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά υψηλότερες όταν συγκρίνονται με τις τιμές της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από την καύση γαιανθράκων.

Ο σχεδιασμός μίας γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος περιλαμβάνει την επιλογή του μεγέθους της μονάδας, την επιλογή του κύκλου λειτουργίας, τη λειτουργία και τη συντήρηση της μονάδας, την επιλογή των υλικών και τη διαχείριση των ρευστών μετά τη χρήση τους για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Το μέγεθος της μονάδας εξαρτάται από το μέγεθος του γεωθερμικού ταμιευτήρα, το οποίο θα πρέπει να ερευνηθεί με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια και τις ανάγκες της αγοράς.

1.7 ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η περαιτέρω διεύθυνση της χρήσης της γεωθερμίας, καθώς και των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, είναι βέβαιο ότι θα συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και των άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την καύση των ορυκτών καυσίμων. Μερικές από τις επιπτώσεις αυτές είναι η οξίνιση των επιφανειακών νερών, η επίδραση των εκπεμπόμενων σωματιδίων (αιθά-

λης, ενώσεων θείου κτλ.) στην υγεία των ανθρώπων και των ζώων, η φθορά στα υλικά και ιδιαίτερα στα μνημεία της πολιτιστικής μας κληρονομιάς κ.ά. Από την άλλη μεριά, η γεωθερμική ενέργεια, όπως άλλωστε και κάθε μορφή ενέργειας, είναι συνδεδεμένη με ορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως είναι οι εκπομπές CO₂ και άλλων επιβλαβών αερίων (π.χ. υδροθείου), η υδάτινη και θερμική ρύπανση και η χρήση γης.

Σε αυτή την ενότητα αναδεικνύεται η γεωθερμική ενέργεια ως μορφής ενέργειας αρκετά φιλικότερη προς το περιβάλλον συγκριτικά με τα ορυκτά καύσιμα, χωρίς να αποσιωπούνται οι κατά περίπτωση αρνητικές συνέπειες της χρήσης της. Επίσης, αναφέρονται οι σχετικά εύκολες λύσεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων που μπορούν να φθάσουν μέχρι σχεδόν το μηδενισμό τους. Τέλος, αναλύεται συνοπτικά η έννοια της ανανεωσιμότητας της γεωθερμικής ενέργειας, στο βαθμό και τον τρόπο που αυτό μπορεί να επιτευχθεί.

1.7.1 Αειφορία και ανανεωσιμότητα της γεωθερμίας

Η επιστημονική κοινότητα ταξινομεί συνήθως τη γεωθερμία ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (ΑΠΕ). Αν και αυτή η ταξινόμηση ισχύει εδώ και δεκαετίες, συχνά διατυπώνονται κάποια ερωτηματικά, καθώς και η άποψη ότι με αυστηρά επιστημονικά κριτήρια η γεωθερμική ενέργεια δεν αποτελεί πάντα ανανεώσιμη πηγή ενέργεια. Μία έννοια συνδεδεμένη με την ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου είναι αειφορία. Επειδή συχνά επικρατεί σύγχυση, είναι ανάγκη να διευκρινιστούν αυτές οι δύο έννοιες. Η ανανεωσιμότητα αποτελεί ιδιότητα του ενεργειακού πόρου, ενώ η αειφορία περιγράφει τον τρόπο με το οποίο χρησιμοποιείται οποιοσδήποτε φυσικός πόρος.

Η αειφορία σχετίζεται με την ορθολογική διαχείριση των πόρων, τη διάθεσή τους με προσιτό κόστος στον άνθρωπο και χαρακτηρίζεται από κάποια μορφή ισορροπίας. Ο όρος «αειφορία» είναι δανεισμένος από την επιστήμη της δασολογίας και περιλαμβάνει σειρά πρακτικών, πολιτικών και τεχνολογιών, με τις οποίες προσπαθούμε να καλύψουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες με το λιγότερο περιβαλλοντικό κοινωνικό και οικονομικό κόστος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των διεργασιών και, κυρίως, με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ανανεωσιμότητα ενός ενεργειακού πόρου σημαίνει ότι η οποιαδήποτε ποσότητα ενέργειας που λαμβάνεται από το συγκεκριμένο πόρο, η ίδια ποσότητα αναπληρώνεται κατά το ίδιο χρονικό διάστημα. Οι γεωθερμικοί πόροι, μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες πόροι που παράγονται από συστήματα, τα οποία τροφοδοτούνται με ενέργεια από την άνοδο του μάγματος (και ακολούθως του νερού), αλλά και από τη συνεχή θερμική ροή από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια, και στα λεγόμενα στατικά συστήματα, όπου η ενέργεια είναι αποθηκευμένη σε θερμά υπόγεια πετρώματα ή σε εγκλεισμένους ταμιευτήρες. Ο ρυθμός και η δυνατότητα ενεργειακής επαναφόρτισης ενός γεωθερμικού συστήματος αποτελεί το κρίσιμο κριτήριο στην ταξινόμηση ενός πεδίου ως ανανεώσιμου ή όχι. Σε όλες τις πρακτικές περιπτώσεις, κάποιος βαθμός τοπικής εξάντλησης των πόρων (στο συγκεκριμένο πεδίο/ταμιευτήρα) σίγουρα συμβαίνει κατά την αξιοποίηση του πόρου, όταν για παράδειγμα ο ταμιευτήρας των γεωθερμικών ρευστών δεν «επικοινωνεί» με την επιφάνεια του εδάφους, παρά σε μακρινή απόσταση και ο ρυθμός επανατροφοδοσίας και θέρμανσης των ρευστών του δεν είναι ίσος με το ρυθμό άντλησης αυτών.

Κατά την εκμετάλλευση των υδροθερμικών συστημάτων, η επανατροφοδοσία της ενέργειας επιτυγχάνεται με τη φυσική αναπλήρωση του νερού στον ταμιευτήρα,

στο ίδιο χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η παραγωγή των ρευστών. Τα συστήματα αυτά είναι και τα πιο κοινά από αυτά που αποτελούν στόχο των γεωθερμικών ερευνών και τυχαίνουν εκμετάλλευσης σε μεγάλο ποσοστό. Από την άλλη μεριά, στα ξηρά-θερμά πετρώματα και σε μερικούς θερμούς, αλλά εγκλεισμένους, ταμιευτήρες σε ιζηματογενείς λεκάνες, η ενεργειακή επαναφόρτιση ελέγχεται από την αγωγή θερμότητας, μία ιδιαίτερα αργή διεργασία. Με μέση θερμική διαχυτότητα των πετρωμάτων $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ο ρυθμός θερμικής αγωγής είναι αρκετά αργός για να γίνει δυνατή η επαναφόρτιση ενός εξαντλημένου ταμιευτήρα. Συνεπώς, μπορεί να λεχθεί ότι τα τελευταία γεωθερμικά συστήματα κατατάσσονται στις σχετικά πεπερασμένες ενεργειακές πηγές. Υπάρχει βέβαια και η ακραία περίπτωση των εντελώς κλειστών ταμιευτήρων, οπότε η εκμετάλλευση με άντληση των ρευστών θα οδηγήσει κάποια στιγμή στην πρακτική εκκένωση του ταμιευτήρα (όπως γίνεται με τους ταμιευτήρες των υδρογονανθράκων).

Η συνειδητοποίηση της ανάγκης για χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και της περαιτέρω προώθησής τους από μεγάλο τμήμα της κοινωνίας προέρχεται από τους παρακάτω λόγους:

- Ø Οι ΑΠΕ διαθέτουν σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και σχάσιμα πυρηνικά καύσιμα).
- Ø Οι ΑΠΕ είναι διαθέσιμες λιγότερο ή περισσότερο σε όλες σχεδόν τις περιοχές της γης, είναι δηλαδή περισσότερο «δίκαια» κατανομημένες από ότι τα συμβατικά καύσιμα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους και των κινδύνων από τη μεταφορά των καυσίμων.
- Ø Οι πόροι αυτοί, παρόλη τη μικρή συγκέντρωση που τους χαρακτηρίζει, είναι τεράστιοι και ανεξάντλητοι.

Είναι γεγονός βέβαια, ότι με τις παρούσες τεχνικο-οικονομικές συνθήκες, οι ΑΠΕ δεν μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας στο εγγύς μέλλον. Μπορούν όμως να υποκαταστήσουν μερικά από τα συμβατικά καύσιμα, με άμεσες συνέπειες στην ανακούφιση των περιβαλλοντικών πιέσεων από τη χρήση τους και την επιμήκυνση του χρόνου εξάντλησής τους. Δεν είναι τυχαίο ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως πρωταρχικό στόχο για το 2010 την κάλυψη του 12% των ενεργειακών της αναγκών από τις ΑΠΕ, από το σημερινό ποσοστό που βρίσκεται στο 6%. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο τοποθετείται και ο διπλασιασμός της παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας ανάμεσα στο 1995 και το 2010. Είναι ενδεικτικό ότι ο στόχος αυτός τείνει να επιτευχθεί ήδη από το 2005, κυρίως από τη μεγάλη ανάπτυξη των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και όχι από τη σημαντική χρήση των υδροθερμικών πόρων, όπως είχε προβλεφθεί το 1995.

Σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ, όπως η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα, οι οποίες προωθούνται συστηματικά μέσω διαφόρων προγραμμάτων και ομάδων πίεσης, η γεωθερμική ενέργεια έχει υποτιμηθεί κατά τη γνώμη μας, ιδιαίτερα στη χώρα μας από παρανοήσεις σε σχέση με τη φύση, τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και το μέγεθος των γεωθερμικών πόρων, την κατανομή τους στο χώρο και τα χαρακτηριστικά της ανανεωσιμότητάς τους.

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται η μόνη αξιόλογη πηγή ενέργειας που δεν εξαρτάται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Μόνο που θα πρέπει να αντλείται από οικονομικά βάθη και με τέτοιο ρυθμό ώστε να ανανεώνεται. Υπάρχει και ένα μικρό τμήμα της γεωθερμίας, η αβαθής γεωθερμία, η οποία αντλεί θερμότητα ή ψύξη από το έδαφος και σε μικρό βάθος, αφού η θερμοκρασία του εδάφους δεν επηρεάζεται από τις

κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια κάθε περιοχής της γης κάτω από τα 15 m βάθους.

1.7.2 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται καθαρή μορφή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν συγκρίνεται με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, χωρίς βέβαια οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εκμετάλλευσή της να είναι πάντα εντελώς αμελητέες. Σε γενικές γραμμές, η υψηλότερη περιεκτικότητα των γεωθερμικών ρευστών υψηλής ενθαλπίας σε διαλυμένα άλατα και αέρια σε σχέση με τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας, επιβάλλουν το διαχωρισμό των επιπτώσεων από την αξιοποίηση της γεωθερμίας. Τα προβλήματα από τη διάθεση των θερμών νερών που χρησιμοποιούνται για άμεσες χρήσεις είναι κατά κανόνα ηπιότερα από ότι των ρευστών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί από την αρχή ότι, στην περίπτωση που εφαρμόζεται η άμεση επανεισαγωγή των γεωθερμικών ρευστών στον ταμειυτήρα, όπως στην περίπτωση των μονάδων δυαδικού κύκλου, οι επιπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές όσον αφορά στις εκπομπές αερίων και τη διάθεση των γεωθερμικών νερών. Η μόνη πιθανή επιβάρυνση μπορεί να προέλθει από διαρροές του δευτερεύοντος οργανικού ρευστού, αν και τα τελευταία χρόνια η χρήση των χλωροφθορανθράκων (ουσιών επιβλαβών στη στιβάδα του όζοντος) έχει υποκατασταθεί από υδροφθοράνθρακες ουσίες με πολύ μικρότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Βεβαίως, κατά τη φάση της έρευνας, της ανόρυξης των γεωτρήσεων, των δοκιμών και κατασκευής των μονάδων μπορεί να υπάρξουν διαρροές και προσωρινή διάθεση γεωθερμικών νερών σε υδάτινους αποδέκτες, καθώς και αυξημένος θόρυβος.

1.7.3 Επιπτώσεις από μονάδες χαμηλής ενθαλπίας

Η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την αξιοποίηση των γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας είναι ηπιότερη σε σχέση με την επιβάρυνση από τα ρευστά υψηλής ενθαλπίας. Κατ' αρχάς, η θερμική επιβάρυνση είναι σαφώς μικρότερη, με την προϋπόθεση ότι τα νερά μετά τη χρήση τους έχουν θερμοκρασία μικρότερη από 30-35 °C. Επίσης, η περιεκτικότητα των νερών χαμηλής ή μέσης θερμοκρασίας σε τοξικά και επιβλαβή συστατικά (As, H₂S, B, βαρέα μέταλλα κτλ.) είναι κατά κανόνα πολύ μικρή ή και αμελητέα, χωρίς να απουσιάζουν και κάποιες εξαιρέσεις. Γενικά, η περιεκτικότητα σε διαλυμένα άλατα των νερών αυτών κυμαίνεται από 500-3000 mg/L, αν και στη χώρα μας παρατηρούνται αρκετά υψηλότερες περιεκτικότητες στις νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας της συμμετοχής του θαλασσινού νερού στη τροφοδοσία των γεωθερμικών συστημάτων. Επίσης, η περιεκτικότητα σε μη συμπυκνώσιμα αέρια είναι γενικά περιορισμένη, εκτός από μερικές περιπτώσεις όπου υπάρχουν ορισμένες ποσότητες CO₂. Προβλήματα καθιζήσεων ή δημιουργίας μικροσεισμικότητας δεν έχουν ποτέ καταγραφεί σε πεδία χαμηλής ενθαλπίας

Το κύριο περιβαλλοντικό πρόβλημα από τα ρευστά χαμηλής ενθαλπίας εντοπίζεται στη διάθεση των νερών μετά την απόληψη της θερμότητάς τους. Η επιφανειακή διάθεση (τεχνητές ή φυσικές λίμνες, χείμαρροι, ποταμοί, θάλασσα) αποτελεί τη φθηνότερη λύση και τη μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε από τις αρχές της αξιοποίησης της γεωθερμίας. Τρία προβλήματα σχετίζονται με τη λύση αυτή, αυξημένη θερμοκρασία των νερών (θερμική ρύπανση), σχετικά υψηλή περιεκτικότητα των νερών σε

διάφορα συστατικά (μερικά από τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβή) και εξάντληση του πεδίου με το χρόνο. Η διάθεση σε λίμνες, ποτάμια και χείμαρρους, λόγω της ευαισθησίας αυτών των οικοσυστημάτων, θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και ύστερα από εμπειριστατωμένη μελέτη, και με την προϋπόθεση φυσικά ότι πληροούνται οι όροι διάθεσης των νερών στους συγκεκριμένους φυσικούς αποδέκτες. Οι τεχνητές λίμνες απαιτούν στεγανοποίηση (για να μην υπάρξει επιβάρυνση και ρύπανση του εδάφους και των υπόγειων νερών) και διάθεση των στερεοποιημένων αλάτων. Η μέθοδος αυτή γενικά δεν εφαρμόζεται, παρά μόνον κατά τη φάση των γεωτρήσεων και των δοκιμών

Η δεύτερη και καλύτερη μέθοδος διάθεσης των νερών είναι η επανεισαγωγή τους στον ταμιευτήρα. Πλεονεκτήματα της μεθόδου αποτελούν η αποφυγή οποιασδήποτε θερμικής και χημικής ρύπανσης των αποδεκτών και η επαναφόρτιση του ταμιευτήρα, που διατηρείται έτσι πάντα υπό πίεση. Κύρια μειονεκτήματα της μεθόδου είναι το κόστος κατασκευής της γεώτρησης επανεισαγωγής και το κόστος λειτουργίας (αντλία επανεισαγωγής), καθώς και η πιθανότητα απόφραξης των πετρωμάτων γύρω από τα φίλτρα της γεώτρησης με άλατα, οπότε πρέπει να γίνει επέμβαση με χημικά μέσα ή αντικατάσταση της γεώτρησης με άλλη.

1.7.4 Περιβαλλοντικά οφέλη

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η γεωθερμική ενέργεια σε οποιαδήποτε μορφή της, παρουσιάζει σημαντικά περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Συγκρινόμενη ακόμη και με τις άλλες ΑΠΕ, η γεωθερμία δεν υστερεί σε περιβαλλοντικά οφέλη. Αυτό βέβαια έρχεται σε προφανή αντίθεση με την εντύπωση που κυριαρχεί ότι ορισμένες ΑΠΕ (π.χ. φωτοβολταϊκά, αιολική ενέργεια) δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η εντύπωση αυτή μεταβάλλεται όταν κανείς συνυπολογίσει τις επιπτώσεις οποιασδήποτε μορφής ενέργειας σε ολόκληρο τον κύκλο ζωής της τεχνολογίας, αλλά και την επιβάρυνση στο περιβάλλον από την κατασκευή και λειτουργία των μονάδων. Για παράδειγμα, στα φωτοβολταϊκά συστήματα θα πρέπει να υπολογιστεί η επιβάρυνση τόσο από την κατασκευή των στοιχείων, όσο και από την απόσυρσή και την ασφαλή διάθεσή τους, όταν θα κλείσει ο κύκλος λειτουργίας τους.

Τα περιβαλλοντικά οφέλη της γεωθερμίας μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

- Ø Συνεχής παροχή ενέργειας. Η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη 24 ώρες την ημέρα, 365 ημέρες το χρόνο, σε αντίθεση με άλλες ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κύματα-παλίρροιες), οι οποίες δεν μπορούν να παρέχουν συνεχώς ενέργεια και η χρήση τους προϋποθέτει αξιόπιστες τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας. Έτσι, δεν είναι τυχαίο ότι οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος έχουν συντελεστή αξιοποίησης που μπορεί να φτάσει και το 90%. Για σύγκριση, ο συντελεστής αξιοποίησης μιας υδροηλεκτρικής μονάδας ανέρχεται μέχρι 70%, ενώ για ηλιακές και αιολικές μονάδες κυμαίνεται μεταξύ 20% και 35%. Ακόμη, η γεωθερμία διακρίνεται από υψηλό δείκτη διαθεσιμότητας, της τάξης του 90%. Ο δείκτης αυτός δηλώνει το ποσοστό του χρόνου στον οποίο η μονάδα λειτουργεί στην ονομαστική της ισχύ. Για τις άμεσες χρήσεις της γεωθερμίας χαμηλής ενθαλπίας, ο δείκτης λειτουργίας είναι αρκετά μικρότερος και, προφανώς, αντιστοιχεί με τη ζήτηση της γεωθερμικής ενέργειας. Τέλος, η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας στο θέμα της αβαθούς γεωθερμίας, καθιστά δυνατή τη χρήση της πρακτικά οπουδήποτε και όλες τις εποχές του έτους (σε συνδυασμό με την ψύξη).

- Ø Μικρό λειτουργικό κόστος. Αν και το κόστος παγίων είναι σημαντικά αυξημένο σε σχέση και με τις συμβατικές μορφές ενέργειας, το λειτουργικό κόστος των γεωθερμικών μονάδων είναι σχεδόν μηδαμινό, ή αρκετά μικρότερο από τις άλλες μορφές ενέργειας, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας.
- Ø Εκπομπές στο περιβάλλον. Οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικά μικρότερες από τις εκπομπές που προκύπτουν από την καύση των συμβατικών καυσίμων, ενώ τονίζεται ιδιαίτερα ότι δεν εκπέμπονται καθόλου σωματίδια.
- Ø Απαιτήσεις γης. Οι γεωθερμικές μονάδες καταλαμβάνουν σχετικά μικρή έκταση γης. Κύριος λόγος γι' αυτό είναι ότι δεν απαιτούν αποθηκευτικούς χώρους, όπως συμβαίνει με ορισμένες ΑΠΕ (βιομάζα, υδροηλεκτρικά) και με τα συμβατικά καύσιμα.
- Ø Μικρές ανάγκες για μεταφορά υλικών. Από τη στιγμή της αποπεράτωσης της κατασκευής της μονάδας δεν απαιτείται μεταφορά υλικών ή καυσίμων, σε αντίθεση με τις μονάδες με συμβατικά καύσιμα, στις οποίες υπάρχει πάντοτε ο κίνδυνος ατυχημάτων (ανάφλεξη καυσίμων, διαρροές, πετρελαιοκηλίδες κτλ.) και επιβάρυνση της ατμόσφαιρας από την κίνηση των μεταφορικών μέσων.
- Ø Αξιόπιστη και ασφαλής ενεργειακή πηγή. Η γεωθερμική ενέργεια παράγεται 24 ώρες την ημέρα, με γνωστή και καθιερωμένη τεχνολογία.
- Ø Συμβολή στην επίτευξη των στόχων της Λευκής Βίβλου της Ε.Ε. και του Πρωτοκόλλου του Κιότο, με τον περιορισμό των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων.
- Ø Τοπική μορφή ενέργειας. Η ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας σε μία περιοχή οδηγεί και στην οικονομική ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής, αφού παρέχει φθηνή ενέργεια και δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας.
- Ø Συμβολή στη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης μιας χώρας, με τον περιορισμό των εισαγωγών ορυκτών καυσίμων

1.8 Η ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

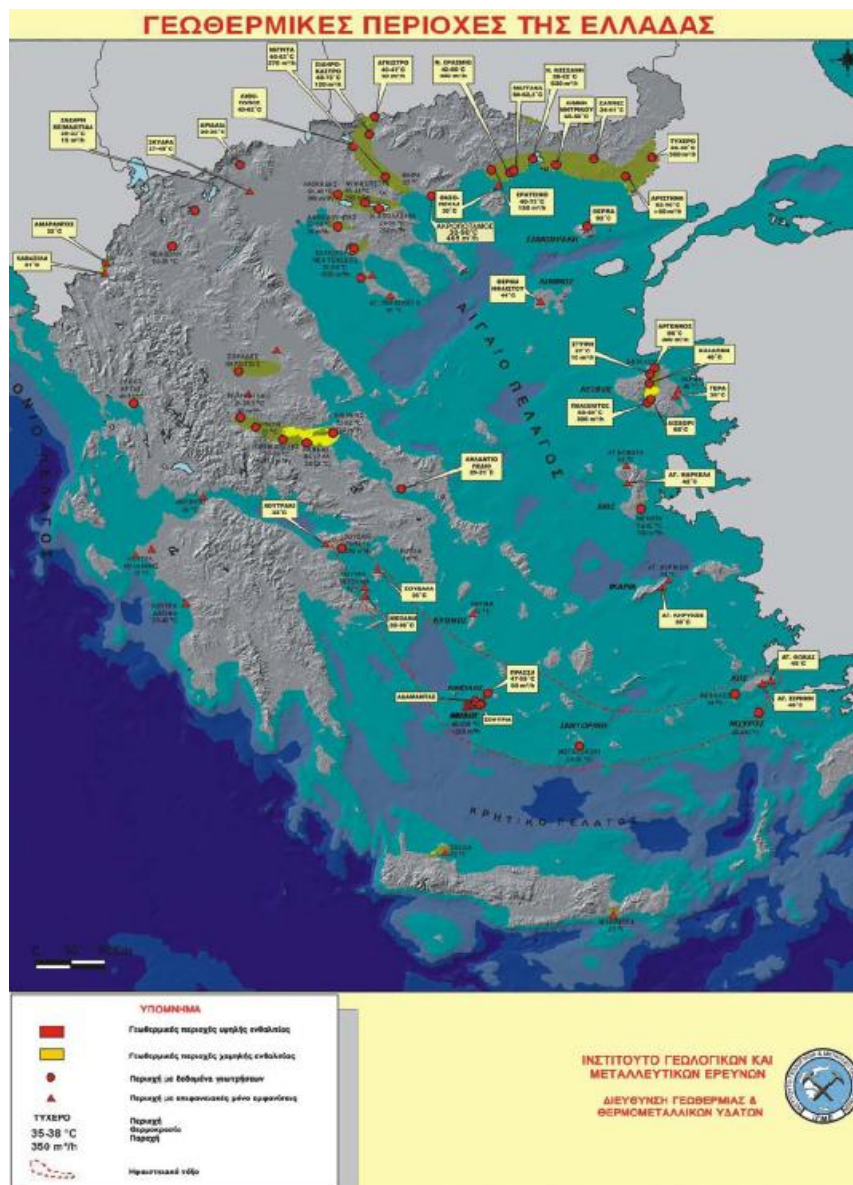
Οι γεωλογικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνόησαν γενικά τη δημιουργία ενός πολύ σημαντικού γεωθερμικού δυναμικού χαμηλής ενθαλπίας. Η έρευνα για τον εντοπισμό αξιοποιήσιμων γεωθερμικών ρευστών χαμηλής ενθαλπίας άρχισε από το ΙΓΜΕ (Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών) το 1980 και εντατικοποιείται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Από αυτήν την έρευνα προκύπτει ότι το γεωθερμικό δυναμικό χαμηλής ενθαλπίας στην Ελλάδα είναι σίγουρα πολύ σημαντικό. Τα περισσότερα από τα γεωθερμικά πεδία που ερευνήθηκαν βρίσκονται σε περιοχές με ευνοϊκές αναπτυξιακές συνθήκες (Σχήμα 1.14), ενώ οι προοπτικές άμεσης εκμετάλλευσης των ρευστών είναι πολύ ευοίωνες. Τα γεωθερμικά ρευστά φαίνεται ότι έχουν συνήθως μικρή έως μηδαμινή περιεκτικότητα σε διαβρωτικά άλατα και αέρια και δεν δημιουργούν σοβαρά τεχνικά προβλήματα εκμετάλλευσης ούτε βέβαια περιβαλλοντικά προβλήματα.

Σε κάποιες περιοχές η έρευνα προχώρησε αρκετά έτσι ώστε σήμερα να έχουν αναμιχτεί αξιόλογες εφαρμογές. Στο Σιδηρόκαστρο, η Συνεταιριστική Επιχείρηση του Δήμου Σιδηρόκαστρου προχώρησε στην κατασκευή ενός θερμοκηπίου 5 στρεμμάτων που χρησιμοποιεί νερά μιας γεώτρησης του ΙΓΜΕ. Στη Ν. Κεσσάνη βρίσκεται σε εξέλιξη ένα μεγάλο πρόγραμμα ανάμιξης του πεδίου που χρηματοδοτείται από το πρόγραμμα VALOREN της ΕΕ. Στο Λαγκαδά, στη Νυμφόπετρα και στη Νέα Απολλωνία λειτουργούν ήδη δεκάδες στρέμματα πλαστικών "γεωθερμικών" θερμοκηπίων, ενώ στο Λαγκαδά λειτούργησε για δύο χρόνια μικρή πειραματική μονάδα εκτροφής χελιών. Στα Ελαιοχώρια Χαλκιδικής λειτουργούν 6 μικρά πειραματικά θερμοκήπια. Τα

αποτελέσματα από αυτές τις εφαρμογές είναι αισιόδοξα και δίνουν ώθηση για παραπέρα έρευνα σε γεωθερμικά πεδία που έχουν εντοπιστεί αλλά δεν έχουν μελετηθεί διεξοδικά.

Το ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ελλάδος) συμβάλλει στην προσπάθεια αξιοποίησής τους. Η προσπάθεια εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων στη Μήλο και στη Νίσυρο δεν ευδοκίμησε, λόγω έκλυσης στο περιβάλλον δύσσοσμων αερίων, γεγονός που προκάλεσε την αντίδραση των κατοίκων.

Η γεωθερμική ενέργεια έχει και αγροτικές εφαρμογές. Ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας, π.χ. θερμοκρασίας 20 – 25 °C απαιτείται για τις ιχθυοκαλλιέργειες, 40 – 60 °C για θέρμανση εδάφους και περίπου 80 °C για θέρμανση θερμοκηπίων. Τέτοια πεδία χαμηλής ενθαλπίας αξιοποιούνται στην κεντρική Μακεδονία, Θράκη και Λέσβο. Με δεδομένο την ύπαρξη πλούσιου γεωθερμικού δυναμικού στη χώρα μας, θετική θα ήταν η ενημέρωση με σκοπό την ευρύτερη αποδοχή και την αξιοποίησή του.

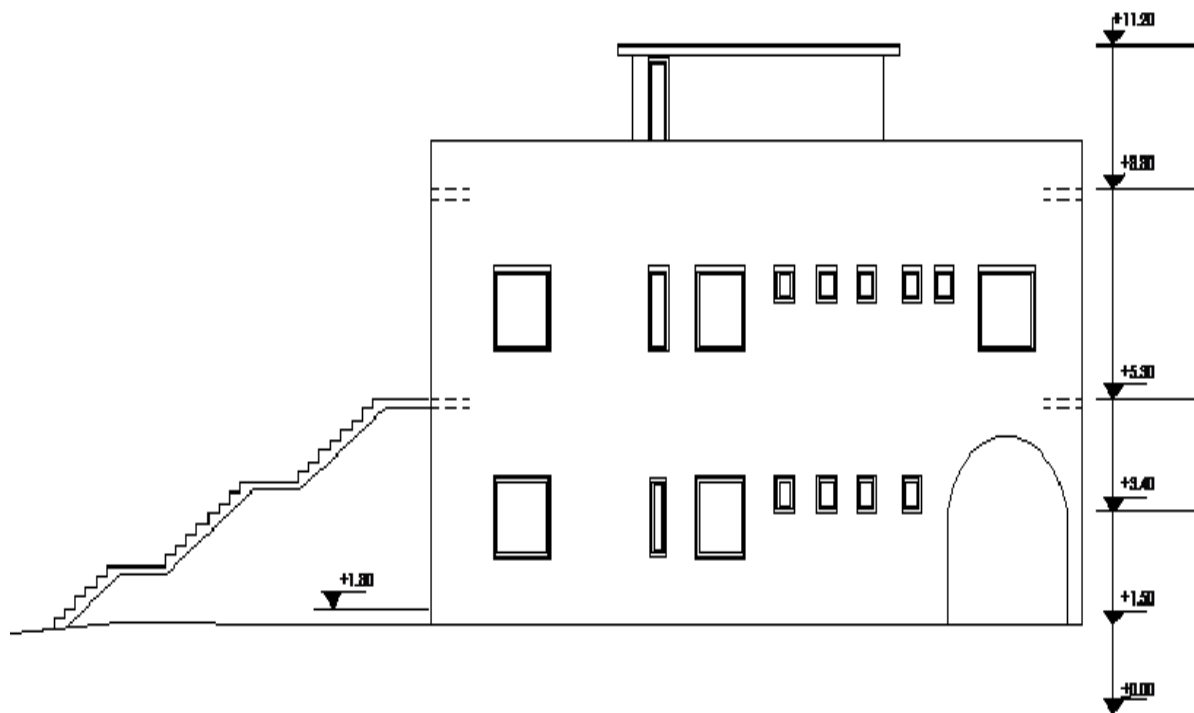


Σχήμα 1.14 :Χάρτης γεωθερμικών περιοχών της Ελλάδας

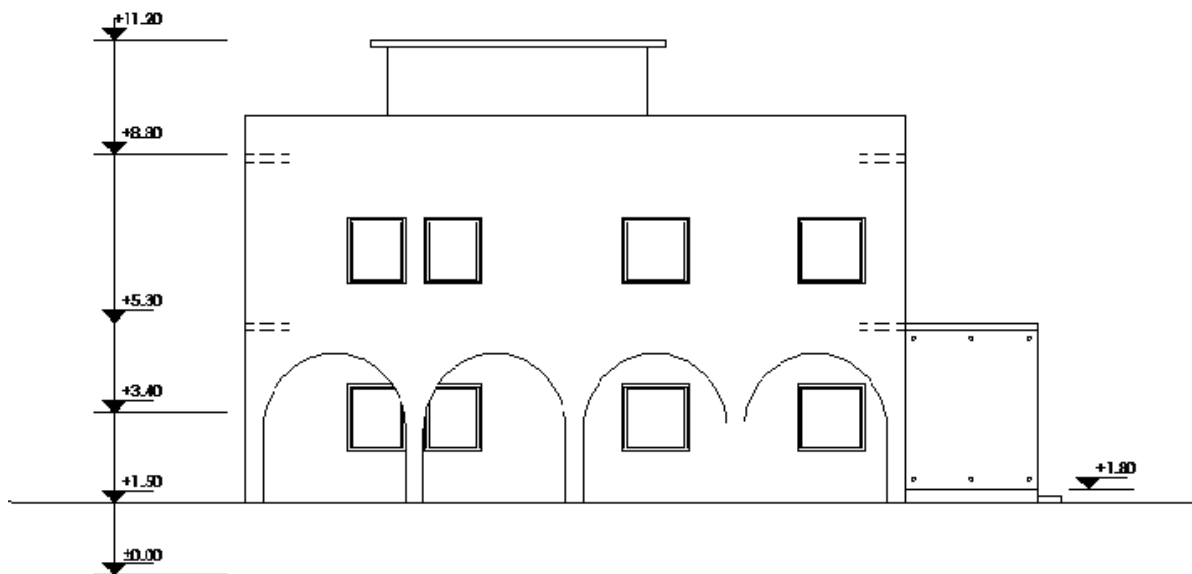
2.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΑΙ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

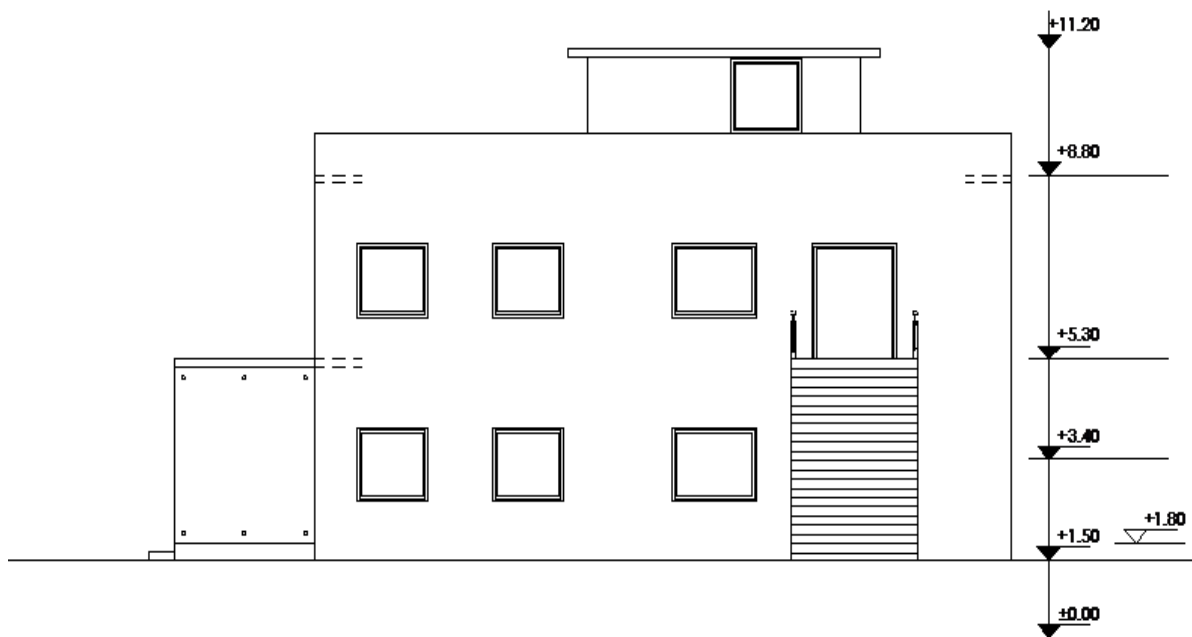
Όπως έχουμε προαναφερθεί στην πτυχιακή αυτή εργασία θα ασχοληθούμε με τη μελέτη θέρμανσης και ψύξης κτιρίου (Σχήματα 2.1,2.2,2.3,2.4,2.5,2.6,2.7, το κτήριο μας είναι ένα πρότυπο δημαρχείο) με γεωθερμία. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα υπολογίσουμε τις θερμικές απώλειες καθώς επίσης και τα ψυκτικά φορτία που έχει το κτήριο.



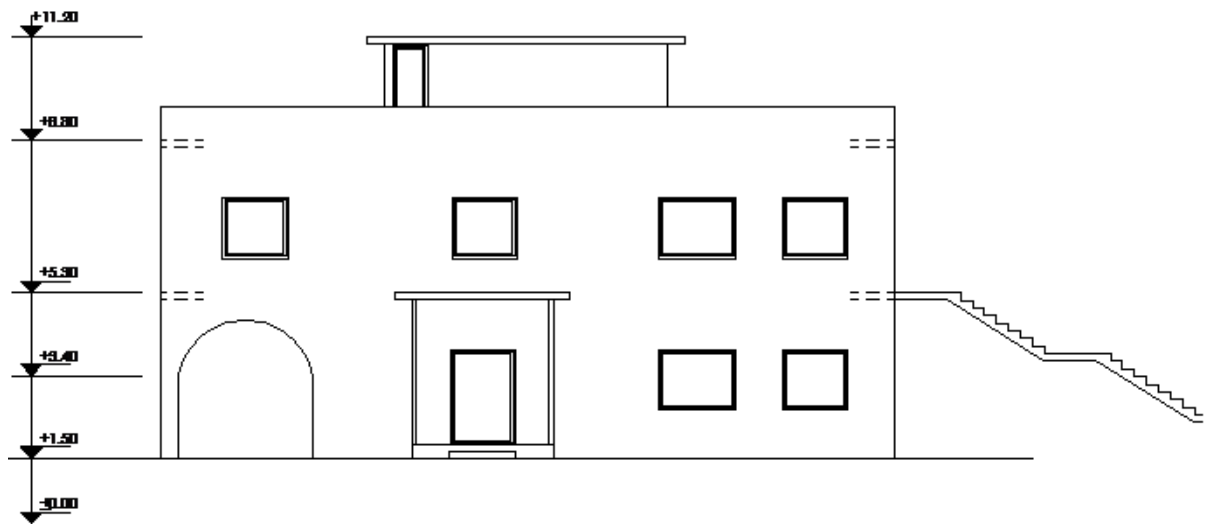
Σχήμα 2.1 : Νότια όψη κτηρίου



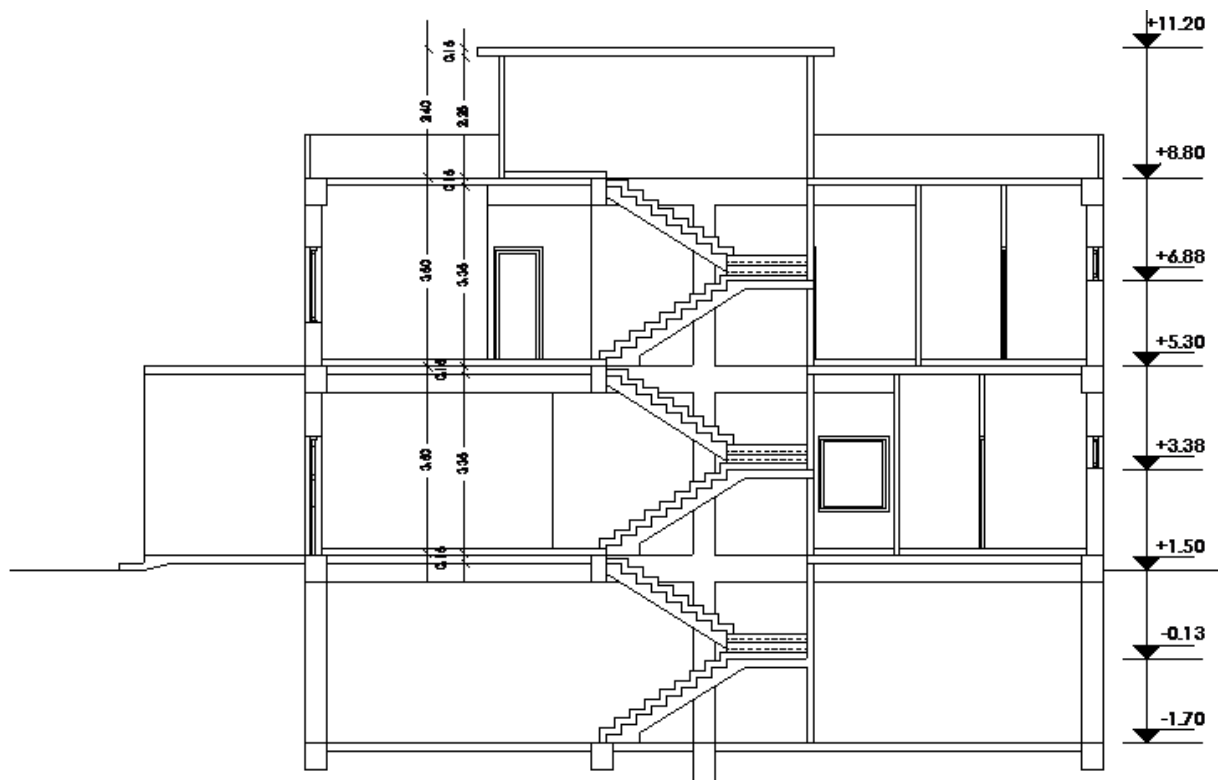
Σχήμα 2.2 : Ανατολική όψη κτηρίου



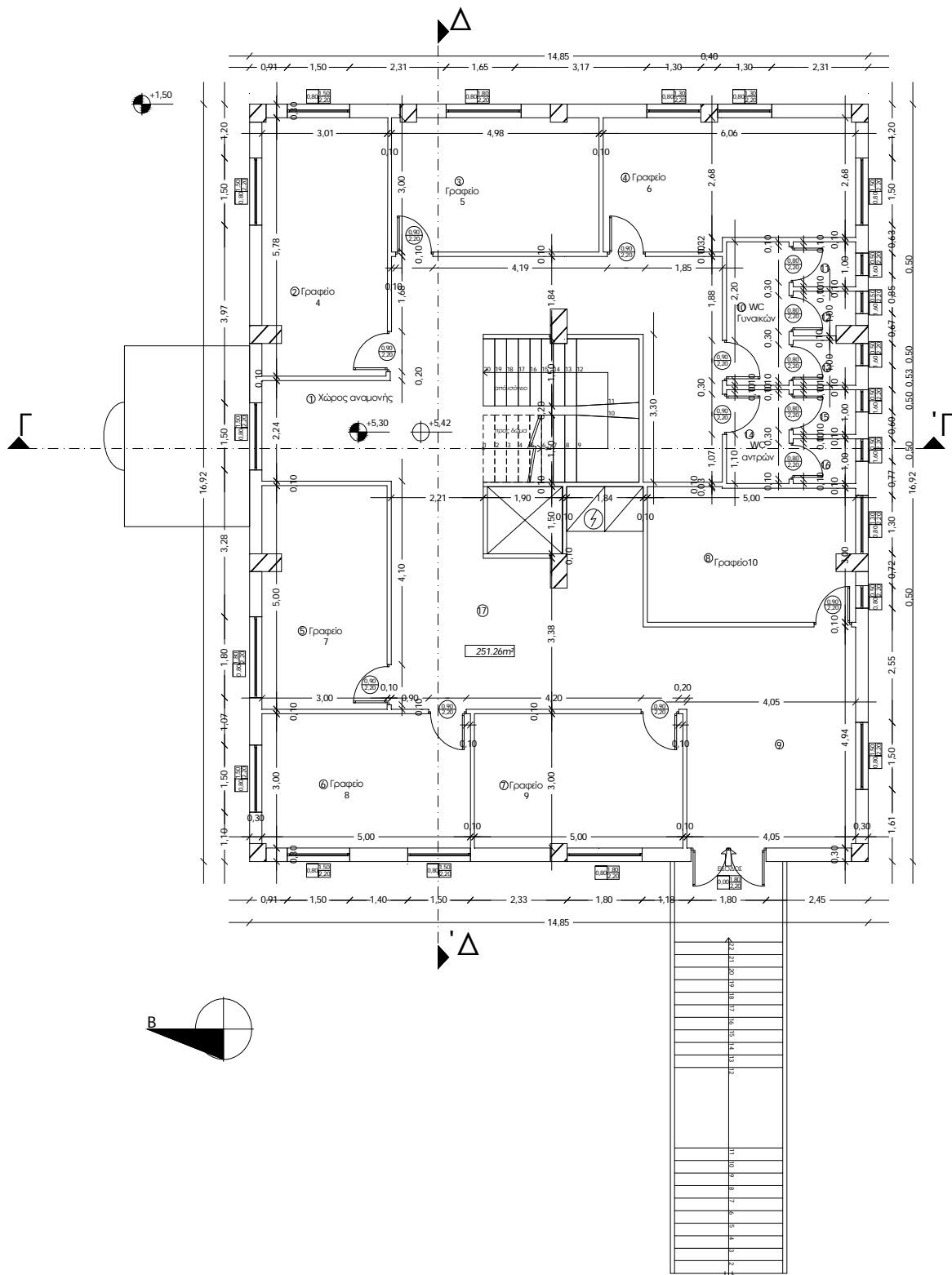
Σχήμα 2.3 : Δυτική όψη κτηρίου



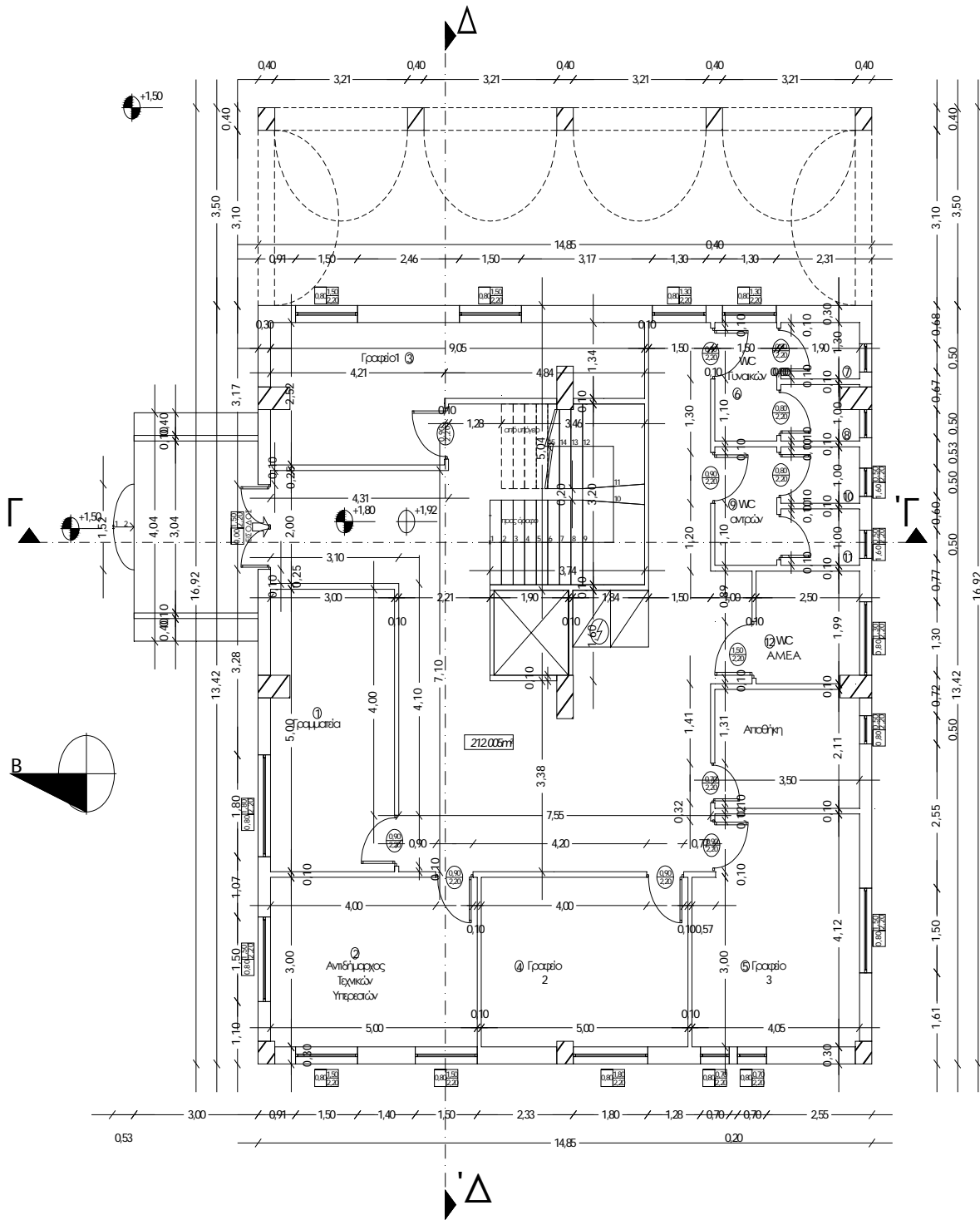
Σχήμα 2.4 : Βόρεια όψη κτηρίου



Σχήμα 2.5 : Τομή Γ - Γ



Σχήμα 2.6 : 1^{ος} Όροφος κτηρίου



Σχήμα 2.7 : Ισόγειο

2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Στην παρακάτω ενότητα υπολογίζονται η θερμικές απώλειες του κτηρίου μας, καθώς επίσης γίνεται και περιγραφή στο τρόπο υπολογισμού αυτόν. Για να γίνουν όμως οι υπολογισμοί μας χρειαζόμαστε κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά του κτηρίου τα οποία είναι :

- Ø Το κτήριο ευρίσκεται στη Πάτρα
- Ø Το κτήριο που θα μελετήσουμε είναι ένα δημαρχείο 2 ορόφων 450,3 m²
- Ø Μέση Ελάχιστη Εξωτερική Θερμοκρασία - 1°C
- Ø Επιθυμητή Εσωτερική Θερμοκρασία 20°C
- Ø Οι εξωτερικοί τοίχοι είναι από τούβλα και έχουν πάχος 29 cm ,και είναι σοβατισμένοι και από τις δύο πλευρές
- Ø Οι εξωτερικές πόρτες είναι μεταλλικές
- Ø Τα παράθυρα είναι διπλά μεταλλικά
- Ø Η πλάκα από σκυρόδεμα με εσωτερικό σοβά που έχει παχος15 cm
- Ø Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των τοίχων είναι 0,55
- Ø Ο συντελεστής θερμοπερατότητας των παραθύρων είναι 3,3
- Ø Ο συντελεστής θερμοπερατότητας για τις πόρτες είναι 6

2.2.1 Περιγραφή και τρόπος συμπλήρωσης των πινάκων

Ακολουθεί ο τρόπος συμπλήρωσης των 16 στηλών των πινάκων

Στήλη (1). Αναγράφεται το είδος το τοιχώματος ή του ανοίγματος.

Στήλη (2). Στη στήλη αυτή γράφεται ο προσανατολισμός του τοιχώματος ή του ανοίγματος.

Στήλη (3).Στη στήλη αυτή γράφεται το πάχος της επιφάνειας σε cm.

Στήλη (4).Στη στήλη αυτή γράφεται το μήκος της επιφάνειας σε m.

Στήλη (5).Στη στήλη αυτή γράφεται το ύψος η το πλάτος της επιφάνειας σε m.

Στήλη (6).Στη στήλη αυτή γράφεται το εμβαδό της επιφάνειας σε m², δηλαδή το γινόμενο του περιεχομένου των στηλών (4)x(5).

Στήλη (7).Στη στήλη αυτή γράφεται ο αριθμός των ίδιων επιφανειών όπου το εμβαδό τους αναφέρεται στη στήλη (6).

Στήλη (8).Στη στήλη αυτή γράφεται η επιφάνεια σε m² που πρέπει να αφαιρεθεί από την επιφάνεια της στήλης (6) (π.χ. η επιφάνεια των θηρών ή των παραθύρων που πρέπει να αφαιρεθεί για να βρεθεί η καθαρή επιφάνεια του τοιχώματος).

Στήλη (9). Στη στήλη αυτή γράφεται η καθαρή επιφάνεια υπολογισμού του τοιχώματος σε m². Η επιφάνεια αυτή βρίσκεται από την αφαίρεση των στηλών (6)-(7).

Στήλη (10). Στη στήλη αυτή γράφεται ο συντελεστής θερμοπερατότητας της επιφάνειας σε kcal/m²h°C.

Στήλη (11). Στη στήλη αυτή γράφεται η διάφορα μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής θερμοκρασίας του χώρου $\Delta t = t_{\epsilon\sigma} - t_{\epsilon\xi}$ ψε °C

Στήλη (12). Στη στήλη αυτή γράφονται οι απώλειες θερμότητας λόγω θερμικής αγωγιμότητας της επιφάνειας σε kcal/h , δηλαδή το γινόμενο του περιεχομένου των τριών προηγούμενων στηλών (9)x(10)x(11).

Στήλη (13). Στη στήλη αυτή γράφεται η προσαύξηση λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας Z_D σε ποσοστό επί τοις %.

Τρόπος Λειτουργίας	0.1-0.29	0.30-0.69	0.70-1.49
0 ώρες διακοπής	7	7	7
8-12ώρες διακ.	20	15	15
12-16 ώρες διακ.	30	25	20

Όπου το D υπολογίζεται από τη σχέση $D = \frac{\Sigma Q}{E_{\sigma}(t_{\epsilon\sigma} - t_{\epsilon\xi})}$

Στήλη (14). Στη στήλη αυτή γράφεται η προσαύξηση λόγω προσανατολισμού και λόγω ύψους Z_H του χώρου επί τοις %.

Στήλη (15). Στη στήλη αυτή γράφεται ο συντελεστής συνολικής προσαύξησης Z του χώρου.

Στήλη (16). Στη στήλη αυτή γράφεται η συνολική θερμική απώλεια λόγω αγωγιμότητας του χώρου , που προκύπτει μετά την προσαύξηση. Αυτή προκύπτει αν το άθροισμα των θερμικών απωλειών της στήλης (12) πολλαπλασιαστεί με το συντελεστή προσαύξησης της στήλης (15).

Σε κάθε πίνακα, μετά τον υπολογισμό των θερμικών απωλειών λόγω αγωγιμότητας του χώρου , υπολογίζονται οι θερμικές απώλειες λόγω αερισμού και προσθέτονται στην τελική στήλη του πίνακα (16). Έτσι προκύπτουν οι συνολικές θερμικές απώλειες του χώρου.

2.2.2 ΠΙΝΑΚΕΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

Ισόγειο

Γραμματεία

Είδος επιφανείας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Β	0,3	5	3,35	16,75		2,52	14,23	0,55	21	164				
Παράθυρο	Β		1,8	1,4	2,52			2,52	3,3	21	175				
											339	5	15	1,2	407
Q _A															156
Σύνολο															563

Αντιδήμαρχος τεχνικών υπηρεσιών

Είδος επιφανείας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Β	0,3	3	3,35	10,05		2,1	7,95	0,55	21	92				
Εξ. Τοίχος	Δ	0,3	5	3,35	16,75		2,1	14,65	0,55	21	169				
Παράθυρο	Β		1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Παράθυρο	Δ		1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Σύνολο											553	5	15	1,2	664
Q _A															288
Σύνολο															952

Γραφείο 1

Είδος επιφανείας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Β	0,3	2,52	3,35	8,442			8,442	0,55	21	97,5				
Εξ. Τοίχος	Α	0,3	9,05	3,35	30,32		4,2	26,12	0,55	21	302				
Παράθυρο	Α		1,5	1,4	2,1	2		4,2	3,3	21	291				
Σύνολο											690,5	5	15	1,2	827
Q _A															288
Σύνολο															1115

Γραφείο 2

Είδος επιφανείας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Δ	0,3	5	3,35	16,75		2,52	14,23	0,55	21	164				
Παράθυρο			1,8	1,4	2,52			2,52	3,3	21	175				
Σύνολο											339	0	15	1,15	390
Q _A															156
Σύνολο															546

Γραφείο 3

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zn	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Δ	0,3	4,05	3,35	13,5675		1,96	11,61	0,55	21	134				
Εξ. Τοίχος	Ν	0,3	4,12	3,35	13,802		2,1	11,70	0,55	21	135				
Παράθυρο	Δ		0,7	1,4	0,98	2		1,96	3,3	21	136				
Παράθυρο	Ν		1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Σύνολο											550	-5	15	1,1	605
Q _A															368
Σύνολο															974

Αποθήκη

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zn	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Ν	0,3	2,11	3,35	7,0685		0,7	6,3685	1,2	21	161				
Παράθυρο	Ν		0,5	1,4	0,7			0,7	3,3	21	49				
Σύνολο											210	-5	15	1,1	231
Q _A															104
Σύνολο															335

W.C. A.M.E.A.

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zn	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Ν	0,3	1,99	3,35	6,6665		1,82	4,85	0,55	21	56				
Παράθυρο	Ν		1,3	1,4	1,82			1,82	3,3	21	126				
Σύνολο											182	-5	15	1,1	200
Q _A															116
Σύνολο															316

W.C. Ανδρών

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zn	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ. Τοίχος	Ν	0,3	2,1	3,35	7,035		0,6	6,44	0,55	21	74				
Παράθυρο	Ν		0,5	0,6	0,3	2		0,6	3,3	21	42				
Σύνολο											116	-5	15	1,1	128
Q _A															112
Σύνολο															240

W.C. Γυναικών

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zh	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας	
Εξ. Τοίχος	N	0,3	2,1	3,35	7,035		0,6	6,44	0,55	21	74					
Εξ. Τοίχος	A	0,3	3,4	3,35	11,39		1,82	9,57	0,55	21	111					
Παράθυρο	N		0,5	0,6	0,3	2		0,6	3,3	21	42					
Παράθυρο	A		1,3	1,4	1,82			1,82	3,3	21	126					
Σύνολο											353	-5	15	1,1	388	
Q _A																248
Σύνολο																636

Χολ W.C.

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zh	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας	
Εξ. Τοίχος	A	0,3	1,5	3,35	5,025		1,82	3,21	0,55	21	37					
Παράθυρο	A		1,3	1,4	1,82			1,82	3,3	21	126					
Σύνολο											163	0	15	1,15	187	
Q _A																128
Σύνολο																315

Είσοδος

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας	Προσανατολισμός Zh	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας	
Εξ. Τοίχος	B	0,3	2	3,35	6,7		3,3	3,4	0,55	21	39					
Πόρτα	B		1,5	2,2	3,3			3,3	6	21	416					
Σύνολο											455	5	15	1,2	546	
Q _A																148
Σύνολο																694

1^{ος} Όροφος

Χώρος αναμονής

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επι-	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαύξη-	Προσανατολισμός Zh	Διακοπών κ.τ.λ. Zo	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας	
Εξ. Τοίχος	B	0,3	2,24	3,35	7,504		2,1	5,4	0,55	21	62					
Παράθυρο	B	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146					
Οροφή	B	0,15	2,24	3,01	6,74			6,74	0,38	21	54					
Σύνολο											262	5	15	1,2	315	
Q _A																201
Σύνολο																516

Γραφείο 4

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαύξεις	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξησης	Απώλειες θερμότητας χώρου
Εξ. Τοίχος	B	0,3	5,78	3,35	19,363		2,1	17,26	0,55	21	199				
Εξ. Τοίχος	A	0,3	3,01	3,35	10,0835		2,1	7,98	0,55	21	92				
Παράθυρο	B	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Παράθυρο	A	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Οροφή	BA	0,15	5,78	3,01	17,398			17,4	0,38	21	139				
Σύνολο											722	5	15	1,2	866
Q _A															247
Σύνολο															1113

Γραφείο 5

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαύξεις	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξησης	Απώλειες θερμότητας χώρου
Εξ. Τοίχος	A	0,3	4,98	3,35	16,683		2,52	14,16	0,55	21	164				
Παράθυρο	A	0,3	1,8	1,4	2,52			2,52	3,3	21	175				
Οροφή	A	0,15	4,98	3	14,94			14,94	0,38	21	119				
Σύνολο												0	15	1,15	527
Q _A															156
Σύνολο															683

Γραφείο 6

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαύξεις	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξησης	Απώλειες θερμότητας χώρου
Εξ. Τοίχος	A	0,3	6,06	3,35	20,303		3,64	16,66	0,55	21	192				
Εξ. Τοίχος	N	0,3	2,68	3,35	8,978		2,1	6,88	0,55	21	80				
Παράθυρο	A	0,3	1,3	1,4	1,82	2		3,64	3,3	21	505				
Παράθυρο	N	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Οροφή	NA	0,15	6,06	2,68	16,241			16,24	0,38	21	130				
Σύνολο											1053	-5	15	1,1	1158
Q _A															416
Σύνολο															1574

WC Γυναικών

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμοιων επιφανειών	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρασίας	Απώλειες θερμότητας χωρίς προσαύξεις	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξησης	Απώλειες θερμότητας χώρου
Εξ. Τοίχος	N	0,3	3,2	3,35	10,72		0,9	9,82	0,55	21	113				
Παράθυρο	N	0,3	0,5	0,6	0,3	3		0,9	3,3	21	62				
Οροφή	N	0,15	3,2	3,2	10,24			10,24	0,38	21	82				
Σύνολο											257	-5	15	1,1	283
Q _A															132
Σύνολο															415

WC Ανδρών

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμιλων επιφάνειας	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-ναίσις προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	N	0,3	2,1	3,35	7,035		0,6	6,44	21	0,55	75				
Παράθυρο	N	0,3	0,5	0,6	0,3	2		0,6	21	3,3	42				
Οροφή	N	0,15	2,1	3,2	6,72			6,72	21	0,38	54				
Σύνολο											171	-5	15	1,1	188
Q _A															88
Σύνολο															276

Γραφείο 10

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμιλων επιφάνειας	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-ναίσις προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	N	0,3	3	3,35	10,05		2,52	7,53	0,55	21	87				
Παράθυρο	N	0,3	0,5	1,4	0,7			0,7	3,3	21	49				
Παράθυρο	N	0,3	1,3	1,4	1,82			1,82	3,3	21	126				
Οροφή	N	0,15	3	5	15			15	0,38	21	120				
Σύνολο											415	-5	15	1,1	457
Q _A															212
Σύνολο															669

Γραφείο 9

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμιλων επιφάνειας	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-ναίσις προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	Δ	0,3	5	3,35	16,75		2,52	14,23	0,55	21	164				
Παράθυρο	Δ	0,3	1,8	1,4	2,52			3,96	3,3	21	274				
Οροφή	Δ	0,15	5	3	15			15	0,38	21	120				
Σύνολο											558	0	15	1,15	642
Q _A															164
Σύνολο															806

Γραφείο 8

Είδος επιφάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός όμιλων επιφάνειας	Αφαιρούμενη επιφάνεια	Τελική επιφάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-ναίσις προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	Δ	0,3	5	3,35	16,75		4,2	12,55	0,55	21	150				
Εξ.Τοίχος	B	0,3	3	3,35	10,05		2,1	7,95	0,55	21	92				
Παράθυρο	Δ	0,3	1,5	1,4	2,1	2		4,2	3,3	21	291				
Παράθυρο	N	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	44				
Οροφή	BΔ	0,15	5	3	15			15	0,38	21	120				
Σύνολο											697	5	15	1,2	836
Q _A															432
Σύνολο															1268

Γραφείο 7

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ό-μων επι-	Αφαιρούμε-νη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	B	0,3	5	3,35	16,75		2,52	14,23	0,55	21	164				
Παράθυρο	B	0,3	1,8	1,4	2,52			2,52	3,3	21	175				
Οροφή	B	0,15	5	3	15			15	0,38	21	120				
Σύνολο											459	5	15	1,2	551
Q _A															156
Σύνολο															707

Κεντρικός Διάδρομος

Είδος επι-φάνειας	Προσανατολισμός	Πάχος τοίχου	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Επιφάνεια	Αριθμός ό-μων επι-	Αφαιρούμε-νη επιφάνεια	Τελική επι-φάνεια	Συντελεστής κ	Διαφορά θερμοκρα-	Απώλειες θερμότητας χωρίς προ-	Προσανατολισμός Ζη	Διακοπών κ.τ.λ. Ζο	Συντελεστής προσαύξη-	Απώλειες θερμότητας
Εξ.Τοίχος	N	0,3	4,94	3,35	16,549		2,1	14,45	0,55	21	167				
Παράθυρο	N	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Εξ.Τοίχος	Δ	0,3	4,05	3,35	13,5675		3,96	9,61	0,55	21	111				
Πόρτα	Δ	0,3	1,8	2,2	3,96			3,96	6	21	499				
Εξ.Τοίχος	B	0,3	2,3	3	6,9		2,1	4,8	0,55	21	55				
Παράθυρο	B	0,3	1,5	1,4	2,1			2,1	3,3	21	146				
Οροφή	ΝΔ	0,15						94,19	0,38	21	752				
Σύνολο											1876	-5	15	1,1	2064
Q _A															348
Σύνολο															2412

2.2.3 Συνολικές απώλειες χώρων

Ισόγειο

Γραμματεία	563 Kcal/h	0,655 kW
Αντιδήμαρχος τεχνικών υπηρεσιών	952 Kcal/h	1,107 kW
Γραφείο 1	1115 Kcal/h	1,297 kW
Γραφείο 2	546 Kcal/h	0,635 kW
Γραφείο 3	974 Kcal/h	1,133 kW
Αποθήκη	335 Kcal/h	0,39 kW
W.C. A.M.E.A.	316 Kcal/h	0,368 kW
W.C. Ανδρών	240 Kcal/h	0,28 kW
W.C. Γυναικών	636 Kcal/h	0,74 kW
Χολ W.C.	315 Kcal/h	0,366 kW
Είσοδος	69 Kcal/h	0,08 kW
Συνολικές Απώλειες	6686 Kcal/h	7,051 kW

1ος Όροφος

Χώρος αναμονής	516 Kcal/h	0,6 kW
Γραφείο 4	1113 Kcal/h	1,294 kW
Γραφείο 5	683 Kcal/h	0,794 kW
Γραφείο 6	1157 Kcal/h	1,346 kW
WC Γυναικών	415 Kcal/h	0,483 kW
WC Ανδρών	276 Kcal/h	0,321 kW
Γραφείο 10	669 Kcal/h	0,778 kW
Γραφείο 9	806 Kcal/h	0,937 kW
Γραφείο 8	1268 Kcal/h	1,475 kW
Γραφείο 7	707 Kcal/h	0,822 kW
Κεντρικός Διάδρομος	2583 Kcal/h	3,008 kW
Συνολικές Απώλειες	10193 Kcal/h	11,858 kW

Από τους υπολογισμούς μας βρίσκουμε ότι το σύνολο των θερμικών απωλειών του κτιρίου είναι **16879 Kcal** ή **18,909 kW**.

2.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

Όλοι οι βασικοί υπολογισμοί της εγκατάστασης για τα ψυκτικά φορτία έχουν γίνει με ηλεκτρονικό υπολογιστή και ποιο συγκεκριμένα με τη βοήθεια του γνωστού προγράμματος adapt/fcalc της 4M. Δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει παρουσίαση υπολογισμών με το χέρι λόγω της πληθώρας υπολογισμών τους αλλά και γιατί κυρίως σήμερα οι βασικοί υπολογισμοί για τα ψυκτικά φορτία γίνονται με τη χρήση υπολογιστή.

2.3.1 Πίνακες υπολογισμών

ΙΣΟΓΕΙΟ

Ονομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 1

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.16	0.13	0.09	0.08	0.07	0.33	0.48	0.69	0.69	0.63	0.55	0.51	0.53	0.53	0.55	0.50	0.52	0.50	0.37	0.33	0.32	0.21	0.19	0.16
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.16	0.13	0.09	0.08	0.07	0.33	0.48	0.77	0.77	0.71	0.63	0.58	0.61	0.61	0.63	0.57	0.59	0.58	0.37	0.33	0.32	0.21	0.19	0.16

Ονομασία Χώρου : ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.18	0.17	0.16	0.16	0.16	0.28	0.35	0.37	0.37	0.34	0.30	0.27	0.28	0.27	0.28	0.27	0.26	0.25	0.23	0.21	0.20	0.19	0.19	0.18
Λανθάνον	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Σύνολο	0.28	0.27	0.26	0.26	0.26	0.38	0.45	0.47	0.47	0.44	0.40	0.37	0.38	0.37	0.38	0.37	0.35	0.35	0.32	0.31	0.30	0.29	0.29	0.28

Ονομασία Χώρου : WC ΓΥΝΑΙΚΩΝ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.25	0.23	0.21	0.21	0.20	0.32	0.38	0.41	0.42	0.40	0.38	0.36	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36	0.35	0.33	0.31	0.30	0.28	0.27	0.25
Λανθάνον	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Σύνολο	0.33	0.31	0.30	0.29	0.28	0.40	0.46	0.50	0.50	0.48	0.46	0.44	0.46	0.46	0.46	0.46	0.44	0.44	0.41	0.39	0.38	0.36	0.35	0.33

Ονομασία Χώρου : WC ΑΝΔΡΩΝ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.20	0.19	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20
Λανθάνον	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Σύνολο	0.28	0.27	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.31	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28

Όνομασία Χώρου : WC Α.Μ.Ε.Α.

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.15	0.18	0.22	0.23	0.24	0.24	0.22	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.15	0.14	0.14	0.13
Λανθάνον	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Σύνολο	0.17	0.16	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16	0.17	0.20	0.22	0.26	0.27	0.29	0.28	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.20	0.19	0.19	0.18	0.17

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 3

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.24	0.27	0.31	0.37	0.40	0.47	0.53	0.59	0.59	0.60	0.55	0.34	0.31	0.29	0.20	0.18	0.15
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.14	0.12	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.32	0.35	0.39	0.45	0.48	0.55	0.61	0.67	0.65	0.68	0.63	0.34	0.31	0.29	0.20	0.18	0.15

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 2

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.11	0.09	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.22	0.23	0.24	0.26	0.27	0.34	0.43	0.52	0.53	0.56	0.50	0.27	0.24	0.23	0.15	0.14	0.12
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.11	0.09	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.29	0.31	0.32	0.34	0.35	0.42	0.51	0.59	0.59	0.64	0.58	0.27	0.24	0.23	0.15	0.14	0.12

Όνομασία Χώρου : ΑΝΤΙΔΗΜΑΡΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.13	0.09	0.05	0.05	0.03	0.07	0.08	0.25	0.29	0.32	0.38	0.41	0.55	0.69	0.84	0.87	0.89	0.79	0.39	0.33	0.29	0.19	0.17	0.14
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.13	0.09	0.05	0.05	0.03	0.07	0.08	0.33	0.37	0.40	0.46	0.49	0.63	0.77	0.92	0.94	0.97	0.86	0.39	0.33	0.29	0.19	0.17	0.14

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.19	0.20	0.21	0.24	0.25	0.27	0.27	0.28	0.25	0.28	0.29	0.17	0.15	0.14	0.06	0.05	0.04
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.04	0.03	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.26	0.28	0.29	0.31	0.33	0.35	0.35	0.36	0.31	0.36	0.37	0.17	0.15	0.14	0.06	0.05	0.04

Όνομασία Χώρου : ΕΙΣΟΔΟΣ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.33	0.30	0.27	0.26	0.25	0.33	0.36	0.40	0.44	0.49	0.55	0.59	0.64	0.65	0.67	0.66	0.65	0.67	0.58	0.50	0.45	0.40	0.38	0.35
Λανθάνον	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Σύνολο	0.53	0.50	0.47	0.46	0.45	0.53	0.56	0.60	0.64	0.69	0.75	0.79	0.84	0.85	0.87	0.86	0.85	0.87	0.78	0.70	0.64	0.60	0.58	0.55

1^{ΟΣ} ΟΡΟΦΟΣ

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 4

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.09	0.05	0.01	0.00	0.01	0.15	0.22	0.42	0.46	0.47	0.48	0.50	0.56	0.58	0.62	0.58	0.59	0.58	0.41	0.34	0.29	0.17	0.14	0.10
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.09	0.05	0.01	0.00	0.01	0.15	0.22	0.49	0.53	0.55	0.55	0.57	0.64	0.66	0.69	0.64	0.67	0.66	0.41	0.34	0.29	0.17	0.14	0.10

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 5

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.07	0.05	0.02	0.01	0.00	0.16	0.25	0.45	0.47	0.46	0.45	0.45	0.49	0.51	0.54	0.50	0.51	0.48	0.35	0.29	0.26	0.14	0.11	0.08
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.07	0.05	0.02	0.01	0.00	0.16	0.25	0.52	0.55	0.54	0.52	0.53	0.57	0.59	0.61	0.56	0.59	0.56	0.35	0.29	0.26	0.14	0.11	0.08

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 6

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01	0.24	0.37	0.60	0.66	0.67	0.66	0.67	0.73	0.75	0.76	0.71	0.69	0.65	0.49	0.40	0.35	0.21	0.17	0.13
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.12	0.07	0.03	0.01	0.01	0.24	0.37	0.68	0.73	0.74	0.74	0.75	0.81	0.83	0.84	0.77	0.77	0.73	0.49	0.40	0.35	0.21	0.17	0.13

Όνομασία Χώρου : WC ΓΥΝΑΙΚΩΝ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.27	0.25	0.24	0.23	0.22	0.22	0.22	0.24	0.26	0.30	0.33	0.37	0.39	0.41	0.42	0.42	0.42	0.41	0.39	0.35	0.33	0.31	0.29	0.27
Λανθάνον	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
Σύνολο	0.39	0.38	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35	0.36	0.39	0.42	0.46	0.49	0.52	0.54	0.55	0.55	0.54	0.53	0.51	0.48	0.45	0.44	0.42	0.40

Όνομασία Χώρου : WC ΑΝΔΡΩΝ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.20	0.19	0.18	0.17	0.17	0.17	0.16	0.17	0.19	0.21	0.24	0.26	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.29	0.27	0.25	0.24	0.22	0.21	0.20
Λανθάνον	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Σύνολο	0.28	0.27	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26	0.27	0.30	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.38	0.38	0.37	0.36	0.34	0.32	0.31	0.29	0.28

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 10

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.16	0.22	0.29	0.36	0.42	0.46	0.48	0.47	0.43	0.44	0.41	0.30	0.24	0.20	0.09	0.07	0.04
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.24	0.30	0.37	0.44	0.50	0.54	0.55	0.55	0.50	0.52	0.49	0.30	0.24	0.20	0.09	0.07	0.04

Όνομασία Χώρου : ΕΙΣΟΔΟΣ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.39	0.33	0.27	0.25	0.23	0.24	0.26	0.32	0.40	0.51	0.64	0.73	0.91	1.07	1.23	1.29	1.25	1.12	0.79	0.67	0.59	0.52	0.48	0.41
Λανθάνον	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
Σύνολο	0.59	0.53	0.47	0.45	0.43	0.44	0.46	0.52	0.60	0.71	0.84	0.93	1.11	1.27	1.42	1.49	1.45	1.32	0.99	0.87	0.79	0.72	0.68	0.61

Όνομασία Χώρου: ΓΡΑΦΕΙΟ 9

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.11	0.08	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.20	0.23	0.27	0.32	0.37	0.47	0.58	0.68	0.70	0.72	0.65	0.39	0.33	0.29	0.19	0.16	0.12
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.11	0.08	0.05	0.04	0.02	0.02	0.03	0.28	0.31	0.35	0.40	0.45	0.55	0.66	0.76	0.76	0.80	0.73	0.39	0.33	0.29	0.19	0.16	0.12

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 8

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.13	0.08	0.03	0.02	0.00	0.04	0.05	0.24	0.29	0.36	0.45	0.51	0.68	0.84	1.00	1.04	1.05	0.94	0.51	0.42	0.35	0.23	0.19	0.14
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.13	0.08	0.03	0.02	0.00	0.04	0.05	0.31	0.37	0.44	0.52	0.59	0.75	0.92	1.08	1.11	1.13	1.01	0.51	0.42	0.35	0.23	0.19	0.14

Όνομασία Χώρου : ΓΡΑΦΕΙΟ 7

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.04	0.02	-	-	-	0.01	0.01	0.17	0.21	0.25	0.30	0.35	0.40	0.42	0.45	0.42	0.44	0.44	0.30	0.24	0.20	0.10	0.07	0.05
Λανθάνον	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.06	0.08	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Σύνολο	0.04	0.02	-	-	-	0.01	0.01	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43	0.48	0.50	0.53	0.48	0.52	0.52	0.30	0.24	0.20	0.10	0.07	0.05

Όνομασία Χώρου : ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ

Συνολικά Φορτία Χώρων Ανά Ώρα

Είδος Φορτίου	1 πμ	2 πμ	3 πμ	4 πμ	5 πμ	6 πμ	7 πμ	8 πμ	9 πμ	10 πμ	11 πμ	12 πμ	1 μμ	2 μμ	3 μμ	4 μμ	5 μμ	6 μμ	7 μμ	8 μμ	9 μμ	10 μμ	11 μμ	12 μμ
Αισθητό	0.78	0.67	0.55	0.50	0.45	0.48	0.48	0.56	0.66	0.80	0.98	1.12	1.38	1.68	2.00	2.26	2.37	2.33	1.85	1.52	1.29	1.12	1.01	0.86
Λανθάνον	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Σύνολο	0.87	0.75	0.63	0.58	0.53	0.56	0.56	0.64	0.75	0.88	1.06	1.20	1.46	1.76	2.09	2.34	2.45	2.41	1.93	1.61	1.37	1.21	1.09	0.94

2.3.2 Συνολικά ψυκτικά φορτία χώρων

ΙΣΟΓΕΙΟ

ΓΡΑΦΕΙΟ 1	0,77 kW
ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	0,47 kW
WC ΓΥΝΑΙΚΩΝ	0,47 kW
WC ΑΝΔΡΩΝ	0,31 kW
WC Α.Μ.Ε.Α	0,29 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 3	0,68 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 2	0,59 kW
ΑΝΤΙΔΗΜΑΡΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	0,97 kW
ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ	0,37 kW
ΕΙΣΟΔΟΣ	0,87 kW
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	5,79 kW

1^{ος} ΟΡΟΦΟΣ

ΓΡΑΦΕΙΟ 4	0,69 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 5	0,61 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 6	0,84 kW
WC ΓΥΝΑΙΚΩΝ	0,55 kW
WC ΑΝΔΡΩΝ	0,38 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 10	0,52 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 9	0,80 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 8	1,13 kW
ΓΡΑΦΕΙΟ 7	0,53 kW
ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΔΡΟΜΟΣ	2,45 kW
ΣΥΝΟΛΙΚΑ ΨΥΚΤΙΚΑ ΦΟΡΤΙΑ ΕΠΙΠΕΔΟΥ	8,5 kW

Από τους υπολογισμούς μας βρίσκουμε ότι το σύνολο των ψυκτικών φορτίων είναι **14,29 kW**.

Παρατήρηση : Οι τιμές του κάθε χώρου που επιλεχτήκαν για τα συνολικά ψυκτικά φορτία είναι η μέγιστες .Δηλαδή είναι η μέρα και η ώρα που έχουμε τα περισσότερα θερμικά κέρδη.

3. ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με τη μελέτη του ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης και δροσισμού που θα χρησιμοποιήσουμε για τη θέρμανση και ψύξη του κτηρίου μας. Επιλέξαμε να τοποθετήσουμε το συγκεκριμένο σύστημα γιατί σε αυτό έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες νερού (45-55 °C) το οποίο είναι ιδανικό για τη περίπτωση μας εφόσον με τη γεωθερμική ενέργεια μπορούμε να έχουμε θερμοκρασίες έως και 60 °C.

3.2 ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗ

Είναι μια εξαιρετικά παλαιά η σκέψη να θερμανθεί ένας χώρος από το δάπεδο. Σε πολλές κατασκευές αρχαίων πολιτισμών, ζεστός αέρας ή νερό διοχετεύονταν με ειδικά κανάλια (σπανιότερα με σωληναγωγούς) κάτω από το δάπεδο λουτρών ή άλλων χώρων διαμονής, με στόχο τη θέρμανση. Στις περιπτώσεις αυτές, το δάπεδο του χώρου μετατρέπεται σ' ένα μεγάλο θερμαντικό σώμα (βλέπε και σχήμα 3.1).

Στα συστήματα αυτά, το ζεστό νερό θερμοκρασίας 45 – 55 °C, διέρχεται μέσω οφιοειδών σωληνώσεων, που επιτυγχάνουν καλή θερμική επαφή με τα δομικά υλικά του δαπέδου το οποίο θερμαίνεται και μετατρέπεται σε θερμαντικό σώμα.

Η θέρμανση δαπέδου βασίζεται στη διαπίστωση ότι οι άνθρωποι βρίσκονται σε συνεχή επαφή με τα δάπεδα και οι θερμαινόμενες ποσότητες αέρα κοντά σ' αυτά, ανερχόμενες, δημιουργούν αίσθημα θερμικής ανέσεως. Γι' αυτό οι θερμάνσεις δαπέδου θεωρούνται ιδιαίτερα πλεονεκτικές για χώρους οι οποίοι δεν μπορούν να θερμανθούν ικανοποιητικά με κοινά θερμαντικά σώματα ή θέρμανση οροφής, όπως π.χ. αίθουσες σημαντικού ύψους (εκκλησίες, κινηματοθέατρα, βιοτεχνικοί χώροι και άλλα).

Κατασκευαστικά, τα συστήματα θερμάνσεως δαπέδου βασίζονται στην ενσωμάτωση οφιοειδών σωλήνων ("σερπαντίνες") στο σκυρόδεμα, στο υπόστρωμα, σε κανάλια διάκενα του δαπέδου.

Η μεγάλη διάδοση της θερμάνσεως δαπέδου τα τελευταία χρόνια συνδέθηκε με:

- Ø Τη δυνατότητα κατασκευής φθηνών εύκαμπτων σωλήνων όπως και σωλήνων από ειδικό πλαστικό που είναι φθηνότερες, με εύκολη τοποθέτηση και μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Ø Την καθιέρωση και τη σημαντική συνεχή βελτίωση της θερμομονώσεως. Χωρίς θερμομόνωση ήταν και είναι δύσκολη μια θέρμανση δαπέδου εξαιτίας του περιορισμού της επιφανειακής θερμοκρασίας και επομένως της ισχύος της να καλύψει μόνη της τις θερμικές ανάγκες ενός κτιρίου.
- Ø Την καθιέρωση της θερμάνσεως δαπέδου, σαν κλασικό σύστημα της θερμάνσεως, μια και η μεταξύ 26-32 °C μέγιστη θερμοκρασία της επιφάνειας του δαπέδου αντιστοιχεί σε μια μέγιστη θερμοκρασία εισόδου νερού 45-55 °C. Οι θερμοκρασίες αυτές έδωσαν τη δυνατότητα για αξιοποίηση και συνεργασία των λεβήτων χαμηλών θερμοκρασιών, της αντλίας θερμότητας και των ηλιακών συλλεκτών.



Σχήμα 3.1 : Συνήθεις διάταξη ομοιόμορφης σωληνώσεως με κύριο στόχο την ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας και την ελάχιστη κάμψη των σωληνώσεων

3.2.1 Βασικές αρχές λειτουργίας

Υπενθυμίζεται ότι για μια ικανοποιητική θέρμανση, η οποία προσφέρει θερμική άνεση, πρέπει η θερμοκρασία του αέρα του χώρου (t_i) να είναι $20 - 22^{\circ}\text{C}$ (τον χειμώνα), η μέση θερμοκρασία (αλλά και οι επί μέρους) των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο να μη αποκλίνουν από τη θερμοκρασία του αέρα περισσότερο από 3°C , η σχετική υγρασία να κυμαίνεται (κατά Rieschel - Raiss) από 60% έως 70% και η ταχύτητα κινήσεως του αέρα να βρίσκεται μέσα στα όρια $0,15 - 0,25\text{m/s}$. Επιδρούν ακόμη σε μικρότερο όμως βαθμό, θέματα αισθητικής και φυσικό - χημικά φαινόμενα, όπως το είδος ντυσίματος, η μορφή και η ένταση εργασίας, ο μεταβολισμός, η ηλικία, το γένος, η φυλή, το πολιτιστικό περιβάλλον και οι συνήθειες του χρήστη.

Για την ενδοδαπέδια θέρμανση παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η θερμοκρασιακή συμπεριφορά των επιφανειών που περικλείουν τον θερμαινόμενο χώρο, δοθέντος ότι ο χρήστης δέχεται και εκπέμπει προς αυτές θερμική ακτινοβολία. Η μέση θερμοκρασία της (T_w) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t_w = \frac{\sum(F_i \cdot t_i)}{\sum F_i}$$

όπου

F_i είναι η επιφάνειες (τοίχοι, παράθυρα, θερμαντικά, σώματα, οροφή, δάπεδο)
 t_i είναι οι αντίστοιχες θερμοκρασίες τους

Η επιφανειακή θερμοκρασία του δαπέδου παρουσιάζει ξεχωριστό ενδιαφέρον γιατί το δάπεδο είναι μια επιφάνεια άμεσης ή σχεδόν άμεσης επαφής με τον χρήστη. Ικανοποιητική είναι κάθε θερμοκρασία δαπέδου, μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του χώρου που επιτρέπει την ικανοποιητική επαφή με το γυμνό πόδι. Για να είναι “ικανοποιητική” πρέπει να είναι αρκετά υψηλή ώστε να είναι ευχάριστη (και να θερμαίνει), αλλά και να μην υπερβαίνει κάποια όρια που καθορίζονται από κανόνες υγιεινής, (περιορισμούς φυσιολογίας και ιατρικής).

Η θερμοκρασία δαπέδου χώρου συνεχούς παραμονής ανθρώπων, δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερη από 26 ως 28 °C, γιατί σ’ αντίθετη περίπτωση μπορεί να αποβεί ενοχλητική για τα πόδια των χρηστών του χώρου. Κοντά σε παράθυρο επιτρέπεται θερμοκρασία δαπέδου 29 °C. Για λουτρά και πισίνες όπου οι άνθρωποι κυκλοφορούν συνήθως με γυμνά πόδια, η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία είναι 32 έως 33 °C και για χώρους ή περιοχές χώρων που σπάνια χρησιμοποιούνται, η θερμοκρασία του δαπέδου μπορεί να φθάσει έως 35 °C

Ο Rieschel αναφέρει ότι θερμοκρασίες άνω των 26 °C είναι δυσάρεστες, όπως και απαράδεκτες είναι θερμοκρασίες δαπέδου κάτω από 17 °C.

Συνοπτικά μπορεί να λεχθεί ότι συνιστώνται:

Χώροι εργασίας όρθιων (π.χ. κουζίνα)	25 ⁰ C
Συνήθεις χώροι παραμονής, σε κατοικίες και γραφεία	28 ⁰ C
Διάδρομοι	30 ⁰ C
Λουτρά και κολυμβητήρια	32 ⁰ C
Σε χώρους που χρησιμοποιούνται σπάνια	35 ⁰ C

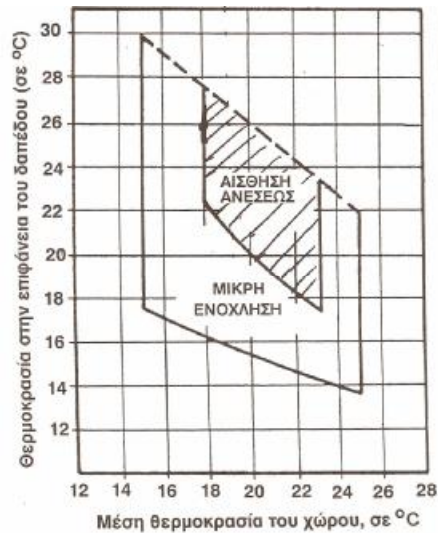
Η θερμοκρασία του ζεστού νερού που κυκλοφορεί στις ενδοδαπέδιες σωληνώσεις είναι συνήθως περίπου 50⁰C και σε σπάνιες περιπτώσεις προσεγγίζει τους 60⁰C.

Η θερμοκρασία που “αισθάνεται” τελικά ο άνθρωπος, η αισθητή θερμοκρασία (t_E) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ο μέσος αριθμητικός όρος της θερμοκρασίας του αέρα στο χώρο (t_L) και της θερμοκρασίας επιφανειών (t_W) που περιβάλλονται.

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η περιοχή θερμικής ανέσεως (ευεξίας) για διαφορές θερμοκρασίας αέρα και δαπέδου. Υπενθυμίζεται εδώ, ότι στη δημιουργία θερμικής ανέσεως σ’ ένα χώρο, συμβάλουν αποφασιστικά αρκετοί παράγοντες όπως:

- Ø Η διατήρηση στα επιθυμητά επίπεδα, σταθερής θερμοκρασίας στο χώρο.
- Ø Η ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας τουλάχιστον κατά οριζόντια επίπεδα.
- Ø Η κατακόρυφη κατανομή της θερμοκρασίας, όταν δεν είναι πρακτικά εφικτή η ομοιομορφία, πρέπει να δίνει κάπως υψηλότερες τιμές κοντά στο δάπεδο, λίγο χαμηλότερες στο ύψος της κεφαλής του χρήστη (περίπου 1,80 m) και ακόμη χαμηλότερες κοντά στην οροφή.
- Ø Οι σχετικά υψηλές θερμοκρασίες των τοιχωμάτων και αντικειμένων του χώρου, ιδίως περιοχών που βρίσκονται κοντά στο δάπεδο.

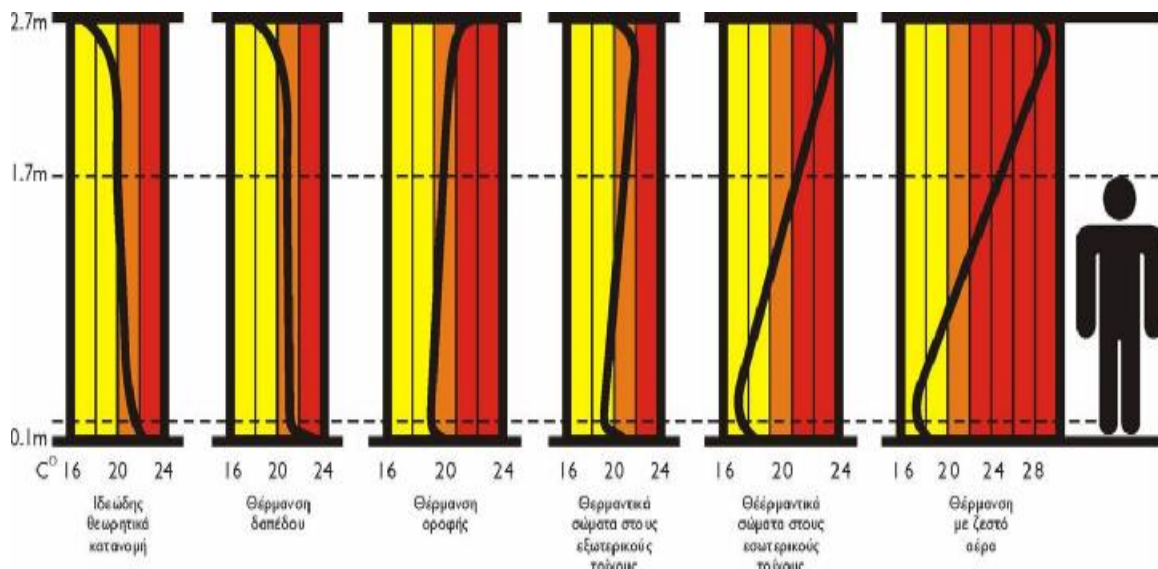
Για την υλοποίηση των παραπάνω στόχων είναι φανερό ότι η επαρκής θερμομόνωση συμβάλλει τα μέγιστα. Από λειτουργική τώρα άποψη, μία σύγχρονη εγκατάσταση θερμάνσεως πρέπει να επιτυγχάνει (με το μικρότερο δυνατό κατασκευαστικό κόστος και την ελάχιστη δαπάνη ενέργειας), άριστη κατανομή της επιθυμητής θερμοκρασίας, με επαρκή αξιοπιστία και προσαρμοστικότητα στις εξωτερικές αλλαγές.



Σχήμα 3.2 : Διάγραμμα άνεσης που συσχετίζει την θερμοκρασία του δαπέδου με τη θερμοκρασία του χώρου. Όταν ο συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα του χώρου και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια του δαπέδου βρίσκονται μέσα στο μικρό τετράπλευρο, δημιουργείται αίσθηση άνεσης

3.2.2 Θερμική άνεση και κατανομή θερμοκρασιών

Σχετικά με την κατανομή της θερμοκρασίας στους χώρους, ανάλογα με το είδος θερμάνσεως που έχει χρησιμοποιηθεί και την συνακόλουθη θερμική άνεση, οι κατασκευαστές ενδοδαπέδιων συστημάτων υποστηρίζουν ότι το σύστημα αυτό επιτυγχάνει την άριστη κατανομή θερμοκρασίας και τη μέγιστη άνεση.



Σχήμα 3.3 : Διάγραμμα κατακόρυφης κατανομής θερμοκρασιών για τη σύγκριση διάφορων συστημάτων θερμάνσεως

Έρευνες και μετρήσεις που έχουν γίνει από πολλούς θεωρητικούς και μελετητές φαίνεται να δικαιώνουν τον προαναφερθέντα ισχυρισμό, για τις περισσότερες περιπτώσεις, υπό την προϋπόθεση ότι οι εγκαταστάσεις έχουν πραγματοποιηθεί με βάση πολύ καλή μελέτη και σωστή κατασκευή. Ειδικότερα, αναφέρουν:

- ∅ Στα συστήματα θερμάνσεως με μεταφορά, ο αέρας που έρχεται σε επαφή με τις θερμαινόμενες επιφάνειες των θερμαντικών σωμάτων, γίνεται ελαφρότερος και μετακινείται προς την οροφή, υπό την πίεση και του ψυχρότερου αέρα που βρίσκεται στα χαμηλότερα επίπεδα. Ο θερμός ανερχόμενος αέρας κατά τη μετακίνησή του δίνει ένα μέρος της θερμότητας που μεταφέρει στις επιφάνειες του χώρου με τις οποίες έρχεται σε επαφή.
- ∅ Αποδίδοντας θερμότητα, γίνεται βαρύτερος και εκ νέου αρχίζει να κινείται προς το δάπεδο, ακολουθώντας μια κυκλική (επαναλαμβανόμενη) διαδρομή, που θα τον φέρει πάλι σε επαφή με τα θερμαντικά σώματα κ.ο.κ. Η χρησιμοποίηση ανεμιστήρων σε μερικούς τύπους θερμαντικών σωμάτων π.χ. (δυναμικοί θερμοσυσσωρευτές, Fan coils κ.ά.), έχει ακριβώς την αποστολή, να αυξήσει την ταχύτητα του αέρα με στόχο την ταχύτερη θέρμανση (κατά στην εκκίνηση) και την αύξηση της θερμικής αποδόσεως των θερμαντικών σωμάτων.
- ∅ Στα συστήματα θερμάνσεως αυτού του τύπου ο αέρας ανακυκλώνεται κάπως βίαια, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται κάποια ρεύματα, στροβιλισμός, σκόνες και κάπως αυξημένες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των περιοχών του χώρου. Γενικά σε μερικές κεντρικές περιοχές, η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλότερη σε σχέση με τη θερμοκρασία ακραίων περιοχών και τοιχωμάτων.
- ∅ Κατά την έναρξη λειτουργίας της θερμάνσεως, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές θερμοκρασίας και στα σημεία ταχείας ροής ψυχρών ρευμάτων αέρα ή κοντά στο δάπεδο, ή η παρατηρούμενη κατανομή της θερμοκρασίας, κάθε άλλο παρά προκαλεί αίσθηση κλιματικής ανέσεως.
- ∅ Τα ψυχρά ρεύματα αέρα γίνονται ακόμη περισσότερο έντονα και ενοχλητικά, σε εγκαταστάσεις στις οποίες τα θερμαντικά σώματα είναι τοποθετημένα σε εσωτερικούς τοίχους και από τους αρμούς των εξωτερικών τοιχωμάτων μπαίνει ψυχρός αέρας, ο οποίος ενισχύει τα ενοχλητικά αυτά ρεύματα.
- ∅ Η αυξημένη θερμοκρασία του αέρα στις υψηλές ζώνες του χώρου, γίνεται αιτία να εμφανίζονται μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές με τον εξωτερικό αέρα ή τον αέρα βοηθητικών χώρων που δεν θερμαίνονται, με αποτέλεσμα την αδικαιολόγητη αύξηση των θερμικών απωλειών από την οροφή και τα άνω τμήματα των τοίχων και κουφωμάτων. Οι απώλειες αυτές δεν προβλέπονται στους υπολογισμούς που γίνονται σύμφωνα με το DIN 4701, το οποίο κυρίως ακολουθείται στη χώρα μας.
- ∅ Τα συστήματα θερμάνσεως με μεταφορά, έχουν το πλεονέκτημα ότι θερμαίνουν γρήγορα τον αέρα του χώρου. Δεν ευνοούν όμως τη θερμοσυσσωρευση (δηλαδή την αποταμίευση θερμότητας στα στερεά αντικείμενα του χώρου) και γι' αυτό αμέσως μετά τη διακοπή λειτουργίας του συστήματος, παρατηρείται ραγδαία μείωση της θερμοκρασίας του χώρου.
- ∅ Στα συστήματα θερμάνσεως με ακτινοβολία, ο αέρας του χώρου θερμαίνεται κυρίως έμμεσα από τα τοιχώματα (τοίχοι, δάπεδο, οροφή) και τα στερεά αντικείμενα (π.χ έπιπλα) του χώρου, τα οποία θερμαίνονται άμεσα από τα θερμαντικά σώματα. Η θερμοκρασία του αέρα ανέρχεται γρήγορα και η αίσθηση της ανέσεως αποκαθίσταται σύντομα.

- Ø Ο ψυχρός καθαρός αέρας που προσάγεται στους χώρους (για τις ανάγκες εξαερισμού), θερμαίνεται γρήγορα ερχόμενος σε επαφή με τα τοιχώματα (και στερεά αντικείμενα), χωρίς να εμφανίζονται αξιόλογα ψυχρά ρεύματα.

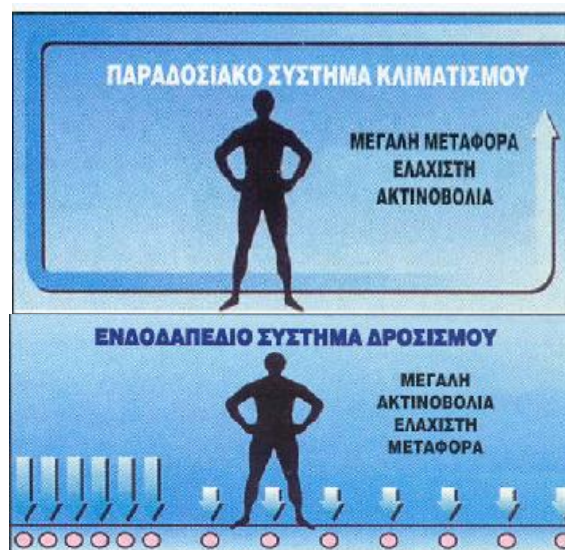
3.3 ΛΙΓΑ ΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΟ ΔΡΟΣΙΣΜΟ

Το σύστημα του οριζοντίου δικτύου της θέρμανσης, είναι ιδανικό και για τον δροσισμό του χώρου. Αυτό επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση ενός ψύκτη νερού (chiller) ο οποίος διοχετεύει στο δίκτυο των σωληνώσεων ψυχρό νερό.

Παράλληλα, για τον έλεγχο της υγρασίας μπορούν να προστεθούν τοπικά και σώματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (fan-coils). Το φαινόμενο αυτό το οποίο συζητείται συχνά δημιουργείται στην περίπτωση που η σχετική υγρασία του αέρα είναι αυξημένη και εμφανίζεται στο δάπεδο στην περίπτωση που η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από τη θερμοκρασία υγροποίησης του δάπεδο. Η υγρασία ενός χώρου επηρεάζεται από δύο παράγοντες την εξωτερική υγρασία και την υγρασία που αποδίδεται από τον άνθρωπο. Ο έλεγχος της υγρασίας στον χώρο επιτυγχάνεται χωρίς πρόβλημα με την αντίστοιχη μέτρηση της θερμοκρασίας σε κάποιο χώρο με το υψηλότερο φορτίο. Όταν η τιμή της σχετικής υγρασίας του χώρου πλησιάζει την θερμοκρασία υγροποίησης του αέρα, τότε ο αυτοματισμός της εγκατάστασης πρέπει να διακόπτει την λειτουργία ψύξης ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα υγροποίησης στο δάπεδο. Η διακοπή της λειτουργίας ψύξης είναι μικρής διάρκειας και δεν έχει επίδραση στην ψύξη του χώρου .

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην ικανότητα που έχει ένα ψυχρότερο σώμα (δάπεδο) να απορροφάει θερμότητα απ' όλα τα δομικά στοιχεία και τον αέρα του χώρου και να την αποβάλλει στο περιβάλλον. Η ψύξη δαπέδου λειτουργεί με θερμοκρασία προσαγωγής νερού 14-16°C, με την αντίστοιχη θερμοκρασία επιστροφής να είναι 5 βαθμούς υψηλότερη.

Η ελάχιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία του τελικού δαπέδου είναι 20-21°C τιμή που περιορίζει την μέση απόδοση του συστήματος στα 35 – 50 W/m, αποτρέπει όμως το φαινόμενο των υγροποιήσεων.



Σχήμα 3.4 : Σύγκριση κοινού συστήματος δροσισμού και ενδοδαπέδιου συστήματος

3.3.1 Πλεονεκτήματα συστήματος

- Ø Κλιματισμός χωρίς δημιουργία ρευμάτων αέρα, σε αντίθεση με άλλα συστήματα
- Ø Εξοικονόμηση χώρου και αποφυγή αντιαισθητικών μηχανημάτων σε τοίχους, οροφές
- Ø Χαμηλό κόστος λειτουργίας δυνατότητα λειτουργίας χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα (π.χ. εκμετάλλευση υπογείων υδάτων χαμηλής θερμοκρασίας)
- Ø Οικολογικό σύστημα ,φιλικό στο περιβάλλον
- Ø Όμορφη αίσθηση στον ανθρώπινο οργανισμό λόγω του ότι η ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ανθρωπίνου οργανισμού και συστήματος ψύξης γίνεται με τον ίδιο τρόπο (δια ακτινοβολίας)
- Ø Ανεξαρτησία στην επιλογή πηγής θερμότητας(αντλία θερμότητας, ψύκτης - εναλλάκτης, γεωθερμικός εναλλάκτης ,υπόγεια ύδατα κ.λπ.).

3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

Στην ενότητα που ακολουθεί περιγράφεται η μελέτη της ενδοδαπέδιας θέρμανσης του κτηρίου μας η οποία είναι βασισμένη στο “Εγχειρίδιο εκπονήσεως της μελέτης της ενδοδαπέδιας θέρμανσης” της Polytherm Gumph , Γερμανίας.

3.4.1 Προϋποθέσεις του υπολογισμού

Η περιγραφή του υπολογισμού της ενδοδαπέδιας θέρμανσης θα γίνει για τους χώρους που ελέγχονται από ένα συλλέκτη και τα κυκλώματα του. Ο υπολογισμός αναφέρεται στα στοιχεία που αφορούν στον συλλέκτη και μετά (ρυθμιστικούς διακόπτες, σωλήνα, κυκλώματα κ.λπ.).

Οι συμβολισμοί των διαφόρων μεγεθών και το χρησιμοποιούμενο τυπολόγιο , αναγράφονται στο φύλλο υπολογισμού.

Υπάρχουν, όπως συμβαίνει και στο μονοσωλόνιο σύστημα θέρμανσης, δύο μέθοδοι υπολογισμού: Είτε για όλα τα κυκλώματα του συλλέκτη θεωρείται η ίδια σταθερή θερμοκρασιακή πτώση και υπολογίζονται τα αναγκαία μεγέθη , είτε ο υπολογισμός γίνεται με μη σταθερή κα ίδια για όλα τα κυκλώματα Δt. Επειδή η δεύτερη μέθοδος είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, γι’ αυτό θα εξακολουθήσουμε αυτή τη μέθοδο.

Διάφορα μεγέθη που επηρεάζουν τη διαστασιολόγηση των ζητούμενων κατά τον υπολογισμό:

- Ø το βάθος του σωλήνα μέσα στο θερμομπετόν
- Ø το είδος του υλικού του σωλήνα, διότι αυτό επηρεάζει την τραχύτητα των επιφανειών ροής
- Ø η εσωτερικό διάμετρος του χρησιμοποιούμενου σωλήνα, το είδος του “πλεξίματος” του σωλήνα στο δάπεδο (μαιάνδρου η σε σχήμα σαλιγκαριού),
- Ø οι τυποποιημένες αποστάσεις σωληνίων που συνήθως διαφέρουν μεταξύ τους κατά ένα σταθερό “βήμα”
- Ø η χρήση μονοκόμματος ή όχι σωλήνα σε κάθε κύκλωμα.

Ο υπολογισμός που ακολουθεί βασίζεται σε σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ∅ Χρήση πλαστικού σωλήνα από ακτινοδίκτυωμένο πολυαιθυλένιο (VPE-C), με τραχύτητα επιφανειών ροής 0,0015.
- ∅ εσωτερική διάμετρος του σωλήνα 12 mm (σωλήνας 16 x 2 mm).
- ∅ πλέξιμο σωλήνα σε σχήμα zig zag για πλέον ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασιών.
- ∅ μονοκόμματος σωλήνας σε κάθε κύκλωμα για περισσότερη σιγουριά έναντι διαρροών και για μικρότερες τριβές ροής απ' την αποφυγή ενδιάμεσων συνδετήριων εξαρτημάτων.
- ∅ σύστημα αποστάσεων σωλήνων μεταξύ τους σε πi 8,333... 16,666... 25 ή ονομαστικά 8-16-25.
- ∅ η άνω γενέτειρα της εξωτερικής κυλινδρικής επιφάνειας του σωλήνα σε βάθος 45 mm κάτω απ' την τελική δαπεδόστρωση. (Με τα βοηθητικά διαγράμματα του υπολογισμού προβλέπεται δυνατότητα διαφορετικού βάθους του σωλήνα στο δάπεδο).

∅ Κατά την εκτέλεση του υπολογισμού Πρέπει να τηρηθούν τα ακόλουθα όρια θερμοκρασίας της επιφάνειας του δαπέδου:

✓ περιοχή παραμονής ανθρώπων:

$$t_{FBmax} \leq 29^{\circ}C (q_{FB} \leq 105W / m^2)$$

✓ ζώνες υψηλής θερμικής απόδοσης:

$$t_{FBmax} \leq 35^{\circ}C (q_{FB} \leq 170W / m^2)$$

✓ Λουτρά:

$$t_{FBmax} \leq 33^{\circ}C (q_{FB} \leq 150W / m^2)$$

εξ άλλου για λουτρά πρέπει:

$$t_{FBmax} \leq t_i + 9^{\circ}K$$

Έχοντας υπ' όψη τους παραπάνω περιορισμούς, πρέπει να παρατηρηθεί, πως στην περιοχή του δαπέδου κοντά στον συλλέκτη, επειδή υπάρχουν πολλοί σωλήνες, ο ένας σχεδόν δίπλα στον άλλον, υπάρχει η δυνατότητα εμφάνισης θερμοκρασιών t_{FB} πολύ υψηλών και μάλιστα υψηλότερων απ' τα επιτρεπόμενα όρια. Προς αποφυγή ανύψωσης της στην περιοχή αυτή, τοποθετείται πάνω απ' τους σωλήνες ένα φύλλο θερμομόνωσης κατάλληλου πάχους.

Στη ενδοδαπέδια θέρμανση ο συνολικός εσωτερικός συντελεστής μετάβασης θερμότητας α_i συντίθεται από τον συντελεστή μετάβασης δι' ακτινοβολίας α_s και τον συντελεστή μετάβασης με μεταφορά α_k . Είναι δηλαδή $\alpha_i = \alpha_s \pm \alpha_k$.

Στον υπολογισμό λαμβάνουμε υπ' όψη μία μέση τιμή του $\alpha_i = 11,6 W/(m^2 \cdot K)$. Κοντά σε ανοίγματα η τιμή μπορεί να φθάσει τα $14 W/(m^2 \cdot K)$, αλλά είναι προτιμότερο να υπολογίζει κανείς με κάποιο περιθώριο σιγουριάς.

3.4.2 Το αντικείμενο του υπολογισμού

Ο υπολογισμός πραγματοποιείται με τη βοήθεια των διαγραμμάτων Δ1 έως και Δ4. Τόσο τα δεδομένα όσο και τα υπολογιζόμενα μεγέθη καταγράφονται στο φύλλο υπολογισμού.

Δεδομένα για τον υπολογισμό μια ενδοδαπέδιας θέρμανσης είναι τα γεωμετρικά και θερμικά στοιχεία των χώρων που πρόκειται να θερμανθούν, καθώς και η δαπεδόστρωσή τους (πλακάκι, μάρμαρο, παρκέτο, μοκέτα κ.λπ.).

Με τον υπολογισμό μιας ενδοδαπέδιας θέρμανσης ζητούμε να καθορίσουμε τα ακόλουθα μεγέθη:

RA την απόσταση των σωλήνων στο δάπεδο σε [cm] ή, όπως συνηθίζεται να λέγεται, το ‘πόσο πυκνά πλέκεται’ ο σωλήνας στο δάπεδο. Θεωρητικά η (RA) απόσταση των σωλήνων μπορεί να λάβει οποιοσδήποτε τιμές, οι οποίες μάλιστα να είναι διαφορετικές όχι μόνο από κύκλωμα σε κύκλωμα, αλλά ένα και το ίδιο κύκλωμα.

Για λόγους ευκολίας στους υπολογισμούς και στην κατασκευή έχει επικρατήσει:

- ∅ σε ένα κύκλωμα να χρησιμοποιείται μία σταθερή RA ή, το πολύ, ένας προκαθορισμένος συνδυασμός δύο διαφορετικών αλλά σταθερών RA.
- ∅ σε κάθε σύστημα δαπεδοθέρμανσης να χρησιμοποιείται μία σειρά RA (π.χ. 7,5-15-22, 5-30 ή 8-16-25-33 κ.λπ.), στην οποία όλες οι τιμές της είναι πολλαπλάσια μιας ελάχιστης τιμής.
- ∅ Οι τιμές της RA να κυμαίνονται από 5 cm έως 40 cm.

HK το πλήθος των κυκλωμάτων που απαιτούνται για την κάλυψη όλων των θερμαινόμενων χώρων. Συνηθίζεται κάθε χώρος να “πλέκεται” με ένα τουλάχιστον κύκλωμα. Μεγάλοι χώροι απαιτούν περισσότερα — κυκλώματα. Δύο μικροί χώροι, εφ’ όσον η χρήση τα επιτρέπει, είναι δυνατόν να πλεχθούν με ένα κύκλωμα.

Κατά την εκπόνηση της μελέτης και την εκτέλεση του υπολογισμού, προσπαθούμε να επιλέγουμε τα κυκλώματα κατά τέτοιο τρόπο, ώστε αφ’ ενός μεν να υπάρχει θερμική ανεξαρτησία των χώρων και αφ’ ετέρου όλα τα κυκλώματα κατά το δυνατόν να έχουν ισοδύναμα μήκη. Αυτό βοηθάει στο να είναι δυνατή η ρύθμισή τους έτσι που όλα να παρουσιάζουν την αυτή πτώση πίεσης στη ροή του ζεστού νερού. Κυκλώματα υψηλής θερμικής αποδιδόμενης ισχύος, δηλαδή κυκλώματα υψηλής παροχής ζεστού νερού, τα οποία φυσικά παρουσιάζουν υψηλές αντιστάσεις (R) τριβών ροής επιλέγονται με μικρό μήκος σωλήνα (L), ώστε η πτώση πίεσης λόγω τριβών ($R \cdot L$) να διατηρείται σε ορισμένα όρια. Τα όρια αυτά είναι της τάξης των 200 mbar.

Κυκλώματα χαμηλής θερμικής ισχύος αντίστοιχα, μπορούν να επιλεγούν με μεγαλύτερο μήκος. Το μήκος ενδείκνυται, για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, να μην ξεπερνά σε καμιά περίπτωση τα 160 m.

Μικρότερου μήκους κυκλώματα παρέχουν μεγαλύτερες δυνατότητες εύκολης ρύθμισης για εξισορρόπηση τριβών μεταξύ τους και επιτρέπουν υψηλότερες παροχές και υψηλότερες θερμικές αποδόσεις με χαμηλότερες απώλειες τριβών.

t_v τη θερμοκρασία [$^{\circ}\text{C}$] του ζεστού νερού προσαγωγής στους σωλήνες της δαπεδοθέρμανσης.

Η θερμοκρασία αυτή κυμαίνεται από 30°C έως 55°C . Ακριβώς δε επειδή η θερμοκρασία αυτή είναι “χαμηλή” προς τις συνηθισμένες θερμοκρασίες προσαγωγής $75 - 90^{\circ}\text{C}$ για θερμάνσεις με θερμαντικά σώματα, γι’ αυτό και η ενδοδαπέδια θέρμανση καλείται “Θέρμανση Χαμηλών Θερμοκρασιών”.

Χαμηλές θερμοκρασίες t_v προς την περιοχή των 30°C απαιτούν μεγαλύτερη πυκνότητα πλεξίματος σωλήνα (δηλαδή μικρότερο RA) και καλύτερη μόνωση των θερμαινόμενων χώρων, αλλά προσφέρουν έτσι μεγαλύτερη ομοιομορφία στην κατανομή των θερμοκρασιών στον χώρο και εξασφαλίζουν μεγαλύτερη μακροβιότητα του συστήματος. Τα αντίθετα συμβαίνουν για τιμές t_v προς την περιοχή των 55°C

Συνηθίζεται η επιλογή συστημάτων με t_v στην περιοχή των 55°C για λόγους οικονομίας στη δαπάνη εγκατάστασης. Ας παρατηρηθεί ότι όσο χαμηλότερη είναι η t_v , τόσο ευκολότερα μπορεί να συνδυαστεί η ενδοδαπέδια θέρμανση με χρήση ήπιων μορφών ενέργειας (όπως στην περίπτωση μας με γεωθερμική ενέργεια).

G_h την παροχή του ζεστού νερού προς όλα τα κυκλώματα του συστήματος σε $[\text{kg/h}]$.
 ΔP , τη μέγιστη απώλεια τριβών κυκλώματος σε $[\text{mbar}]$.

Επίσης με τον υπολογισμό επιδιώκουμε να καθορίσουμε την προρρύθμιση των ρυθμιστικών διακοπών των κυκλωμάτων και να προμετρήσουμε το υλικό που απαιτείται στην κατασκευή.

3.4.3 Το φύλλο υπολογισμού

Το Φύλλο Υπολογισμού αφορά ένα σύνολο χώρων, των οποίων τα κυκλώματα της δαπεδοθέρμανσης ελέγχονται από ένα συλλέκτη.

Το επάνω τμήμα του Φύλλου Υπολογισμού περιλαμβάνει γενικά στοιχεία της οικοδομής, τα στοιχεία του μελετητή καθώς και τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του υπολογισμού.

Στη συνέχεια προς τα κάτω στις σειρές του Φύλλου Υπολογισμού γράφονται τα ακόλουθα μεγέθη (αντίστοιχα με τον α/α της σειράς):

0. ο αύξοντας αριθμός του κυκλώματος.
1. ο αύξοντας αριθμός του θερμαινόμενου χώρου.
2. το είδος του θερμαινόμενου χώρου.
3. t_i [$^{\circ}\text{C}$] η επιθυμητή θερμοκρασία του θερμαινόμενου χώρου.
4. t_u [$^{\circ}\text{C}$] η θερμοκρασία του χώρου, που βρίσκεται κάτω απ' το δάπεδο του θερμαινόμενου χώρου.
5. A_{FB} [m^2] η θερμαντική επιφάνεια του δαπέδου κάθε χώρου. Η επιφάνεια αυτή είναι η επιφάνεια του θερμαινόμενου χώρου απομειωμένη κατά τα τμήματά της που δεν πλέκονται με σωλήνα (π.χ. τζάκια, τμήματα δαπέδου λουτρού). Εν γένει γίνεται προσπάθεια να "στρώνεται" (πλέκεται) με σωλήνα ολόκληρη η επιφάνεια δαπέδου κάθε χώρου.
6. Q_N [W] το θερμικό φορτίο κάθε θερμαινόμενου χώρου υπολογισμένο κατά DIN 4701 και μειωμένο κατά τις απώλειες του δαπέδου προς τα κάτω.
7. το είδος της δαπεδόστρωσης του κάθε χώρου.
8. q_{FB} [w/m^2] η απαιτούμενη πυκνότητα θερμοροής προς τα πάνω.
9. t_{FB} η μέση θερμοκρασία της επιφάνειας του δαπέδου. Υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο και για $\alpha_{ges} = 11,6 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$. Γραφικά η t_{FB} ευρίσκεται απ' το Διάγραμμα Δ1. Εάν η τιμή της t_{FB} υπερβαίνει τις επιτρεπόμενες τιμές, τότε αγνοούνται οι σειρές 8 και 9 για τον συγκεκριμένο χώρο και συμπληρώνονται οι επόμενες σειρές α) έως γ).

- α) Επιλεγόμενη και επιτρεπτή τιμή της t_{FB} .
- β) Διορθωμένη τιμή της πυκνότητας θερμορροής, υπολογιζόμενη σύμφωνα με τον δίδόμενο τύπο και την επιλεγείσα t_{FB} .
- γ) Q_{Rest} [W] η υπολειπόμενη θερμική ισχύς υπολογιζόμενη σύμφωνα με τον τύπο που δίδεται. Το ποσό αυτό θερμικής ισχύος είναι αυτό, που τηρουμένων των επιτρεπτών τιμών της t_{FB} , δεν μπορεί να αποδώσει η ενδοδαπέδια θέρμανση και που καλούμεθα να το προσφέρουμε στο χώρο με κάποιον άλλο τρόπο, π.χ. με ένα ηλεκτρικό αερόθερμο, ένα υποδαπέδιο αερόθερμο ζεστού νερού ή με κατασκευή ενός τμήματος τοιχοθέρμανσης.

10. RA [cm] η απόσταση των πλεγμένων σωλήνων μεταξύ τους.

11. t_m [$^{\circ}C$] η απαιτούμενη μέση θερμοκρασία νερού στο κύκλωμα. Υπολογίζεται με τον τύπο που δίδεται και με τη βοήθεια του διαγράμματος $\Delta 1$, όπου $t_{umH,FB}$ [K] είναι η ενεργός υπερθερμοκρασία του δαπέδου, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του ζεστού νερού t_m και της θερμοκρασίας t_i του θερμαινόμενου χώρου.

12. q_{DE} [W/m^2] η πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω. Με τη βοήθεια των διαγραμμάτων $\Delta 1$ προσδιορίζεται το $q_{DE,1}$ δηλαδή η πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω όταν ο (K_u) μερικός συντελεστής θερμοπερατότητας του συνόλου των υλικών απ' το σωλήνα και κάτω ισούται με τη μονάδα [$K_u = 1 W/(m^2 \cdot K)$]. Πολλαπλασιάζοντας την $q_{DE,1}$ με τον πραγματικό K_u ευρίσκεται η q_{DE} . Στο κτήριο μας έχει ληφθεί K_u 0,52 $W/(m^2 \cdot K)$.

13. Q_{ges} η συνολική ισχύς της ενδοδαπέδιας θέρμανσης, δηλαδή το άθροισμα της αποδιδόμενης θερμικής ισχύος προς άνω και προς τα κάτω.

14. Δ_t [K] η διαφορά θερμοκρασίας προσαγωγής και θερμοκρασίας επιστροφής, που ισούται με το διπλάσιο της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας (t_m) απ' τη θερμοκρασία προσαγωγής (t_v).

15. G_h [kg/h] η παροχή ζεστού νερού του κυκλώματος. Για τον υπολογισμό λαμβάνεται η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού $C=1,163Wh/(kg \cdot K)$.

16. R [mbar/m] η αντίσταση τριβών ανά μονάδα μήκους σωλήνα πλαστικού από VPEC διαμέτρου 16 x 2 mm. Ευρίσκεται με τη βοήθεια του διαγράμματος $\Delta 4$.

17. L_{HK} [m] το μήκος του σωλήνα στο κύκλωμα. Απ' το μήκος που υπολογίζεται με τον δίδόμενο τύπο πρέπει ν' αφαιρεθούν μήκη σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής άλλων κυκλωμάτων, που διέρχονται απ' τον υπολογιζόμενο χώρο.

18. L_z το μήκος των σωλήνων προσαγωγής και επιστροφής ενός κυκλώματος, δηλαδή το διπλάσιο της απόστασης του συλλέκτη απ' το κύκλωμα. Οι σωλήνες προσαγωγής και επιστροφής οδεύουν παράλληλα και με απόσταση μεταξύ τους ίση προς την RA του εκάστοτε χώρου, απ' τον οποίο διέρχονται καθώς οδεύουν προς το κύκλωμά τους.

19. L_{ges} [m] το συνολικό μήκος σωλήνα απ' τον συλλέκτη στο κύκλωμα και πάλι πίσω στον συλλέκτη.

20. Δp_R [mbar] η πτώση πίεσης στον σωλήνα του πλήρους κυκλώματος.

21. Δp_v [mbar] η πτώση πίεσης στους διακόπτες προσαγωγής και επιστροφής, όταν αυτοί είναι τελείως ανοικτοί. Ευρίσκεται απ' το διάγραμμα Δ3 με χρήση της καμπύλης (ευθείας γραμμής) που σημειώνεται, ότι αντιστοιχεί σε ρυθμιστικούς διακόπτες τελείως ανοικτούς. Το διάγραμμα Δ3 αφορά σε διακόπτες της εταιρείας Polytherm.

22. Δp [mbar] η συνολική πτώση πίεσης. Η μέγιστη τιμή συνολικής πτώσης πίεσης που παρουσιάζεται στο φύλλο υπολογισμού, δηλαδή η μέγιστη συνολική πτώση πίεσης που παρουσιάζεται στα κυκλώματα ενός συλλέκτη χαρακτηρίζεται ως Δp_{max} . Η Δp_{max} είναι εκείνη που λαμβάνεται υπ' όψη κατά τον υπολογισμό των κεντρικών γραμμών και του κυκλοφορητή του συστήματος της δαπεδοθέρμανσης.

23. Στραγγάλισμα είναι η διαφορά της Δp ενός κυκλώματος απ' την Δp_{max} που παρουσιάζεται στα κυκλώματα ενός συλλέκτη. Στραγγάλισμα είναι η τεχνητή πτώση πίεσης που προκαλούμε με κατάλληλη προρρύθμιση των ρυθμιστικών διακοπών ενός κυκλώματος, ώστε ν' αυξηθεί η πτώση πίεσης του κυκλώματος αυτού και να λάβει τη συνολική τιμή Δp_{max} . Κατ' αυτό τον τρόπο εξισορροπούνται από πλευράς πτώσης πίεσης όλα τα κυκλώματα ενός συλλέκτη μεταξύ τους.

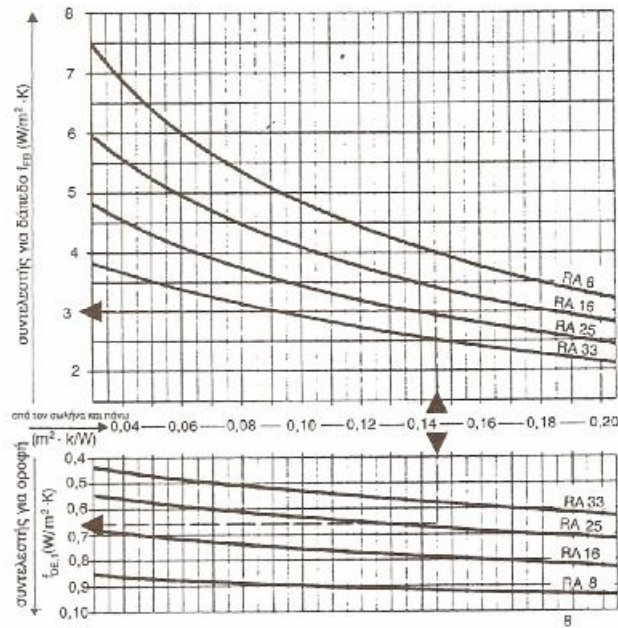
24. Προρρύθμιση διακοπών είναι το κλείσιμο των ρυθμιστικών διακοπών των κυκλωμάτων τόσο, ώστε να προκαλείται πρόσθετη πτώση πίεσης σε κάθε κύκλωμα ίση με το αντίστοιχο στραγγάλισμα, που προσδιορίστηκε στη σειρά 23.

Οι διάφοροι ρυθμιστικοί διακόπτες της αγοράς συνοδεύονται από τα διαγράμματά τους, τα οποία επιτρέπουν τον καθορισμό της προρρύθμισης.

ΦΥΛΛΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΝΔΟΔΑΠΕΔΙΑΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ

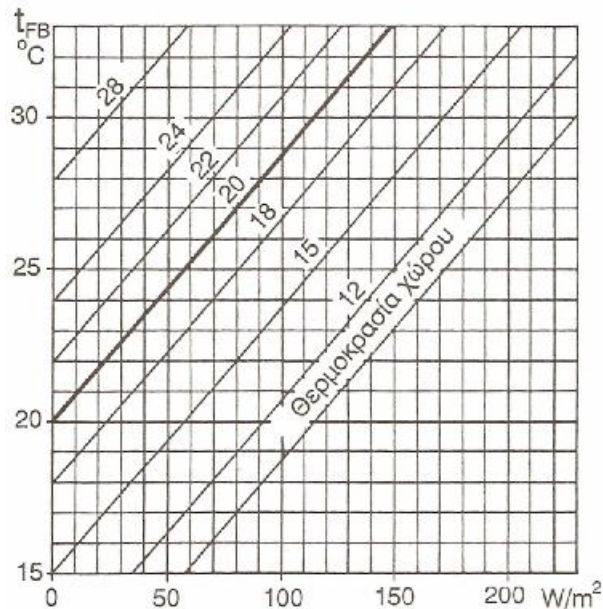
0. Αριθμός Κυκλώματος																		
1. Αριθμός χώρου																		
		°C																
4. t_u Θερμοκρασία χώρου κάτωθεν θερμανόμενου		°C																
5. A_{FB} Επιφάνεια δαπέδου		m ²																
6. Q_N Θερμικό φορτίο χωρίς απώλειες δαπέδου		W																
7. Είδος δαπεδοθέρμανσης																		
8. $q_{FB} = \frac{Q_N}{A_{FB}}$ Πυκνότητα θερμοροής		W/m ²																
9. $t_{FB} = \frac{q_{FB}}{a_{ges}} + t_i$ Μέση θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου		°C																
α) t_{FB} Επιλεγόμενη (τιμές σειρών 8 & 9 διαγράφονται)		°C																
β) $q_{FB} = (t_{FB} - t_i) a_{ges}$ (δι-ορθωμένη τιμή)		W/m ²																
γ) $Q_{Res} = Q_N \cdot (q_{FB} \cdot A_{FB})$ (Υπολειπόμενη θερμική ισχύς)		W																
10. RA Απόσταση σωλήνων		Cm																
11. $t_m = t_{umH,FB} + t_i$ Μέση θερμοκρασία νερού		°C																
12. $q_{DE} = t_{DE,1} \cdot K_u$ Πυκνότητα θερμοροής προς τα κάτω		W/m ²																
13. $Q_{ges} = A_{FB} \cdot (q_{FB} + q_{DE})$ Συνολική ισχύς δαπέδου		W																
14. $\Delta t = 2 \cdot (t_v - t_m)$ Θερμοκρασιακή πτώση		K																
15. $G_h = \frac{Q_{ges}}{\Delta T \cdot \rho \cdot c_p}$ Συνολική παροχή νερού		Kg/h																
16. R Αντίσταση ροής από τριβές για σωλήνα		mb ar/m																
17. $L_{HK} = \frac{100}{\pi \cdot d} \cdot A_{FB}$ Μήκος σωλήνα στο κύκλωμα		m																
18. L_Z Μήκος σωλήνα προσαγωγής και επιστροφής προς το κύκλωμα		m																
19. $L_{ges} = L_{HK} \cdot L_Z$ Συνολικό μήκος σωλήνα		m																
20. $\Delta r_R = R \cdot L$ Πτώση πίεσης στο σωλήνα		mb ar																
21. Δr_h Πτώση πίεσης διακοπών (προσαγωγής + επιστροφής)		mb ar																
22. $\Delta r = \Delta r_R \cdot \Delta r_v$ Συνολική πτώση πίεσης		mb ar																
23. Στραγγάλισμα		mb ar																
24. Προρύθμιση διακοπών																		

Δ1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΙΣΧΥΩΝ

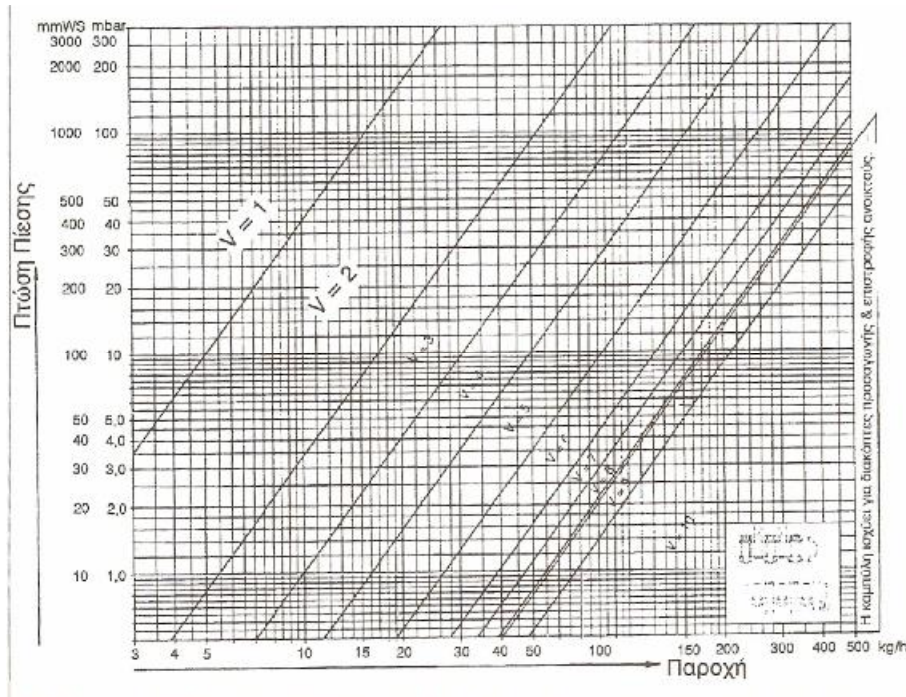


Οι συντελεστές διόρθωσης f_{FB} , δίνουν τη θερμική ισχύ (w/m^2) προς τα πάνω και προς τα κάτω για διαφορά θερμοκρασίας 1 K μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας του ζεστού νερού t_m και της θερμοκρασίας του αντίστοιχου χώρου και t_i και t_u . Ο συντελεστής διόρθωσης $f_{DE,1}$ αντιστοιχίζεται προς ένα συντελεστή θερμοπερατότητας προς τα κάτω $k_u = 1 W/(m^2 \cdot K)$. Για $k_u \neq 1 W/(m^2 \cdot K)$ πρέπει η $q_{DE,1}$ να πολλαπλασιάζεται με τον πραγματικό k_u . Για τον υπολογισμό της αντιστάσεως θερμοδιαφυγής R_λ πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη όλα τα υλικά που είναι διαστρωμένα απ' τον σωλήνα και πάνω.

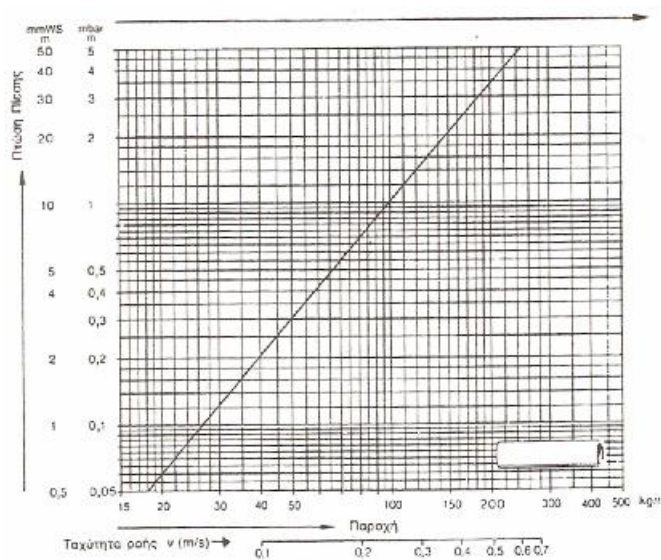
Δ2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΜΕΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΔΑΠΕΔΟΥ



Δ3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΡΙΒΗΣ ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΩΝ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ



Δ4. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΡΙΒΗΣ ΣΩΛΗΝΑ



3.4.4 Παρατηρήσεις στη χρήση των διαγραμμάτων

Κατά τον υπολογισμό της δαπεδοθέρμανσης χρησιμοποιούνται, όπως προαναφέρθηκε, τα διαγράμματα Δ1 έως Δ5. Προς αποφυγήν παρερμηνειών, κρίνεται σκόπιμο να γίνουν οι ακόλουθες διευκρινίσεις:

Το διάγραμμα ισχύος Δ1 αναφέρεται σε ορισμένη δαπεδόστρωση και σε ορισμένη κατασκευή του δαπέδου απ' τον σωλήνα και πάνω. Για τη δαπεδόστρωση αυτή και για την αντίστοιχη κατασκευή από κάτω της δίδονται οι αντίστοιχες αντιστάσεις διαφυγής R_{λ} . Σε περίπτωση απόκλισης απ' τα δεδομένα αυτά, είναι αναγκαίο να προσφύγει κανείς στο διάγραμμα Δ2 των συντελεστών διόρθωσης ισχύος. Έτσι σε περίπτωση κατασκευαστικής απόκλισης, αντί του διαγράμματος Δ1 χρησιμοποιείται το διάγραμμα Δ2 για τον προσδιορισμό του t_m (σειρά 11 στο Φύλλο Υπολογισμού) και του q_{DE} (σειρά 12 στο Φύλλο Υπολογισμού).

Κατά τη σύνταξη του διαγράμματος Δ4, έχει ληφθεί υπ' όψη πόση είναι η αντίσταση τριβής των ρυθμιστικών διακοπών τελείως ανοικτών. Το ίδιο λογαριάζεται και κατά τον υπολογισμό, όταν γίνεται η συμπλήρωση του Φύλλου Υπολογισμού. Έτσι η προρρύθμιση των διακοπών λαμβάνεται άμεσα απ' το διάγραμμα χωρίς άλλες πράξεις. Πράγματι, με συντεταγμένες την παροχή νερού στο κύκλωμα (τετμημένοι), όπως έχει υπολογιστεί στη σειρά 15 του Φύλλου Υπολογισμού και το στραγγάλισμα (τεταγμένη), όπως φαίνεται στη σειρά 23, προσδιορίζεται ένα σημείο πάνω στο διάγραμμα Δ4 ανάμεσα σε δύο χαρακτηριστικές ευθείες. Προρρύθμιση είναι η τιμή που αναφέρεται στην περιοχή ανάμεσα στις ευθείες, όπου προσδιορίστηκε το παραπάνω σημείο.

3.4.5 Υπολογισμοί μελέτης

Στην συνέχεια ακολουθούν οι υπολογισμοί για το ενδοδαπέδιο σύστημα του κτηρίου μας καθώς και κάποιες διευκρινίσεις που τους αφορούν.

Φύλλο υπολογισμού ισόγειου

Από τους υπολογισμούς που έγιναν βρίσκουμε τα παρακάτω αποτελέσματα :

Συνολική ισχύς ενδοδαπέδιας θέρμανσης ισόγειου $Q_{ges} = 8392,5 \text{ W}$

Πλήθος κυκλωμάτων ισόγειου $HK = 9$

Μέγιστη Θερμοκρασία νερού $T_{vmax} = 42,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Συνολική παροχή νερού ισόγειου $G_h = 589,6 \text{ kg/h}$

Μέγιστη πτώση πίεσης κυκλωμάτων ισόγειου $\Delta p_{max} = 129,3 \text{ mbar}$

0. Αριθμός Κυκλώματος		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Αριθμός χώρου		1	2	3	4	5	6	7	8	9
2. Είδος χώρου		ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ	ΑΝΤΙΔΗΜΑΡ-ΧΟΣ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ	ΓΡΑΦΕΙΟ 1	ΓΡΑΦΕΙΟ 2	ΓΡΑΦΕΙΟ 3	ΑΠΟΘΗΚΗ W.C. Λ.Μ.Ε.Α.	W.C. ΑΝΔΡΩΝ	W.C. ΓΥΝΑΙΚΩΝ ΧΟΛ. W.C.	ΕΙΣΟΔΟΣ
3. t_i Θερμοκρασία χώρου	°C	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4. t_u Θερμοκρασία χώρου κάτωθεν θερμαινόμενου	°C	6	6	6	6	6	6	6	6	6
5. A_{FB} Επιφάνεια δαπέδου	m ²	15	15	17,2	15	16,4	12,4	7	10,75	8,6
6. Q_N Θερμικό φορτίο χωρίς απώλειες δαπέδου	W	655	1107	1297	635	1133	755	280	1064	807
7. Είδος δαπεδοθέρμανσης		ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ	ΠΛΑΚΑΚΙ
8. $q_{FB} = \frac{Q_N}{A_{FB}}$ Πυκνότητα θερμορροής	W/m ²	43,6	73,8	75,4	42,3	69,1	60,9	40	99	93,8
9. $t_{FB} = \frac{q_{FB}}{a_{ges}} + t_i$ Μέση θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου	°C	23,8	26,4	26,5	23,6	26,0	25,25	23,4	28,5	28,1
α) t_{FB} Επιλεγόμενη (τιμές σειρών 8 & 9 διαγράφονται)	°C									
β) $q_{FB} = (t_{FB} - t_i) a_{ges}$ (δι-ορθωμένη τιμή)	W/m ²									
γ) $Q_{Rest} = Q_N \cdot (q_{FB} \cdot A_{FB})$ (Υπολειπόμενη θερμική ισχύς)	W									
10. RA Απόσταση σωλήνων	Cm	25	25	25	25	25	16	8	25	16
11. $t_m = t_{umH,FB} + t_i$ Μέση θερμοκρασία νερού	°C	30	37	38	30	36	31	26	38	37
12. $q_{DE} = t_{DE,1} \cdot K_u$ Πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω	W/m ²	3,12	5,72	5,72	3,12	5,2	4,16	2,6	6,76	6,24
13. $Q_{ges} = A_{FB} \cdot (q_{FB} + q_{DE})$ Συνολική ισχύς δαπέδου	W	700,8	1192,8	1395,3	681,3	1218,5	908,4	298,2	1136,9	860,3
14. $\Delta t = 2 \cdot (t_v - t_m)$ Θερμοκρασιακή πτώση	K	25	11	9	25	13	18	33	8	10
15. $G_h = \frac{Q_{ges}}{\Delta t \cdot 165}$ Συνολική παροχή νερού	Kg/h	24,1	93,2	133,3	23,4	80,6	31	7,8	122,2	74
16. R Αντίσταση ροής από τριβές για σωλήνα	mb ar/m	0,08	0,9	1,6	0,08	0,7	0,14	0,08	1,4	0,6
17. $L_{HK} = \frac{100}{RA} \cdot A_{FB}$ Μήκος σωλήνα στο κύκλωμα	m	60	60	68,8	60	65,6	77,5	56	67,2	53,8
18. L_Z Μήκος σωλήνα προσαγωγής και επιστροφής προς το κύκλωμα	m	11	12	12	15	17	15	12	20	10
19. $L_{ges} = L_{HK} \cdot L_Z$ Συνολικό μήκος σωλήνα	m	71	72	80,8	75	82,6	92,5	68	87,2	63,8
20. $\Delta r_R = R \cdot L$ Πτώση πίεσης στο σωλήνα	mb ar	5,7	64,8	129,3	6	57,8	12,95	5,5	122,1	38,3
21. Δr_m Πτώση πίεσης διακοπιών (προσαγωγής + επιστροφής)	mb ar	0,9	2,2	5	0,9	1,9	1,1	0,9	4,9	1,7
22. $\Delta r = \Delta r_R \cdot \Delta r_v$ Συνολική πτώση πίεσης	mb ar	6,6	67	134,3	6,9	59,7	14,05	6,4	125	40
23. Στραγγάλισμα	mb ar	127,7	67,3	0	127,4	74,6	120,25	127,9	9,3	94,3
24. Προρύθμιση διακοπιών		3	3	10	3	3	3	3	4	3

Φύλλο υπολογισμού 1^{ου} ορόφου

Συνολική ισχύς ενδοδαπέδιας θέρμανσης 1^{ου} ορόφου $Q_{ges} = 11330,2 \text{ W}$

Πλήθος κυκλωμάτων 1^{ου} ορόφου $HK = 13$

Μέγιστη Θερμοκρασία νερού 1^{ου} ορόφου $T_{vmax} = 42,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Συνολική παροχή νερού 1^{ου} ορόφου $G_h = 784,63 \text{ kg/h}$

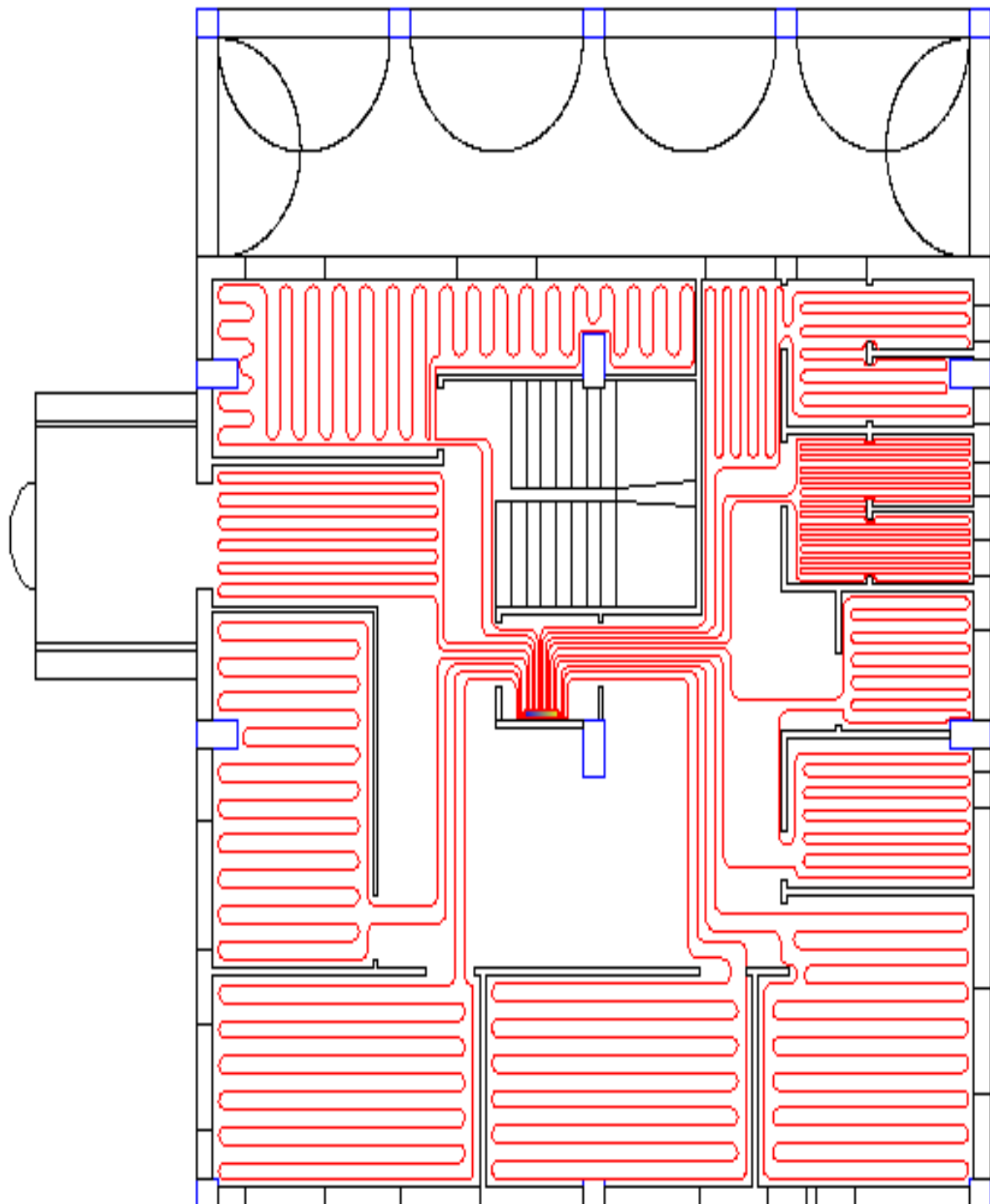
Μέγιστη πτώση πίεσης κυκλωμάτων 1^{ου} ορόφου $\Delta p_{max} = 101,3 \text{ mbar}$

0. Αριθμός Κυκλώματος		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1. Αριθμός χώρου		10	11	12	12	13	14	15	16	17	17	18	19	20
2. Είδος χώρου		Γραφείο 4	Γραφείο 5	Γραφείο 6	Γραφείο 6	Wc Γυναϊκών	Wc Ανδρών	Γραφείο 10	Γραφείο 9	Γραφείο 8	Γραφείο 8	Κεντρικός Διαδότης	Χώρος Αναμονής	Γραφείο 7
3. t_i Θερμοκρασία χώρου	$^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4. t_u Θερμοκρασία χώρου κάτωθεν θερμαινόμενου	$^\circ\text{C}$	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
5. A_{FB} Επιφάνεια δαπέδου	m^2	17,4	14,94	8,125	8,125	10,24	6,72	15	15	7,5	7,5	18,225	7,65	15
6. Q_N Θερμικό φορτίο χωρίς απώλειες δαπέδου	W	1294,4	794,3	915,3	915,3	482,6	373,3	778	937,4	737,4	737,4	1070,7	598,6	822,2
7. Είδος δαπεδοθέρμανσης		Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι	Πλακάκι
8. $q_{FB} = \frac{Q_N}{A_{FB}}$ Πυκνότητα θερμορροής	W/m^2	74,39	53,2	112,6	112,6	47,1	55,6	51,9	62,5	98,3	98,3	58,8	78,2	54,8
9. $t_{FB} = \frac{q_{FB}}{a_{ges}} + t_i$ Μέση θερμοκρασία επιφάνειας δαπέδου	$^\circ\text{C}$	26,4	24,6	29,7	29,7	22,1	24,8	24,5	25,4	28,5	28,5	25,1	26,7	24,7
α) t_{FB} Επιλεγόμενη (τιμές σειρών 8 & 9 διαγράφονται)	$^\circ\text{C}$													
β) $q_{FB} = (t_{FB} - t_i) a_{ges}$ (διορθωμένη τιμή)	W/m^2													
γ) $Q_{Rest} = Q_N \cdot (q_{FB} \cdot A_{FB})$ (Υπολειπόμενη θερμική ισχύς)	W													
10. RA Απόσταση σωλήνων	Cm	25	25	16	16	25	25	25	25	16	16	16	16	25
11. $t_m = t_{umH,FB} + t_i$ Μέση θερμοκρασία νερού	$^\circ\text{C}$	37	34	39	39	33	33	32	34,5	38,5	38,5	32,7	35	32,5
12. $q_{DE} = t_{DE,1} \cdot K_u$ Πυκνότητα θερμορροής προς τα κάτω	W/m^2	5,72	4,16	6,76	6,76	5,46	3,9	7	8,5	6,76	6,76	6,5	6,5	5,62
13. $Q_{ges} = A_{FB} \cdot (q_{FB} + q_{DE})$ Συνολική ισχύς δαπέδου	W	1393,9	857	969,8	969,8	471,1	399,8	883,5	1065	788	788	1190	648	906,3
14. $\Delta t = 2 \cdot (t_v - t_m)$ Θερμοκρασιακή πτώση	K	11	18	7	7	19	19	21	16	10	10	19,6	15	20
15. $G_h = \frac{Q_{ges}}{\Delta t \cdot 1,63}$ Συνολική παροχή νερού	Kg/h	108,9	40,9	119,1	119,1	21,3	18,1	36,2	57,2	67,76	67,76	52,2	37,1	39
16. R Αντίσταση ροής από τριβές για σωλήνα	mbar/m	1,15	0,21	1,2	1,2	0,06	0,06	0,17	0,4	0,52	0,52	0,3	0,18	0,16
17. $L_{HK} = \frac{100}{R \cdot A_{FB}}$ Μήκος σωλήνα στο κύκλωμα	m	69,6	59,8	50,8	50,8	64	42	60	60	46,9	46,9	72,9	47,8	60
18. L_Z Μήκος σωλήνα προσαγωγής και επιστροφής προς το κύκλωμα	m	15	16	22	22	18	13	9	9	12	25	15	10	9
19. $L_{ges} = L_{HK} \cdot L_Z$ Συνολικό μήκος σωλήνα	m	84,6	75,8	72,8	72,8	82	55	69	69	58,9	71,9	87,9	57,8	69
20. $\Delta p_R = R \cdot L$ Πτώση πίεσης στο σωλήνα	mbar	97,3	15,91	87,36	87,36	4,1	3,3	11,73	27,6	30,62	37,4	26,37	10,4	11,04
21. Δp_{η} Πτώση πίεσης διακοπών (προσαγωγής + επιστροφής)	mbar	4	1,2	3,6	3,6	0,8	0,7	1	1,4	1,5	1,7	1,4	1	1
22. $\Delta p = \Delta p_R \cdot \Delta p_v$ Συνολική πτώση πίεσης	mbar	101,3	17,11	90,96	90,96	4,9	4	12,73	29	32,12	39,1	17,77	11,4	11,04
23. Στραγγίδισμα	mbar	0	84,19	10,34	10,34	96,4	97,3	88,57	72,3	69,18	62,2	83,53	89,9	90,26
24. Προρύθμιση διακοπών		10	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3

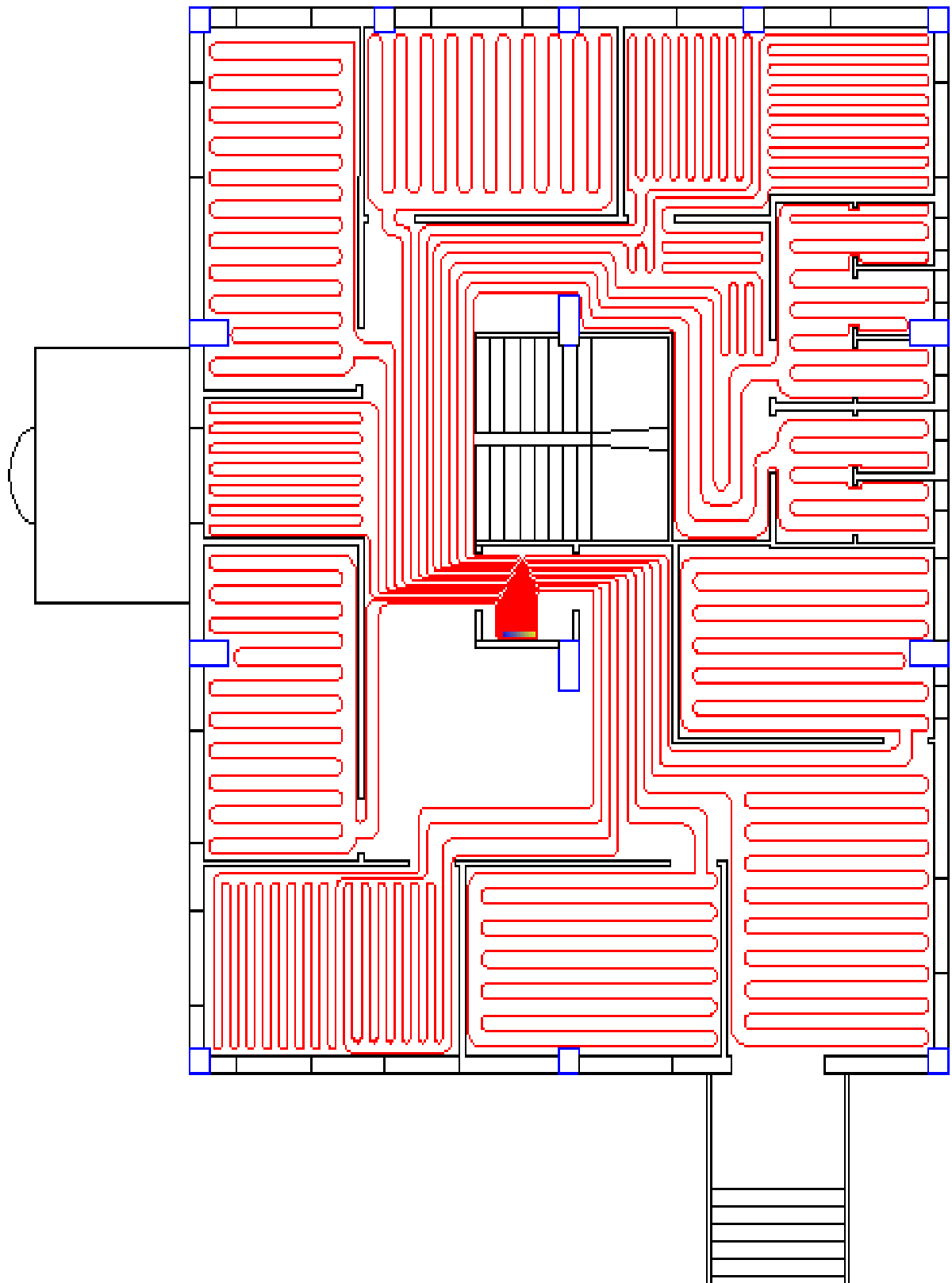
Παρατηρήσεις

Στον κεντρικό διάδρομο του πρώτου ορόφου έγιναν υπολογισμοί μόνο για ένα κύκλωμα διότι ο υπόλοιπος χώρος καλύπτεται από τους σωλήνες εισαγωγής και επιστροφής των άλλων κυκλωμάτων (όπως μπορούμε να δούμε και στα σχέδια που ακολουθούν).

3.4.6 Σχέδια ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης κτηρίου



Ισόγειο



1^{ος} όροφος

4 ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφαλαίο που ακολουθεί θα γίνει η μελέτη της γεωθερμίας για το κτήριο μας. Στα πλαίσια της μελέτης θα δοθούν κάποιες περαιτέρω πληροφορίες για τη γεωθερμική ενέργεια καθώς και για της γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Με βάση τα αποτελέσματα μας θα γίνει επιλογή της αντλίας θερμότητας του μήκους των σωλήνων και τα στρώσεις των κυκλωμάτων καθώς και το βάθος της γεώτρησης.

4.2 ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΤΗΣ ΓΗΣ

Η προέλευση της θερμότητας της γης δεν είναι γνωστή με ακρίβεια. Υπάρχουν βέβαια διάφορες θεωρίες, που αναφέρονται στους μηχανισμούς οι οποίοι συμμετέχουν στην παραγωγή της. Οι κυριότεροι μηχανισμοί είναι δύο:

1. Η διάσπαση ορισμένων ραδιενεργών ορυκτών της γης, τα οποία περιέχουν ραδιενεργά ισότοπα με μεγάλο χρόνο ημιζωής, όπως ^{238}U και ^{235}U , ^{232}Th και ^{40}K . Ο χρόνος ημιζωής των ισοτόπων αυτών η συγκέντρωσή τους στα πετρώματα του μανδύα και το δυναμικό παραγωγής θερμότητας από αυτά δίνονται στον πίνακα 4.1 (Turcotte και Schubert, 1982). Ο μηχανισμός της διάσπασης των ραδιενεργών ισοτόπων είναι πιθανόν ο σημαντικότερος μηχανισμός παραγωγής θερμικής ενέργειας (Muffler, 1993).
2. Η θερμότητα της γης προέρχεται από τις διεργασίες που οδήγησαν στη δημιουργία της, δηλαδή έχει αστρική προέλευση. Το εσωτερικό της γης ήταν πάντα θερμό, και μάλιστα πολύ θερμότερο στην αρχική του κατάσταση, και δεν πρόλαβε να κρυώσει ακόμη. Μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν η μοναδική σχεδόν πηγή θερμότητας της γης.

Ραδιοϊσότοπο	Χρόνος ημιζωής, 10^9 έτη	Συγκέντρωση, $\text{Kg/kg } 10^9$	Δυναμικό παραγόμενης θερμότητας, $\text{W/kg } \times 10^{-5}$
^{238}U	4,47	25,5	9,37
^{235}U	0,185	0,185	56,9
^{232}Th	103	103	2,69
^{40}K	32,9	32,9	2,79

Πινάκας 4.1: Χαρακτηριστικά των ραδιοϊσοτόπων που συνεισφέρουν στην παραγωγή θερμότητας της γης.

Άλλοι μηχανισμοί που θεωρούνται ότι συνεισφέρουν (σε πολύ μικρότερο βαθμό) στη θερμότητα της γης είναι η ενέργεια λόγω της βαρύτητας (δηλαδή η απελευθέρωση της βαρυτικής ενέργειας από τις αλλαγές στην κατανομή της πυκνότητας με-

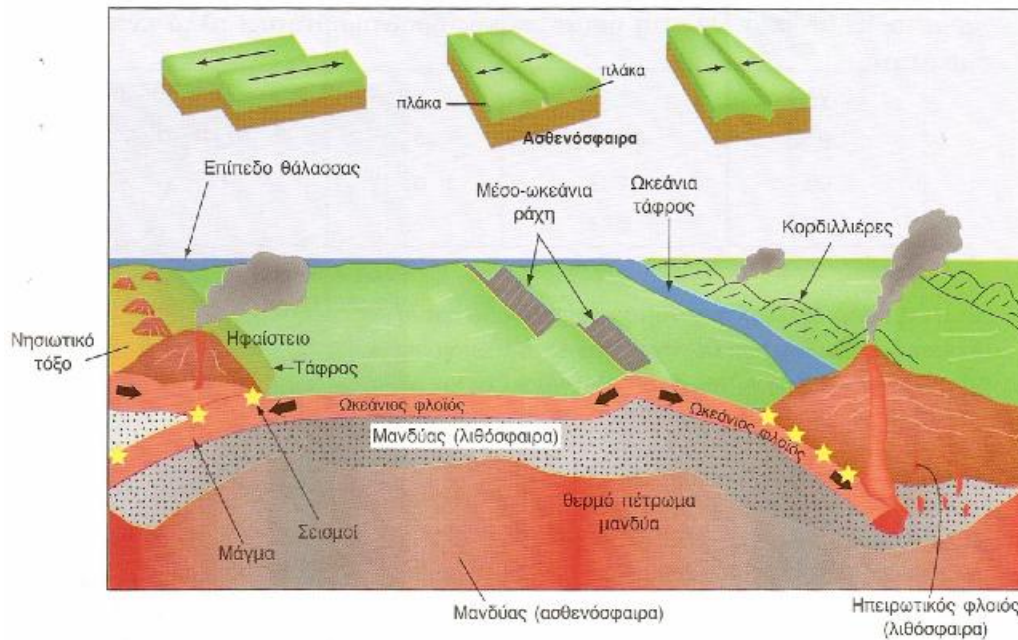
σα στη γη) και οι απώλειες κινητικής ενέργειας από τις παλίρροιες (Verhoogen, 1980).

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν απώλειες θερμότητας (ροή θερμότητας) από την επιφάνεια της γης προς την ατμόσφαιρα, ένα φαινόμενο γενικευμένο, συνεχές και σταθερό σε κάθε σημείο. Οι απώλειες αυτές γίνονται με αργό ρυθμό ανά μονάδα επιφάνειας της γης, εξαιτίας της πολύ χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας των πετρωμάτων του στερεού φλοιού. Βεβαίως, η συνολική ροή θερμότητας στην επιφάνεια της γης δε γίνεται μόνο μέσω της αγωγής θερμότητας (ή και της συναγωγής θερμότητας σε μικρότερο βαθμό), αλλά υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί, με μικρότερη όμως συνεισφορά. Οι μηχανισμοί αυτοί είναι η θερμότητα που απελευθερώνεται από τα ηφαίστεια (μέσω της έκρηξης των ηφαιστειακών προϊόντων), η ενέργεια παραμόρφωσης λόγω των σεισμών, η θερμότητα που καταναλώνεται για τη μεταμόρφωση των πετρωμάτων και η δυναμική ενέργεια λόγω βαρύτητας (ανύψωση οροσειράς). Προσεγγιστικές εκτιμήσεις για τις απώλειες αυτές θερμότητας από τη γη παρουσιάζονται στον πίνακα 4.2.

Μηχανισμός απώλειας θερμότητας	Ενέργεια (W)
Επιφανειακή ροή θερμότητας	$3-4 \times 10^{13}$
Θερμότητα από ηφαίστεια	$\sim 8 \times 10^{11}$
Ενέργεια παραμόρφωσης - σεισμοί	$3-10 \times 10^{11}$
Θερμότητα από μεταμόρφωση	8×10^{11}
Δυναμική ενέργεια	7×10^9

Πίνακας 4.2: Μηχανισμοί απωλειών θερμότητας από τη γη (Verhoogen 1980).

Η θερμότητα που περιέχεται μόνο στο φλοιό της γης θεωρείται ότι είναι τεράστια, της τάξης των $5,4 \times 10^{21}$ MJ (Armstead 1983). Ο White (1965) υπολόγισε ότι η ολική ποσότητα θερμότητας που περιέχεται στα πρώτα 10 km της γης (βάθος που αποτελεί συνήθως το όριο των ερευνητικών γεωτρήσεων, αν και η βαθύτερη γεώτρηση που έχει γίνει προσέγγισε τα 12 km) είναι περίπου $1,25 \times 10^{27}$ J, ποσό που είναι 2000 φορές μεγαλύτερο από τη συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας, την οποία θα μπορούσαν να προσφέρουν όλα μαζί τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων της γης. Θα πρέπει βέβαια αμέσως να διευκρινιστεί, ότι μια τέτοια τεράστια ποσότητα ενέργειας δεν είναι εκμεταλλεύσιμη παρά μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό, γιατί δυστυχώς δε βρίσκεται συγκεντρωμένη, αλλά είναι διάχυτη. Κάτι αντίστοιχο βεβαίως συμβαίνει και με την ηλιακή ενέργεια, η οποία είναι τεράστια στο σύνολό της, αλλά ασυνεχής και με μικρή θερμική πυκνότητα.



Σχήμα 4.1: Μορφές μετατοπίσεις λιθосφαιρών πλακών

Οι γνώσεις μας για το εσωτερικό της γης είναι κυρίως έμμεσες και προέρχονται, τόσο από τη γενική μελέτη του ηλιακού συστήματος όσο και από ειδικές γεωεπιστημονικές μετρήσεις και θεωρήσεις, όπως γεωλογικές μελέτες, γεωχημικές αναλύσεις, γεωφυσικές μετρήσεις και ερμηνείες. Οι γεωλογικοί χάρτες, που περιλαμβάνουν και δισδιάστατες τομές, δίνουν πληροφορίες για τη γεωλογική δομή μέχρι και μερικά μόλις χιλιόμετρα βάθους (Σχήμα 4.1). Οι γεωτρήσεις από την άλλη μεριά φθάνουν το πολύ σε ορισμένα χιλιόμετρα βάθους. Με τις γεωτρήσεις έχουμε άμεσες πληροφορίες, οι οποίες όμως αφορούν μόνο στο σημείο της διάτρησης. Έτσι, γνωρίζουμε άμεσα για την κατάσταση στο εσωτερικό της γης μόνο σε ελάχιστα σημεία και περιορισμένο βάθος, εκεί όπου γίνεται επιστημονική έρευνα ή έρευνα για την αναζήτηση υδρογονανθράκων και σε βάθος λίγων χιλιομέτρων.

4.2.1 Μετάδοση της θερμότητας της γης και τρόποι μετρήσεις

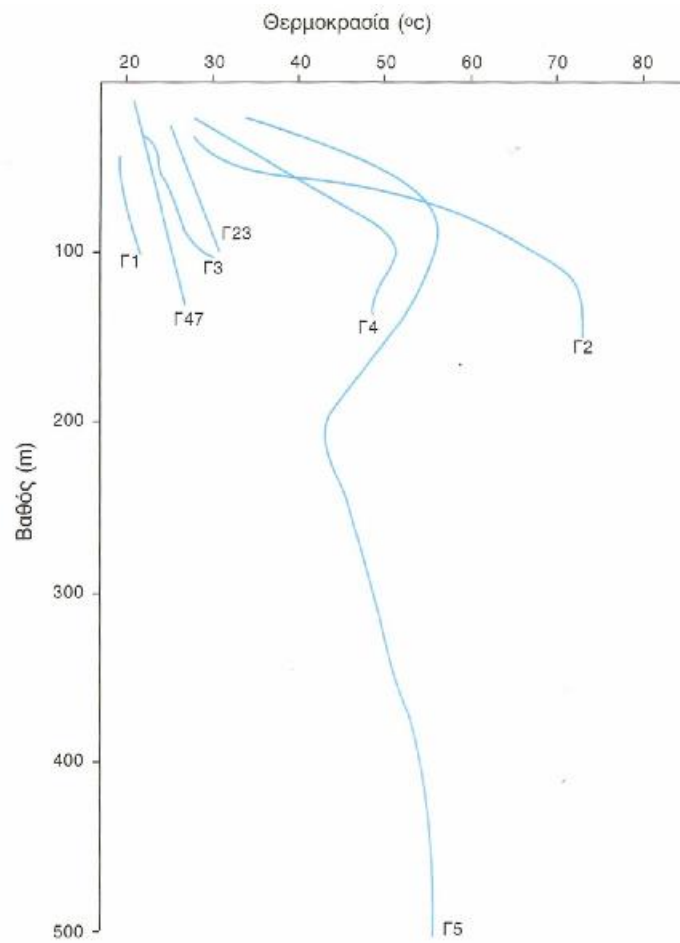
Είναι γνωστός σε όλους ο βασικός φυσικός νόμος, που αναγκάζει τη θερμότητα να μεταδίδεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σημείο. Αυτό προκαλεί μια συνεχή ροή θερμότητας από τα πολύ θερμά εσωτερικά σημεία της γης προς τα κρύα επιφανειακά σημεία και εν συνεχεία προς την ακόμα ψυχρότερη ατμόσφαιρα. Έτσι, από τον πυρήνα (που υπολογίζεται ότι έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 4000 °C) μέχρι την επιφάνεια της γης (που έχει μέση ετήσια θερμοκρασία από μερικές μονάδες έως λίγες δεκάδες °C) και την ατμόσφαιρα (η θερμοκρασία της οποίας στην τροπόσφαιρα μειώνεται με το ύψος με ρυθμό περίπου 6°C/km), δημιουργείται φυσιολογικά μία συνεχής ροή θερμότητας. Αυτή η ροή μεταφέρει θερμική ενέργεια από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια της γης, φαινόμενο χρήσιμο για τον άνθρωπο, ο οποίος έχει περιορισμένες επιλογές για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές του ανάγκες.

Ως γνωστών, ο άνθρωπος αρχικά χρησιμοποίησε τα ξύλα για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, και τα οικιακά ζώα και τους δούλους για να μετακινηθεί και να παράγει χρήσιμο έργο. Η βιομηχανική ανάπτυξη έγινε δυνατή μόνο χάρη στην άφθονη

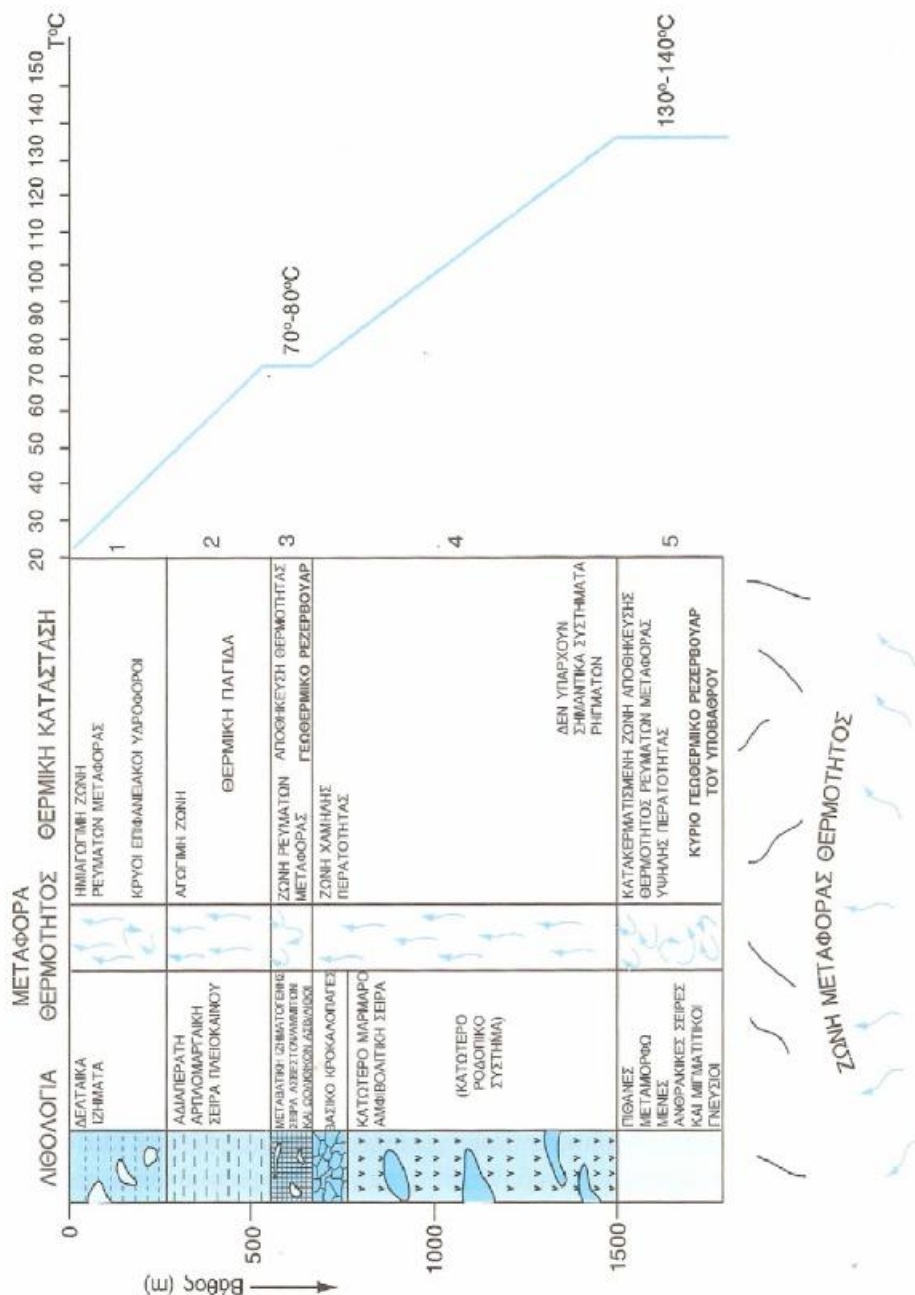
χρήση των ορυκτών καυσίμων, αρχικά των στερεών και αργότερα των υγρών και των αέριων καυσίμων. Σήμερα, δύο σοβαρά προβλήματα συνδέονται με τη χρήση των ορυκτών καυσίμων η εξαντλησιμότητα τους (για παράδειγμα, τα σημερινά αποθέματα του πετρελαίου επαρκούν μόνο για 40 χρόνια, αν χρησιμοποιηθούν με τον τωρινό ρυθμό κατανάλωσης) και η ρύπανση του περιβάλλοντος, με προεξάρχον θέμα την υπερθέρμανση του πλανήτη μας (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Ως μοναδική σχεδόν λύση στα ενεργειακά προβλήματα του ανθρώπου προβάλλει η μερική, τουλάχιστον, υποκατάσταση των ορυκτών καυσίμων από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η θερμότητα του εσωτερικού της γης θα μπορούσε να βοηθήσει προς αυτήν την κατεύθυνση, αν και δεν μπορεί να λύσει από μόνη της όλα τα ενεργειακά προβλήματα και τις απαιτήσεις του ανθρώπου.

Η ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης, εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από τη γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί το γινόμενο τους. Η μέτρηση της ροής θερμότητας αναφέρεται είτε με τις λεγόμενες μονάδες θερμικής ροής (Heat Flow Units, HFU = 1 μcal/cm²s) είτε, προτιμότερα, με τις μονάδες mW/m² (1 HFU = 41,84 mW/m²)

Για τον προσδιορισμό της θερμικής ροής χρειάζεται να μετρηθούν και οι δύο αυτές παράμετροι, σε συνθήκες όσο το δυνατόν ανεπηρέαστες από άλλους παράγοντες. Είναι ευνόητο ότι στον πυθμένα των ωκεανών οι μετρήσεις αυτές μπορούν να γίνουν σχετικά εύκολα και με ακρίβεια, επειδή εκεί υπάρχουν συνήθως χαλαρά ιζήματα με μορφή λάσπης, η οποία δεν έχει ακόμη στερεοποιηθεί, ώστε να εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας μέσω του θαλασσινού νερού με το οποίο έχει εμποτιστεί. Πράγματι, η αγωγιμότητα του μέσου αυτού μπορεί να μετρηθεί εύκολα και η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στο νερό που εμποτίζει τα ιζήματα (όπου η θερμοκρασία μετριέται απλά με την εισαγωγή ενός θερμομέτρου μέσα στα ανώτερα σημεία του πυθμένα) και του νερού του ωκεάνιου πυθμένα (η οποία είναι σταθερή στους 4 °C) προσδιορίζεται με ακρίβεια. Έτσι, έχουμε αξιόπιστες τιμές θερμικής ροής στο σημείο που μετράμε. Αντίθετα, στις ηπειρωτικές περιοχές οι μετρήσεις γίνονται υποχρεωτικά σε γεωτρήσεις, στις οποίες όμως η κυκλοφορία νερού μέσα στα πετρώματα και τους σχηματισμούς που διατρήθηκαν, αλλοιώνει συνήθως τις θερμοκρασίες με συνέπεια τη λήψη εσφαλμένων τιμών της βαθμίδας της γεώτρησης και επομένως της θερμικής ροής. Η θερμοκρασία στους υδροφόρους παραμένει σχεδόν σταθερή εξαιτίας των μεταφορικών ρευμάτων συναγωγής, όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο Σχήμα 4.3 που αναφέρεται στο γεωθερμικό πεδίο Δέλτα Νέστου. Επιπλέον, δε λείπουν και οι περιπτώσεις προσωρινής αναστροφής της βαθμίδας λόγω ύπαρξης μεγάλων ρηγμάτων με έντονη κυκλοφορία νερών κοντά στη γεώτρηση. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα παρατηρήθηκε στο γεωθερμικό Πεδίο Σουσακίου Κορινθίας (Σχήμα 4.2).



Σχημα 4.2: Διαγράμματα γεωθερμικών βαθμίδων από επτά γεωτρήσεις του πεδίου Σουσακίου Κορινθίας (Φυτίκας και Καβουρίδης, 1985).



Σχήμα 4.3: Η γεωθερμική βαθμίδα στο πεδίο Δέλτα Νέστου. Διακρίνεται επίσης η λιθολογία της γεώτρησης και ο τρόπος μεταφοράς θερμότητας.

Εξάλλου, και η θερμική αγωγιμότητα των διερρηγμένων πετρωμάτων συνήθως δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια, επειδή αυτά δε διακρίνονται από ομοιογένεια σε όλο το μήκος της γεώτρησης και επειδή ορισμένα χαρακτηριστικά μεταβάλλονται, μέχρι να μεταφερθούν στο εργαστήριο. Θα ήταν περισσότερο αξιόπιστες οι μετρήσεις που εκτελούνται μέσα στις βαθιές γεωτρήσεις για έρευνα υδρογονανθράκων, όμως οι γεωτρήσεις αυτές, για τεχνικούς και οικονομικούς λόγους, όταν δεν είναι παραγωγικές ή εκμεταλλεύσιμες, φράζονται λίγες ώρες μετά το τέλος διάτρησης. Η γεωθερμική βαθμίδα στο μεταξύ έχει αλλοιωθεί κατά τη διάτρηση από τη λάσπη κυκλο-

φορίας, η οποία ψύχει τα τοιχώματα, και από την τριβή του κοπτικού άκρου, η οποία θερμαίνει τα πετρώματα. Χρειάζεται, σε κάθε περίπτωση εκτέλεσης μετρήσεων μέσα σε γεωτρήσεις, να διατεθεί αρκετός χρόνος (π.χ. μερικές ημέρες από το τέλος των εργασιών) για να επέλθει η θερμική ισορροπία στα τοιχώματα και τα πετρώματα της κάθε γεώτρησης. Οι ρηχότερες γεωτρήσεις, οι οποίες πολλές φορές μπορεί να ανορυχτούν μόνο και μόνο για τον προσδιορισμό της βαθμίδας και της ροής, έχουν συνήθως το μειονέκτημα του μικρού βάθους και κυρίως της ύπαρξης κυκλοφορίας επιφανειακών νερών στον(ους) υδροφόρο(ους) ορίζοντα(ες), η οποία υποβιβάζει την πραγματική τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας.

Εάν θεωρηθεί ότι η παγκόσμια μέση ροή θερμότητας είναι 80 mW/m^2 (όπως αναφέρεται πιο κάτω), τότε η συνολική ροή θερμότητας που φθάνει στην επιφάνεια της γης ($\sim 5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2$) υπερβαίνει τα $4 \times 10^{13} \text{ W}$, ποσό μεγαλύτερο περίπου κατά τέσσερις φορές από τα σημερινά επίπεδα της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, θερμότητα από τη γη χάνεται και με άλλους μηχανισμούς, η συνεισφορά τους όμως στις συνολικές απώλειες είναι μικρή. Σημειώνεται όμως ότι ο ρυθμός ψύξης της γης είναι πολύ μικρός, αφού υπολογίζεται ότι ο μανδύας κρύωσε κατά $300\text{-}350 \text{ }^\circ\text{C}$ στα τελευταία 3 δισεκατομμύρια χρόνια. Από θεωρητικούς υπολογισμούς που έγιναν από τους Stacey and Loper (1988), εκτιμήθηκε ότι η συνολική ροή θερμότητας από το εσωτερικό της γης προς τα έξω και με τους τρεις μηχανισμούς μετάδοσης της θερμότητας (αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία) ανέρχεται σε $4,2 \times 10^{13} \text{ W}$. Από αυτή την ποσότητα ροής θερμότητας, τα $8 \times 10^{12} \text{ W}$ προέρχονται από το φλοιό (ο οποίος παρά το μικρό του πάχος είναι σχετικά πλούσιος σε ραδιενεργά ισότοπα), τα $32,3 \times 10^{12} \text{ W}$ από το μανδύα και τα $1,7 \times 10^{12} \text{ W}$ από τον πυρήνα, ο οποίος δεν περιέχει ραδιενεργά ισότοπα.

4.2.2 Ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες

Στη δημιουργία ευνοϊκών συνθηκών για τη γεωθερμία συντελούν ορισμένα γεωδυναμικά και άλλα γεωλογικά-τεκτονικά φαινόμενα, έτσι ώστε να διευκολύνεται η ροή θερμότητας προς την επιφάνεια και να συσσωρεύεται με τη μορφή εγκλωβισμένων θερμών ρευστών κοντά σ' αυτήν, σε σημεία δηλαδή που μπορούμε πρακτικά να προσεγγίσουμε. Έτσι, πιο εύκολα και πιο οικονομικά φτάνουμε εκεί με γεωτρήσεις και φέρνουμε τα θερμά ρευστά στην επιφάνεια της γης προς εκμετάλλευση. Χρειαζόμαστε λοιπόν θετικές ανωμαλίες θερμότητας, σε συνδυασμό με άλλα ευνοϊκά γεωλογικά στοιχεία.

Η φυσική συναγωγή (ανερχόμενα ρεύματα κίνησης λόγω διαφοράς θερμοκρασίας) του θερμού «πλαστικού» υλικού στο εσωτερικό της ασθενόσφαιρας δημιουργεί εκτατικές κινήσεις της λιθόσφαιρας, η οποία λεπταίνει και τεμαχίζεται, ενώ ο μανδύας ανέρχεται για να συμπληρώσει το κενό και οι ισόθερμες καμπύλες ανεβαίνουν και αυτές συγχρόνως, με αποτέλεσμα να επικρατούν για παράδειγμα σε βάθος 5 km θερμοκρασίες μέχρι και $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ (αντί των κανονικών $150 \text{ }^\circ\text{C}$). Η συνακόλουθη πτώση πίεσης στο μανδύα προκαλεί το φαινόμενο της μερικής τήξης και δημιουργεί τα βασαλτικά μάγματα. Το φαινόμενο συνεχίζεται κατά μήκος ενός σχεδόν κατακόρυφου επιπέδου, το οποίο στην επιφάνεια εμφανίζεται με τη μορφή ευθείας γραμμής (στο όριο μεταξύ των πλακών που απομακρύνονται μεταξύ τους) και δημιουργείται νέος βασαλτικός φλοιός στην αξονική ζώνη, η οποία καλείται ζώνη μεγέθυνσης ή επέκτασης ή μεσο-ωκεάνια ράχη. Αυτό το φαινόμενο ανακαλύφθηκε σχετικά πρόσφατα, παρόλο ότι ήταν γνωστά τα αποτελέσματα της κίνησης του φλοιού από την καταπ-

ληκτική αντιστοιχία π.χ. των ατλαντικών ακτών μεταξύ της αμερικανικής και της ευρωπαϊκής-αφρικανικής ηπείρου.

Οι περιοχές αυτές (π.χ. η μεσο-ατλαντική ράχη) δε βρίσκονται ευτυχώς πάντα κάτω από τον ωκεανό, αφού υπάρχουν και μερικές περιοχές-ζώνες εκτός ωκεανών, όπως η Ισλανδική νήσος και η περιοχή του Afar στην Ανατολική Αφρική, όπου είναι δυνατή η άμεση παρατήρηση των τεκτονικών, σεισμικών και ηφαιστειακών-μαγματικών φαινομένων, αλλά και η αξιοποίηση των έντονων υδροθερμικών διεργασιών - φαινομένων, τα οποία χαρακτηρίζουν αυτές τις περιοχές. Τεράστιες ποσότητες γεωθερμικής ενέργειας απελευθερώνονται σε αυτές τις ζώνες, όπου η θερμική ροή φτάνει μέχρι και 1000 mW/m^2 (Varet, 1982). Βέβαια, υπάρχουν τοπικά, ακόμα πιο εντυπωσιακές εκκλύσεις ενέργειας, όπως π.χ. η συνεχής συγκέντρωση λιωμένου πετρώματος στη λίμνη λάβας του Erta Ale (Αφάρ, Αιθιοπία) από τους ιστορικούς χρόνους και σήμερα.

Από την καταβύθιση μιας ψυχρής λιθοσφαιρικής πλάκας μέσα στη ζεστή ασθενόσφαιρα (περίπτωση σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών), δημιουργούνται συνθήκες θερμικά θετικές πάνω από τα βαθύτερα τμήματα της βυθιζόμενης πλάκας. Η πλάκα αυτή κατεβαίνει με κλίση $30-35^\circ$ και σχηματίζει το επίπεδο του Benioff. Πάνω από τις περιοχές που βρίσκονται σε οριζόντια απόσταση 150-200 km από το όριο-τάφρο, δημιουργούνται διάφορα ηφαιστειακά ανδεσιπικού τύπου. Η ενυδατωμένη λιθόσφαιρα υποβιβάζει το σημείο τήξης και λιώνει εν μέρει το γήινο μανδύα ή το κατερχόμενο υλικό του φλοιού. Το λιωμένο πέτρωμα ανεβαίνει προς τα πάνω, αλλά δε δημιουργεί πάντοτε ηφαιστειακά, επειδή τις περισσότερες φορές δε φτάνει στην επιφάνεια της γης, αλλά σχηματίζει υπόγειες πλουτώνιες διεισδύσεις, γρανιτο-διοριτικής σύστασης. Σε λιγότερο πιθανές περιπτώσεις καταλήγει στην επιφάνεια της γης και δημιουργεί ηφαιστειακά οικοδομήματα. Οι περιοχές αυτού του τύπου φτιάχνουν τα λεγόμενα ηφαιστειακά νησιωτικά τόξα ή τις κορδιλιέρες, όπου μεταφέρονται μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας προς την αντίστοιχη επιφανειακή περιοχή της γης. Πίσω από τη ζώνη τους, δηλαδή στις οπισθότοξες περιοχές, δημιουργούνται τεκτονικές συνθήκες εφελκυσμού και μεγάλων κανονικών ρηγμάτων, που επιτρέπουν με τη σειρά τους την άνοδο του λιωμένου πετρώματος (σπανιότερα) και συνηθέστερα τη μεταφορά προς τα πάνω μεγάλων ποσοτήτων θερμών ρευστών διαλυμάτων, τα οποία δημιουργούνται στο περιβάλλον της λιθόσφαιρας αυτού του είδους.

Η καταβύθιση μπορεί να γίνει είτε με μία ωκεάνια λιθοσφαιρική πλάκα κάτω από άλλη ωκεάνια, οπότε δημιουργούνται τα γνωστά «ηφαιστειακά νησιωτικά τόξα» (π.χ. τόξα Ιαπωνίας, Φιλιππίνων κτλ.), είτε κάτω από μια ηπειρωτική πλάκα, οπότε δημιουργούνται οι ηπειρωτικές ηφαιστειακές οροσειρές (π.χ. κορδιλιέρα των Άνδεων). Η περι-ειρηνική ζώνη πυρός παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ηφαιστειακή δραστηριότητα της γης, με τα περισσότερα ενεργά ή πρόσφατης εποχής ηφαιστειακά και μεγάλη θερμική ροή.

Όταν μια ηπειρωτική λιθοσφαιρική πλάκα συγκρούεται με μια άλλη ηπειρωτική (π.χ. Άλπεις), τότε αρκετά πίσω από τη σύγκρουση έχουμε εφελκυστική τεκτονική και δημιουργία συνθηκών μαγματισμού (λιώσιμο πετρώματος) στο γήινο φλοιό ή συνηθέστερα διευκόλυνση ανόδου βαθιών και θερμών ρευστών, τα οποία επίσης δημιουργούν θετικές θερμικές ανωμαλίες. Στο μαγματισμό αυτού του τύπου οφείλονται πιθανώς τα πολύ εντυπωσιακά γεωθερμικά πεδία της Κεντρικής Ιταλίας και του Θιβέτ.

Μια άλλη περίπτωση, μαγματισμού είναι εκείνη που δημιουργείται από οριζόντια μετατόπιση πλακών, με μεγάλα και βαθιά ρήγματα μετασχηματισμού. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο μάγματα αλκαλικού τύπου, και κυρίως έντονα τεκτονικά φαινόμενα, που δημιουργούν εκλέπτυνση του φλοιού, άνοδο της ασθενόσφαιρας και διευκό-

λυνση της κυκλοφορίας θερμών υπόγειων ρευστών (π.χ. Τουρκία, Καλιφόρνια, Βενεζουέλα).

Μία τελευταία περίπτωση που δημιουργεί ιδιαίτερα ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες, είναι η περίπτωση του μαγματισμού στο εσωτερικό των πλακών ηπειρωτικού ή ωκεάνιου τύπου, ο οποίος ονομάζεται μαγματισμός «θερμών κηλίδων» (hot spots) ή «θερμών διογκώσεων» (swellings). Τα ηφαίστεια σχηματίζουν συνήθως μια ευθεία γραμμή και δημιουργούνται στο βυθό των ωκεανών και σε ηπειρωτικό περιβάλλον, αντίστοιχα, πάντα όμως στο εσωτερικό των λιθοσφαιρικών πλακών και όχι κοντά στα όριά τους. Τα ευθυγραμμισμένα αυτά ηφαίστεια, όπως π.χ. τα ηφαίστεια των νησιών Hawaii, ή της περιοχής Jos της Νιγηρίας στο Κέντρο της Αφρικής, σχηματίζονται σε περιοχές όπου δεν υπάρχουν ρήγματα ή διαρρήξεις και παρουσιάζουν το φαινόμενο της προοδευτικής αλλαγής της ηλικίας τους από το ένα άκρο στο άλλο, και πάντα σε κατεύθυνση αντίθετη προς την κίνηση της λιθοσφαιρικής πλάκας.

Η εξήγηση που δόθηκε στο φαινόμενο των υπο-ωκεάνιων ηφαιστειών στο εσωτερικό των πλακών είναι ότι, σε μεγάλο βάθος του μανδύα αναπτύσσονται σταθερές μεταφορικές κινήσεις του, οι οποίες πιθανώς δημιουργούν μερικά σταθερά «θερμά» σημεία (κηλίδες). Όταν ένα εσωτερικό τμήμα μιας λιθοσφαιρικής πλάκας μετατοπιζόμενο περνά πάνω από κάποιο τέτοιο σημείο, αποσπά βασαλτικό «υγρό», ασθenoσφαιρικής ίσως προέλευσης, και δημιουργεί ένα ηφαίστριο που σιγά-σιγά κατασκευάζει το οικοδόμημά του και μπορεί να αναδυθεί πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η σταδιακή μετακίνηση της πλάκας προκαλεί και το συνεχή σχηματισμό νέων ηφαιστειακών κέντρων στην ίδια περίπου ευθεία (π.χ. τα νησιά Hawaii). Τα ανάλογα σημεία στο εσωτερικό ηπειρωτικών πλακών σχηματίζουν τις λεγόμενες ειδικές «διογκώσεις» του ηπειρωτικού φλοιού, σε περιοχές τελείως σταθερές από τεκτονική άποψη (π.χ. Κεντρική Αφρική).

Εκτός από τη μεταφορά μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας δια μέσου των λιωμένων πετρωμάτων (μαγμάτων) ή μικρότερων ποσοτήτων από την άνοδο των μαγματικών αερίων και γενικά «νεαρών» μαγματικών ρευστών προς τα πάνω, μέσω των μικρών συνήθως ρωγμών που βρίσκονται στα υπερκείμενα του μαγματικού θαλάμου πετρώματα, φαίνεται ότι υπάρχουν και άλλα αίτια δημιουργίας περιοχών με θετική θερμική ανωμαλία.

Γεωδυναμικά αίτια που συνδέονται με την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργούν πολλές φορές εκλέπτυνση του φλοιού και, επομένως, θετική μεταβολή της γεωθερμικής βαθμίδας, και αυτο προφανώς επειδή έχουμε μεγάλες σχετικά θερμοκρασίες σε μικρότερα βάθη. Είναι οι περιοχές των μεγάλων ή μικρότερων τεκτονικών ηπειρωτικών βυθισμάτων, όπως είναι η ταφρο-κοιλάδα (rift valley) του Ποταμού Ρήνου, το βύθισμα της Παννονικής πεδιάδας σε Ουγγαρία-Σλοβακία-Αυστρία, πολλά τεκτονικά βυθίσματα της ανατολικής και βόρειας Ελλάδας (περιλαμβανομένης και της αντίστοιχης περιοχής του κεντρικού και βόρειου Αιγαίου). Οι θερμικές ανωμαλίες σε αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι πολύ μεγάλες, επειδή δεν έχουμε συνήθως μετακίνηση μαγματικών υλικών, αλλά διευκόλυνση ανόδου βαθύτερων ρευστών μέχρι την επιφάνεια της γης ή κοντά σε αυτήν.

Δεν είναι βέβαια μόνον οι γεωλογικές - γεωθερμικές μεταβολές σε μεγάλη κλίμακα. Υπάρχουν και μεταβολές των γεωδυναμικών συνθηκών σε μικρή κλίμακα, οι οποίες δημιουργούν τοπικές ευνοϊκές συνθήκες και υπεισέρχονται στη μεταβολή των μηχανισμών μεταφοράς της θερμότητας προς την επιφάνεια της γης και στην ποικιλία των συνθηκών θερμικής ροής.

4.2.3 Τιμές της ροής θερμότητας

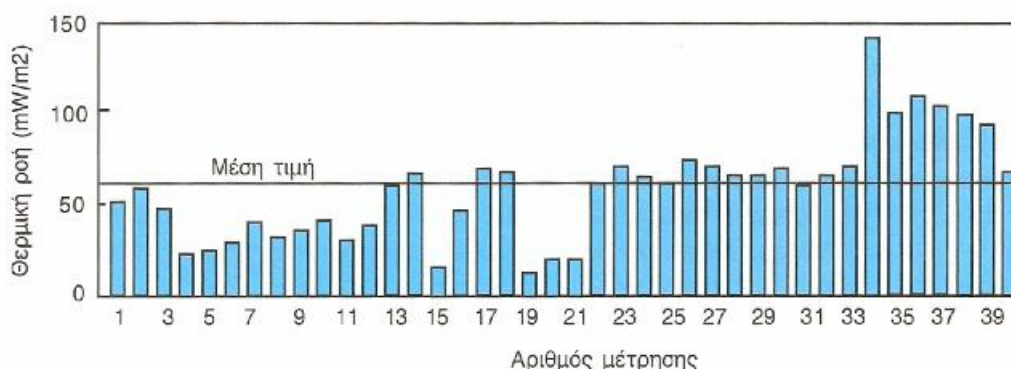
Έκτος από τα γεωδυναμικά αίτια και τη δομή της λιθόσφαιρας υπάρχουν και άλλα φαινόμενα που επηρεάζουν την κατανομή των θερμοκρασιών στο υπέδαφος και μεταβάλλουν τη ροή θερμότητας στις διάφορες περιοχές της γης. Η ηλικία των σχηματισμών παίζει σημαντικό ρόλο, αφού η θερμική ροή μειώνεται με την τεκτονική ηλικία. Έτσι, στις Προκάμβριες Ασπίδες η θερμική ροή είναι κατά μέσο όρο 41mW/m^2 , στις Ερκύνιες 62 mW/m^2 και στις Μεσοζωικές-Τριτογενείς περιοχές 74 mW/m^2 . Επίσης η φύση και η λιθολογία των πετρωμάτων του φλοιού συμβάλλει στη διαφοροποίηση της ροής θερμότητας, εξαιτίας κυρίως της μεγαλύτερης ή μικρότερης περιεκτικότητας ραδιενεργών στοιχείων. Έτσι, τα μαγματικά όξινα πετρώματα (π.χ. οι γρανίτες) έχουν αυξημένη παραγωγή θερμότητας, οι ασβεστόλιθοι μέτρια έως μικρή και οι βασάλτες ακόμα πιο μικρή. Τα πετρώματα του μανδύα είναι λιγότερο θερμό-παραγόνα σε σχέση με τα πετρώματα του φλοιού.

Από συστηματικές μετρήσεις, τους προσδιορισμούς και τη συγκέντρωση-σύνθεση δεδομένων που έγιναν κατά καιρούς από διάφορους ερευνητές και, παρ' όλες τις δυσκολίες και αδυναμίες που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, προέκυψαν κάποια στατιστικά στοιχεία, που δίνουν την εικόνα των μέσων τιμών θερμικής ροής της γης σε διάφορα γεωλογικά περιβάλλοντα. Από τις πρώτες συνθέσεις και αποτιμήσεις δεδομένων που έγιναν από τους Lee και Uyeda (1965) και παρουσιάζονται στον πίνακα , προκύπτει ότι η ροή θερμότητας έχει μέση τιμή 60 mW/m^2 , τόσο στον ηπειρωτικό όσο και στον ωκεάνιο φλοιό. Υπάρχουν βεβαίως εκτιμήσεις και άλλων ερευνητών, οι οποίες όμως και αυτές δίνουν τη ροή θερμότητας στον ηπειρωτικό φλοιό να κυμαίνεται από 55 mW/m^2 μέχρι 65 mW/m^2 . Μία από τις πλέον πρόσφατες συνιθέσεις δεδομένων έγινε από τους Pollack et al. (1993), όπου εκτιμάται ότι η θερμική ροή στον ηπειρωτικό φλοιό είναι $65\pm 1,6\text{ mW/m}^2$. Οι ίδιοι ερευνητές εκτίμησαν ότι η θερμική ροή στην ωκεάνια λιθόσφαιρα είναι $101\pm 2,2\text{ mW/m}^2$ ενώ άλλοι ερευνητές την τοποθετούν στα 80 mW/m^2 . Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα μέσω του διαδικτύου. Ο αριθμός των καταχωρισμένων μετρήσεων, οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις μετρήσεων θερμικής ροής σε διάφορες ηπείρους και χώρες παρουσιάζονται στον πίνακα. Οι περισσότερες μετρήσεις έχουν γίνει στη Βόρεια Αμερική, στη Δυτική Ευρώπη και στην πρώτη Σοβιετική Ένωση.

Περιοχή	Αριθμός μετρήσεων	Μέση θερμική ροή (mW/m ²)	Τυπική απόκλιση (mW/m ²)
Αφρική	612	61	30
Ασία	3144	63	33
Αυστραλία	58	68	26
Ευρώπη	3993	62	24
Β. Αμερική	4290	77	41
Ν. Αμερική	178	65	30
Πρώην Σοβιετική Ένωση	3532	52	20
Ελλάδα	40	58	26
Ιταλία	108	88	123
Ν. Ζηλανδία	124	86	59

Πίνακας 4.3: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις μετρήσεων θερμικής ροής σε διάφορες ηπείρους και χώρες

Στο σύνολο της Ευρώπης, η μέση θερμική ροή εκτιμήθηκε σε 62 mW/m², τιμή που βρίσκεται πολύ κοντά στην τιμή (64 mW/m²) που εκτίμησε ο Cermak (1979). Οι τιμές της θερμικής ροής βεβαίως ποικίλλουν σημαντικά από περιοχή σε περιοχή, με τις χαμηλότερες τιμές (25 mW/m²) να καταγράφονται στη Σκανδιναβία και τις υψηλότερες στη Νότια Ευρώπη, με μέγιστη τιμή 680 mW/m² στην Κεντρική Ιταλία. Οι μετρήσεις θερμικής ροής από τη χώρα μας, που βρίσκονται στη πιο πάνω βάση δεδομένων, παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Οι μετρήσεις θερμικής ροής στη χώρα μας, που βρίσκονται καταχωρημένες στο US National Geophysical Data Center.

4.2.4 Τεχνικά προβλήματα κατά την αξιοποίηση της γεωθερμίας

Η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας (ιδιαίτερα της υψηλής ενθαλπίας) στην Ελλάδα και διεθνώς συναντά ορισμένα τεχνικά προβλήματα, τα οποία θα πρέπει να λυθούν ικανοποιητικά για την οικονομική εκμετάλλευση της εναλλακτικής αυτής μορφής ενέργειας. Τα προβλήματα αυτά είναι:

- ∅ ο σχηματισμός επικαθίσεων (ή όπως συχνά λέγεται οι καθαλατώσεις ή αποθέσεις) σε κάθε σχεδόν επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το γεωθερμικό ρευστό

(π.χ. στον ταμιευτήρα, τον αγωγό της γεώτρησης, τις επιφανειακές εγκαταστάσεις)

- ∅ η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών
- ∅ η διάθεση των ρευστών μετά τη χρήση τους
- ∅ οι εκπομπές ορισμένων τοξικών αερίων, ιδίως του υδροθείου

Όλα αυτά τα προβλήματα σχετίζονται άμεσα με την ιδιάζουσα σε ορισμένες περιπτώσεις χημική σύσταση των περισσότερων γεωθερμικών ρευστών. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, τα γεωθερμικά ρευστά, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της μακράς παραμονής τους σε επαφή με διάφορα πετρώματα, περιέχουν κατά κανόνα σημαντικές ποσότητες διαλυμένων αλάτων και αερίων. Η αλλαγή των θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών των ρευστών στο στάδιο της εκμετάλλευσης μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες, τόσο για τη χημική προσβολή των μεταλλικών επιφανειών, όσο και για την απόθεση ορισμένων διαλυμένων ή αιωρούμενων στερεών και την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών.

Ο έλεγχος και η πρόληψη του σχηματισμού επικαθίσεων και της διάβρωσης έχει εξελιχθεί ιστορικά τα τελευταία 50 χρόνια, από την εμπειρία και την εκ των υστέρων αντιμετώπιση των προβλημάτων (απομάκρυνση με χημικά ή μηχανικά μέσα των επικαθίσεων, αντικατάσταση διαβρωμένων τμημάτων), στη συστηματική έρευνα για την κατανόηση των φαινομένων αυτών και την πρόληψη της εμφάνισής τους. Στην προσπάθεια ανάπτυξης τεχνικών για την αντιμετώπιση της διάβρωσης και των επικαθίσεων στις γεωθερμικές μονάδες συνέβαλε η γνώση και η εμπειρία από την αντιμετώπιση αντίστοιχων προβλημάτων στη βιομηχανία εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

4.2.4.1 Σχηματισμός επικαθίσεων

Ως σχηματισμός επικαθίσεων (fouling) ορίζεται η συσσώρευση ανεπιθύμητων υλικών στις επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με κάποιο ρευστό. Οι επικαθίσεις απαντούν σχεδόν σε κάθε βιομηχανική, οικιακή ή φυσιολογική διεργασία στην οποία υπάρχει ροή ρευστού, με ή χωρίς μεταφορά θερμότητας μέσω της επιφανείας αυτής.

Παραδείγματα επικαθίσεων αποτελούν ο γνωστός μας λεβητόλιθος (πουρί) στους θερμοσίφωνες και τις καφετιέρες, καθώς και οι επικαθίσεις στις μεμβράνες αφαλάτωσης νερού και στις σωληνώσεις εξόρυξης πετρελαίου και φυσικού αερίου.

Τα προβλήματα βεβαίως από τις επικαθίσεις δεν είναι πρόσφατα. Οι Αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι, είκοσι και πλέον αιώνες πριν, είχαν αντιμετωπίσει προβλήματα επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου στους αγωγούς και τα κανάλια μεταφοράς του πόσιμου νερού.

Ο ρυθμός σχηματισμού των επικαθίσεων εξαρτάται από πλήθος παραγόντων, όπως είναι η χημική σύσταση του νερού, οι θερμοδυναμικές αλλαγές από τη μεταβολή της πίεσης και τη διεργασία εναλλαγής θερμότητας, οι συνθήκες ροής και τα συνηθισμένα φαινόμενα της διάβρωσης των μεταλλικών επιφανειών.

Οι επικαθίσεις ελαττώνουν σημαντικά το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας βοηθούν στη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και αυξάνουν την πτώση πίεσης των ρευστών μέσα στους αγωγούς. Είναι χαρακτηριστικό ότι μια στιβάδα επικαθίσεων ανθρακικού ασβεστίου πάχους 0,25 mm σε ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας επιφέρει μείωση κατά 25% του ρυθμού μεταφοράς θερμότητας. Η αύξηση της πτώσης πίεσης δεν οφείλεται μόνο στη μείωση της διατομής των αγωγών, αλλά και στη σημαντική αύξηση της τραχύτητας των τοιχωμάτων. Στα συστήματα μεταφοράς

πόσιμου και γεωθερμικού νερού, καθώς και στην εξόρυξη πετρελαίου οι επικαθήσεις δημιουργούν συχνά αξιεπέραστα λειτουργικά προβλήματα, ακόμη απόφραξη των αγωγών, με απρόβλεπτο φυσικά κόστος.

4.2.4.2 Διάβρωση σε γεωθερμικές εγκαταστάσεις

Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών και η γήρανση πολυμερικών υλικών, τα οποία βρίσκονται σε επαφή με τα γεωθερμικά νερά, αποτελούν σημαντικό εμπόδιο στην αξιοποίηση της γεωθερμίας. Τα γεωθερμικά ρευστά περιέχουν πολλές φορές σημαντικές ποσότητες διαλυμένων ουσιών, ενώ και ορισμένα άλλα ανεπιθύμητα συστατικά μπορεί να εισαχθούν στη φάση της εκμετάλλευσης. Αρκετές από αυτές τις ουσίες προκαλούν έντονα προβλήματα διάβρωσης σε μεταλλικές επιφάνειες και έχουν αρνητική επίδραση σε σχεδόν όλα τα μη μεταλλικά υλικά. Η διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών οδηγεί σε μείωση του πάχους και της αντοχής των σωληνώσεων, σε διαρροές, στην αύξηση της τραχύτητας των επιφανειών και στη δημιουργία δυσθερμαγωγών στιβάδων από προϊόντα διάβρωσης με επιπτώσεις παρόμοιες με αυτές της δημιουργίας επικαθίσεων. Είναι αξιοσημείωτο ότι τα προβλήματα της διάβρωσης πρέπει να αντιμετωπιστούν με ικανοποιητικό τρόπο για να υπάρξει σωστή λειτουργία της γεωθερμικής μονάδας.

Τα κυριότερα συστατικά στα γεωθερμικά ρευστά που προκαλούν προβλήματα διάβρωσης είναι

- Ø Το οξυγόνο (O_2)
- Ø Τα ιόντα υδρογόνου, H^+ (ή pH)
- Ø Τα χλωριόντα (Cl^-) και τα φθοριόντα (F^-)
- Ø Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και τα ανθρακικά ιόντα
- Ø Τα θειικά ιόντα (SO_4^{2-})
- Ø Το υδρόθειο (H_2S) ή τα θειούχα ιόντα (S^{2-}, HS^-)
- Ø Η αμμωνία (NH_3) ή τα ιόντα αμμωνίου
- Ø Τα ιόντα βαρέων μετάλλων

Από τα παραπάνω συστατικά, τα αέρια (όπως το H_2S και το CO_2) απαντώνται κυρίως στον ατμό ή την αέρια φάση, ενώ αρκετές φορές συνοδεύονται και από μη αέρια συστατικά (π.χ. Cl^-, Na^+, SiO_2), τα οποία εισέρχονται στην αέρια φάση με τα συμπαρασυρόμενα σταγονίδια νερού. Σε γενικές γραμμές, μπορούμε να πούμε ότι τα διαλυμένα στερεά συστατικά προκαλούν προβλήματα διάβρωσης στο τμήμα της μονάδας από όπου διέρχεται η υγρή φάση, μετά την εκτόνωση του ρευστού, ενώ τα αέρια διαβρωτικά συστατικά επιδρούν βασικά στο τμήμα μεταφοράς του ατμού και του συμπυκνώματος, καθώς και στο στρόβιλο.

Εκτός από τα παραπάνω συστατικά, άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο της διάβρωσης είναι το υλικό των αγωγών και των συσκευών, η ταχύτητα των ρευστών, η ύπαρξη διφασικής ροής, η παρουσία αιωρούμενων στερεών στο υγρό και οι συνθήκες λειτουργίας.

Η ποσοτική πρόβλεψη της διαβρωτικής τάσης ενός γεωθερμικού ρευστού μπορεί να γίνει περισσότερο πολύπλοκη και δύσκολη από τους παρακάτω λόγους:

- Ø Διαφορετικά υλικά αντιδρούν με διαφορετικό τρόπο σε κάποιο υγρό.

- Ø Η αλληλεπίδραση δύο ή περισσότερων συστατικών μπορεί να δώσει διαφορετικά αποτελέσματα. Η αλληλεπίδραση προκαλεί συνήθως εντονότερα προβλήματα από τα προβλήματα που θα δημιουργούσε κάθε συστατικό αν υπήρχε μόνο του.
- Ø Η δημιουργία επικαθίσεων μπορεί να συνεργήσει στην όξυνση του προβλήματος της διάβρωσης (περίπτωση βιολογικών επικαθίσεων και διάβρωσης κάτω από επικαθίσεις) ή να αποτελέσει ένα προστατευτικό στρώμα που παρεμποδίζει τη διάβρωση των μεταλλικών επιφανειών (περίπτωση πυριτικών επικαθίσεων).
- Ø Η επίδραση της θερμοκρασίας στη διάβρωση που προκαλείται από κάποιο συστατικό του γεωθερμικού νερού δεν είναι τις περισσότερες φορές γνωστή.
- Ø Η σοβαρότητα του προβλήματος της διάβρωσης ενός συγκεκριμένου υλικού εξαρτάται από τον τύπο της διάβρωσης.
- Ø Η δημιουργία κρυστάλλων στη μάζα του ρευστού ή η δημιουργία επικαθίσεων συνεισφέρει σημαντικά, όπως είναι ευνόητο, στη μηχανική διάβρωση.

Ο Ellis παραθέτει ένα εμπειρικό σύστημα για την ταξινόμηση της διαβρωτικότητας των γεωθερμικών ρευστών, το οποίο λαμβάνει υπόψη του τα κυριότερα διαβρωτικά συστατικά των ρευστών. Πρωτεύοντα ρόλο στο σύστημα αυτό παίζει η συγκέντρωση των *Κύριων Διαβρωτικών Συστατικών* (Total Key Species,TKS). Η συγκέντρωση των TKS ορίζεται σε αντιστοιχία με τη συγκέντρωση του Συνόλου των Διαλυμένων Στερεών (ΣΔΑ) και υπολογίζεται με την άθροιση των συγκεντρώσεων των χλωριόντων, των θειικών, ανθρακικών, όξινων ανθρακικών, θειούχων ιόντων και των ιόντων αμμωνίου στο υγρό. Για τα περισσότερα γεωθερμικά νερά το μεγαλύτερο ποσοστό των TKS αποτελείται από χλωριόντα, όξινα ανθρακικά και ανθρακικά ιόντα.

4.3 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Γενικά, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αντλία θερμότητας είναι μία συσκευή που έχει την ικανότητα να μεταφέρει θερμότητα από ένα μέσο με χαμηλή θερμοκρασία σε ένα άλλο μέσο με υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό πραγματοποιείται με απορρόφηση θερμότητας από μια πηγή χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας (όπως είναι το υπόγειο ή το επιφανειακό νερό, ο εξωτερικός αέρας κτλ.) και τη μεταφορά της θερμότητας αυτής σε ένα θερμότερο μέσο, όπως είναι το νερό ή ο αέρας το οποίο και χρησιμοποιείται για παράδειγμα για τη θέρμανση μιας οικίας ή ενός θερμοκηπίου.

Τα βασικά εξαρτήματα μίας αντλίας θερμότητας περιλαμβάνουν το συμπιεστή, το συμπυκνωτή, τον εξατμιστή, τη βαλβίδα εκτόνωσης και βέβαια την πηγή ενέργειας. Στις περισσότερες περιπτώσεις η αντλία θερμότητας είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να αντιστρέφει την ψυκτική και θερμαντική λειτουργία, επιτρέποντας τη χρήση της ίδιας συσκευής τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση.

Στην αντλία θερμότητας, θερμότητα από το ψυχρό μέσο μεταφέρεται σε χαμηλή θερμοκρασία T_0 . Μηχανικό έργο, W_{net} , προσφέρεται για τη μεταφορά της θερμότητας σε υψηλότερη θερμοκρασία T_H . Ισχύει λοιπόν η σχέση :

$$Q_H = Q_L + W_{net}$$

Q_H : επιθυμητή έξοδος

Q_L : προσφερόμενη ενέργεια

W_{net} : μηχανικό έργο εισόδου

Η σωστή λειτουργία της αντλίας θερμότητας εκφράζεται από το συντελεστή απόδοσης ή επιτευξιμότητας (COP, confidence of performance), ο οποίος ορίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\text{COP} = \text{Επιθυμητή έξοδος} / \text{Απαιτούμενη είσοδος} = Q_H / W_{\text{net}}$$

Στις αντλίες θερμότητας ο συντελεστής COP κυμαίνεται από 1,5 μέχρι και περισσότερο από 6 και, προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του, τόσο περισσότερο οικονομική γίνεται η χρήση της αντλίας.

Η πιο συνηθισμένη πηγή ενέργειας για τις αντλίες θερμότητας είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας (συστήματα αέρα-αέρα, τα κοινά κλιματιστικά), με σοβαρό μειονέκτημα όμως ότι δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5 °C. Τα τελευταία 30 χρόνια βρίσκουν όλο και περισσότερες εφαρμογές οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν για πηγή θερμότητας το έδαφος και το νερό (υπόγειο ή επιφανειακό) και ονομάζονται γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ). Η μορφή της ενέργειας αυτής καλείται αβαθής γεωθερμία. Οι ΓΑΘ δεν παρουσιάζουν προβλήματα, ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, όπως συμβαίνει με τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα. Τα υπόγεια νερά και το έδαφος, ως πηγές θερμότητας, υπερτερούν σημαντικά σε σχέση με τον αέρα, επειδή έχουν καθ' όλη σχεδόν τη διάρκεια του έτους σταθερή θερμοκρασία. Μειονέκτημά των νερών είναι ότι η διαθεσιμότητά τους είναι συνήθως περιορισμένη.

Οι αντλίες θερμότητας γνωρίζουν πραγματική άνθηση τα τελευταία χρόνια, σημειώνοντας ετήσια αύξηση σχεδόν μεγαλύτερη του 10%. Η μεγαλύτερη ανάπτυξη των ΓΑΘ σημειώθηκε στις Η.Π.Α. και τη Δυτική Ευρώπη (Γερμανία, Ελβετία, Σουηδία) Στις Η.Π.Α. το 2003 υπήρχαν εγκατεστημένες περίπου 500.000 μονάδες ΓΑΘ με μέση δυναμικότητα 12 kW. Από αυτές τις μονάδες, ποσοστό 46% είναι κατακόρυφα κλειστά συστήματα, ποσοστό 38% οριζόντια κλειστά συστήματα και 16% ανοικτά συστήματα. Στη χώρα μας, η χρήση τους δεν είναι διαδεδομένη και μόνο περιορισμένες προσπάθειες έχουν γίνει για τη θέρμανση κτιριακών χώρων.

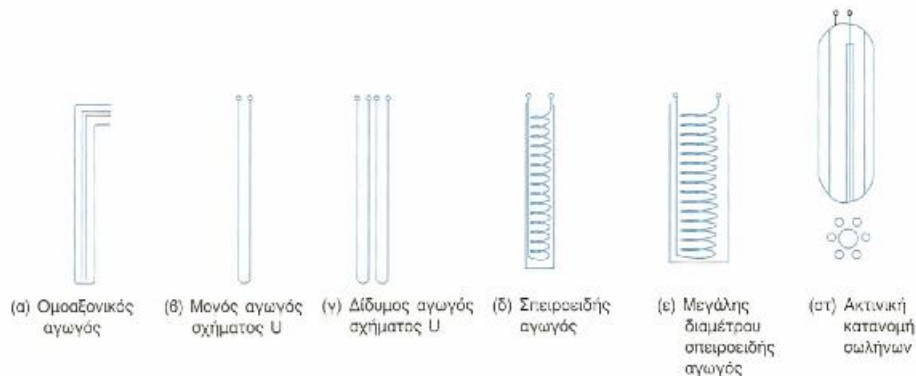
Τα κύρια σχήματα με τα οποία λειτουργούν οι ΓΑΘ, όπως έχουμε αναφέρει και στο πρώτο κεφάλαιο, είναι οι αντλίες που λειτουργούν με υπόγεια νερά, οι αντλίες που λειτουργούν με επιφανειακά νερά και οι αντλίες που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος.

Η επιλογή του ψυκτικού μέσου στις ΓΑΘ εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας της συσκευής. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου είναι :

- Ø να μην είναι τοξικό
- Ø διαβρωτικό ή εύφλεκτο υγρό
- Ø να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες εφαρμογής
- Ø να διατίθεται σε χαμηλό κόστος

Τα χαρακτηριστικά αυτά τα φέρουν ιδανικά οι χλωροφθοράνθρακες, των οποίων όμως η χρήση έχει απαγορευτεί με το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Ψυκτικά που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι το **R17a**, **R134a**, **R407c**, **R410** και διάφορα άλλα.

αγωγού (Σχήμα 4.5). Το βάθος των γεωτρήσεων ποικίλλει από 15 μέχρι και 200 m, ανάλογα με τις συνθήκες, το κόστος διάτρησης και τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου. Οι πιο πάνω παράμετροι ρυθμίζουν και τον αριθμό των γεωτρήσεων. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων είναι μικρή (2-3 m), επειδή η επίδραση της μιας γεώτρησης στην άλλη είναι ελάχιστη. Έτσι, μπορούμε να έχουμε μεγάλη πυκνωση των γεωτρήσεων και, επομένως, εξασφάλιση σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας σε μικρό χώρο. Η παροχή θερμότητας στον υπόγειο εναλλάκτη προέρχεται από διάφορες πηγές. από τη γεωθερμική ροή θερμότητας, από αγωγή σε οριζόντιο επίπεδο και από την ανοδική πορεία του υπόγειου νερού, αν υπάρχει.



Σχήμα 4.5: Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων (μέσα στη γεώτρηση) στα κατακόρυφα συστήματα

Στα οριζόντια συστήματα, οι σωληνώσεις PE τοποθετούνται οριζόντια στο έδαφος σε ορισμένο βάθος με διάφορες γεωμετρίες. Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1-2 m, ή και βαθύτερα, αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm, ή με τη μορφή της ολικής απομάκρυνσης του εδάφους. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων, ο χώρος καλύπτεται με το χώμα της εκσκαφής.

Κύριο πλεονέκτημα των οριζόντιων συστημάτων, σε σύγκριση με τα κάθετα, είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης. Σοβαρός περιορισμός είναι η ανάγκη ύπαρξης ικανού χώρου για την τοποθέτηση των υπεδάφιων σωληνώσεων, γεγονός που περιορίζει τη χρήση αυτών των συστημάτων σε εξοχικές κατοικίες. Οι κατακόρυφες γεωτρήσεις πάντως καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο (έτσι μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με πολλά κτήρια) και είναι περισσότερο αποδοτικοί, γιατί η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι περισσότερο σταθερή σε μεγαλύτερα βάθη.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος είναι:

- Ø το κλίμα
- Ø οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- Ø το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας
- Ø το κόστος ανόρυξης της γεώτρησης ή της εκσκαφής των ορυγμάτων
- Ø οι τυχόν επιδοτήσεις και κίνητρα για την εγκατάσταση μονάδων εξοικονόμησης ενέργειας.

Η αξιοσημείωτη ανάπτυξη του αριθμού των ΓΑΘ στον κόσμο και οι τεχνολογικές βελτιώσεις που έχουν γίνει τα τελευταία 20-30 χρόνια, είχαν ως αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους εγκατάστασης.

Για μεγάλα κτιριακά συγκροτήματα με μεγαλύτερες ανάγκες ψύξης χρησιμοποιείται μια ποικιλία αυτού του σχήματος, το λεγόμενο υβριδικό σύστημα. Περιλαμβάνει πύργο ψύξης και έτσι το όλο σύστημα σχεδιάζεται για να καλύψει μόνο τις ανάγκες θέρμανσης. Όταν το σύστημα λειτουργεί ως κλιματιστικό, η θερμότητα απορρίπτεται και μέσω υπεδάφιου κυκλώματος και μέσω του πύργου ψύξης. Το κυριότερο πλεονέκτημα του υβριδικού σχεδιασμού είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης, αποτέλεσμα του μικρότερου μήκους του κυκλώματος. Μειονέκτημα βέβαια είναι το ελαφρά αυξημένο λειτουργικό κόστος λόγω της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για τις αντλίες και τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης και το κόστος της επεξεργασίας του νερού.

4.3.2 ΓΑΘ που λειτουργούν με υπόγεια νερά

Στα συστήματα αυτά (που όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο καλούνται και συστήματα ανοικτού κυκλώματος), η συλλογή και η απόρριψη της θερμότητας επιτυγχάνεται με τη διέλευση υπόγειου νερού μέσω ενός εναλλάκτη. Το υπόγειο νερό μπορεί να προέρχεται από γεωτρήσεις, από πηγάδια ή και από εγκαταλειμμένα ορυχεία.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η χρήση γεωθερμικού νερού χαμηλής θερμοκρασίας (35⁰C), το οποίο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άμεσες χρήσεις, παρά μόνο σε θέρμανση εδάφους και σε υδατοκαλλιέργειες. Οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα θέρμανσης, όταν στη μονάδα του εξαμιστή εισέρχεται νερό προερχόμενο από γεωθερμική γεώτρηση. Λόγω του υψηλότερου κόστους εγκατάστασης μίας ΓΑΘ σε σχέση με τα ανταγωνιστικά συστήματα, δε συνιστάται η κάλυψη του συνολικού θερμικού φορτίου κάποιας εφαρμογής με αντλίες θερμότητας, αλλά μόνο μέρους των αναγκών (συνήθως 60 – 70 % της μέγιστης τιμής). Έτσι, το σύστημα θέρμανσης χώρων θα πρέπει να αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μεταξύ τους υποσυστήματα, το υποσύστημα με την αντλία θερμότητας και το υποσύστημα με μονάδα παραγωγής θερμικής ενέργειας με τη χρήση λέβητα πετρελαίου, φυσικού αερίου, υγραερίου ή βιομάζας. Τα δύο συστήματα έχουν κοινό σύστημα μεταφοράς και διανομής θερμότητας στο εσωτερικό των κτηρίων ή των θερμοκηπίων.

Για τον υπολογισμό της απαιτούμενης παροχής του νερού (σε kg/s) ισχύει:

$$\dot{m} = \frac{Q_H - P}{c_w \times \Delta t}$$

όπου

Q_H : είναι οι θερμικές απώλειες του κτηρίου ή του θερμοκηπίου (σε W)

P : η ισχύς που απορροφά ο συμπιεστής (σε W)

Δt : η θερμοκρασιακή πτώση του νερού της πηγής (σε K)

c_w : η ειδική θερμότητα του νερού (4200 J/kgK)

Βέβαια, η βέλτιστη παροχή εξαρτάται και από το σχεδιασμό του εναλλάκτη και την πτώση πίεσης μέσα σε αυτόν, η οποία δε θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα υψηλή.

Το γεωθερμικό ρευστό χαμηλής ενθαλπίας οδηγείται με τη βοήθεια υποβρύχι-
ας ως επί το πλείστον αντλίας στον εξατμιστή των αντλιών θερμότητας. Ο εξατμιστής
των αντλιών θερμότητας είναι στην ουσία ένας εναλλάκτης νερού-ψυκτικού μέσου,
στον οποίο το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα και εξατμίζεται. Το γεωθερμικό
νερό εξέρχεται με μικρότερη θερμοκρασία και είτε διατίθεται σε επιφανειακούς υδάτι-
νους αποδέκτες είτε οδηγείται με γεώτρηση επανεισαγωγής στον ταμιευτήρα.

Μέσω του συμπιεστή της αντλίας θερμότητας, οι ατμοί του ψυκτικού μέσου
οδηγούνται στη μονάδα του συμπυκνωτή, όπου συμπυκνώνονται από το «ψυχρότε-
ρο» μέσο θέρμανσης του χώρου. Στην ενέργεια η οποία παραλαμβάνεται από το γε-
ωθερμικό νερό προστίθεται και το έργο του συμπιεστή του ψυκτικού μέσου και απο-
δίδεται από τη μονάδα συμπύκνωσης (δευτερεύον κύκλωμα) στο νερό, το οποίο ο-
δηγείται τελικά στο βρόχο θέρμανσης του θερμοκηπίου ή της οικίας. Αυτή η διεργασία
έχει τελικά ως αποτέλεσμα το νερό στην έξοδο της αντλίας θερμότητας (στο συμπυκ-
νωτή) να έχει σημαντικά μεγαλύτερη τιμή από την τιμή στην είσοδό της (στον εξατ-
μιστή). Για άλλες χρήσεις η θερμότητα μπορεί να αποδίδεται σε ρεύμα αέρος.

Το υποσύστημα, εκτός από τις αντλίες θερμότητας, περιλαμβάνει τις σωληνώ-
σεις μεταφοράς του θερμού νερού, τις σωληνώσεις διανομής της θερμότητας, την αν-
τλία κυκλοφορίας του γεωθερμικού ρευστού και τις αντλίες ανακυκλοφορίας του θερ-
μού νερού στο υπό θέρμανση θερμοκήπιο ή άλλο χώρο, το σύστημα ελέγχου της ρο-
ής κ.ά.

Το κόστος που σχετίζεται με τις γεωτρήσεις του νερού είναι κατά κάποιο τρό-
πο παρόμοιο με το κόστος για τις γεωτρήσεις στα συστήματα που είναι συνδεδεμένα
με το υπέδαφος. Το κόστος είναι συνήθως ανάλογο με το βάθος της γεώτρησης. Βέ-
βαια, εκείνο που καθορίζει την ικανότητα της γεώτρησης να εξυπηρετεί τις ανάγκες σε
θέρμανση και κλιματισμό είναι η παροχή και η θερμοκρασία του νερού και όχι το μή-
κος. Σε γενικές γραμμές, επειδή με μία μόνο γεώτρηση μπορούν να υποστηριχθούν
αρκετά μεγάλες επιφάνειες, φαίνεται ότι για μικρές και απομονωμένες κατοικίες τα
συστήματα αυτά έχουν πλεονεκτήματα.

Για την άντληση των γεωθερμικών νερών χρησιμοποιούνται κυρίως υποβρύχι-
ες αντλίες, με κινητήρες 3600 rpm. Η υψηλή ταχύτητα των αντλιών αυτών τις κάνει
περισσότερο ευάλωτες στη μηχανική διάβρωση σε σχέση με τις στροβιλαντλίες με
άξονα, σε περίπτωση που στο αντλούμενο νερό υπάρχει άμμος. Σε συνθήκες άντλη-
σης μικρών ποσοτήτων νερού, η απόδοση των υποβρύχιων αντλιών είναι χαμηλή
(30 – 40 %), σε αντίθεση με τις αντλίες με άξονα, που διατηρούν σχετικά υψηλές α-
ποδόσεις και σε χαμηλές παροχές νερού.

Οι εναλλάκτες νερού-ψυκτικού μέσου είναι τις περισσότερες φορές τύπου
πλακών και κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα 304 (όταν η συγκέντρωση των
χλωριόντων είναι μικρότερη από 150 ppm) ή από 316 (για μέγιστη συγκέντρωση
χλωριόντων μέχρι 350 ppm). Για νερά με υψηλότερες συγκεντρώσεις χλωριόντων
απαιτούνται πλάκες από τιτάνιο. Ο σχεδιασμός του εναλλάκτη γίνεται με βάση την
πτώση πίεσης (που επηρεάζει το κόστος άντλησης - λειτουργικό κόστος) και του συ-
νολικού συντελεστή μεταφοράς θερμότητας (που επηρεάζει την επιφάνεια του εναλ-
λάκτη - πάγιο κόστος). Οι τυπικές παροχές των ρευστών μέσα στον εναλλάκτη είναι
0,045 – 0,055 L/(s*kW) για την πλευρά του ψυκτικού και 0,020-0,050 L/(s*kW) για την
πλευρά του γεωθερμικού νερού.

Οι σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες του γεωθερμικού νερού επιτρέπουν για τη
μεταφορά τους τη χρήση σωληνώσεων από PE, PP ακόμη και από PVC. Τέλος, κά-
ποια προσοχή απαιτείται στο σχεδιασμό της γεώτρησης επανεισαγωγής, όπου απαι-
τείται μεγαλύτερη επιφάνεια φίλτρων (περίπου διπλάσια) σε σχέση με την παραγωγι-
κή γεώτρηση.

Οι ΓΑΘ ανοικτού κυκλώματος παρουσιάζουν τα εξής σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις κοινές κλιματιστικές μονάδες αέρα-αέρα:

- Ø Καταναλώνουν μικρότερη ηλεκτρική ενέργεια
- Ø Αξιοποιούν τη γήινη θερμότητα σε σχετικά μικρά βάθη, από συστήματα που είναι περισσότερο αξιόπιστα και σταθερά σε σχέση με τον ατμοσφαιρικό αέρα
- Ø Δεν απαιτούν επιπλέον θερμότητα σε περίπτωση πολύ χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας.
- Ø Χρησιμοποιούν μικρότερες ποσότητες ψυκτικού μέσου
- Ø Έχουν απλούστερο σχεδιασμό και χαμηλότερο κόστος συντήρησης.

Το κυριότερο μειονέκτημα αυτών των συστημάτων είναι το μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης. Το κόστος μίας ΓΑΘ σχετίζεται ασφαλώς με το απαιτούμενο θερμικό φορτίο, την ποιότητα και τη θερμοκρασία του γεωθερμικού νερού, την πτώση πίεσης στον εναλλάκτη και τη θερμοκρασία του νερού (ή του αέρα) που εξέρχεται από το συμπυκνωτή. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού, τόσο μικρότερο είναι το COP που επιτυγχάνεται, με συνέπεια το μεγαλύτερο κόστος της μονάδας. Ένα άλλο μειονέκτημα που αντιμετωπίζει αυτή η τεχνολογία είναι ότι είναι νέα τεχνολογία (σε αντίθεση με τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα) και ότι πρέπει να συνδυαστεί με την ανόρυξη μίας η περισσότερων γεωτρήσεων.

4.3.3 ΓΑΘ που λειτουργούν με επιφανειακά νερά

Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνονται στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λόγω κυρίως της ομοιότητάς τους με τα συστήματα ΓΑΘ ανοικτού κυκλώματος. Τα συστήματα με επιφανειακά νερά μπορεί να είναι είτε ανοικτού τύπου (χρήση των επιφανειακών νερών όπως στους πύργους ψύξης) είτε κλειστού τύπου, δηλαδή το δίκτυο των σωληνώσεων βρίσκεται εμβαπτισμένο στη λίμνη, Το ποτάμι ή τη θάλασσα. Τα δεύτερα συστήματα αποτελούν τη μοναδική βιώσιμη επιλογή σε περίπτωση που η θερμοκρασία των επιφανειακών νερών πέφτει κάτω από τους 7 °C.

4.3.4 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και αγροτικές χρήσεις

Για αγροτικές εφαρμογές με χαμηλές απαιτήσεις σε θερμοκρασία νερού, οι ΓΑΘ αποτελούν τη φθηνότερη λύση, με εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 30 % (Baird 1993, Rafferty, 1998).

Αν και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη η χρήση των ΓΑΘ στον αγροτικό τομέα, υπάρχουν αρκετές μονάδες κυρίως σε Αμερική και Ευρώπη. Μάλιστα στη Γερμανία, το 15% της εγκατεστημένης ισχύος των αντλιών θερμότητας το 2000 αφορούσε στον αγροτικό τομέα.

- Ø Θερμοκήπια. Σε διάφορα έργα έχει δειχθεί ότι με τη χρήση ΓΑΘ το κόστος θέρμανσης (σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα) μειώνεται περίπου στο μισό. Αυτό αναμένεται να συμβαίνει σε πολλές περιοχές της χώρας μας που διακρίνονται για το ήπιο σχετικά κλίμα και την ύπαρξη ζεστών νερών, σε συνδυασμό με τη χαμηλή τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας για τις αγροτικές εργασίες
- Ø Καλλιέργεια μανιταριών. Στη περίπτωση αυτή, οι ΓΑΘ υποβοηθούν το σύστημα θέρμανσης ή κλιματισμού των αιθουσών όπου αναπτύσσονται τα μανιτάρια.

- Ø Θέρμανση εδάφους. Έχει καταγραφεί η χρήση ΓΑΘ στην απομάκρυνση μέρους της υγρασίας χώματος που χρησιμοποιείται σε γλάστρες. Με την εμπειρία που έχει αποκτηθεί στη χώρα μας στην πρωϊμηση σπαραγγιών, πιστεύεται επίσης ότι η θέρμανση του εδάφους με ΓΑΘ για τέτοιους σκοπούς είναι οικονομικά εφικτή.
- Ø Ξήρανση αγροτικών προϊόντων. Οι ΓΑΘ μπορούν να θερμάνουν αέρα σε θερμοκρασία 35 – 45 °C, θερμοκρασία κατάλληλη για ξήρανση σειράς προϊόντων, όπως ρυζιού, σόγιας, καρπών, ξυλείας, ακόμη και λαχανικών. Μάλιστα, η ξήρανση αγροτικών προϊόντων σε ήπιες θερμοκρασίες βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα του αποξηραμένου προϊόντος.

4.4 ΣΤΑΔΙΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η γεωθερμική έρευνα διακρίνεται σε Τέσσερα κύρια στάδια:

- i. Γενική επισκόπηση μεγάλης κλίμακας.
- ii. Λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών.
- iii. Εντοπισμός-περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων και μελέτη των χαρακτηριστικών.
- iv. Ανάπτυξη και διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων.

Τα στάδια αυτά ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις της γεωθερμικής έρευνας, αν και οι επί μέρους γεωλογικές συνθήκες είναι διαιρετικές από πεδίο σε πεδίο. Έτσι, ανάλογα με τις γεωλογικές γνώσεις, την ποσότητα και ποιότητα των υπαρχόντων στοιχείων, τα οικονομικά, κλιματικά, πληθυσμιακά δεδομένα και παράγοντες μίας περιοχής, η ανάπτυξη και η υλοποίηση της γεωθερμικής έρευνας προσαρμόζεται κατά περίπτωση. Μπορεί να αλλάζει η λεπτομερής διάρθρωση και η ανάπτυξη των επί μέρους σταδίων, γενικά όμως οι εργασίες ακολουθούν την προαναφερθείσα σειρά.

Η γεωθερμική έρευνα στοχεύει στα ευνοϊκότερα αποτελέσματα με το λιγότερο δυνατό κόστος. Θα πρέπει να γίνει σωστός σχεδιασμός και προγραμματισμός παίρνοντας συγχρόνως υπόψη πολλές παραμέτρους και χρησιμοποιώντας τα καλύτερα μέσα: από την πολύπλευρη επιστημονική γνώση και εμπειρία των γεω-επιστημόνων ερευνητών, τα καλύτερα εργαστηριακά εργαλεία, τις πλέον αξιόπιστες συσκευές και όργανα υπαίθρου, τα αποτελεσματικότερα γεωτρύπανα και φυσικά τις πλέον ενδεδειγμένες μεθόδους για την κάθε ιδιαίτερη περίπτωση. Σε κάθε φάση απαιτείται υποχρεωτικά η συνεργασία και ο συντονισμός των διαφόρων επιστημόνων και τεχνικών που εμπλέκονται στην όλη έρευνα.

4.4.1 Πρώτο στάδιο γεωθερμική έρευνα κλίμακας

Η γεωθερμική έρευνα μίας ευρύτερης περιοχής (π.χ. μίας περιφέρειας ή μίας μεγάλης γεωλογικής ενότητας) πρέπει να λαμβάνει υπόψη διάφορες παραμέτρους. Κατ' αρχάς πρέπει να πάρει υπόψη της όλα τα υπάρχοντα γεωλογικά στοιχεία και να διαπιστώσει εάν και που υπάρχουν ευνοϊκές γεωθερμικές συνθήκες. Έτσι, αποκλείονται περιοχές και οι προσπάθειες επικεντρώνονται σε ορισμένες μόνο περιοχές τις οποίες γίνεται προσεκτική επεξεργασία των υπαρχόντων στοιχείων.

Χρησιμοποιούνται γεωλογικοί και τεκτονικοί χάρτες μεγάλης και μεσαίας κλίμακας, φωτογεωλογικές εικόνες από αεροπλάνα και δορυφόρους, χάρτες και στοιχεία των θερμών επιφανειακών εκδηλώσεων, καθώς και γενικοί γεωφυσικοί και γεωχη-

μικοί χάρτες. Αναζητούνται επίσης εκείνα τα βιβλιογραφικά δεδομένα από τα οποία μπορούν να αντληθούν χρήσιμες πληροφορίες.

Ύστερα από τη συγκέντρωση όλων των παραπάνω στοιχείων, τα οποία προσφέρουν μία γενική εικόνα για το γεωθερμικό ενδιαφέρον ενός ή περισσοτέρων τμημάτων της ευρύτερης περιοχής, ακολουθούν αναγνωριστικές επισκέψεις για λήψη δειγμάτων από τα πετρώματα και τα γεωθερμικά ρευστά, γίνονται θερμομετρήσεις ορισμένων επιφανειακών εκδηλώσεων και ακολουθεί η επαλήθευση των προκαταρκτικών στοιχείων. Τέλος, γίνεται προσπάθεια να παρατηρηθούν και να αναζητηθούν τα κύρια συστατικά ενός πιθανού πεδίου γεωθερμικών ρευστών, δηλ. η ύπαρξη ή όχι εστίας θερμότητας, ταμιευτήρα και αδιαπέρατου καλύμματος. Η αξιολόγηση των στοιχείων αυτών αποκλείει ορισμένες ευρύτερες περιοχές, υποδεικνύει τις ενδιαφέρουσες περιοχές και τις κατατάσσει σε σειρά προτεραιότητας. Έτσι, συντάσσεται μια πρόταση εκτέλεσης ερευνητικών προγραμμάτων για τις ενθαρρυντικές περιοχές, τονίζοντας τα θετικά και λιγότερο θετικά στοιχεία.

Σε αυτό το πρώτο στάδιο απαιτούνται εξειδικευμένες γεωθερμικές γνώσεις και γι' αυτό προβλέπεται η απασχόληση γεωθερμικών εμπειρογνομόνων. Αν και η έρευνα αναφέρεται σε εκτεταμένες περιοχές και χρειάζεται αρκετός χρόνος, το συνολικό κόστος είναι σχετικά περιορισμένο, αφού απασχολείται μικρός αριθμός επιστημόνων και τα μέσα που χρησιμοποιούνται είναι λιγοστά και σχετικά φτηνά.

Το στάδιο έρευνας μεγάλης κλίμακας καταλήγει στην επιλογή και υπόδειξη των περιοχών με τις ευνοϊκότερες συνθήκες, κατά σειρά προτεραιότητας, αφού ληφθούν υπόψη και άλλοι, μη γεωλογικοί, παράγοντες. Η γεωθερμική έρευνα ως γνωστών προσβλέπει στην αποκόμιση πολλαπλών ωφελημάτων από την αξιοποίηση της γεωθερμίας (ενεργειακών, αναπτυξιακών, κοινωνικών και περιβαλλοντικών) και γι' αυτό συνεκτιμώνται όλοι αυτοί οι παράγοντες. Η γεωθερμική ενέργεια δε μπορεί να αξιοποιηθεί παρά κοντά στο χώρο όπου έχουν δημιουργηθεί τα γεωθερμικά συστήματα και γι' αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και αρκετοί άλλοι παράγοντες, όπως είναι η τοπογραφική κατάσταση, η πρόσβαση, η οικιστική και οικονομική ανάπτυξη και η υπάρχουσα ενεργειακή ζήτηση στην ευρύτερη περιοχή.

4.4.2 Δεύτερο στάδιο λεπτομερής και συστηματική έρευνα των πιθανότερων περιοχών

Το στάδιο αυτό αποτελεί το σημαντικότερο τμήμα της γεωθερμικής έρευνας και μελέτης, αφού επιχειρείται ο καθορισμός και η έρευνα των περιοχών που έχουν τις περισσότερες πιθανότητες ύπαρξης γεωθερμικών πεδίων σε μικρό σχετικά βάθος και ο προσδιορισμός κατά το δυνατόν των θέσεων εκτέλεσης των βαθιών γεωτρήσεων. Ερευνώνται με λεπτομέρεια όλοι οι παράγοντες (γεωλογικοί, τεκτονικοί, ηφαιστειολογικοί, στρωματογραφικοί, λιθολογικοί, υδρογεωλογικοί, γεωχημικοί, γεωφυσικοί, θερμοδυναμικοί κτλ.) που μπορούν να χαρακτηρίσουν μια γεωθερμική περιοχή. Οι λεπτομερειακές έρευνες περιλαμβάνουν συνήθως σειρά εργασιών, ξεκινώντας με τις εργασίες που οδηγούν στη βασική γνώση (π.χ. τη γεωλογία), και καταλήγοντας στις σχετικά δαπανηρές εργασίες, όπως είναι οι θερμομετρήσεις ή άλλες μετρήσεις σε ερευνητικές γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου. Τελικός στόχος του σταδίου αυτού είναι η προσέγγιση του γεωθερμικού μοντέλου κάθε γεωθερμικού κοιτάσματος-πεδίου και η γνώση της θέσης και κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα γεωθερμικά ρευστά ή θερμά πετρώματα. Συγχρόνως προτείνεται η σειρά, το βάθος και τα χαρακτηριστικά των ερευνητικών-παραγωγικών γεωτρήσεων.

Οι βαθιές γεωτρήσεις γεωθερμίας είναι αρκετά δαπανηρές, με κόστος αντίστοιχο των γεωτρήσεων πετρελαίου και σε ορισμένες φορές μεγαλύτερο. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να γίνονται με το μικρότερο δυνατό γεωλογικό-μεταλλευτικό ρίσκο. Συνεπώς, οι έρευνες του δεύτερου σταδίου πρέπει να εκτελούνται με όσο γίνεται περισσότερη λεπτομέρεια και αξιοπιστία. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων όμως καθορίζεται εν πολλοίς από τις τοπικές συνθήκες, και γι' αυτό δεν υπάρχει συγκεκριμένος αριθμός, έκταση και είδος των γεω-επιστημονικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται.

Το δεύτερο στάδιο ερευνών είναι χρονοβόρο και απαιτεί τη διεξαγωγή πολλών εργασιών στην ύπαιθρο, το εργαστήριο και το γραφείο. Όμως, το συνολικό κόστος όλων αυτών των ερευνών είναι αισθητά μικρότερο από το κόστος των βαθιών γεωτρήσεων έρευνας-παραγωγής, και γι' αυτό επιβάλλεται να δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην έκταση, την ανάπτυξη και το εύρος τους.

Μετά την επιλογή μίας περιοχής για λεπτομερή έρευνα δεύτερου σταδίου, ακολουθεί πάντα η αναγνωριστική εξέταση των γεωθερμικών στοιχείων της περιοχής και γίνονται προκαταρκτικές παρατηρήσεις στην ύπαιθρο, αναφορικά με τα στοιχεία που σχετίζονται με τη γεωθερμία. Εξετάζονται κατ' αρχάς οι γεωλογικές εμφανίσεις, οι οποίες θα παίξουν ρόλο στο γεωθερμικό μοντέλο του πεδίου, και γίνεται η προκαταρκτική διάκριση των υποπεριοχών με ευνοϊκότερες συνθήκες από τις λιγότερο ευνοϊκές. Αναζητούνται όλες οι επιφανειακές εκδηλώσεις θερμότητας και συντάσσονται οι πρώτοι χάρτες και μερικές πρόχειρες απεικονίσεις.

4.4.3 Τρίτο στάδιο εντοπισμός – περιχάραξη των γεωθερμικών πεδίων με γεωτρήσεις και μελέτη των χαρακτηριστικών τους

Οι συστηματικές έρευνες του προηγούμενου σταδίου και η συνθετική ερμηνεία των αποτελεσμάτων τους, καταλήγει στον προσδιορισμό των πιθανότερων γεωθερμικών περιοχών, αλλά και των θέσεων στις οποίες προτείνεται η εκτέλεση των πρώτων βαθιών γεωτρήσεων έρευνας και παραγωγής μαζί. Στη συνέχεια καταρτίζεται λεπτομερές πρόγραμμα των γεωτρήσεων στο οποίο προσδιορίζονται, κατά προσέγγιση βέβαια, οι αναμενόμενοι γεωλογικοί σχηματισμοί στην κάθε γεώτρηση, οι θερμοκρασίες, τα πιθανά ρευστά και το βάθος τους ή των ταμιευτήρων. Με τη συνεργασία των γεω-επιστημόνων ερευνητών με τους μηχανικούς γεωτρήσεων και άλλους τεχνικούς προσδιορίζεται το λεπτομερές πρόγραμμα, τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν (γεωτρύπανο, κοπτικά, σωλήνες, τσιμέντα, πολφός διάτρησης κτλ.), ο απαιτούμενος χρόνος, ο προϋπολογισμός δαπανών, οι μετρήσεις και οι δοκιμές, κατά και μετά τη διάτρηση.

Για την καλή εκτέλεση των βαθιών και τεχνικά δύσκολων αυτών γεωτρήσεων, συνεργάζονται τεχνικοί διαφόρων ειδικοτήτων. Η συμμετοχή των γεω-επιστημόνων συνίσταται στην παρακολούθηση της κάθε γεώτρησης, τον προσδιορισμό των διατηρήσιμων σχηματισμών με πετρογραφικές και παλαιοντολογικές μεθόδους, τον προσδιορισμό του χημισμού των συναντώμενων ρευστών, των θερμοκρασιών τους και των πιέσεων, την ουσιαστική συμμετοχή στις αποφάσεις εκτέλεσης διαφόρων φάσεων της γεώτρησης και, τέλος, την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των γεωτρήσεων. Οι μηχανικοί, αντίθετα, είναι υπεύθυνοι για την καλή και ασφαλή εκτέλεση της γεώτρησης από τεχνική και οικονομική άποψη, την πραγματοποίηση των σωστών δοκιμών παραγωγής και επανεισαγωγής, και γενικά την εξασφάλιση όλων των πρακτικών λύσεων για την παραπέρα χρήση της γεώτρησης.

Η συστηματική και συνεχής παρακολούθηση των γεωτρήσεων παραγωγής προσφέρει σημαντικές υπηρεσίες στη σωστή εκτέλεσή τους, την καλύτερη τελική επι-

τυχία τους και στην εξοικονόμηση χρημάτων. Σφάλματα από λανθασμένη εκτίμηση της γεωλογικής και θερμικής κατάστασης της γεώτρησης μπορούν να προσθέσουν σημαντικές δαπάνες, να χαθούν αξιόλογες παραγωγικές ζώνες και καμιά φορά ολόκληρη η γεώτρηση.

Οι δοκιμές παραγωγής για σχετικά μακρύ χρονικό διάστημα, σε συνδυασμό με τα γεωλογικά και άλλα στοιχεία κάθε γεώτρησης, βοηθούν στην κατανόηση της βαθιάς κυκλοφορίας του ρυθμού ανανέωσης των ρευστών, τον τρόπο λειτουργίας του ταμειυτήρα και επιτρέπει να βελτιώσει και να οριστικοποιήσει το μοντέλο του γεωθερμικού πεδίου.

4.4.4 Τέταρτο στάδιο ανάπτυξη και διαχείριση γεωθερμικών πεδίων

Ύστερα από τις πρώτες γεωτρήσεις έρευνας παραγωγής (με μεγάλη διάμετρο), οι οποίες θα επιβεβαιώσουν την ύπαρξη του γεωθερμικού πεδίου και θα επιτρέψουν την προσέγγιση και κατασκευή του γεωθερμικού μοντέλου, αρχίζει αυτό το στάδιο που περιλαμβάνει την ανάπτυξη του πεδίου και τη διαχείριση του.

Για την ανάπτυξη του πεδίου χρειάζεται αρχικά να κατασκευασθούν και άλλες γεωτρήσεις μεγάλης διαμέτρου, για να προσδιοριστεί το συνολικό δυναμικό του πεδίου. Οι γεωτρήσεις στο τέταρτο στάδιο έχουν συνήθως λιγότερα προβλήματα, αφού αποκτήθηκαν ήδη αρκετές γνώσεις του πεδίου από τις γεωτρήσεις του προηγούμενου σταδίου. Επίσης, οι νέες γεωτρήσεις θα βοηθήσουν στην απόφαση για το ποιές γεωτρήσεις θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την επανεισαγωγή των ρευστών και ενδεχομένως ποιές άλλες καινούργιες θα πρέπει να κατασκευασθούν γι' αυτόν το σκοπό.

Στο στάδιο αυτό θα ολοκληρωθεί ένα πλήρες όσο γίνεται δίκτυο γεωτρήσεων παραγωγής και επανεισαγωγής, που θα επιτρέψει τη σωστή και συστηματική λειτουργία και εκμετάλλευση των ρευστών. Στη φάση των παραπάνω εργασιών χρειάζεται καλή συνεργασία μεταξύ των ερευνητών του πεδίου και των μηχανικών των γεωτρήσεων.

Οι εργασίες που απαιτούνται για τη λειτουργία και ανάπτυξη του πεδίου περιλαμβάνουν τα συστήματα άντλησης (αν είναι απαραίτητα), το δίκτυο επιφανειακής κυκλοφορίας των γεωθερμικών ρευστών μέχρι την επανεισαγωγή, τα συστήματα εισπίεσης και φυσικά τις επιφανειακές εγκαταστάσεις επιφανείας για την απόληψη και τη διάθεση της ενέργειας στους χρήστες.

Στα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας οι επιφανειακές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, το σύστημα ψύξης του νερού και μονάδες συγκράτησης του υδροθείου, εκτός αν γίνεται πλήρης επανεισαγωγή των ρευστών. Σε περίπτωση που δεν απαιτείται επανεισαγωγή των ρευστών και επειδή τα γεωθερμικά ρευστά μετά την απόληψη της θερμότητάς τους έχουν ακόμα αρκετή ενέργεια, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με «κλιμακωτό» τρόπο σε άλλες εφαρμογές (βιομηχανικές χρήσεις, θερμάνσεις κτλ.). Στα πεδία μέσης ενθαλπίας, οι εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν ηλεκτροπαραγωγικές μονάδες ή και κλιμακωτές χρήσεις, ανάλογα με τα ρευστά και την οικονομικότητα των εφαρμογών. Με τα νερά χαμηλής ενθαλπίας η ποικιλία των εγκαταστάσεων είναι ακόμα πιο μεγάλη και μπορεί επίσης να γίνει κλιμακωτή χρήση, ιδιαίτερα όταν η αρχική θερμοκρασία των ρευστών είναι σχετικά υψηλή (π.χ. 80 – 100 °C).

Είναι γενικά προτιμότερο να γίνεται συνολική και όχι μερική ανάπτυξη ενός πεδίου, με κλιμακωτές χρήσεις κατανεμημένες σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, για να αυξηθεί ο συντελεστής αξιοποίησης των γεωθερμικών ρευστών. Χρειάζεται να εμ-

πλακούν ειδικοί επιστήμονες από πολλές ειδικότητες και προπαντός απαιτείται να συνταχθεί πλήρης μελέτη εφαρμογής, αφού ληφθούν υπόψη προσεκτικά τα χαρακτηριστικά του πεδίου και των γεωθερμικών ρευστών.

Η διαχείριση του γεωθερμικού πεδίου και των εγκαταστάσεων (πριν από τους χρήστες) απαιτεί επίσης σωστή οργάνωση σε υλικοτεχνική υποδομή και κατάλληλο προσωπικό.

Τα σπουδαιότερα προβλήματα διαχείρισης και λειτουργίας ενός γεωθερμικού πεδίου μπορούν να συνοψισθούν ως εξής :

- Ø Περιβαλλοντικά προβλήματα, παρά το γεγονός ότι η γεωθερμία είναι γενικά μία ήπια μορφή ενέργειας. Θα πρέπει να προσεχθούν κατά το δυνατόν οι εκπομπές επιβλαβών αερίων στην ατμόσφαιρα και η απόρριψη των γεωθερμικών ρευστών μετά τη χρήση τους σε επιφανειακούς αποδέκτες. Η λύση της επανεισαγωγής θεωρείται τις περισσότερες φορές αναγκαία. Βεβαίως η προσέγγιση αυτή απαιτεί συνεχή παρακολούθηση και για το σκοπό αυτό υπάρχουν διάφορες τεχνικές και αυτοματοποιημένες μέθοδοι. Προβλήματα που ανακύπτουν με το χρόνο λειτουργίας των μονάδων, κυρίως από τη μεταβολή των συνθηκών στον ταμιευτήρα. Για παράδειγμα, γεωτρήσεις που ήταν αρχικά αρτεσιανές μπορεί να παύσουν κάποια στιγμή να είναι, και απαιτείται τότε άντληση των ρευστών. Λόγω της επανεισαγωγής ή της διείσδυσης ψυχρού νερού στον ταμιευτήρα μπορεί να ελαττωθεί η θερμοκρασία παραγωγής και γι' αυτό θα πρέπει να υπάρχουν εναλλακτικές λύσεις για τη λειτουργία των μονάδων.
- Ø Προβλήματα επικαθίσεων και διαβρώσεων των εγκαταστάσεων, περιλαμβανομένων των γεωτρήσεων. Η πρόβλεψη ειδικών χημικών πρόσθετων μπορούν να λύσουν το πρόβλημα των επικαθίσεων, ενώ η επιλογή των καταλληλότερων υλικών μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τα προβλήματα διάβρωσης.
- Ø Απώλειες ρευστών και ενέργειας κατά τη μεταφορά και διανομή. Απώλεια ρευστών μπορεί να γίνει από διαβρωμένα τμήματα αγωγών ή βαλβίδων και από τεχνικές αστοχίες, ενώ απώλεια θερμότητας μπορεί να γίνει λόγω πλημμελούς θερμομόνωσης. Είναι πολλά τα αίτια που μπορούν να δημιουργήσουν αυτά τα προβλήματα και ο διαχειριστής θα πρέπει να ελέγχει συστηματικά την κατάσταση και να επεμβαίνει ανάλογα.
- Ø Χρηματοδοτικά προβλήματα. Εκτός από το αρχικό κεφάλαιο της επένδυσης, που στη γεωθερμία είναι πολύ σημαντικό, χρειάζεται να εξασφαλισθεί και κεφάλαιο κίνησης και διαχείρισης του πεδίου, ώστε να μη διακοπεί η λειτουργία μέρους ή ολόκληρου του πεδίου.
- Ø Προβλήματα διαχείρισης (management) σε σχέση με την εξασφάλιση κατάλληλης δομής και οργάνωσης, ανάλογα με τις συνθήκες και τις απαιτήσεις του γεωθερμικού πεδίου.
- Ø Ανάγκη σχετικής ανανέωσης των συσκευών και των εγκαταστάσεων.
- Ø Προβλήματα με την εξασφάλιση εξειδικευμένου και επαρκούς προσωπικού (διαφόρων ειδικοτήτων), ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές.

Η μορφή διαχείρισης του πεδίου χρειάζεται γενικά ευελιξία και νοοτροπία λειτουργίας με ιδιωτικό-οικονομικά κριτήρια. Θα πρέπει να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στις παρακάτω προκλήσεις: α) παραγωγή του ενεργειακού αγαθού με το βέλτιστο τεχνικά τρόπο, β) προώθηση του ενεργειακού προϊόντος, γ) διάθεση στους χρήστες με την καλύτερη δυνατή μορφή και σταθερότητα στο χρόνο και δ) επανεισαγωγή των γεωθερμικών «αποβλήτων» στον ταμιευτήρα.

Συμπερασματικά, η διαχείριση των γεωθερμικών πεδίων είναι μία σύνθετη εργασία. η οποία μοιάζει με τη διαχείριση άλλων ενεργειακών εγκαταστάσεων, αλλά έχει και πολλές ιδιαιτερότητες.

4.5 ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΤΗΡΙΟΥ

Από τη μελέτη που έγινε στο κτήριο μας διαπιστώνεται ότι χρειαζόμαστε για να αξιοποιήσουμε από την ενέργεια της γης, με την χρήση γεωθερμικής της αντλίας θερμότητας 80HT AGEO της CIAT ισχύος 24,5 kW στην θέρμανση και 18,4 kW στην ψύξη (πίνακας 4.4, Σχήμα 4.6) καθώς και γεωεναλλάκτη κλειστού κυκλώματος σε κάθετη διάταξη. Οι ανάγκες που θέλουμε να καλύψουμε στην θέρμανση είναι περίπου στα 19,723 kW και στην ψύξη περίπου στα 14,29 kW, συνεπώς η γεωθερμική αντλία θερμότητας που επιλέξαμε είναι μέσα στα προσδοκώμενα όρια.

AGEO	Number of circuits	Cooling capacity (1) kW	Power Input (1) kW	Heating capacity (2) kW	Power Input (2) kW	COP	Sound Level dB(A)
20H	1	5	1,6	6,8	1,5	4,7	31
30H		6,9	2,1	9,4	2	4,7	31
40H		9,2	2,6	12,1	2,4	5	31
50H		11,3	3,1	15,3	2,9	5,3	33
20HT		5	1,5	6,8	1,4	4,8	31
30HT		6,7	2	9,5	2	5	31
40HT		9,2	2,6	12,2	2,5	5	31
50HT		12,7	3,2	16	3,1	5,2	33
65HT		15,5	3,9	19,8	3,7	5,3	36
80HT		18,4	4,8	24,5	4,6	5,3	36
100HT		23,2	5,8	31	5,5	5,6	36
120HT		27,6	6,9	36,3	6,6	5,4	34

Πίνακας 4.4 : Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας της AGEO



Σχήμα 4.6 : Γεωθερμική αντλία θερμότητας 80HT της AGEO

Ο γεωθερμικός εναλλάκτης επιλέχθηκε να είναι κάθετου κλειστού κυκλώματος λόγω της ιδιαιτερότητας του οικοπέδου και λόγω της έλλειψης ελεύθερης επιφάνειας του υπεδάφους που δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί. Στο κάθετο σύστημα κλειστού βρόγχου πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας πως οι γεωτρήσεις θα πρέπει να έχουν 6 – 10 m απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε η ανταλλαγή θερμότητας που γίνεται με την γη, να γίνεται σωστά χωρίς να επηρεάζει η μία την άλλη. Το πάχος της κάθε γεώτρησης είναι στις 6,5” και το βάθος της στα 50 – 100 m. Ανά δύο μέτρα τοποθετούμε αποστάτες για να κρατούν τους σωλήνες κάθετους στις γεωτρήσεις και να μην υπάρχει ο φόβος τραυματισμού του σωλήνα κατά την είσοδό του στην γεώτρηση. Κάθε γεώτρηση παίρνει δύο στρώσεις κυκλωμάτων, λόγω του βαριδίου που τοποθετείται στο κάτω μέρος των σωληνώσεων για να μπουν πιο εύκολα στο έδαφος σχήματος διπλού U κάθετα μεταξύ τους. Αυτό είναι καλό αφενός επειδή έχουμε εξοικονόμηση χώρου, πράγμα που χρειαζόμαστε στην συγκεκριμένη περίπτωση, αφετέρου έχουμε και οικονομικό κέρδος. Ο σωλήνας που χρησιμοποιούμε είναι διαμέτρου 32 cm. Η απόδοση που μας δίνει το τρέχον μέτρο κυμαίνεται περίπου στα 50 - 60 W. Συνεπώς για να καλύψουμε τις ανάγκες μας, χρειαζόμαστε σωλήνα :

$$20.000 \text{ W} / 50 \text{ W} = \mathbf{400 \text{ m}}$$

Όπως αναφερθήκαμε και πιο πάνω, η κάθε γεώτρηση παίρνει δύο στρώσεις κυκλωμάτων, άρα για να υπολογισμός των γεωτρήσεων θα χρησιμοποιήσουμε τα μισά μέτρα σωλήνα, δηλαδή :

$$400 \text{ m} / 2 = \mathbf{200 \text{ m}}$$

Για να ,έχουμε μια καλή απόδοση, τις γεωτρήσεις θα τις κάνουμε στα 70 μέτρα, οπότε για να καλύψουμε τις ανάγκες του δημαρχείου θα χρειαστεί να κάνουμε

$$200 \text{ m} / 70 \text{ m} = 2.86 = \mathbf{3 \text{ γεωτρήσεις}}$$

Συνεπώς για την εγκατάσταση του γεωθερμικού εναλλάκτη κλειστού κάθετου κυκλώματος θα τοποθετηθούν έξι στρώσεις κυκλωμάτων σωληνώσεων γεώτρησης σε βάθος 70 m. Κάνοντας τον υπολογισμό βλέπουμε πως καλύπτουμε τις ανάγκες του δημαρχείου.

$$70 \text{ m} * 6 \text{ κυκλώματα} * 50 \text{ W} = \mathbf{21000 \text{ W}}$$

Ο σωλήνας που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο RAUGEO της εταιρίας REHAU Γερμανίας. Δια μέσου συλλεκτριών αγωγών τα κυκλώματα του γεωεναλλάκτη συνδέονται με την ΓΑΘ που βρίσκεται στο μηχανοστάσιο του υπογείου του δημαρχείου.

Δια μέσου της ΓΑΘ τροφοδοτούμε με νερό, ζεστό το χειμώνα και ψυχρό το καλοκαίρι, δοχείο αδρανείας και από εκεί τα κυκλώματα του ενδοδαπέδιου συστήματος θέρμανσης – δροσισμού.

Το σύστημα αυτοματισμού με χρήση προγραμματισμένου ελεγκτή θέτει σε λειτουργία την όλη εγκατάσταση (ΓΑΘ, ενδοδαπέδιο, κλπ) και την ρυθμίζει ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες και τις επιθυμητές θερμοκρασίες των χώρων με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και με άριστη συμπεριφορά ως προς τις θερμοκρασιακές συνθήκες διαβίωσης που επιτυγχάνει.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η γεωθερμία δεν είναι διαδεδομένο σύστημα για τη θέρμανση – κλιματισμό χώρων, λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής. Ένα κλασικό σύστημα θέρμανσης με θερμαντικά σώματα και λέβητα για τις απώλειες που χρειάζεται να καλύψουμε στον χώρο αυτό, ανέρχεται περίπου στις 15.000 € και για την ψύξη με κλιματιστικές μονάδες ανέρχεται περίπου σε άλλες 10.000 €. Συνολικά με 25.000 € περίπου θα μπορούσαμε να είχαμε καλύψει τις ανάγκες του δημαρχείου. Το κόστος της συντήρησης ετησίως θα ανερχόταν περίπου στα 600 € για τις κλιματιστικές μονάδες και στα 100 € για την συντήρηση του λέβητα. Επίσης οι δαπάνες για το πετρέλαιο θέρμανσης και με δεδομένο την αύξηση τις τιμές του θα ανέρχεται περίπου στις 2.500 €. Συνολικά θα χρειάζεται να δαπανήσουν για συντήρηση περίπου 3.000 – 3.500 € ετησίως.

Με το σύστημα γεωθερμίας κλειστού κάθετου βρόγχου που ασχοληθήκαμε το κόστος αρχικής εγκατάστασης για ψύξη – θέρμανση ανέρχεται στις 20.000 € για την ενδοδαπέδια, 10.000 € για την γεωθερμική αντλία θερμότητας και για το κομμάτι της γεωθερμίας μαζί με τις γεωτρήσεις ανέρχεται στα 30.000 €. Όπως καταλαβαίνουμε το αρχικό κόστος κατασκευής είναι περίπου στις 60.000 €. Τα θετικά είναι πρώτον πως το ετήσιο κόστος συντήρησης είναι περίπου στα 100 € για την γεωθερμική αντλία θερμότητας και δεύτερον πως το σύστημά μας είναι φιλικό προς το περιβάλλον.

Σύμφωνα με τις παραπάνω ενδεικτικές τιμές συμπεραίνουμε πως για να κάνουμε απόσβεση χρειάζεται να περάσουν περίπου 11 – 12 χρόνια. Αν όμως επιλέγαμε το σύστημα γεωθερμίας κλειστού οριζόντιου βρόγχου το κόστος εγκατάστασης στο κομμάτι της γεωθερμίας θα ήταν οικονομικότερο, λόγω τις αποφυγής των γεωτρήσεων οι οποίες μας ανεβάζουν το κόστος αρχικής εγκατάστασης. Το κόστος των γεωτρήσεων μαζί με το κόστος της αντλίας για να κυκλοφορεί το νερό ανέρχεται περίπου στα 70 €/m, συνεπώς εφόσον έχουμε 3 γεωτρήσεις των 70 m, θα κερδίσουμε το κόστος αυτό το οποίο ανέρχεται περίπου στις 15.000 €. Άρα το σύστημα αυτό θα μας κόστιζε περίπου στις 45.000 €, συνεπώς απόσβεση θα κάναμε περίπου στα 6 - 7 χρόνια.

Το σύστημα κλειστού οριζόντιου βρόγχου δεν προτιμήθηκε στην περίπτωση μας, επειδή το δημαρχείο βρίσκεται στο κέντρο της πόλης της Πάτρας και δεν υπήρχε αρκετός χώρος για την επίστρωση των απαιτούμενων μέτρων σωλήνα στο έδαφος.

Συνοψίζοντας και θεωρώντας ότι ο χρόνος ζωής μιας γεωθερμικής εφαρμογής ξεπερνά κατά πολύ την εικοσαετία και βλέποντας ήδη την αλματώδη πορεία του πετρελαίου θέρμανσης, σαφώς και οι γεωθερμικές εφαρμογές είναι συμφέρουσες για τον ιδιοκτήτη, καθώς επίσης και για τον κόσμο μας γενικότερα εφόσον η επιβάρυνση του περιβάλλοντος θα γίνεται με πολύ λιγότερους ρύπους. Έτσι οι γεωθερμικές εφαρμογές δεν αποτελούν μια λύση υψηλού κόστους, αλλά μια γρήγορη αποσβέσιμη επένδυση με τον πλέον οικολογικό χαρακτήρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

1. Σελλούντος Βάιος Η., Θέρμανση κλιματισμός μελετη, κατασκευή, εγκαταστάσεις υλικά, δίκτυα, εξοπλισμός, Εκδόσεις Σέλκος – 4Μ ,Αθήνα, 2002.
2. Φύτικας Μιχάλης, Ανδρίτσος Νικόλαος, Γεωθερμία, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2004.
3. Ζωγόπουλος Ευστάθιος, Φέτσης Νικόλαος, Ευαγγελίου Παναγιώτης, Μελέτες συστημάτων κεντρικής θέρμανσης, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2006.
4. Adapt / Fcalc υπολογιστικό περιβάλλον πακέτου Η / Μ μελετών fine, Εκδόσεις Σέλκος – 4Μ ,Αθήνα, 1997
5. Karl Ochsner, Geothermal Heat Pumps A Guide for Planning and Installing, Earthscan, London.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΤΟΠΟΙ

6. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας : www.cres.gr
7. Αντλίες θερμότητας : www.geoexchange.gr
8. Διεθνής γεωθερμικός συνεταιρισμός : www.geothermal-energy.org
9. Διεθνής οργάνωση Greenpeace : www.greenpeace.org
10. Ινστιτούτο γεωλογικών και μεταλλευτικών ερευνών : www.igme.gr
11. Εταιρία CIAT : www.ciat.com
12. Εταιρία IN FLOOR SYSTEM : www.infloorsystem.gr

13. Τεχνικομηχανική ΕΠΕ : www.tmltd.gr
14. Εταιρία REHAU : www.rehau.gr
15. Εταιρία MULTIBETON : www.multibeton.gr
16. Εταιρία INTERPLAST : www.interplast.gr
17. Εταιρία BONAIR : www.bonair.gr
18. Εταιρία ΒΟΥΔΟΥΡΗΣ Π. : www.boudouri.gr