



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΒΑΘΟΥΣ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ ΓΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΧΩΡΩΝ ΚΑΙ
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**



Σπουδάστρια:
Συκιώτη Αικατερίνη (Α.Μ. 5467)

Επιβλέπων Καθηγητής
Δημήτριος Κατσαπρακάκης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ, ΜΑΪΟΣ 2013

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΒΑΘΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	6
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ	12
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	12
2.2. ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΤΥΧΕΣ	12
2.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΑ	14
2.3.1. Τεχνικοί περιορισμοί	14
2.3.2. Γεωλογικοί περιορισμοί	15
2.3.3. Υδρογεωλογικοί περιορισμοί	15
2.3.4. Κλιματικές συνθήκες	15
2.3.5. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί	16
2.3.6. Οικονομικοί περιορισμοί	16
2.3.7. Η νομοθεσία ως περιοριστικός παράγοντας	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	18
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	18
3.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΔΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	18
3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ	19
3.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ	20
3.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	20
3.6. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	22
4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	22
4.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	22
4.3. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ -Θερμική Συναγωγιμότητα	25
4.4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	27
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	27
5.2. ΕΝΝΟΙΕΣ	27
5.2.1. Θερμική αντίσταση ρευστού- εδάφους	27
5.2.2. Θερμική αντίσταση εδάφους	28
5.2.3 Εφαρμογές τύπου αποθήκευσης	28
5.2.4 Θερμική αντίσταση γεώτρησης	28
5.2.5. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των καναλιών ροής	29
5.2.6. Επιδράσεις θερμοχωρητικότητας εντός της γεώτρησης	29
5.3. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	30
5.3.1. ΒΗΕ ομοαξονικού τύπου	30
5.3.2. ΒΗΕ σωλήνα τύπου U	32
5.4. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΒΗΕ ΣΩΛΗΝΩΝ ΤΥΠΟΥ U	33
5.4.1. Υλικό σωλήνα	33
5.4.2. Υλικό συμπλήρωσης	33
5.4.3. Τοποθεσία σωλήνα	35
5.4.4. Ρυθμός ροής ρευστού	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ	37
6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	37
6.2. ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	37
6.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ	40
7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	40
7.2. ΕΝΝΟΙΕΣ	40
7.2.1. Μέθοδοι διάτρησης	41
7.2.2. Ρευστά γεώτρησης	42
7.2.3. Υγρά γεώτρησης	43
7.2.4. Εκτίμηση του κόστους	44
7.2.5. Αποτίμηση επικινδυνότητας	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	46
8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	46
8.2. ΘΕΩΡΙΑ	47
8.2.1. Ορισμός	47
8.2.2. Πώς λειτουργεί μια αντλία θερμότητας	47
8.2.3. Λειτουργία θέρμανσης και ψύξης	48
8.2.4. Συστατικά αντλίας θερμότητας	50
8.3. ΨΥΚΤΙΚΑ	52
8.3.1. Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ	53
8.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	54
8.4.1. Ταξινόμηση των όρων	54
8.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	55
8.5.1. Αέρα-αέρα	56
8.5.2. Νερού-νερού	57
8.5.3. Νερού-αέρα	57
8.5.4. Αέρα στο νερό	58
8.5.5. Συστήματα εδάφους	58
8.6. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ	58
8.7. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΦΟΡΤΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	61
9.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	61
9.2. ΒΑΣΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	62
9.2.1. Κέρδη και φορτία	62
9.2.2. Υπολογισμός κερδών θερμότητας	64
9.2.3. Οι εσωτερικοί τοίχοι	65
9.2.4. Κέρδη θερμότητας μέσω παραθύρων	65
9.2.5. Κέρδη διείσδυσης και εξαερισμού	66
9.2.6. Εσωτερικά κέρδη θερμότητας	67
9.3. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	67
9.3.1. Μέθοδοι για τον υπολογισμό θερμικών φορτίων	67
9.3.3. Περιοχές και εφαρμογές στην Ευρώπη	70
9.4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ/ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΦΕΛΟΥΣ	70
9.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	72
10.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	72
10.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	72
10.2.1 Βάθος γεώτρησης κάθετου εναλλάκτη	72
10.2.2 Υπολογισμός δικτύου	84
10.2.2 Πτώση πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο	86
10.2.4 Συνολική πτώση πίεσης	86
10.2.5 Δοχείο διαστολής	86

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ	89
11.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	89
11.2. ΒΑΣΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	89
11.2.1. Κλίμα.....	90
11.2.2. Έδαφος.....	90
11.2.3. Τοπογραφία	91
11.2.4. Κάλυμμα επιφάνειας	91
11.3. ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	92
11.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	94
11.4.1 Θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη(CRES).....	94
11.4.2 Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας.....	95
11.4.3 Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη	96
11.4.4 Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη	96
11.4.5 Μήκος Εναλλάκτη.....	97
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΓΧΥΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ.....	98
12.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	98
12.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	98
12.3. ΕΓΧΥΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ.....	101
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13 ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ.....	104
13.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	104
13.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ	105
13.3. ΕΘΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ	108
13.4. ΕΝΑΡΞΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΕΠΑΡΚΕΙΑ, ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ.....	112
13.4.1. Έναρξη λειτουργίας και συντήρηση	112
13.4.2. Επάρκεια και έλεγχος.....	113
13.4.3. Πιστοποίηση	114
13.4.5. Νόμιμες άδειες	115
13.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	116
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ	118
14.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	118
14.2. ΟΔΗΓΙΕΣ	119
14.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ EPBD και RESD	120
14.3.1. Ενεργειακή απόδοση του κτιρίου	120
14.3.2. Η ανάγκη απόδοσης.....	121
14.3.3. Δείκτης ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου EP	121
14.3.4. Τρόποι για να εκφράστεί ο δείκτης απόδοσης.....	121
14.3.5. Πρωτογενής ενέργεια	121
14.3.6. Συντελεστής μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή ενέργεια στο χώρο της κοινότητας.....	121
14.3.7. Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης Κτιρίων ως πρωτογενής ενέργεια.....	122
14.3.8. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων ως εκπομπές αερίων θερμοκηπίου	122
14.3.9. Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές	123
14.3.10. Της ενεργειακής ζήτησης του κτηρίου.....	123
14.3.11. Ενεργειακή ζήτηση για το σύστημα HVAC του κτιρίου.....	123
14.3.12. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για το σύστημα HVAC του κτιρίου	124
14.3.13. Η συνεισφορά ανανεώσιμης ενέργειας που παρέχεται στο κτίριο	125
14.4. ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ SPF ΚΑΙ APF ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΤΕΣ HVAC-ΓΑΘ	127
14.5. ΟΙ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ COP ΚΑΙ REE ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ	129

14.6. ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ	130
14.7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ.....	131
14.8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΑΒΑΘΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

«Γεωθερμική ενέργεια» είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται υπό μορφή θερμότητας κάτω από τη στερεή επιφάνεια της γης σύμφωνα με την οδηγία 28/2009/ΕΚ για την προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στις οποίες και ανήκει.

Η γεωθερμική ενέργεια συχνά συσχετίζεται με την παρουσία ηφαιστείων και θερμοπιδάκων. Ωστόσο, εκτός από αυτές τις θεαματικές εκδηλώσεις των παραπάνω φυσικών φαινομένων, υπάρχει η γεωθερμική ροή θερμότητας από το βαθύτερο φλοιό στην επιφάνεια της γης η οποία δεν είναι εύκολα αντιληπτή, αν και η ισχύς της είναι πολύ μεγάλη.

Γενικά, η αύξηση της θερμοκρασίας ανά 100 μέτρα βάθους με κατεύθυνση τα βαθύτερα στρώματα του γήινου φλοιού, είναι 3 βαθμοί Kelvin κατά μέσο όρο.

Η γεωθερμική ενέργεια χωρίζεται στην αβαθή και βαθιά με κριτήριο το βάθος προέλευσής της. Η διάκριση μεταξύ αβαθούς και βαθιάς γεωθερμίας δεν είναι σταθερή με το βάθος των 400 μέτρων να έχει πρωτοχρησιμοποιηθεί σε ένα ελβετικό σύστημα διάκρισης τη δεκαετία του 1980.

Σε γενικές γραμμές, αβαθή γεωθερμικά πεδία μπορούν να θεωρηθούν εκείνα από τα οποία δεν προκύπτουν υψηλές θερμοκρασίες, τις οποίες συναντάμε συνήθως μόνο σε μεγαλύτερο βάθος, ήτοι τα βαθιά γεωθερμικά πεδία.

Τόσο στα βαθιά όσο και στα αβαθή γεωθερμικά πεδία εφαρμόζονται τεχνικές λύσεις για να γίνει χρήση των υπαρχουσών θερμοκρασιών που προσφέρονται σε αυτά.

Στη Βόρεια Αμερική, η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για την εκμετάλευση αβαθών γεωθερμικών πεδίων είναι γνωστή με τον όρο «GeoExchange».

Για την αβαθή γεωθερμική ενέργεια, η αδιατάρακτη θερμοκρασία του εδάφους, η οποία αποτελεί τη βάση της έκκλησης ή έγχυσης θερμότητας, κυμαίνεται μεταξύ 2 και 20 °C, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής. Για τη χρήση των σταθερών, χαμηλών θερμοκρασιών του εδάφους, υπάρχουν δύο επιλογές:

- Αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας της γεωθερμικής ενέργειας σε ένα επίπεδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, με τη χρήση αντλιών θερμότητας (αντλίες εδαφικών πηγών θερμότητας).
- Αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας στο έδαφος με την αποθήκευση θερμότητας ή την εξαγωγή θερμότητας (αποθήκευση υπόγειας θερμικής ενέργειας).

Οι μέθοδοι μεταφοράς θερμότητας από ή προς το έδαφος για τα αβαθή γεωθερμικά συστήματα περιλαμβάνουν:

- Οριζόντιους εναλλάκτες θερμότητας εδάφους από 1,2 έως 2,0 μέτρα βάθος (οριζόντιος βρόγχος).
- Κατακόρυφους γεωεναλλάκτες θερμότητας από 10 έως 250 μέτρα βάθος (κάθετος βρόγχος).
- Σωρούς ενέργειας από 5 έως 45 μέτρα βάθος.
- Ύδατα υπόγειων φρεάτων από 4 έως 50 μέτρα βάθος.
- Το νερό από τα ορυχεία και τις σήραγγες.

Επεξηγηματικά των παραπάνω ορισμών παρατίθενται τα παρακάτω σχέδια.



Εικόνα 1.1 – Οριζόντιος βρόγχος

Οριζόντιος βρόγχος

Ένας οριζόντιος βρόγχος έχει σωληνώσεις παράλληλα και κοντά στην επιφάνεια. Η αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους αλλάζει συχνά εποχιακά ανάλογα με το πού έχουν εγκατασταθεί οι βρόγχοι. Οι οριζόντιοι βρόγχοι είναι πιο εύκολοι στην εγκατάσταση, αλλά απαιτούν πολύ περισσότερο χώρο από ό, τι άλλα είδη βρόγχων.



Εικόνα 1.2 – Κάθετος βρόγχος

Κάθετος γεωθερμικός εναλλάκτης

Οι κάθετοι βρόγχοι ρέουν κατακόρυφα σε σχέση με την επιφάνεια και οι σπές μπορούν να έχουν αρκετές δεκάδες μέτρα βάθος. Σε αυτά τα βάθη, η αδιατάρακτη θερμοκρασία του εδάφους δεν αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους.



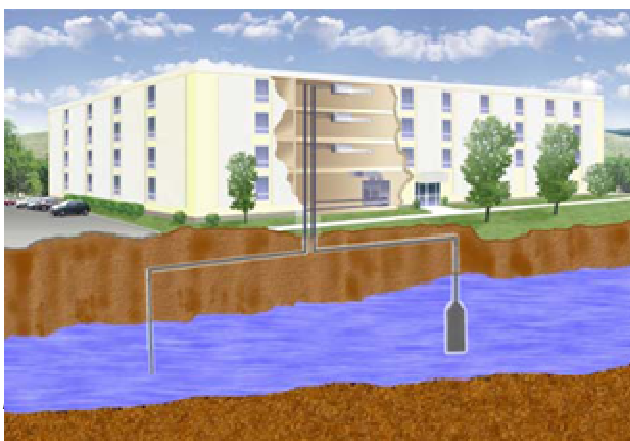
Εικόνα 1.3 - Βρόγχος νερού επιφάνειας

Βρόγχος νερού επιφάνειας

Οι βρόγχοι επιφανειακών υδάτων ή λίμνης χρησιμοποιούν μια υδάτινη μάζα ως αποδέκτη θερμότητας. Η θερμότητα διαφεύγει απ' το νερό μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια, έτσι που η διαδικασία αυτή συνδέεται στενά με τη θερμοκρασία της λίμνης και τη θερμοκρασία του υγρού περιβάλλοντος. Το χειμώνα, όταν η λίμνη θα μπορούσε να παγώσει, μεταφορά θερμότητας λαμβάνει χώρα με την επαφή μεταξύ των βρόγχων, των υδάτων του βυθού και του πυθμένα της λίμνης.

Πίνακας 1.1. Βασικά κριτήρια μεταφοράς θερμότητας και πλεονεκτήματα / μειονεκτήματα που συνδέονται με ανοικτά ή κλειστά συστήματα.	
Υπόγεια φρεάτια	Κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας
Μεταφορά θερμότητας από το έδαφος κανονικά ή αντίστροφα, μέσω της διαφοράς πίεσης (άντληση).	Μεταφορά θερμότητας από το έδαφος στους κατακόρυφους γεωεναλλάκτες θερμότητας ή αντίστροφα μέσω της διαφοράς θερμοκρασίας.
Πλεονέκτημα: <ul style="list-style-type: none"> • υψηλή ικανότητα με σχετικά χαμηλό κόστος. • σχετικά υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας / χαμηλό επίπεδο της ψυχρής πηγής. 	Πλεονέκτημα: <ul style="list-style-type: none"> • δε χρειάζονται τακτική συντήρηση. • ασφάλεια. • μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού.
Μειονέκτημα: <ul style="list-style-type: none"> • η συντήρηση του φρεατίου (των φρεατίων). • απαιτεί υδροφόρο ορίζοντα με επαρκή απόδοση. • η χημεία του νερού πρέπει να διερευνηθεί. 	Μειονέκτημα: <ul style="list-style-type: none"> • περιορισμένη ικανότητα ανά γεώτρηση. • σχετικά χαμηλό επίπεδο θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας/ υψηλό επίπεδο ψυχρής πηγής.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν έναν εναλλάκτη θερμότητας στο εσωτερικό του εδάφους ονομάζονται επίσης "κλειστά" συστήματα, ενώ οι μέθοδοι που παράγουν νερό από το έδαφος και έχουν ένα εναλλάκτη θερμότητας (π.χ. τον εξατμιστή) πάνω από το έδαφος ονομάζονται "ανοικτά" συστήματα.



Τα συστήματα ανοικτού βρόγχου τραβούν το νερό απ' το έδαφος απευθείας προς το κτίριο και θερμαίνουν ή ψύχουν τις αντλίες θερμότητας με αυτό. Το σύστημα απαιτεί επαρκές νερό για να καλύψει τις ανάγκες του κτιρίου. Το υπόγειο νερό περιέχει συχνά μέταλλα και άλλους ρύπους που επηρεάζουν αρνητικά τον εξοπλισμό.

Υπάρχουν επίσης συστήματα ανοικτών βρόγχων που χρησιμοποιούν νερό λιμνών, αλλά πρέπει να χρησιμοποιηθεί εξοπλισμός διήθησης ή δευτερεύοντες εναλλάκτες θερμότητας που θα αντιμετωπίσουν τους ρύπους. Τα λιμναία ύδατα, που χρησιμοποιούνται σε μια εφαρμογή ανοικτού βρόγχου θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε κλίματα όπου η θερμοκρασία εισαγόμενου νερού να είναι πάνω από 4°C. Το έδαφος πρέπει να έχει την ικανότητα να απορροφά τα απόβλητα του συστήματος ανοικτού βρόγχου. Αυτά δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε θερμοκρασίες κάτω των 4°C χωρίς τον κίνδυνο

παγώματος. Επιπλέον, τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου πρέπει να αφήσουν περιθώριο στο αυξημένο φορτίο αντλίας από το επίπεδο του νερού (λίμνης ή εδάφους) προς τις αντλίες θερμότητας. Τα συστήματα ανοιχτών βρόγχων δεν είναι κοινά στις εμπορικές και θεσμικές εφαρμογές.

Τα συστήματα κλειστού βρόγχου έχουν ένα ειδικό υγρό βρόγχο που κυκλοφορεί μέσα στο έδαφος ή τη λίμνη με σκοπό την ανταλλαγή ενέργειας. Το νερό του εδάφους ή της λίμνης και το νερό του βρόγχου δεν αναμιγνύονται.

Τα συστήματα άμεσης διαστολής χαρακτηρίζονται από την επέκταση του κύκλου ψύξης μέσα στο βρόγχο εδάφους, δηλαδή ο φορέας θερμότητας είναι το μέσο εργασίας της αντλίας θερμότητας, καθώς και μια διασπαστική ροή (υγρού / ατμού) λαμβάνει χώρα στο εσωτερικό του βρόγχου γείωσης. Στην πράξη, η άμεση επέκταση έχει εφαρμοστεί επιτυχώς για αντλίες εδαφικών πηγών θερμότητας με οριζόντιο βρόγχο, ενώ ο συνδυασμός με κάθετους βρόγχους οδήγησε σε προβλήματα με επιστροφή συμπιεστή λαδιού, κ.λπ. Το πλεονέκτημα της άμεσης επέκτασης έγκειται στην απουσία μιας αντλίας κυκλοφορίας και των απωλειών θερμότητας κατά την ανταλλαγή μεταξύ κυκλώματος γείωσης και κυκλώματος ψύξης. Ωστόσο, ορισμένη από την ενέργεια για την κυκλοφορία του ψυκτικού διαμέσου του βρόγχου γείωσης πρέπει να παρέχεται από τον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας.

Αγωγοί θερμότητας κάνουν χρήση ενός συστήματος δύο φάσεων μέσα σε ένα ενιαίο, κατακόρυφο σωλήνα. Το μέσο εργασίας με χαμηλό σημείο ζέσεως εξατμίζεται από τη θερμότητα της γης στο κάτω τμήμα του σωλήνα. Ο ατμός που προκύπτει ανέρχεται στην κορυφή του σωλήνα λόγω της χαμηλότερης πυκνότητας, και μεταφέρει τη θερμότητα στο κύκλωμα ψύξεως μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Έτσι ο ατμός ψύχεται και συμπυκνώνεται πάλι, ρέει σε υγρή μορφή πάνω στο τοίχωμα του σωλήνα προς τον πυθμένα του σωλήνα. Ενώ τα συστήματα άλμης και τα συστήματα άμεσης επέκτασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για τη θέρμανση όσο και την ψύξη, ο σωλήνας θερμότητας είναι κατάλληλος μόνο για τη θέρμανση, δεδομένου ότι η θερμότητα δε μπορεί να μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στο έδαφος (η κινητήρια δύναμη παρέχεται δια της βαρύτητας, η οποία λειτουργεί μόνον σε μία κατεύθυνση).

Το πιο παλιό παράδειγμα για αντλίες εδαφικών πηγών θερμότητας στη λογοτεχνία είναι από το 1945 στην Ινδιανάπολη, ΗΠΑ, και αφορά ένα σύστημα άμεσης επέκτασης με οριζόντιους βρόγχους (Crandall, 1945). Ήδη το 1947 ένα άρθρο από το Kemler παρουσίασε όλες τις βασικές διαμορφώσεις αντλιών εδαφικών πηγών θερμότητας που χρησιμοποιούμε σήμερα. Στην Ευρώπη (Αυστρία, Γερμανία, Σουηδία, Ελβετία), η πρώτη αντλία εδαφικών πηγών ενέργειας με υπόγεια φρεάτια και οι πρώτοι οριζόντιοι βρόγχοι εμφανίστηκαν γύρω στο 1970, και οι πρώτοι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας πριν από το 1980.

Μετά από μια σύντομη ξαφνική ανάπτυξη στις χώρες αυτές γύρω στο 1980, σε συνδυασμό με τη δεύτερη πετρελαϊκή κρίση, η ανάπτυξη στην Ευρώπη ήταν αργή καθ' όλη τη δεκαετία του 1980 και του 1990, με εξαίρεση τη Σουηδία και την Ελβετία. Από το 2000 περίπου, μια ισχυρή ανάπτυξη της αγοράς μπορεί να δει κανείς στη Γερμανία, ακολουθούμενη από τη Γαλλία, και το 2010, η τεχνολογία των αντλιών θερμότητας εδάφους έχει εξαπλωθεί σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Όλο το υλικό για τις αντλίες θερμότητας εδάφους είναι σήμερα διαθέσιμο από τους

κατασκευαστές, με αποδεδειγμένη ποιότητα: προκατασκευασμένοι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας, υλικό αρμολόγησης, σωλήνες, γεθρμικούς εναλλάκτες, αντλίες θερμότητας (Εικ. 1.5). Επίσης διαθέσιμες είναι οι μέθοδοι για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του εδάφους (θερμικούς και υδραυλικούς, Εικ. 1.6), οι κανόνες που διέπουν το σχεδιασμό και τις μεθόδους υπολογισμού που έχουν αναπτυχθεί, και οι κατευθυντήριες γραμμές και τα πρότυπα που διαμορφώνουν το πλαίσιο για αξιόπιστες και ανθεκτικές εγκαταστάσεις.



Εικόνα 1.5. Παραδείγματα προϊόντων για αντλίες θερμότητας: προκατασκευασμένοι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας που δοκιμάζονται και διανέμονται στο χώρο γεώτρησης (Φωτογραφίες αριστερά: Haka, κέντρο: Rehau).



Εικόνα 1.6. Παράδειγμα δοκιμή θερμικής απόκρισης για τον προσδιορισμό των παραμέτρων του εδάφους (αριστερά) και τον υπολογισμό της διάταξης των κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας χρησιμοποιώντας λογισμικό EED.

Ένα χρήσιμο εργαλείο για τη σύγκριση διαφορετικών εγκαταστάσεων των κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας είναι ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας. Αυτή είναι η μέγιστη χωρητικότητα θερμότητας στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας (χωρητικότητα ψύξης), διαιρούμενη με το συνολικό μήκος του εναλλάκτη θερμότητας οπών. Ο ρυθμός αυτός είναι εκφρασμένος σε Watt ανά μέτρο (W / m). Στα πρώτα χρόνια χρήσης κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας στην Ευρώπη γύρω στο 1980, η τιμή των $50 W / m$ δόθηκε ως ενδεικτική τιμή για τη Γερμανία, και η τιμή $55 W / m$ για την Ελβετία. Οι αξίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων αντλιών θερμότητας εκείνη την

περίοδο – και η τιμή των 50 W / m εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ως ένα κανόνας για πολλές μικρότερες εγκαταστάσεις σήμερα. Ωστόσο, η πραγματική απαγωγή θερμότητας η δυνατή σε ένα συγκεκριμένο έργο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες του εδάφους (θερμική αγωγιμότητα), τις απαιτήσεις του συστήματος (ώρες λειτουργίας), το μέγεθος του συστήματος (ο αριθμός και η απόσταση των κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας, οι παρεμβολές), κ.λπ. (Sanner, 1999). Έτσι, ένα σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας δεν πρέπει ποτέ να σχεδιαστεί σύμφωνα με τον κανόνα των 50 W / m απαγωγής θερμότητας, καθώς και η τιμή εξαγωγής θερμότητας χρησιμοποιείται μόνο για σύγκριση, μετά από ενδελεχή υπολογισμό σχεδιασμού που έχει γίνει.

Τον τελευταίο καιρό, αιτήσεις από τους κατασκευαστές ορισμένων νέων τύπων κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας έχουν γίνει για την επίτευξη συγκεκριμένων τιμών εξαγωγής θερμότητας μεγαλύτερων από 100 W / m (προφανώς ανεξάρτητης από οποιεσδήποτε θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους). Χρησιμοποιώντας μια απλή εξέταση επιτρέπεται ο έλεγχος της βιωσιμότητας αυτών των αξιώσεων. Η μεταφορά θερμότητας σε ένα σύστημα κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας μπορεί να διαιρεθεί σε δύο στάδια:

- Η μεταφορά στο αδιατάρακτο έδαφος γύρω από την οπή (ελέγχεται κυρίως από την θερμική αγωγιμότητα του εδάφους k)
- Η μεταφορά από το τοίχωμα της οπής εντός του ρευστού μέσα στους σωλήνες, η οποία ελέγχεται από τον τύπο του ρευστοκονιάματος, το υλικό του σωλήνα, τη γεωμετρία της οπής και των σωληνώσεων, κ.λπ., και δίδεται ως συνοπτική παράμετρος r_b (θερμική αντίσταση οπής).

Ο ειδικός ρυθμός απαγωγής θερμότητας ενός κατακόρυφου γεωεναλλάκτη θερμότητας μπορεί να υπολογιστεί μόνο για μια ορισμένη εγκατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που αναφέρονται ανωτέρω. Ένα νέο σχέδιο κατακόρυφου γεωεναλλάκτη θερμότητας με στόχο τη βελτίωση μπορεί να επηρεάσει μόνο τις παραμέτρους εντός της οπής, με αποτέλεσμα μια χαμηλότερη τιμή για το r_b . Ο καλύτερος εναλλάκτης θερμότητας οπών θα είναι ένα σύστημα με $r_b = 0 \text{ K (W / m)}$, δηλαδή μια αυθόρμητη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του τοιχώματος της οπής και των υγρών. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μόνο θεωρητικά, αλλά μπορεί να δράσει ως ένα σημείο αναφοράς για τον προσδιορισμό της αποδοτικότητας ενός πραγματικού συστήματος κατακόρυφου γεωεναλλάκτη θερμότητας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην αβαθή γεωθερμία μια πλήρης εγκατάσταση αποτελείται κυρίως από τα παρακάτω τμήματα :

A. Γεωθερμική αντλία θερμότητας (ΓΑΘ)

B. Γεωθερμικός εναλλάκτης (γεωεναλλάκτης)

- Κλειστού κυκλώματος (κάθετο-γεωτρήσεις, οριζόντιο, σπειροειδές)
- Ανοικτού κυκλώματος (γεωτρήσεις, πηγάδια, λίμνες, ποτάμια, θάλασσα)

Γ. Σύστημα θέρμανσης / ψύξης εντός του κτιρίου (αεραγωγοί , ενδοδαπέδια-ενδοτοιχία, fan coils,καλοριφέρ).

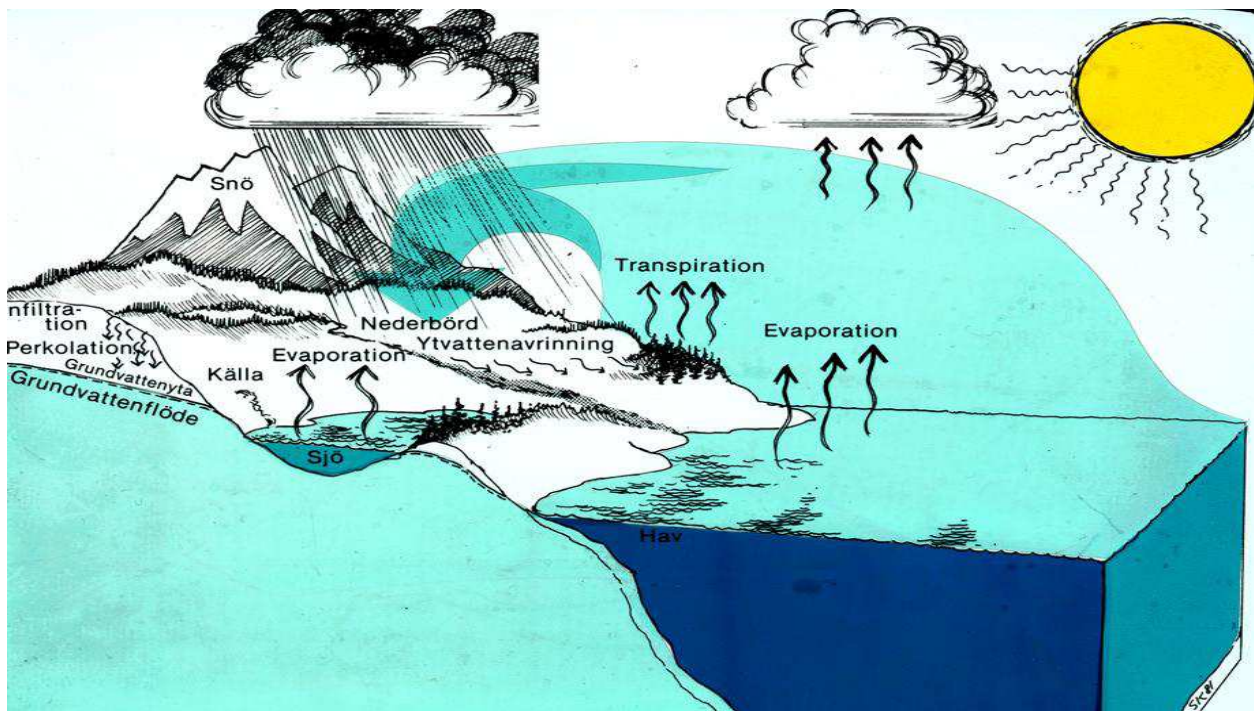
Περιορισμοί Αξιοποίησης Γεωθερμικού Δυναμικού

- Τεχνικής φύσεως (διάβρωση , δημιουργία επικαθίσεων)
- Περιβαλλοντικής φύσεως (εκπομπές τοξικών αερίων , θερμική ρύπανση)
- Οικονομικής φύσεως , που παίζουν σπουδαίο ρόλο σε κάθε προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας.

Γενικά είναι πιθανότερη η αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών όταν αυτά βρίσκονται κοντά σε βιομηχανικές, αστικές ή αγροτικές περιοχές, ή όταν υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

2.2. ΠΙΘΑΝΕΣ ΠΤΥΧΕΣ

Οι ανανεώσιμες μορφές θερμότητας χαμηλού υψόμετρικά γεωλογικού στρώματος παρουσιάζονται στην Εικόνα 2.1. Η ηλιακή ενέργεια είναι η κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου και μάλιστα για τις διαδικασίες που αποτελούν τη βάση για τις παραδοσιακές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η υδροηλεκτρική, η αιολική ενέργεια και η βιομάζα.



Εικόνα 2.1. Στον υδρολογικό κύκλο μπορούν να βρεθούν όλες οι παραδοσιακές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ροή γεωθερμικής ενέργειας είναι μια άλλη ανανεώσιμη πηγή.

Η μέση ηλιακή ακτινοβολία που απορροφάται από το έδαφος είναι της τάξεως των 1.500 kWh/m^2 ετησίως, ενώ η ροή γεωθερμικής θερμότητας περιορίζεται σε περίπου $0,6 \text{ kWh/m}^2$. Στην πράξη, αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που εξάγεται από πολύ μικρή απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους προέρχεται από την ηλιακή ενέργεια, αντί της γεωθερμικής θερμότητας που έρχεται από κάτω.

Αυτή η βασική γνώση, σχετικά με το πώς γίνεται η μεταφορά θερμότητας στο υπέδαφος, υποδηλώνει ότι οι εφαρμογές της αβαθούς γεωθερμίας μπορούν να θεωρηθούν ως η ηλιακή ενέργεια. Για το λόγο αυτό, οι δυνατότητες είναι τεράστιες και σχεδόν απεριόριστες. Ωστόσο, βάζοντας ενιαία, κλειστού βρόγχου, κάθετα συστήματα πολύ κοντά το ένα στο άλλο, θα οδηγήσει σε συνεχή ψύξη στο υπέδαφος. Ανάλογα με τις γεωλογικές και κλιματικές συνθήκες και με το πόση ενέργεια εξάγεται, η ασφαλής απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 20 και 30 m.

Υπό κανονικές συνθήκες, η θερμοκρασία σε ένα βάθος περίπου 10 μέτρων αντικατοπτρίζει τη μέση θερμοκρασία του αέρα ($14,3$ κατά μέσο όρο). Ωστόσο, σε περιοχές με χιόνι το χειμώνα, η θερμοκρασία του εδάφους θα είναι μερικούς βαθμούς υψηλότερη αφού το χιόνι θα μονώσει την επιφάνεια. Σε μεγαλύτερα βάθη, η θερμοκρασία του εδάφους θα αυξηθεί λόγω της ροής θερμικής ενέργειας. Αυτή η ροή δημιουργεί μια γεωθερμική βαθμίδα που κατά μέσο όρο είναι περίπου $3 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$. Σε χώρες με παλιά κρυσταλλικά πετρώματα, η βαθμίδα είναι συχνά πολύ μικρότερη, ενώ οι χώρες με αργιλώδη πετρώματα έχουν μεγαλύτερη βαθμίδα. Η ροή θερμότητας αντιπροσωπεύει περίπου το $0,07 \text{ W/m}^2$. Ωστόσο, η διακύμανση είναι αρκετά μεγάλη και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωγραφική θέση της περιοχής και τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες.

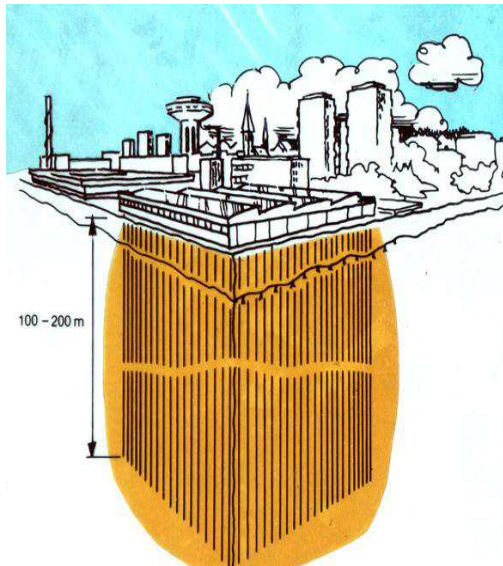
2.3. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΟΡΙΑ

2.3.1. Τεχνικοί περιορισμοί

Κάποιος θα μπορούσε να αναφερθεί ότι εφόσον η ενέργεια που απορροφάται από το έδαφος περιορίζεται σε εμβαδόν, θα μπορούσε κάλλιστα να χρησιμοποιήσει τα βαθύτερα στρώματα του εδάφους και να επεκταθεί εις βάθος έναντι του διαθέσιμου εμβαδού. Αυτό πραγματικά συμβαίνει με τα κάθετα γεωθερμικά συστήματα. Στην ουσία, περιορίζεται η διαθεσιμότητα του περιβάλλοντα χώρου που απαιτείται για την απορρόφηση της ενέργειας διότι εκτείνεται σε βάθος.

Ωστόσο όμως, τα κάθετα κλειστά γεωθερμικά συστήματα αντιμετωπίζουν τεχνικά προβλήματα υλοποίησης του έργου. Το κυριότερο πρόβλημα είναι η κατασκευή της οπής γιατί δυσκολεύει με το βάθος λόγω των γεωλογικών σχηματισμών που συναντούνται και της πιθανής υδροφορίας. Σε τέτοια βάθη, είναι αρκετά εύκολο να δημιουργηθούν «τάπες» στην οπή, το οποίο δεν είναι τίποτα παραπάνω από το γκρέμισμα της γεώτρησης λόγω σαθρότητας του εδάφους. Επιπλέον, υπάρχει και ο περιορισμός κατασκευής του μήκους του γεωγεωθερμικού εναλλάκτη από τις κατασκευάστριες εταιρείες. Τέλος, επέρχεται το πρόβλημα των υλικών πλήρωσης της οπής, όπου λόγω του ειδικού βάρους που παρουσιάζουν συντελούν στην αποτυχία του κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη.

Επομένως, παρ'όλο που το έδαφος θα μπορούσε να δώσει την απαραίτητη ενέργεια για τη θέρμανση οποιουδήποτε χώρου, δημιουργούνται περιορισμοί λόγω τεχνικών δυσκολιών που συντελούν στον περιορισμό της αποδιδόμενης ενέργειας από το έδαφος.



Εικόνα 2.2. Τεχνικοί περιορισμοί για ένα έργο υπόγειας αποθήκευσης μπορεί να σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά του φορτίου, τις θερμοκρασίες εργασίας, τη διαθεσιμότητα της πηγής ενέργειας, κ.λπ.. Είναι σημαντικό να καθοριστούν αυτοί οι περιορισμοί σε ένα πρώιμο στάδιο του έργου.

2.3.2. Γεωλογικοί περιορισμοί

Κατ' αρχήν, ένας ή περισσότεροι τύποι συστημάτων αντλιών εδάφους είναι τεχνικά εφικτοί σε οποιοδήποτε τύπο της γεωλογίας. Είναι περισσότερο θέμα εύρεσης μιας κατάλληλης μεθόδου κατασκευής, που σχετίζεται με τις ειδικές γεωλογικές συνθήκες στο χώρο για την εγκατάσταση. Ακόμα, οι γεωλογικές απαιτήσεις διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο του συστήματος που πρόκειται να εγκατασταθεί, και συνοψίζονται στις ακόλουθες γενικές δηλώσεις:

- Συστήματα κλειστού βρόγχου σε γενικές γραμμές εφαρμόζονται σε όλους τους τύπους της γεωλογίας. Ωστόσο, οι θερμικές ιδιότητες και τα προβλήματα γεώτρησης μπορεί να είναι ένας περιοριστικός παράγοντας.
- Ανοικτά συστήματα (που βασίζονται στην άντληση νερού εδάφους) απαιτούν μια γεωλογία που περιέχει έναν ή περισσότερους υδροφορείς. Ακόμα, η γεωμετρία του υδροφορέα, οι υδραυλικές ιδιότητες και η χημεία του νερού μπορούν να είναι περιοριστικοί παράγοντες σε κάποια περιοχή.

2.3.3. Υδρογεωλογικοί περιορισμοί

Οι υδρογεωλογικές συνθήκες μπορούν στην πράξη να διέπουν το σχεδιασμό του κάθε συστήματος ανοικτού βρόγχου. Παράγοντες, όπως ο τύπος του υδροφορέα, η γεωμετρία, το επίπεδο των υπόγειων υδάτων και η βαθμίδα, η σύνθεση υφής, οι υδραυλικές ιδιότητες και τα όρια είναι πράγματι σημαντικοί για το σχεδιασμό και την υλοποίηση των εν λόγω συστημάτων. Για συστήματα κλειστού βρόγχου αυτές οι παράμετροι έχουν μικρότερη σημασία, αλλά μπορεί σε ορισμένες περιπτώσεις να συνιστούν περιοριστικές συνθήκες.

- Συστήματα κλειστού βρόγχου μπορεί να επηρεαστούν από τη ροή των υπογείων υδάτων. Για συστήματα με εξαγωγή θερμότητας, αυτό είναι συνήθως ένα πλεονέκτημα. Για συστήματα με αποθήκευση της θερμότητας και του κρύου, μπορεί να είναι ένα μειονέκτημα όσον αφορά στην εξαγωγή ψυχρού αέρα. Επιπλέον, μία χαμηλή στάθμη των υπόγειων υδάτων θα περιορίσει την απαγωγή της θερμότητας και του κρύου εάν δεν χρησιμοποιείται επίχωση.
- Οι υδροφορείς που χρησιμοποιούνται για τα ανοικτά συστήματα μπορεί να έχουν μια περιορισμένη παραγωγή (καλή ικανότητα) και / ή μια κακή χημική σύνθεση. Μπορεί επίσης το μέγεθος και η γεωμετρία να μην είναι κατάλληλα. Περαιτέρω, ο υδροφορέας μπορεί ήδη να χρησιμοποιείται, για παράδειγμα, για την παροχή πόσιμου νερού. Αυτός θα είναι ένας περιοριστικός παράγοντας που δε μπορεί να ξεπεραστεί. Κατά τη διάρκεια τέτοιων περιστάσεων ένα σύστημα κλειστού βρόγχου μπορεί ή θα πρέπει να θεωρείται ως εναλλακτική λύση.

2.3.4. Κλιματικές συνθήκες

Το κλίμα της ευρύτερης περιοχής του έργου είναι ουσιαστικής σημασίας για οποιοδήποτε γεωθερμικό σύστημα κλιματισμού και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του εδάφους εξαρτάται από τη μέση τιμή της ετήσιας θερμοκρασίας του αέρα της ευρύτερης περιοχής του έργου. Κατά συνέπεια λοιπόν, το κλίμα της περιοχής προσδιορίζει τις

δυνατότητες εφαρμογής ενός γεωθερμικού συστήματος. Για παράδειγμα, σε τροπικά κλίματα είναι αδύνατη η αποθήκευση της θερμότητας στο έδαφος με στόχο την απομάκρυνση αυτή κατά την περίοδο του χειμώνα. Επίσης, σε περιοχές όπου υπάρχει υψηλό ποσοστό υγρασίας, είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθεί ο παθητικός δροσισμός του κτιρίου διότι απαιτείται επιπλέον φορτίο ψύξης για να αποφευχθεί η συμπύκνωση. Παρόμοιο φαινόμενο παρουσιάζεται σε θερμά κλίματα όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι σε υψηλά επίπεδα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

2.3.5. Περιβαλλοντικοί περιορισμοί

Συστήματα γεωθερμικών αντλιών εδάφους θα συμβάλλουν γενικά σε λιγότερη παγκόσμια εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα και άλλων βλαβερών ουσιών για το περιβάλλον. Ωστόσο, όσον αφορά σε κάθε χώρα συγκεκριμένα, και ίσως επίσης τοπικά, μπορεί να περιορίζονται ανησυχίες όπως:

- Μόλυνση του εδάφους και του υπόγειου ύδατος από οπές που συνδέονται με την επιφάνεια, και τη χρήση των αντιψυκτικών.
- Αλλαγή της θερμοκρασίας του υπεδάφους που μπορεί να επηρεάσει τη χημεία και τη σύνθεση σε βακτήρια και την ανάπτυξη τους στο υπέδαφος.
- Εκπομπές, ζημιές και τοπικές διαταραχές (θόρυβος, κ.λπ..) που προκαλούνται από τη δημιουργία οπών και την κατασκευή.
- Ζημιές σε κτίρια, στην πανίδα και στη χλωρίδα των περιοχών στις οποίες λειτουργούν τα συστήματα.

Στις περισσότερες χώρες, αυτά τα είδη των περιορισμών αποτελούν αντικείμενο της νομοθεσίας. Το αποτέλεσμα από τις αιτήσεις χορήγησης άδειας μπορεί μερικές φορές να είναι ότι ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών εδάφους αμφισβητείται από τα δικαστήρια ή τις τοπικές αρχές. Σε γενικές γραμμές, τα συστήματα ανοικτού βρόγχου είναι πιο δύσκολα να εγκριθούν συγκριτικά με τα συστήματα κλειστού βρόγχου. Ο λόγος είναι ότι η χρήση των υπόγειων υδάτων προκαλεί πολλές ανησυχίες στις περισσότερες χώρες.

2.3.6. Οικονομικοί περιορισμοί

Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών εδάφους θα πρέπει να είναι κερδοφόρα στο εμπόριο. Ωστόσο, στο στάδιο Έρευνας και Ανάπτυξης, μπορούν να πραγματοποιηθούν ασύμφορες εγκαταστάσεις, όπως και συστήματα που πληρούν τους περιβαλλοντικούς στόχους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μια ευνοϊκή χρηματοδότηση πολλές φορές περιορίζει ένα λιγότερο ευνοϊκό οικονομικό αποτέλεσμα από το σύστημα. Από αυστηρή εμπορική άποψη, τα όρια του κόστους μπορούν να εξηγηθούν ως εξής:

- Τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης συνολικά πρέπει να είναι λιγότερα σε σχέση με τα ανταγωνιστικά συστήματα.
- Το επιπλέον κόστος της επένδυσης για ένα σύστημα γεωθερμικών αντλιών εδάφους πρέπει να επιστραφεί από την αξία της εξοικονομούμενης ενέργειας και το κόστος συντήρησης στην τεχνική διάρκεια ζωής του συστήματος.
- Ο υπολογιζόμενος χρόνος εξόφλησης ποικίλει μεταξύ των διαφόρων τομέων και των διαφόρων χωρών, αλλά συνήθως το διάστημα των 10-15 ετών κρίνεται ως εύλογο

ανώτατο όριο.

2.3.7. Η νομοθεσία ως περιοριστικός παράγοντας

Η νομοθεσία ενσωματώνει ένα σύνθετο μίγμα νόμων, κωδικών, προτύπων και κανόνων. Συγκεκριμένα, αυτοί οι κανονισμοί είναι πιο συχνοί σε χώρες που ήδη χρησιμοποιούν τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών εδάφους. Σε άλλες χώρες μπορεί να είναι πολύ περιορισμένοι και να επικρατεί μια κατάσταση "άγριας δύσης" από την πλευρά της ρύθμισης. Η κατάσταση αυτή δημιουργεί έναν περιοριστικό παράγοντα από μόνη της, δεδομένου ότι οι αρχές δεν ξέρουν πώς να αντιδράσουν στις αιτήσεις άδειας. Πράγματι, μερικές φορές καλά συστήματα δεν αναπτύσσονται περαιτέρω εξαιτίας αυτού του γεγονότος. Σε αυτό το στάδιο φαίνεται ότι οι νομοθέτες δεν γνωρίζουν πώς να αξιολογούν τα συστήματα αυτά. Ως εκ τούτου, για τη δημιουργία λειτουργικής νομοθεσίας σε διάφορες χώρες, ο νομοθέτης πρέπει να είναι περισσότερο ευαισθητοποιημένος, ενημερωμένος και ενδεχομένως και να εκπαιδεύεται στο πώς λειτουργούν τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών εδάφους και τί αντιπροσωπεύουν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

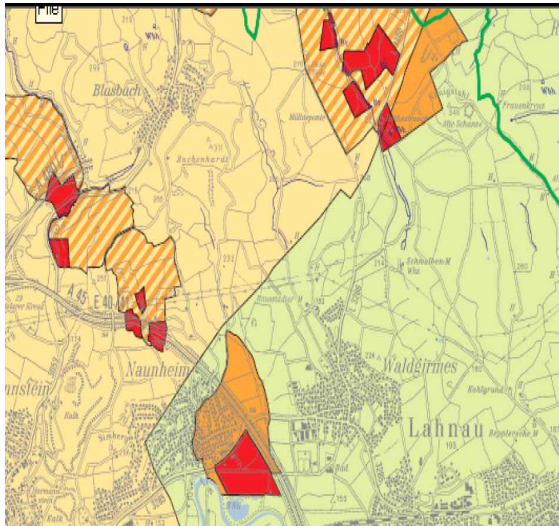
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι προϋποθέσεις για την σωστή σχεδιαστική μελέτη των συστημάτων αντλιών θερμότητας εδάφους αφορά κυρίως τα εξής ερωτήματα:

- Εάν Επιτρέπεται η εγκατάσταση αντλιών θερμότητας εδάφους με υπόγεια φρέατα ή κατακόρυφων γεωεναλλακτών θερμότητας σε μια συγκεκριμένη περιοχή
- Εάν η γεωλογική κατάσταση του υπέδαφους βοηθάει στην διάνοιξη οπών ώστε να μην παρεμβαίνει κατασταλτικά στο περιβάλλον. αν και πρέπει να παρατηρηθεί ότι συνήθως οι έρευνες σε επίπεδα μέτρησης του εδάφους (γεωτρήσεις –γεωφυσική) αποφεύγονται εξαιτίας του υψηλού κόστους.
- Ποια είναι τα θερμικά φορτία που πρέπει να καλυφθούν ;
- Ποιο είναι το εκτιμώμενο κόστος επένδυσης και λειτουργίας;

3.2. ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΔΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Αυτό το θέμα θα πρέπει να εξεταστεί πρώτο, είτε με διαβουλεύσεις ή με τα διαθέσιμα συστήματα πληροφοριών, π.χ. στο διαδίκτυο, ή επικοινωνώντας με τις αρμόδιες αρχές άμεσα. Δε θα δοθεί οριστική απάντηση σε αυτό το στάδιο, καθώς οι αρχές δεν θα λάβουν απόφαση πριν τη δημιουργία και την υποβολή του σχεδιασμού. Ωστόσο, βασικά εμπόδια, όπως οι ζώνες προστασίας των υπογείων υδάτων, οι περιοχές με αρτεσιανούς υδροφορείς, κ.λπ.. μπορούν να αναγνωριστούν γρήγορα και ένα έργο σε μια τοποθεσία με καμία πιθανότητα για μια άδεια μπορεί να εγκαταλειφθεί νωρίς, προτού υπάρξει πάρα πολύ μεγάλο κόστος. Χάρτες ή βάσεις δεδομένων του Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών εν τω μεταξύ είναι διαθέσιμα για πολλές περιοχές της Σουηδίας, της Γερμανίας και της Ελβετίας. Ο πρώτος χάρτης έγινε για το Καντόνι της Βέρνης στην Ελβετία γύρω στο 1990, και σήμερα τα δεδομένα είναι διαθέσιμα ως διαδραστικό σύστημα Συστήματος Γεωγραφικών Πληροφοριών (Εικ.3.1). Σε χώρες χωρίς επαρκείς δημοσιευμένες πληροφορίες, μόνο η άμεση επαφή με τις αρμόδιες αρχές μπορεί να παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες.



Εικόνα 3.1. (αριστερά) Παράδειγμα ενός λεπτομερούς χάρτη για ένα μικρό μέρος του γερμανικού κράτους της Έσσης, που παρουσιάζουν τις περιοχές κατάλληλες για συστήματα θερμότητας εδάφους (πράσινο), τομείς που απαιτούν μια κατά περίπτωση εξέταση και απόφαση (ανοιχτό καφέ), και τις ζώνες περιορισμένης πρόσβασης (κόκκινο). Ένα παρόμοιο χάρτη για το Καντόνι της Βέρνης στην Ελβετία, από την ηλεκτρονική βάση δεδομένων: <http://www.bve.be.ch/site/geo> (δεξιά).

3.3. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ ΥΠΕΔΑΦΟΥΣ

Οι γεωλογικές μελέτες, υπό την ευρύτερη έννοιά τους, παίζουν έναν σημαντικό ρόλο σε όλες τις φάσεις γεωθερμικής έρευνας και ανάπτυξης, από τον αρχικό προσδιορισμό των γεωθερμικά αξιόλογων περιοχών, μέχρι τα τελικά στάδια αξιολόγησης των γεωτρήσεων και παρακολούθησης των γεωλογικών αποτελεσμάτων της εκμετάλλευσης. Ο στόχος της γεωλογικής μελέτης στο προκαταρκτικό στάδιο είναι να εκτιμήσει την πιθανότητα της άντλησης του γεωθερμικού ρευστού σε χρησιμοποιήσιμες ποσότητες. Εκτός αν υπάρχει κάποιος αποχρών διαχειριστικός λόγος, η επιλογή των περιοχών λεπτομερούς μελέτης θα γίνει με βάση αυτήν την πρόωρη γεωλογική αξιολόγηση.

Επιπλέον της βασικής γεωλογικής χαρτογράφησης, το πρώτο στάδιο θα περιλάβει τη απεικόνιση της επιφανειακής γεωθερμικής δραστηριότητας όπως οι ατμίδες, θερμές πηγές, ατμίζοντα εδάφη κ.λ.π. Η κατά προσέγγιση εκτίμηση της θερμότητας που εκλύεται μέσω αυτών των επιφανειακών εκδηλώσεων θα δείξει την απολύτως ελάχιστη συντηρήσιμη παραγωγική ικανότητα του πεδίου. Η προκαταρκτική χημική ανάλυση των εκφορτιζομένων ρευστών θα δώσει πληροφορίες ενδεικτικές των φυσικών συνθηκών που επικρατούν στο ερευνοούμενο σύστημα.

Η αναγνώριση της περιφερειακής γεωλογίας και τεκτονικής είναι σημαντική, εφόσον βοηθά στον καθορισμό της έμφασης που θα δοθεί στα επόμενα στάδια λεπτομερούς έρευνας. Για παράδειγμα, είναι σημαντικό για τον σχεδιασμό των ερευνών να γνωρίζουμε εάν αυτές θα στοχεύουν στον εντοπισμό υπο-οριζοντίων διαπερατών υδροφορέων, ή υπο-κατακορύφων ρηξιγενών ζωνών και άλλων περιοχών διερρηγμένων πετρωμάτων. Η μελέτη των υδροθερμικών αποθέσεων και εξαλλοιώσεων γύρω από τις επιφανειακές θερμικές εκδηλώσεις μπορεί να δώσει μια ένδειξη της ηλικίας του συστήματος και περί του εάν υπήρξε περισσότερο ή λιγότερο ενεργό στο παρελθόν. Χρήσιμη είναι η μελέτη και συσχέτιση των επιφανειακών θερμικών εκδηλώσεων με την γεωλογία, την τοπογραφία και

την ενεργό τεκτονική, από τις οποίες συνηθέστατα ελέγχονται.

Μια πτυχή της γεωλογικής έρευνας γεωθερμικών πεδίων τομέα που έχει βαρύνουσα σημασία κατά το στάδιο των διερευνητικών γεωτρήσεων, είναι ο εντοπισμός επαρκούς υδραυλικής διαπερατότητας.

Σε γενικές γραμμές, η ανάλυση των υδροθερμικών εξαλλοιώσεων από τους πυρήνες δειγματοληπτικών γεωτρήσεων βοηθά στον προσδιορισμό των θερμότερων, και πλέον διαπερατών ζωνών κατά τη διάρκεια της γεώτρησης.

Επίσης, είναι δυνατή η ανάπτυξη δευτερογενούς υδραυλικής διαπερατότητας δια φαινομένων υδραυλικής θραύσης (όταν η πίεση των πορικών ρευστών ξεπερνά την τοπική μηχανική αντοχή του πετρώματος), η οποία μπορεί να αξιολογηθεί με πετρολογικές αναλύσεις των πυρήνων των γεωτρήσεων.

Σύνηθες αποτέλεσμα της εκμετάλλευσης γεωθερμικών πεδίων είναι οι εδαφικές καθιζήσεις. Η αναγνώριση ασθενών σχηματισμών με την βοήθεια γεω-μηχανικών αναλύσεων των πυρήνων των γεωτρήσεων μπορεί, εφόσον υπάρχει καλή χωρική κατανομή των γεωτρήσεων, να επιτρέψει στον προσδιορισμό των περιοχών που πιθανόν να επηρεασθούν. Η μέτρηση άλλων φυσικών παραμέτρων, όπως η πυκνότητα, ειδική αντίσταση, μαγνητικές ιδιότητες κ.ά. στα δείγματα των πυρήνων είναι επίσης χρήσιμη διότι παρέχει στοιχεία για την επαναξιολόγηση των γεωφυσικών ερευνών και ερμηνειών, και την βελτίωση των θεωρητικών προτύπων δομής και λειτουργίας του υπό διερεύνηση γεωθερμικού συστήματος και πεδίου. Μέσω του ρόλου τους στην παροχή των στοιχείων για τη βελτίωση των προηγούμενων ερμηνειών, οι γεωλογικές μελέτες συμβάλλουν στην διερεύνηση ενός πεδίου σε όλα τα στάδια της εξέλιξής της.

3.4. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΦΟΡΤΙΟΥ ΤΟΥ ΚΤΙΡΙΟΥ

Τα βασικά κριτήρια σχεδιασμού από πλευράς κτιρίου που πρέπει να είναι γνωστά:

- Αιχμή φορτίων ενέργειας (kW) σε συνθήκες σχεδιασμού.
- Ετήσια φορτία ενέργειας (MWh).
- Απαιτήσεις θερμοκρασίας των συστημάτων διανομής (θέρμανση και ψύξη).

Απαιτείται μια λογική αναπαράσταση της ετήσιας μεταβολής του φορτίου. Για μεγαλύτερα έργα, τα μηνιαία φορτία της ενέργειας και τα φορτία αιχμής είναι οι ελάχιστες απαιτήσεις. Τα στοιχεία του κτιρίου περιλαμβάνουν επίσης ορισμένες πληροφορίες που δε συνδέονται άμεσα με την απαίτηση θέρμανσης και ψύξης, αλλά για την ανάπτυξη της περιοχής: Διαθέσιμος χώρος για γεωτρήσεις.

Περαιτέρω περιορισμοί κάτω ή πάνω από το έδαφος.

3.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Με τα δεδομένα που περιγράφονται παραπάνω, το απαραίτητο μέγεθος και η διαρρύθμιση ενός συστήματος αντλίας εδάφους μπορούν να προσδιοριστούν.

Για μια αντλία θερμότητας υπογείων υδάτων, $1 \text{ m}^3 / \text{h}$ νερού που παράγεται από το φρέαρ

μπορεί να παράσχει 3.5 - 4.5 kW,. Για ένα σύστημα με εναλλάκτη θερμότητας οπών, μια (πιο συντηρητική) εκτίμηση της ικανότητας ενός συστήματος με εναλλάκτη θερμότητας οπών βάθους 100 μέτρων θα είναι 3 με 4 kW.

Είναι πάντα καλύτερο να γίνεται ένας υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους γεώτρησης π.χ. με λογισμικό EED, αλλά ο κανόνας του αντίχειρα μπορεί να βοηθήσει στην επίλυση των υποθέσεων στα οποία δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα για αξιόπιστο υπολογισμό. Πάντα πρέπει να λαμβάνεται υπ'όψιν ότι μια τέτοια προκαταρκτική εκτίμηση της διάταξης του συστήματος γίνεται μόνο για σχεδιαστική μελέτη, και πρέπει να ακολουθήσει ο κατάλληλος σχεδιασμός για την εγκατάσταση που να βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία μετρήσεων για τις παραμέτρους του εδάφους και καλά υπολογισμένες με λογισμικό EED ή παρόμοια προγράμματα.

3.6. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΠΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΠΛΕΥΡΑ

Για μια προκαταρκτική αξιολόγηση της οικονομικής πλευράς, γίνεται ένας υπολογισμός της αναμενόμενης επένδυσης:

- Σύστημα με εναλλάκτη θερμότητας οπών με τιμή μονάδας (π.χ. 50 €/μέτρο.)
- Αντλία θερμότητας με τιμή μονάδας (π.χ. 800 € / kW).

Επίσης, τα αναμενόμενα κόστη λειτουργίας χρειάζεται να συνοψίζονται:

- Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, τιμής ηλεκτρικής ενέργειας (συμπεριλαμβανομένων ειδικών τιμών / τιμών εκτός περιόδου αιχμής).
- Συντήρηση και επισκευές.

Για διευκόλυνση της σύγκρισης, συνιστάται ο υπολογισμός του ετήσιου μεριδίου του κόστους επένδυσης και χρηματοδότησης, καθώς και το ετήσιο κόστος λειτουργίας. Τότε το αποτέλεσμα συγκρίνεται με το κόστος επένδυσης και λειτουργίας που απαιτούνται για μια εναλλακτική συμβατική μονάδα. Εάν, ως αποτέλεσμα μιας μελέτης σχεδιασμού / εφικτότητας υπάρχουν εμπόδια κατά τη γεώτρηση σε μια τοποθεσία, αν και τόσο η τεχνική και οι οικονομικές πτυχές του σχεδιαζόμενου συστήματος αντλιών θερμότητας εδάφους είναι ευνοϊκές, ο σχεδιασμός μπορεί να πάει ένα βήμα προς τα εμπρός στο στάδιο των πραγματικών ερευνών, κ.λπ..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι βασικοί τρόποι μεταφοράς θερμότητας είναι:

Θερμική αγωγιμότητα. *Μεταφορά με αγωγή* Αγωγή (conduction) ανταλλαγή ενέργειας μέσω ενός στέρεου σώματος ή δια μέσου σωμάτων τα οποία βρίσκονται σε επαφή απο το σημείο επαφής.

- Διάδοση θερμότητας με μεταφορά. *Μεταφορά με συναγωγή*

Συναγωγή (convection) : μεταφορά ενέργειας μέσω της κίνησης ενός ρευστού , μέσω της επαφής του ρευστού και άλλων σωμάτων με τα οποία έρχεται σε επαφή.

- Θερμική ακτινοβολία. *Μεταφορά με ακτινοβολία*

Ακτινοβολία : radiation . ανταλλαγή ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και απορρόφησης.

4.2. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ

Η θερμότητα μεταφέρεται πάντα από ένα σώμα με υψηλότερη θερμοκρασία σε μια περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. ορίζεται η χαρακτηριστική ιδιότητα της ύλης που προσδιορίζει την ευκολία ή δυσκολία διάδοσης της θερμότητας στο εσωτερικό ενός υλικού.

Θερμική Αγωγιμότητα (thermal conduction) ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας από μία περιοχή ή σύστημα υψηλής θερμοκρασίας σε μια άλλη ή άλλο χαμηλότερης θερμοκρασίας, μέσω ενός μέσου (στερεού, υγρού ή αέριου σε ηρεμία), υπό την προϋπόθεση της φυσικής επαφής.

Η μεταφορά αυτή επιτυγχάνεται είτε με μοριακή αλληλεπίδραση, δηλαδή μεταφορά ενέργειας από τα περισσότερο ενεργητικά μόρια στα γειτονικά τους, με χαμηλότερο επίπεδο ενέργειας, είτε μέσω της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων στα, καθαρώς, μεταλλικά στερεά. Ειδικότερα, όταν τα μόρια μιας περιοχής της ύλης αποκτούν μία μέση κινητική ενέργεια, μεγαλύτερη αυτής των μορίων της γειτονικής περιοχής, αυτό εκδηλώνεται υπό τη μορφή μιας θερμοκρασιακής διαφοράς.

Οπότε, η ενέργεια, ή μέρος της, μεταφέρεται στα μόρια της περιοχής της μικρότερης θερμοκρασίας, γεγονός το οποίο επαληθεύει τον ορισμό της θερμικής αγωγιμότητας. Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας, μέσω αγωγιμότητας, λαμβάνει χώρα μέσω ελαστικών κρούσεων ή μέσω διάχυσης των μορίων, κατά την τυχαία κίνηση τους, στα αέρια και ρευστά. Στην περίπτωση των στερεών μέσων, η αντίστοιχη θερμική ενέργεια μεταφέρεται, μέσω των ταλαντώσεων των μορίων του πλέγματος και των κινουμένων ηλεκτρονίων, από περιοχές υψηλής, σε περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μετάδοσης θερμότητας με αγωγιμότητα είναι το φαινόμενο απώλειας θερμότητας, που παρατηρείται σε κλειστούς θερμαινόμενους χώρους κατά τη

διάρκεια της ψυχρής περιόδου,

Η θερμική αγωγιμότητα δίνεται σε $W \times m^{-1} \times K^{-1}$ ($W / m \times K$) και τυπικά χαρακτηρίζεται από τον αριθμό λ. Μερικές φορές χρησιμοποιείται ο αντίθετος όρος, η "θερμική αντίσταση" (ιδίως για υλικά μόνωσης). Αυτός δίδεται σε $K / (W \times m)$ και χαρακτηρίζεται από το γράμμα R.

Οι παράμετροι θερμικής αγωγιμότητας μπορούν να φανούν σε αναλογία με άλλα φαινόμενα μεταφοράς, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα ή ένα υδραυλικό σύστημα, στον ακόλουθο πίνακα:

ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ	ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ
Διαφορά θερμοκρασίας	Τάση	Υδραυλικό φορτίο
Θερμική αγωγιμότητα	Ηλεκτρική αγωγιμότητα	Υδραυλική αγωγιμότητα
Θερμική αντίσταση	Ηλεκτρική αντίσταση	
Ροή θερμότητας	Ηλεκτρικό ρεύμα	Ροή ρευστού

Η παράμετρος της θερμικής αγωγιμότητας καθορίζεται από τα ακόλουθα συστατικά σε έδαφος και βράχο:

- Θερμική αγωγιμότητα του στερεού (ορυκτά ή συνδυασμός ορυκτών).
- Θερμική αγωγιμότητα των γεμισμάτων των πόρων.
- Η μεταφορά θερμότητας στα όρια μεταξύ των στερεών σωματιδίων, ή μεταξύ του στερεού και του γεμίσματος του πόρου.

Σε σκληρή πέτρα, μόνο η στερεή μάζα ελέγχει τη θερμική συμπεριφορά του υπεδάφους. Στο έδαφος, στα μη ενοποιημένα ιζήματα, ή στις πέτρες με κενά (π.χ. κατάγματα, ή καρστικό σχηματισμό), η πλήρωση των κενών αυτών μπορεί να έχει μια σημαντική επιρροή. Αυτό αντικατοπτρίζεται επίσης στο γεγονός ότι η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας σε πορώδες υλικό είναι πολύ υψηλότερη από ό, τι σε σκληρό πέτρωμα, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί. Για πόρους που γεμίζουν με αέρα (π.χ. ξηρό χαλίκι ή ξηρή άμμος), η θερμική αγωγιμότητα του συνολικού υλικού είναι πολύ μικρή, ενώ το νερό, σαν γέμισμα πόρου είναι πολύ καλύτερο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο σε πορώδη υλικά η περιεκτικότητα σε υγρασία ελέγχει την θερμική αγωγιμότητα σε μεγάλο βαθμό. Σε σκληρό βράχο, η περιεκτικότητα σε χαλαζία είναι ένας καλός δείκτης για την θερμική αγωγιμότητα, καθώς ο χαλαζίας είναι μεταξύ των ορυκτών με την υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα ($7-14 W / m \times K$, εξαρτάται από τον προσανατολισμό των κρυστάλλων στην κατεύθυνση της μέτρησης).

	Τύπος πετρώματος	Θερμική αγωγιμότητα (W / m / K)		
Ανομοιογενές πέτρωμα			συνίσταται	
	Άργιλος/λάσπη, ξηρή	0,4 – 1,0	0,5	
	Άργιλος/λάσπη, κορεσμένη από νερό	0,9 – 2,3	1,7	
	Άμμος, ξηρή	0,3 – 0,8	0,4	
	Άμμος,κορεσμένη από νερό	1,5 – 4,0	2,4	
	Χαλίκι, ξηρό	0,4 – 0,5	0,4	
	Χαλίκι, κορεσμένο από νερό	1,6 – 2,0	1,8	
	Τύρφη,μαλακός λιγνίτης	0,2 – 0,7	0,4	
Στερεά ιζημάτα	Πέτρα από άργιλο, Πέτρα από λάσπη	1,1 – 3,5	2,2	
	Πέτρα από άμμο	1,3 – 5,1	2,3	
	Συσσωρευμένος λίθος	1,3 – 5,1	2,3	
	Λιπαντικό χώμα	1,5 – 3,5	2,1	
	Ασβεστόλιθος	2,5 – 4,0	2,8	
	Δολομίτης	2,8 – 4,3	3,2	
	Ανυδρίτης	1,5 – 7,7	4,1	
	Γύψος	1,3 – 2,8	1,6	
	Αλάτι	5,3 – 6,4	5,4	
	Γαϊάνθρακες	0,3 – 0,6	0,4	
Μαγματογενή πετρώματα	Ηφαιστειακή τέφρα		1,1	1,1
	Εβονίτης, οξύ στο ενδιάμεσο. Εβονίτης, αλκαλικό σε υπεραλκαλικό.	Π.χ. ρυολίτης, τραχείτης	3,1 – 3,4	3,3
		Π.χ. λατίτης, δακίτης	2,0 – 2,9	2,6
		Π.χ. ανδεσίτης, βασάλτης	1,3 – 2,3	1,7
	Πλουτώνιο, οξύ στο ενδιάμεσο.	Γρανίτης	2,1 – 4,1	3,4
		Σηγιτιής λίθος	1,7 – 3,5	2,6
	Πλουτώνιο, αλκαλικό σε υπεραλκαλικό.	Διορίτης	2,0 – 2,9	2,6
		Γάββρος	1,7 – 2,5	1,9
Μεταμορφωσιγενή πετρώματα	Ελαφρώς μεταμορφωμένα.	Πηλός σχιστόλιθου	1,5 – 2,6	2,1
		Διοξειδίο του πυριτίου	4,5 – 5,0	4,5
		Μάρμαρο	1,3 – 3,1	2,5
		Χαλαζίτης	5,0 – 6,0	5,5

	Μέτρια έως πολύ μεταμορφμένα.. Εβονίτης, οξύ στο ενδιαίμεσο.	Σχιστόλιθος	1,5 – 3,1	2,2
		Γνεύσιος	1,5 – 3,1	2,2
		Αμφιβολίτη	1,9 – 4,0	2,9
		Π.χ. ρυολίτης, τραχείτης	2,1 – 3,6	2,9

Οι τιμές για την θερμική αγωγιμότητα μπορούν να βρεθούν σε διάφορες δημοσιεύσεις. Μια καλή λίστα δίνεται στη γερμανική κατευθυντήρια γραμμή VDI 4640 μέρος 1. Για τα σχέδια πάνω από περίπου 30 kW, πάντα συνιστάται να ερευνηθεί αυτή η παράμετρος απευθείας στο χώρο, με τη χρήση της θερμικής δοκιμής απόκρισης . Οι τιμές στον παραπάνω πίνακα λαμβάνονται από το VDI 4640 (τεύχος 2010).

4.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ -Θερμική Συναγωγιμότητα

Ορίζεται, ως ο μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας μεταξύ μιας στερεής επιφάνειας και ενός παρακείμενου κινούμενου ρευστού (υγρού ή αερίου) και είναι ένας συνδυασμός αγωγιμότητας και κίνησης του ρευστού. Ο μηχανισμός λειτουργίας της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγιμότητα δεν εξαρτάται, κυρίως, από τη θερμοκρασιακή διαφορά, και μόνο, αλλά ακολουθεί μια σειρά φυσικών διεργασιών, όπως εξηγείται στη συνέχεια.

Αρχικά, η ροή θερμότητας διενεργείται μέσω αγωγιμότητας από μία στερεή επιφάνεια στα γειτονικά μόρια του ρευστού. Η μεταφερόμενη ενέργεια, κατ' αυτόν τον τρόπο, συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας και της εσωτερικής ενέργειας των μορίων του ρευστού. Στη συνέχεια, τα μόρια του ρευστού κινούνται προς την περιοχή της χαμηλότερης θερμοκρασίας και αναμειγνύονται με το υπόλοιπο μέρος των μορίων. Η θερμική ενέργεια, λοιπόν, αποθηκεύεται στα μόρια του ρευστού και μεταφέρεται, σαν αποτέλεσμα, στην κινούμενη μάζα του. Η διαδικασία αυτού του είδους της μεταφοράς θερμότητας, ορίζεται θερμική συναγωγιμότητα.

4.4. ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Έχοντας υπόψη το γενικό ορισμό της Μεταφοράς Θερμότητας, δηλαδή θεωρώντας την εμφάνιση του φαινομένου, υπό την προϋπόθεση της ύπαρξης δυναμικής θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ συστημάτων, μόνο η θερμική αγωγιμότητα μπορεί να ταξινομηθεί ως διεργασία καθαρής μεταφοράς θερμότητας, ενώ η θερμική συναγωγιμότητα προϋποθέτει την ύπαρξη ροής μάζας και η ακτινοβολία τη θερμοκρασία του συστήματος.

Παρόλα αυτά και επειδή υφίσταται μεταφορά ενέργειας από σύστημα υψηλής θερμοκρασίας, σε σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας, έχει, το γεγονός αυτό, γίνει αποδεκτό, να μελετάται και ως ένας μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας.

Διάδοση θερμότητας με μεταφορά σημαίνει ότι η θερμότητα μεταφέρεται από ένα υλικό μιας ορισμένης θερμοκρασίας σε περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας. Στην υδρογεωλογία, ο όρος "μεταφορά" χρησιμοποιείται συνήθως για τη φυσική, κάθετη κίνηση

των υγρών οδηγούμενα από τις διαφορές της πυκνότητας που οφείλονται στις διαφορετικές θερμοκρασίες. Για την κύρια οριζόντια μεταφορά του ρευστού λόγω των διαφορών πιέσεως εντός του υδροφορέα, χρησιμοποιείται ο όρος "οριζόντια μεταφορά".

Το νερό έχει μια αρκετά υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα περίπου $4,2 \text{ kJ} / \text{kg} \times \text{K}$ (ή $4,2 \text{ MJ} / \text{m}^3 \times \text{K}$), και έτσι είναι πολύ κατάλληλο μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής. Ωστόσο, υπάρχει πάντα μια αλληλεπίδραση του υγρού με του στερεού να ρέει διαμέσου του και έτσι γίνεται μια ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ρευστού και του στερεού. Ως συνέπεια, η διάδοση θερμότητας με μεταφορά είναι πολύ πιο αργή από την ίδια ροή των υπογείων υδάτων.

Για τη διάδοση θερμότητας με μεταφορά, δεν μπορεί να δοθεί μία μόνο παράμετρος, όπως η θερμική αγωγιμότητα στην περίπτωση της αγωγής. Η μέθοδος είναι πολύ πιο σύνθετη και περιλαμβάνει τις ιδιότητες του ρευστού, τις ιδιότητες του στερεού (μήτρας), το μέγεθος των πόρων και τα χαρακτηριστικά τους, τις υδραυλικές ιδιότητες, κ.λπ.. Ενώ η μεταφορά θερμότητας με αγωγή μπορεί να μειωθεί μαθηματικώς με έναν τρόπο ώστε να μπορεί να υπολογιστεί αναλυτικά, αυτό είναι εξαιρετικά δύσκολο όσον αφορά στη διάδοση θερμότητας με μεταφορά. Και αν η μεταφορά θερμότητας με μεταφορά λαμβάνει χώρα, πάντα εμπλέκεται ένα αγωγίμο υλικό. Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός της θερμότητας με μεταφορά απαιτεί αριθμητική προσομοίωση με θερμική σύζευξη και υδραυλικά μοντέλα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΙ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σκοπός της αντλίας θερμότητας εδάφους-πηγής, για μονοκατοικίες και άλλες εφαρμογές μικρής κλίμακας, είναι η χρησιμοποίηση της φυσική θερμοκρασία του εδάφους ως πηγή θερμότητας κατά τη λειτουργία θέρμανσης και ως αποδέκτης θερμότητας κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ψύξης. Η επακόλουθη μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους γύρω από τις γεωτρήσεις πρέπει να διατηρείται μικρή, προκειμένου να αποφευχθεί η μειωμένη απόδοση του συστήματος. Είναι επιθυμητή μια μέγιστη θερμική αλληλεπίδραση με το γύρω περιβάλλον, δεδομένου ότι σκοπός είναι να απάγει τη θερμική ενέργεια στο έδαφος. Το έδαφος χρησιμοποιείται επίσης για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας (Υπόγεια αποθήκευση της θερμικής ενέργειας), Σε αυτήν την περίπτωση η θερμική αλληλεπίδραση με το έδαφος που περιβάλλει τον όγκο του εδάφους αποθήκευσης είναι ανεπιθύμητη.

Ένα σημαντικό ζήτημα στο σχεδιασμό των συστημάτων που χρησιμοποιούν κατακόρυφους γεωεναλλάκτες θερμότητας είναι να προσδιοριστούν οικονομικά αποδοτικές μέθοδοι για την κατασκευή του κατακόρυφου γεωεναλλάκτη θερμότητας, έτσι ώστε η θερμότητα να μπορεί να εγχυθεί ή να εξαχθεί από το έδαφος χωρίς υπερβολικές διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας και του περιβάλλοντος εδάφους. Η απόδοση μιας συσκευής σύζευξης εδάφους-πηγής, όπως μία αντλία θερμότητας εδάφους-πηγής (τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη), ενός ελεύθερης ψύξης εναλλάκτη θερμότητας ή ενός ηλιακού γεωθερμικό εναλλάκτη επαναφόρτισης είναι υψηλότερη για μικρότερες διαφορές θερμοκρασίας. Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει μια επισκόπηση των διαφορετικών σχεδίων των κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας.

5.2. ΕΝΝΟΙΕΣ

Αρχίζουμε με μια σύντομη περιγραφή των βασικών θερμικών διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του κυκλοφορούντος ρευστού σε κανάλια ροής των γεωτρήσεις και του περιβάλλοντος εδάφους.

5.2.1. Θερμική αντίσταση ρευστού- εδάφους

Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ του ρευστού και του περιβάλλοντος εδάφους εξαρτάται: 1) Από τη διάταξη των καναλιών ροής, 2) Τη διάδοση θερμότητας με μεταφορά στους αγωγούς, και 3) Τις θερμικές ιδιότητες των υλικών που συμμετέχουν στη θερμική διαδικασία.

Υπάρχουν δύο είδη θερμικών αντιστάσεων που σχηματίζουν την θερμική αντίσταση ρευστού – εδάφους.

Τα δύο μεγάλα είδη αυτής της αντίστασης είναι: Η θερμική αντίσταση μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας και του τοιχώματος της γεωτρήσεως, η οποία ονομάζεται κοινώς θερμική αντοχή γεώτρησης, και τη θερμική αντίσταση του εδάφους γύρω από το τοίχωμα της γεωτρήσεως με κάποιο κατάλληλο, μέσο επίπεδο θερμοκρασίας.

Η επιρροή της θερμικής αντίστασης γεώτρησης μπορεί να γίνει σχετικά μεγάλη σε συμβατικά σχέδια. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ρυθμούς έγχυσης θερμότητας καθώς και σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης. Επίσης είναι σημαντικό στην εφαρμογή χαμηλών θερμοκρασιών με υψηλές απαιτήσεις για την ,μεταφορά υψηλών ρυθμών μεταφοράς θερμότητας σε μικρές διαφορές θερμοκρασίας.

5.2.2. Θερμική αντίσταση εδάφους

Η θερμική αντίσταση εδάφους περιλαμβάνει το έδαφος γύρω από τα τοιχώματα της γεώτρησης σε κάποιο κατάλληλο επίπεδο μέσης θερμοκρασίας. Αυτό το επίπεδο θερμοκρασίας επιλέγεται συχνά για να είναι η φυσική αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους. Το σε συστήματα απορροφητικού τύπου, ενώ η τοπική μέση θερμοκρασία εδάφους T_m είναι πιο κατάλληλη σε εφαρμογές αποθήκευσης.

5.2.3 Εφαρμογές τύπου αποθήκευσης

Σε εφαρμογές τύπου αποθήκευσης μια συγκεκριμένη περιοχή εδάφους μπορεί να ανατεθεί στον κάθε εναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Η θερμοκρασία σε αυτή την εδαφική περιοχή ονομάζεται «τοπική μέση θερμοκρασία T_m ». Η θερμική αντίσταση R_g ανάμεσα στην θερμοκρασία του τοιχώματος της γεώτρησης T_b και την τοπική μέση θερμοκρασία T_m ορίζεται από τη σχέση:

$$T_b - T_m = q R_g$$

Για γεωτρήσεις σχετικά κλειστών τύπων, η θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ των παρακείμενων γεωτρήσεων έχει αναπτυχθεί πλήρως για έγχυση θερμότητας και παλμούς εξαγωγής με διάρκεια περίπου μιας εβδομάδας ή και περισσότερο. Οι βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις, όπου η θερμική αλληλεπίδραση μεταξύ γειτονικών γεωτρήσεων συνήθως μπορεί να αγνοηθεί, υπερθέτονται σε αυτήν τη διαδικασία. Η σχετική σημασία της θερμικής αντίστασης της γεώτρησης είναι μεγαλύτερη για εφαρμογές τύπου αποθήκευσης.

5.2.4 Θερμική αντίσταση γεώτρησης

Ένας σημαντικός παράγοντας για το σχεδιασμό των συστημάτων γεώτρησης είναι η θερμική αντίσταση μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας στα κανάλια ροής γεώτρησης και του τοιχώματος της γεωτρήσεως. Η θερμική αντίσταση από το υγρό ως τον τοίχωμα γεωτρήσεως δίνει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της θερμοκρασίας του ρευστού στον γεωθερμικό εναλλάκτη (T_f) και τη θερμοκρασία του τοιχώματος της γεωτρήσεως (T_b) για έναν ορισμένο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας q (W / m):

$$T_f - T_b = R_b \cdot q$$

Η θερμική αντίσταση γεώτρησης εξαρτάται από τη διάταξη των καναλιών ροής και τις θερμικές ιδιότητες των εμπλεκόμενων υλικών. Οι τιμές που παρατηρούνται στις δοκιμές πεδίου κυμαίνονται από 0.01 K/(W/m) για την ανοικτή ομοαξονική διάταξη (θερμότητα ρευστού φορέα σε άμεση επαφή με το βράχο) έως περίπου 0,25 K/(W/m) για μονούς σωλήνες τύπου U σε ενέματα μπεντονίτη όπου δεν υπάρχουν ειδικές προφυλάξεις για να κρατηθούν οι σωλήνες κοντά στο τοίχωμα της γεώτρησης. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας και του τοιχώματος της γεωτρήσεως είναι ανάλογη με το ρυθμό μεταφοράς θερμότητας. Για ένα τυπικό ρυθμό μεταφοράς θερμότητας των 50 W/m, η αντίστοιχη διαφορά θερμοκρασίας γίνεται 0,5 ° C έως 12,5 ° C.

Η θερμική αντίσταση γεώτρησης μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση του συστήματος και θα πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερη. Τα υλικά πλήρωσης (π.χ. μπεντονίτης, σκυρόδεμα κ.λπ.) στις γεωτρήσεις συνήθως παρέχουν καλύτερη μεταφορά θερμότητας από το καθαρό στάσιμο νερό. Ωστόσο, στις γεωτρήσεις η μεταφορά θερμότητας προκαλεί μεταφορά θερμότητας στο νερό γεώτρησης και στο γύρω διαπερατό έδαφος. Αυτό το φαινόμενο, το οποίο είναι πιο έντονο σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλες ταχύτητες μεταφοράς θερμότητας, οδηγεί σε μείωση της συνολικής θερμικής αντίστασης γεώτρησης. Η συνολική θερμική απόδοση του πεδίου γεώτρησης που υπόκειται σε ορισμένη παραλλαγή του θερμικού φορτίου δεν εξαρτάται μόνο από τη θερμική αντίσταση της γεώτρησης, αλλά επίσης και από την παροδική θερμική αντίσταση του περιβάλλοντος εδάφους και τη θερμική επίδραση από άλλες γεωτρήσεις.

5.2.5. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ των καναλιών ροής

Οι θερμοκρασίες του ρευστού κατά μήκος των καναλιών ροής θα ποικίλουν σύμφωνα με τη θερμική ισορροπία μεταξύ της συναγωγής αξονικής μεταφοράς θερμότητας και την εγκάρσια μεταφορά θερμότητας στο περιβάλλον έδαφος. Η διαφορά θερμοκρασίας που προκύπτει μεταξύ των πάνω και των κάτω καναλιών μπορεί να γίνει μεγάλη σε χαμηλούς ρυθμούς ροής. Η επακόλουθη ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ των καναλιών αντιθέτου ροής μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη θερμότητας εδάφους. Για τους συμβατικούς κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας τύπου U, οι επιδράσεις αυτές είναι συνήθως σημαντικές όταν η ροή είναι στρωτή, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με βαθιές γεωτρήσεις. Αυτή η επίδραση έχει επίσης παρατηρηθεί σε ομοαξονικούς κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας με κακή μόνωση μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών καναλιών ροής.

5.2.6. Επιδράσεις θερμοχωρητικότητας εντός της γεώτρησης

Όταν μια αλλαγή συμβαίνει κατά τη μεταφορά θερμότητας σε ένα κατακόρυφο γεωεναλλάκτη θερμότητας BHE, προκαλεί ταχεία αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού φορέα θερμότητας. Ένα μεγάλο κλάσμα της θερμότητας που παρέχεται αρχικά απορροφάται από το υγρό και στη συνέχεια από άλλα υλικά εντός της γεώτρησης, όπως το υλικό πλήρωσης έξω από τα κανάλια ροής. Μετά από μια αρχική φάση, η χωρητική επίδραση της γεώτρησης είναι πρακτικά αμελητέα, και σχεδόν το σύνολο της παρεχόμενης θερμότητας μεταφέρεται στο έδαφος. Βραχυπρόθεσμοι παλμοί συχνά απαιτούν να λογίζεται η επιρροή της θερμοχωρητικότητας της γεώτρησης.

Διαφορετικά, οι υπολογισμένες θερμοκρασίες ρευστού θα είναι πολύ υψηλές (κατά την

έγχυση της θερμότητας) ή πολύ χαμηλές (κατά τη διάρκεια της εκχύλισης της θερμότητας). Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό εάν υπάρχει μεγάλη θερμική αντίσταση μεταξύ της θερμοχωρητικότητας γεώτρησης και του τοιχώματος της γεωτρήσεως. Για τους παλμούς μεταφοράς θερμότητας μεγαλύτερης διάρκειας, η επιρροή της θερμοχωρητικότητας της γεώτρησης συνήθως μπορεί να αγνοηθεί.

5.3. ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι διατάξεις σωληνώσεων εναλλακτών θερμότητας κάθετου εδάφους μπορούν να ταξινομηθούν με βάση το πώς η ανταλλαγή θερμότητας από τα κανάλια ροής λαμβάνει χώρα και τη γεωμετρία της διατομής τους.

Στον ΒΗΕ σωλήνα τύπου U, τόσο τα προς τα κάτω όσο και τα προς τα άνω κανάλια ροής συμμετέχουν στην ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον έδαφος. Τα χαρακτηριστικά του ομοαξονικού τύπου (ή διπλού τοιχώματος) ΒΗΕ είναι ότι ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα είτε από το κανάλι ροής που κυλά προς είτε απ' αυτό που κυλά αντίθετα με την κανονική φορά (η κατεύθυνση ροής μπορεί επίσης να είναι διαφορετική κατά τη διάρκεια της πρόσθεσης ή της απορρόφησης θερμότητας). Ο εσωτερικός σωλήνας επιστροφής (ιδανικά) μονώνεται προκειμένου να αποφευχθεί θερμικό βραχυκύκλωμα μεταξύ των καναλιών ροής που κυλάνε προς τα άνω αυτά που κυλάνε προς τα κάτω.

Τα περισσότερα σχέδια χρησιμοποιούν κλειστά κυκλώματα, το οποίο σημαίνει ότι ο ρευστός φορέας θερμότητας δεν είναι ποτέ σε άμεση επαφή με το περιβάλλον έδαφος. Μερικά σχέδια επιτρέπουν τέτοια άμεση επαφή, ελαχιστοποιώντας έτσι πιθανώς την θερμική αντίσταση μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας και του εδάφους.

5.3.1. ΒΗΕ ομοαξονικού τύπου

Χαρακτηριστικά του ΒΗΕ ομοαξονικού τύπου είναι ότι ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ του ρευστού και του εδάφους εμφανίζεται είτε στο κανάλι με ροή προς τα άνω είτε σ' αυτό με ροή προς τα κάτω.

5.3.1.1. Ομοαξονικός ΒΗΕ χωρίς επένδυση

Η απλούστερη διάταξη των καναλιών ροής σε έναν κατακόρυφο εναλλάκτη θερμότητας είναι να τοποθετήσετε έναν ενιαίο πλαστικό σωλήνα στον πάτο της γεωτρήσεως. Η δακτυλιοειδής περιοχή μεταξύ του πλαστικού σωλήνα και του τοιχώματος της γεωτρήσεως παρέχει το κανάλι για τη ροή που επιστρέφει. Αυτό το είδος εναλλάκτη θερμότητας ανοικτής γεώτρησης είναι πολύ ευνοϊκό από την άποψη της μεταφοράς θερμότητας, επειδή το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι σε άμεση επαφή με το τοίχωμα της γεωτρήσεως. Ο γύρω βράχος μπορεί να είναι διαπερατός, στην οποία περίπτωση συμβάλλει στην απαγωγή της θερμότητας η δευτερεύουσα κυκλοφορία του ρευστού στο σχηματισμό.

5.3.1.2. Ομοαξονικός ΒΗΕ με διπλό τοίχωμα

Συχνά απαιτείται ένα κλειστό σύστημα λόγω ασταθών τοιχωμάτων γεώτρησης ή λόγω γεωχημικών ανησυχιών. Ένας κλειστός δακτυλιοειδής αγωγός μπορεί να πραγματοποιηθεί με την επένδυση της γεωτρήσεως με ένα αδιαπέραστο υλικό. Η τοποθέτηση και ασφαλιτοστρωση σωλήνων PVC (ή των σωλήνων χάλυβα) σε γεωτρήσεις είναι μάλλον δύσκολη και δαπανηρή σε σύγκριση με τους σωλήνες τύπου U, κι έτσι αυτή η μέθοδος έχει χρησιμοποιηθεί μόνο μερικές φορές σε σχετικά ρηχές γεωτρήσεις σε κρυσταλλικά πετρώματα.

Λόγω της σημαντικής θερμικής αντοχής του υλικού πληρώσεως μεταξύ του εξωτερικού σωλήνα και του τοιχώματος της γεωτρήσεως, η μετρούμενη θερμική αντίσταση γεωτρήσεως για αυτές τις ρυθμίσεις είναι παρόμοια με εκείνες των απλούστερων ενιαίας σωλήνων τύπου U. Ωστόσο, σε βαθείς σχηματισμούς αργίλου ο κάθετα ωθούμενος ομοαξονικός σωλήνας χρησιμοποιείται για μεγαλύτερα πλεονέκτηματα, δεδομένου ότι ο πηλός γύρω από τον εξωτερικό σωλήνα στις περισσότερες περιπτώσεις θα προσαρμοστεί στην επιφάνεια του σωλήνα (χωρίς υλικό πήρωσης).

5.3.1.3. Ομοαξονικοί ΒΗΕ με μαλακή επένδυση

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα της χρησιμοποίησης μια εύκαμπτη μαλακή επένδυση, η οποία μετά την εισαγωγή θα ωθείται έναντι του τοιχώματος της γεωτρήσεως, όταν το εσωτερικό είναι γεμάτο με υγρό. Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι δεν υπάρχει υλικό πληρώσεως μεταξύ της επένδυσης και του τοιχώματος της γεωτρήσεως. Ωστόσο, αρκετές δοκιμές πεδίου κατέδειξαν ότι υπάρχουν προβλήματα διαρροής.

5.3.1.4. ΒΗΕ πολλαπλών θαλάμων

Το εξωτερικό κανάλι ροής ανταλλαγής θερμότητας μπορεί να χωριστεί σε πολλούς μικρότερους θαλάμους. Λόγω της θερμικής αντίστασης του υλικού πληρώσεως μεταξύ του εξωτερικού του σωλήνα και του τοιχώματος της γεωτρήσεως και του πιθανού θερμικού βραχυκυκλώματος μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού καναλιού ροής, η απόδοση αυτού του σχεδιασμού είναι παρόμοια με αυτή των σωλήνων τύπου U.

5.3.1.5. ΒΗΕ πολλαπλών σωλήνων

Το εξωτερικό κανάλι ροής ανταλλαγής θερμότητας μπορεί επίσης να αποτελείται από πολλούς μικρότερους σωλήνες. Δοκιμές πεδίου έχουν δείξει ότι αυτή η διάταξη αγωγού ροής μπορεί να επιτύχει υψηλές απόδοσεις. Τα κανάλια ροής είναι σπάνια σωλήνες πολυαιθυλενίου διαφόρων μεγεθών. Δεν υπάρχουν προς το παρόν εμπορικά προϊόντα αυτού του τύπου που να διατίθενται στην αγορά. Οι προκλήσεις είναι η μόνωση του εσωτερικού σωλήνα, ο σχεδιασμός του κάτω κομματιού, η διαδικασία εγκατάστασης και το συνολικό κόστος.

5.3.2. ΒΗΕ σωλήνα τύπου U

Η συνήθης μέθοδος για να επιτευχθεί η ανταλλαγή θερμότητας σε μία γεώτρηση είναι να προστεθεί ένας ή περισσότεροι βρόγχοι σχήματος U πολυαιθυλενικών σωληνώσεων μέσα στην οπή γεώτρησης. Οι ενιαίοι (μονοί) σωλήνες τύπου U χρησιμοποιούνται στη Βόρεια Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική, ενώ οι διπλοί σωλήνες τύπου U είναι κοινοί στην Κεντρική Ευρώπη. Στη Βόρεια Ευρώπη, οι γεωτρήσεις συνήθως γεμίζουν με τα υπόγεια ύδατα σε λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Στις ΗΠΑ και στην Κεντρική Ευρώπη είναι κοινή πρακτική και συχνά απαιτείται να γεμίζονται οι γεωτρήσεις με κάποιο υλικό στεγανοποίησης όπως ο μπεντονίτης, το σκυρόδεμα ή η χαλαζιακή άμμος. Ειδικά μείγματα, τα λεγόμενα θερμικά βελτιωμένα ενέματα, έχουν αναπτυχθεί για να παρέχουν καλύτερη μεταφορά θερμότητας από το καθαρό μπεντονίτη.

5.3.2.1. Ενιαίοι (μονοί) σωλήνες τύπου U

Οι ενιαίοι σωλήνες τύπου U αποτελούν την καθιερωμένη επιλογή στο χώρο της βιομηχανίας για περίπου 30 χρόνια. Τα κύρια πλεονεκτήματα είναι η απλότητα του σχεδιασμού, η ευκολία μεταφοράς και απλή εγκατάσταση σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις. Μια εγκατάσταση που βασίζεται στις αποδεδειγμένα βέλτιστες πρακτικές διαδικασίες έχει μια σχεδόν απεριόριστη διάρκεια ζωής. Τα κύρια προβλήματα περιλαμβάνουν διαρροές που οφείλονται σε ακατάλληλη σύντηξη των στρωμάτων τύπου U και σε αδύναμα κομμάτια του πάτου. Το κύριο μειονέκτημα του ενιαίου σωλήνα τύπου U είναι η σχετικά φτωχή ικανότητα μεταφοράς θερμότητας, ιδιαίτερα σε συνθήκες μη τυρβώδους ροής.

5.3.2.2. Ενιαίος σωλήνας τύπου U με αποστάτες

Η θερμική απόδοση του ενιαίου σωλήνα τύπου U αυξάνεται εάν οι σωλήνες είναι τοποθετημένοι κοντά στο τοίχωμα της γεωτρήσεως. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση των λεγόμενων διαχωριστικών.

5.3.2.3. Σωληνώσεις τύπου U πολλαπλών στηλών

Σωλήνες διπλοί, τριπλοί και πολλαπλών στηλών τύπου U είναι απλές επεκτάσεις της έννοιας του ενιαίου σωλήνα U. Τα κύρια πλεονεκτήματα των διατάξεων πολλαπλών στηλών σε σύγκριση με τους σωλήνες U είναι ότι αυξάνεται η αποτελεσματική ζώνη μεταφοράς θερμότητας και ότι η επιρροή της σχετικά μεγάλης θερμικής αντίστασης των πλαστικών σωληνών μειώνεται.

Η επίδραση του συντελεστή μεταφοράς θερμότητας μειώνεται επίσης, πράγμα που σημαίνει ότι η σημασία της μη στρωτής ροής σε φορτία σχεδιασμού είναι κάπως λιγότερο κρίσιμη. Αυτό μπορεί στη συνέχεια να επιτρέψει την ελαφρώς χαμηλότερη πίεση

κατά μήκος των εναλλακτών θερμότητας, προκειμένου να επιτευχθεί ένα ορισμένος ρυθμός μεταφοράς θερμότητας.

5.3.2.4. Διάταξη τριών σωληνών

Μια παραλλαγή του εναλλάκτη θερμότητας σωλήνα γεώτρησης τύπου U είναι μια διάταξη με δύο σωλήνες σε μία κατεύθυνση και μία σωλήνα στην άλλη κατεύθυνση. Χρησιμοποιήθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980, όταν εισήχθησαν στη Σουηδία οι αντλίες θερμότητας υπόγειας πηγής, αλλά σύντομα εξαφανίστηκαν από την αγορά λόγω της πολυπλοκότητας του σχεδιασμού.

5.4. ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΒΗΕ ΣΩΛΗΝΩΝ ΤΥΠΟΥ U

Οι πιο σημαντικές παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αντίσταση γεώτρησης είναι ο ρυθμός ροής ρευστού, το υλικό του σωλήνα, ο αριθμός των σωληνών, η θέση του σωλήνα και η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πλήρωσης.

5.4.1. Υλικό σωλήνα

Οι σωλήνες U για κανονικές εφαρμογές χρησιμοποιούν σωλήνες πολυαιθυλενίου που είναι εύκαμπτοι και ανθεκτικοί. Ωστόσο, η θερμική αντίσταση των αγωγών είναι σχετικά υψηλή, ειδικά με τα παχύτερα τοιχώματα των σωληνών SDR-11 και PN12. Οι τιμές πίεσης αναφέρονται σε μια θερμοκρασία των 20°C. Η αντοχή βελτιώνεται με χαμηλότερες θερμοκρασίες, αλλά μειώνεται με υψηλότερες θερμοκρασίες. Πρέπει να ληφθούν υπόψη άλλα υλικά όταν οι σωλήνες είναι εκτεθειμένοι σε υψηλότερες θερμοκρασίες από 30-40°C. Οι σωλήνες πολυβουτυλενίου έχουν χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας.

5.4.2. Υλικό συμπλήρωσης

Μια κάθετη γεώτρηση μπορεί να απαιτεί να χρησιμοποιείται κάποιο είδος υλικού επίχωσης για να γεμίσει το χώρο μεταξύ των καναλιών ροής και του τοιχώματος της γεωτρήσεως. Ένας λόγος μπορεί να είναι να παρέχουν μια καλή θερμική επαφή με το περιβάλλον έδαφος, λόγω της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας του φυσικού υλικού πλήρωσης ή της χαμηλής στάθμης των υπογείων υδάτων. Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα είναι να σφραγιστεί η γεώτρηση για να περιοριστεί η κάθετη κίνηση του νερού κατά μήκος της γεώτρησης που μπορεί να προκαλέσει περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως η μετακίνηση σ' άλλη περιοχή του μολυσμένου νερού, η αποστράγγιση των στρωμάτων του εδάφους κοντά στην επιφάνεια του εδάφους και η διατάραξη των υδραυλικών χαρακτηριστικών των αρτεσιανών σχηματισμών.

Οι ειδικοί αρμόστοκοι χρησιμοποιούνται για να παρέχουν μία χαμηλή διαπερατότητα κατάλληλη για σφράγιση της γεώτρησης. Είναι σημαντικό ότι αυτοί οι αρμόστοκοι έχουν

την ικανότητα να «δένουν» έναντι τόσο του τοιχώματος της γεωτρήσεως όσο και των σωλήνων. Τα μείγματα πρέπει να είναι εφαρμόσιμα και αντλούμενα κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης με μικρή συρρίκνωση κατά την ωρίμανση. Εάν συμβεί συρρίκνωση, μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα για ένα ρευστό μονοπάτι «μετανάστευσης». Οι κοινή αρμόστοκοι, όπως ο μπεντονίτης, έχουν συνήθως χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Τα ειδικά θερμικά ενέματα έχουν αναπτυχθεί για να ενισχύσουν την θερμική αγωγιμότητα. Η χρήση ενός εμπορικού ετοίμου προϊόντος συνιστάται έντονα.

Το ένεμα θα πρέπει κατά προτίμηση να τοποθετείται εντός της γεώτρησης με άντληση πίεσης μέσω ενός κωνικού σωλήνα (αφού έχει κυκλοφορήσει στο δακτυλιοειδή χώρο νερό ή άλλο υγρό γεώτρησης επαρκές για να καθαρίσει τα εμπόδια) προκειμένου να αποφευχθεί η γεφύρωση και τα κενά.

Ένα ρευστοκονίαμα με υψηλή θερμική αγωγιμότητα μειώνει σημαντικά την αντίσταση γεώτρησης. Δεδομένου ότι η συνολική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ρευστού φορέα θερμότητας και την αδιατάρακτη του έδαφος εξαρτάται από τη συνδυασμένη θερμική αντίσταση γεώτρησης και του εδάφους, έχει βρεθεί ότι η μεγαλύτερη μείωση σε απαιτούμενο μήκος γεώτρησης του βρόγχου εδάφους συνέβη με τις υψηλότερες τιμές θερμικής αγωγιμότητας εδάφους. Όπου οι θερμικές αγωγιμότητες ενέματος και εδάφους είναι παρόμοιες, η διάμετρος γεώτρησης δεν αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την απόδοση του εναλλάκτη θερμότητας γεώτρησης. Εάν η θερμική αγωγιμότητα εδάφους είναι υψηλότερη από τη θερμική αγωγιμότητα ενέματος, μια μεγαλύτερη διάμετρος γεωτρήσεως θα αποφέρει ένα υψηλότερη θερμική αντίσταση (συνδυασμένη: γεώτρησης και εδάφους). Μικρότερες γεωτρήσεις απαιτούν λιγότερα ενέματα και έχουν χαμηλότερη συνολική αντίσταση, το οποίο δείχνει ότι η διάμετρος γεώτρησης έχει οικονομικό αντίκτυπο. Ο προσδιορισμός του βέλτιστου ενέματος για ένα δεδομένο έργο θα απαιτήσει πραγματικές δαπάνες για σωλήνες, ενέματα και γεωτρήσεις.

5.4.2.1. Τσιμεντοειδή ενέματα

- Πλεονεκτήματα: Κατάλληλη διαπερατότητα, αντλείται και αναμειγνύεται εύκολα, κατάλληλο για τις περισσότερες συνθέσεις, οι ιδιότητες μπορούν να τροποποιηθούν με άμεσα διαθέσιμα πρόσθετα
- Μειονεκτήματα: Συρρίκνωση, μεγάλος χρόνος ωρίμανσης, αποτελέσματα υψηλής πυκνότητας στην απώλεια σχηματισμού, θερμότητα ενυδάτωσης, επηρεάζει την ποιότητα του νερού.

5.4.2.2. Ενέματα μπεντονίτη

- Πλεονεκτήματα: Κατάλληλη διαπερατότητα με ενέματα πολύ στερεά, μη συρρίκνωση και αυτοσυμπίεση σε κορεσμένο από νερό περιβάλλον, δεν υπάρχει θερμότητα ενυδάτωσης, χαμηλή πυκνότητα, δεν υπάρχει χρόνος ωρίμανσης
- Μειονεκτήματα: Πρόωρη διόγκωση, υψηλό ιξώδες, υψηλής πυκνότητας αποτελέσματα στην απώλεια σχηματισμού, δύσκολη ανάμιξη, μεγάλη συρρίκνωση σε ξηρό περιβάλλον.

Ένα σοβαρό μειονέκτημα των ενεμάτων μπεντονίτη είναι η έντονη ευαισθησία στη δράση παγετού. Όταν το νερό πρώτα παγώνει και στη συνέχεια ξαναζεσταίνεται ο μπεντονίτης χάνει την ικανότητα προσρόφησης και το νερό διαχωρίζεται από το μίγμα. Ο προηγουμένως σταθερός μπεντονίτης γίνεται σχεδόν υγρός κατά τη διάρκεια της απόψυξης. Η κατάψυξη ενός χαμηλής διαπερατότητας μίγματος μπεντονίτη με υψηλή περιεκτικότητα σε νερό μπορεί να οδηγήσει σε συμπίεση πίεσης στους σωλήνες λόγω της διαστολής του όγκου κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης νερού-πάγου. Η συμπίεση μπορεί να καταστρέψει τους σωλήνες και να προκληθεί διαρροή.

5.4.3. Τοποθεσία σωλήνα

Η θερμική αντίσταση γεώτρησης εξαρτάται από τη θέση του σωλήνα U εντός της γεώτρησης. Η θερμική αντίσταση αυξάνει με την απόσταση μεταξύ των σωλήνων και του τοιχώματος της γεωτρήσεως. Η θερμική αντίσταση στο υλικό πλήρωσης είναι αντιστρόφως ανάλογη προς θερμική αγωγιμότητα. Τρεις διαφορετικές διαμορφώσεις του σωλήνα ενδείκνυνται: οι σωλήνες να αγγίζουν το κέντρο της οπής (Διαμόρφωση Α), να υπάρχει η ίδια απόσταση μεταξύ των σωλήνων όσο και μεταξύ των σωλήνων και του τοιχώματος της γεωτρήσεως (Διαμόρφωση Β), και κάθε σωλήνας αγγίζει το τοίχωμα της γεωτρήσεως σε διαμετρικά αντίθετα σημεία (Διαμόρφωση Γ).

Η διαμόρφωση Α δίνει τη γεώτρηση υψηλότερης θερμικής αντίστασης και θεωρείται ότι είναι μια πολύ συντηρητική παραδοχή σχεδιασμού. Η διαμόρφωση Γ είναι η βέλτιστη τοποθέτηση σωλήνων, αλλά δεν θα γίνει με συνέπεια κατά μήκος της γεώτρησης εκτός αν χρησιμοποιούνται διαχωριστικά για τον έλεγχο της απόστασης του σωλήνα. Η διαμόρφωση Β θεωρείται ότι είναι μια λογική υπόθεση σχεδιασμού στις περισσότερες καταστάσεις χωρίς διαχωριστικά.

5.4.4. Ρυθμός ροής ρευστού

Η μεταφορά θερμότητας συναγωγής από τον όγκο υγρού στον σωλήνα προς το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα μπορεί να έχει σημαντική επίπτωση επί της θερμικής αντίστασης γεώτρησης. Αν και η ισοδύναμη θερμική αντίσταση της διαδικασίας μεταφοράς θερμότητας είναι μικρή σε συνθήκες τυρβώδους ροής, αποτελεί περίπου το ήμισυ της συνολικής αντίστασης σε συνθήκες στρωτής ροής. Η επίδραση της εσωτερικής μεταφοράς θερμότητας μεταξύ των προς τα άνω και των προς τα κάτω καναλιών ροής, το θερμικό βραχυκύκλωμα, μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί στην αποτελεσματική θερμική αντίσταση γεώτρησης. Το θερμικό βραχυκύκλωμα αυξάνεται όσο αυξάνεται το βάθος γεώτρησης και μειώνεται ο ρυθμός ροής.

Η συνδυασμένη θερμική αντίσταση του υλικού του σωλήνα και της μεταφοράς θερμότητας στο εσωτερικό του σωλήνα πρέπει να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα. Η συνεισφορά στο σύνολο θερμικής αντίστασης είναι μεγάλο για τους ενιαίους σωλήνες τύπου U πολυαιθυλενίου.

Η θερμική αντίσταση γεώτρησης αυξάνεται με μειωμένο ρυθμό ροής λόγω της ανάπτυξης της στρωτής ροής και την αύξηση θερμικών βραχυκυκλωμάτων μεταξύ των προς τα άνω

και των προς τα κάτω καναλιών ροής. Για ένα δεδομένο ρυθμό απομάκρυνσης θερμότητας, αυτό μειώνει την θερμοκρασία της πηγής και τον συντελεστή επίδοσης (COP) της αντλίας θερμότητας, κάτι που αυξάνει την ποσότητα πρωτογενούς ενέργειας που απαιτείται για να παραδώσει ένα ορισμένο ποσοστό θέρμανση στο σπίτι. Υψηλότεροι ρυθμοί ροής βελτιώνουν την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας αλλά αυτό το πλεονέκτημα σε κάποιο σημείο αντισταθμίζεται από τη μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από την αντλία κυκλοφορίας, η οποία είναι περίπου ανάλογη προς την τρίτη δύναμή της.

Οι προτάσεις του οδηγού σχεδίου της ASHRAE είναι να γίνει προσπάθεια για έναν αριθμό Reynold 2500-3000 στα ενεργειακά φορτία σχεδιασμού. Αυτός είναι ένας εμπειρικός κανόνας που εκφράζει μια λογική σχέση ανάμεσα στην απόδοση της θερμικής αντλίας και της ενεργειακής απαίτησης της αντλίας κυκλοφορίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΓΕΩΛΟΓΙΑ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γεωλογικό πλαίσιο είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε κάθε διαδικασία σχεδιασμού αβαθούς γεωθερμικού συστήματος. Σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης, το έδαφος είναι το πρόσθετο στοιχείο σε μια ΓΑΘ. Κατά τον σχεδιασμό μιας εγκατάστασης ΓΑΘ, η ακριβής γνώση των γεωλογικών συνθηκών στις οποίες βρίσκεται η ΓΑΘ και του τρόπου ενσωμάτωσης αυτών των δεδομένων, κατά τη διαστασιολόγηση της αντλίας θερμότητας αποτελούν τις βασικές παραμέτρους για την επιτυχία του έργου.

Οι διαφορές μεταξύ των πετρωμάτων και του εδάφους, η βασική ταξινόμηση των διαφόρων οικογενειών πετρωμάτων, η κατανόηση της διάθεσής τους στο έδαφος, η γνώση των βασικών αρχών της μηχανικής, θερμικής και υδρογεωλογικής συμπεριφοράς του εδάφους είναι αναγκαία ζητήματα στο σχεδιασμό των μεσαίων και μεγάλων συστημάτων ΓΑΘ.

Σε μικρά συστήματα, μια βασική γεωτεχνική και υδρογεωλογική γνώση μπορεί να είναι χρήσιμη για την αποφυγή κινδύνων σχετικά με την ασφάλεια και το περιβάλλον. Μια γεωλογική προσέγγιση είναι απαραίτητη από την αρχική φάση του έργου. Η συλλογή κάθε είδους γεωλογικών, γεωτεχνικών, υδρογεωλογικών και θερμογεωλογικών πληροφοριών για την περιοχή του έργου είναι χρήσιμη και μπορεί να εξοικονομήσει πολλά χρήματα.

6.2. ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η γεωθερμική ενέργεια είναι η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη με τη μορφή θερμότητας κάτω από την επιφάνεια της γης.

Γεωθερμική Ενέργεια Χαμηλής Ενθαλπίας ή Αβαθής Γεωθερμική Ενέργεια είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται σε πολύ χαμηλό δυναμικό, συνήθως κάτω των 25 ° C. Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας έχει πολλές προελεύσεις. Σε πολλές περιπτώσεις η ενέργεια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι ένα μίγμα από:

Βαθιά γεωθερμική ροή. Ο αντιδραστήρας πυρήνα της Γης παρέχει, σε ανθρώπινη κλίμακα, μια ατελείωτη ροή θερμότητας προς την επιφάνεια του πλανήτη. Ως αποτέλεσμα έχουμε γεωθερμικές μέσες βαθμίδες των 3°C/100 μέτρα βάθους, και ένα ρυθμό ροής θερμότητας στην επιφάνεια της Γης μεταξύ 30 και 100 mW/m².

Ηλιακή απορροφώμενη ακτινοβολία. Η μεταφορά θερμότητας στην επιφάνεια. Διάφοροι παράγοντες πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που διαχέεται στο έδαφος, το νερό διήθησης και η μεταφορά θερμότητας με τον αέρα με συναγωγή και θερμική ακτινοβολία. Ωστόσο, γίνεται συχνά η υπόθεση ότι η θερμοκρασία

του εδάφους (για τα πρώτα 10 μέτρα) είναι μία συνάρτηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας. Κάτω από 10 μέτρα, η θερμοκρασία του εδάφους δεν είναι πλέον ευαίσθητη στην ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα.

Μεταγωγή των υπογείων υδάτων. Η ροή του νερού εδάφους είναι σε θέση να μεταφέρει μεγάλα ποσά ενέργειας μέσα στο έδαφος. Η διαδικασία αυτή, γνωστή ως μεταθετική ροή, είναι ένας κύριος παράγοντας σε πολλά αβαθή γεωθερμικά συστήματα.

Θερμική ικανότητα αποθήκευσης των πετρωμάτων. Τα πετρώματα με την ικανότητά τους να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια (μέση $\approx 0,65 \text{ kWh/m}^3/^\circ\text{C}$) παρέχουν μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας, ειδικά στα κάθετα συστήματα κλειστού βρόγχου, όπου μια γεώτρηση μπορεί να περιλαμβάνει χιλιάδες κυβικά μέτρα πετρωμάτων.

Η τεχνητή αναπλήρωση (αναγέννηση). Η χωρητικότητα αποθήκευσης του πετρώματος μπορεί να παρέχει μια εξαιρετική χαμηλού κόστους θερμική αποθήκη εποχιακής κλίμακας, που είναι σε θέση να διαχειριστεί τη θερμότητα των αποβλήτων από διαδικασίες ψύξης, κατάψυξης, ηλιακού πλεονάσματος κ.λπ..

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους είναι:

- Η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους
- Η ογκομετρική θερμοχωρητικότητα
- Ανεμπόδιση θερμοκρασία του εδάφους.

Η ικανότητα του εδάφους να μεταφέρει και να αποθηκεύει θερμότητα εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, κυρίως:

Ορυκτολογία πετρωμάτων. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε χαλαζία, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική αγωγιμότητα.

Πυκνότητα. Η υψηλή πυκνότητα του υλικού συνήθως σημαίνει πυκνή υφή και απουσία κενών. Όσο υψηλότερη είναι η πυκνότητα, τόσο υψηλότερη είναι η θερμική αγωγιμότητα και η διάχυση.

Περιεκτικότητα σε νερό. Η παρουσία νερού βελτιώνει τη μετάδοση θερμότητας, ακόμη και εν απουσία ροής. Γεμίζει τα κενά, αυξάνοντας τη θερμική αγωγιμότητα του πετρώματος ή του εδάφους.

Ένα καλό παράδειγμα ενός γεωλογικού εργαλείου έρευνας για ένα κάθετο σύστημα αβαθούς γεωθερμίας κλειστού βρόγχου είναι η πιλοτική γεώτρηση. Η διάνοιξη πιλοτικής γεώτρησης με τον κατάλληλο γεωλογικό έλεγχο, παρέχει πληροφορίες σχετικά με:

- πρακτικά λιθολογίας
- βαθμός ρωγμάτων εδάφους
- Υδρογεωλογία
- Παραμέτροι διάτρησης
 - Σταθερότητα κατασκευής, κενά και τρύπες
 - Γεωτρητική ικανότητα
 - Διάμετροι
 - Απαραίτητο βοηθητικό περίβλημα
 - Ταχύτητα διάτρησης
- Κόστος διάτρησης

- Μία γεώτρηση για εγκατάσταση ενός εναλλάκτη ΡΕ για τη Δοκιμή Θερμικής Απόκρισης (TRT)
- Αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους, καταγραφή της θερμοκρασίας πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το TRT, άλλα είδη των γεωφυσικών μετρήσεων κ.λπ. χρησιμοποιώντας ένα πρόσθετος σωλήνας για γεωτρήσεις .

6.3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Γεωλογία καθορίζει τη συμπεριφορά στο έδαφος της θερμικής ενέργειας. Ένας προσαρμοσμένος σχεδιασμός ενός μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους αβαθούς γεωθερμικού συστήματος δεν μπορεί να γίνει χωρίς μια ανάλυση των γεωλογικών θεμάτων.

Οι μελετητές μηχανικούς πρέπει να κατανοήσουν βασικές έννοιες μεταφοράς θερμότητας στο έδαφος, τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν τον προϋπολογισμό της ενέργειας, την φόρτιση και την αποφόρτιση θερμότητας και τον ρόλο των υπόγειων υδάτων. Θα πρέπει επίσης να γνωρίζουν βασική γεωλογία και υδρογεωλογία, τα βασικά πετρώματα και λιθολογίες, τη θέση των υδροφόρων οριζόντων και την ευπάθεια, τουλάχιστον του συγκεκριμένου χώρου των έργων, προκειμένου να επιλέξουν την καλύτερη τυπολογία κυκλώματος σε κάθε τόπο. Θα πρέπει να έχουν επίγνωση των συνεπειών και των κινδύνων από μια κακή γεωλογική αξιολόγηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΓΕΩΤΡΗΣΗΣ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα γεωθερμικά συστήματα μικρού βάθους βασίζονται κυρίως σε γεωτρήσεις και πηγάδια. Αυτά είναι τα θεμελιώδη στοιχεία που καθορίζουν τα κατακόρυφα συστήματα κλειστού βρόγχου, και τα ανοιχτά κυκλώματα που βασίζονται στα υπόγεια ύδατα.

Οι γνώσεις σχετικά με τις διάφορες μεθόδους και τα εργαλεία διάτρησης, το πεδίο εφαρμογής, τους περιορισμούς, το κόστος και τους κινδύνους είναι κύρια ζητήματα. Κατά τον ίδιο τρόπο, ο μηχανικός πρέπει να γνωρίζει για τα συστήματα περιβλημάτων, εναλλακτικές σωληνώσεις, γέμισμα και σφράγισμα υλικών, καθώς και τις μεθόδους εκτέλεσης.

Ο μηχανικός θα πρέπει να είναι σε θέση να επιλέγει την κατάλληλη μέθοδο γεώτρησης για το τρέχον σύστημα, να είναι εξοικειωμένος με τα εργαλεία, να είναι σε θέση να προσδιορίσει τις διαμέτρους και την ανάγκη για βοηθητικό περίβλημα, να προβλέπει τις δαπάνες ώστε να αξιολογήσει την τεχνική και οικονομική δυνατότητα επίτευξης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων.

Το κόστος των διαδικασιών γεώτρησης κατακόρυφων συστημάτων κλειστού βρόγχου μπορεί να κυμανθεί από 50 έως 70% του κόστους των επιπλέον χρεώσεων ενός γεωεναλλακτικού κυκλώματος, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού. Το πρώτο βήμα στη διαδικασία της διαστασιολόγησης μιας αντλίας θερμότητας εδάφους είναι ο καθορισμός της ζήτησης του συστήματος. Η διαδικασία αυτή θα πρέπει να περιλαμβάνει μια ανάλυση των διαφόρων πιθανών εναλλακτικών λύσεων, που κυμαίνονται από το καλύτερο στο χειρότερο οικονομικά, με βάση τις γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες του χώρου εργασίας, και εξαιρουμένων των μη-εφικτών.

Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να δώσει μια σύντομη επισκόπηση της γεώτρησης. Η πολυπλοκότητα αυτού του θέματος είναι σημαντική, αλλά ο στόχος είναι να απεικονιστούν οι κύριες μέθοδοι διάτρησης που εφαρμόζονται για την κατασκευή των γεωθερμικών κυκλωμάτων εναλλαγής.

7.2. ΕΝΝΟΙΕΣ

Αυτή η υποενότητα έχει ως στόχο να περιγράψει τα κύρια συστήματα γεωτρήσεων που χρησιμοποιούνται στην συντριπτική πλειοψηφία των κατασκευών γεωθερμικών συστημάτων.

7.2.1. Μέθοδοι διάτρησης

Γεωτρήσεις και διατρήσεις έχουν μακρά ιστορία. Υπάρχουν στοιχεία γεωτρήσεων άνω των 2000 χρόνων, εκατοντάδες μέτρων βάθους και διάτρητοι με ένα πρωτόγονο γεωτρύπανο, χρησιμοποιώντας καλάμια ως σωλήνες διάτρησης.

Παραδοσιακά, έχει υπάρξει μια διάκριση μεταξύ των δύο κοινών μεθόδων διάτρησης: κρουστική και περιστροφική μέθοδος. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν και άλλες μέθοδοι, οι οποίες είτε περιέχουν στοιχεία από τις δύο προηγούμενες, όπως η μέθοδος περιστροφική-κρουστική είτε είναι σχετικά πρόσφατες τεχνολογικά που, παρ' ότι προέρχονται από τις προηγούμενες, παρουσιάζουν σημαντικές ιδιαιτερότητες: διατρήσεις με ακουστικές μεθόδους, οριζόντιες γεωτρήσεις κ.λπ.

- Κρουστική μέθοδος

Κατά την κρουστική μέθοδο η θραύση του πετρώματος γίνεται με κρούση σ' αυτό κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου. Με την κρούση επιτυγχάνεται θρυμματισμός του πετρώματος και έτσι λαμβάνονται δείγματα με τη μορφή τριμμάτων.

Η κρούση του κοπτικού εργαλείου επί του πετρώματος γίνεται με δύο τρόπους.

A) Με πτώση από κάποιο ύψος της διατρητικής στήλης, οπότε υπό την πίεση του βάρους της το πέτρωμα θρυμματίζεται

B) Με τη ρυθμική, παλινδρομική (μέσω αεροσυμπιεστή) κίνηση της διατρητικής στήλης επί του πετρώματος (αερόσφυρα).

- Περιστροφική μέθοδος

Κατά την περιστροφική μέθοδο, ο θρυμματισμός του πετρώματος γίνεται με πίεση και περιστροφή κατάλληλου διατρητικού (κοπτικού) εργαλείου. Η περιστροφή επιτυγχάνεται με κινητήρα, ο οποίος περιστρέφει την κεφαλή ή τράπεζα του γεωτρυπάνου και αυτά με τη σειρά τους περιστρέφουν τα στελέχη και το κοπτικό. Ανάλογα με τη μορφή του κοπτικού, τρίκωνο ή κορώνα, το πέτρωμα θρυμματίζεται πλήρως ή αποκόπτεται μόνο ένας κυκλικός δακτύλιος οπότε εκτός από τα τρίμματα λαμβάνεται δείγμα κυλινδρικής μορφής (πυρήνας, ή καρότο).

Κατά την περιστροφική μέθοδο γεώτρησης, για την εξαγωγή των τριμμάτων, την επένδυση των τοιχωμάτων, την ψύξη και τη λίπανση του κοπτικού άκρο χρησιμοποιείται λάσπη (πολφός).

- ✓ Ανάλογα με τον τρόπο κυκλοφορίας της λάσπης μέσα στη γεώτρηση, διακρίνονται δύο επί μέρους βασικές μέθοδοι περιστροφικής γεώτρησης. Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

- Γεώτρηση με θετική κυκλοφορία

Βασική προϋπόθεση για τη γρήγορη, ασφαλή και αποτελεσματική προχώρηση μιας γεώτρησης είναι η συνεχής απομάκρυνση των τριμμάτων από το βάθος της γεώτρησης και η εξαγωγή τους στην επιφάνεια.

Με τη θετική κυκλοφορία ο καθαρισμός της γεώτρησης σε βάθος και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής: Με τη βοήθεια αντλητικού συγκροτήματος (πηλαντλία) διοχετεύεται μέσα από τα στελέχη προς το κοπτικό και το τέρμα της γεώτρησης λάσπη υπό πίεση, η οποία βγαίνοντας από το κοπτικό καθαρίζει το βάθος της γεώτρησης (πυθμένα) από τα τρίμματα, τα οποία στη συνέχεια παρασύρει μαζί της στον κενό χώρο ανάμεσα στα τοιχώματα και τα στελέχη και τα βγάζει στην επιφάνεια, στο λάκκο της γεώτρησης, όπου καθιζάνουν. Σε μεγάλες και βαθιές γεωτρήσεις χρησιμοποιούνται κατάλληλα κόσκινα για την απομάκρυνση των τριμμάτων. Σημαντικοί παράγοντες επιτυχίας της μεθόδου είναι η καταλληλότητα και πυκνότητα της λάσπης, καθώς και η πίεση της πηλαντλίας.

- Γεώτρηση με ανάστροφη κυκλοφορία

Με την ανάστροφη κυκλοφορία ο καθαρισμός του βάθους της γεώτρησης και η εξαγωγή των τριμμάτων στην επιφάνεια επιτυγχάνεται ως εξής:

Το νερό ή η λάσπη από το λάκκο της γεώτρησης ή κάποια ειδική δεξαμενή, διοχετεύεται συνεχώς με φυσική ροή εντός της γεώτρησης, ώστε αυτή να είναι συνεχώς γεμάτη με νερό. Παράλληλα, με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή πρεσσάρεται αέρας σε κάποιο βάθος μέσα στη διατηρητική στήλη (στελέχη) με αποτέλεσμα να δημιουργείται αναρρόφηση λόγω υποπίεσης (άντληση) οπότε το μίγμα αέρα – νερού ή αέρα - λάσπης να παρασύρει κατά την έξοδό του προς την επιφάνεια και τα τρίμματα της γεώτρησης, τα οποία στη συνέχεια δια μέσου της κεφαλής και ειδικών κοσκίνων μεταφέρονται στον λάκκο της γεώτρησης.

Πλεονεκτήματα της μεθόδου της ανάστροφης κυκλοφορίας:

- 1) Μπορούν να ανορυχθούν γεωτρήσεις μεγαλύτερου βάθους και διαμέτρου από ότι με τη θετική κυκλοφορία
- 2) Η πίεση της στήλης νερού που είναι στη γεώτρηση πιέζει τα τοιχώματα και έτσι μειώνεται στο ελάχιστο η χρήση περιφραγματικών σωλήνων
- 3) Η εξαγωγή των τριμμάτων μπορεί να γίνει μόνο με νερό χωρίς τη χρήση μπεντονίτη, ο οποίος έχει το μειονέκτημα να δημιουργεί στρώμα στα τοιχώματα της γεώτρησης και να δυσκολεύει την ενδοσκόπηση με logging καθώς επίσης και την ανάπτυξη της υδρογεώτρησης.

Επισημαίνεται ότι και στην περιστροφική μέθοδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μέσο μεταφοράς και τριμμάτων και ψύξης του κοπτικού τον πεπιεσμένο αέρα, ο οποίος διοχετεύεται με τη βοήθεια αεροσυμπιεστή στη γεώτρηση δια μέσω των στελεχών και του κοπτικού. Ακόμη μπορεί να γίνει χρήση μίγματος αέρα - αφρού. Οι μέθοδοι αυτές χρησιμοποιούνται για την ανόρυξη μικρής διαμέτρου γεωτρήσεων σε συμπαγή πετρώματα (διατηρήματα).

7.2.2. Ρευστά γεώτρησης

Τα ρευστά γεώτρησης αποτελούν μια από τις πλέον βασικές παράμετρους που παίζουν καθοριστικό ρόλο στην, χωρίς προβλήματα, εκτέλεση μίας γεώτρησης, ιδιαίτερα όταν αυτή

πραγματοποιείται μέσα σε προβληματικούς σχετικά σχηματισμούς. Τα ρευστά, θεωρούμενα ως παράμετρο της διάτρησης, καλύπτουν ένα πλήθος λειτουργιών και ως εκ τούτου ικανοποιούν κάποιες πολύ συγκεκριμένες προδιαγραφές.

Συνηθέστερα χρησιμοποιείτε νερό ή λάσπη που βασίζεται σε ένα μίγμα από νερό και πηλό μπεντονίτη. Παρ'όλα αυτά, με βάση την ορυκτολογία του εδάφους, η σύνθεση του νερού του εδάφους ή η πίεση σχηματισμού και ο κίνδυνος έκρηξης, μπορεί να προστεθεί μια μεγάλη ποικιλία ενώσεων.

<i>Εικόνα 8.2. Είδη ρευστών γεώτρησης</i>	
Με βάση τον αέρα	Αέρας Αέρας/ νερό Αέρας/ πολυμερές
Με βάση το νερό	Νερό Νερό/ πολυμερές Αέρας/ μπεντονίτης (λάσπη) Ειδική λάσπη: Υψηλή πυκνότητα Κορεσμένο Υδρογονανθρακικό Υλικά κυκλώματος χαμένα

7.2.3. Υγρά γεώτρησης

Ο υψηλής πίεσης αέρας είναι ένα πολύ κοινό υγρό. Ο αέρας μπορεί να αναμιχθεί με το νερό, προκειμένου να μειωθεί η σκόνη, και τελικά με προϊόντα αφρισμού για τη διευκόλυνση της ανύψωσης των υπολλειμάτων και του νερού καθώς και την καθαριότητα.

Τα υγρά γεώτρησης εξυπηρετούν πολλαπλούς σκοπούς, κυρίως αυτά είναι:

- Βασικές λειτουργίες: Ψύξη του τρυπανιού
- Απομάκρυνση των υπολλειμάτων
- Μεταφορά υπολλειμάτων μέχρι έξω

Επίσης, συχνά χρησιμοποιούνται για:

Σταθεροποίηση της οπής προκειμένου να αποφευχθούν καταρρεύσεις

Ελαχιστοποίηση της μεταφοράς ρευστού του σχηματισμού στην τρύπα

Ελαχιστοποίηση απωλειών υγρών στο σχηματισμό

Λιπάνση της αντλίας λάσπης, τρυπανιού και δακτυλίου μεταξύ του σχοινιού του τρυπανιού και της τρύπας

Μείωση της διάβρωσης του σχοινιού του τρυπανιού

Αναστολή υπολλειμάτων κατά τη διάρκεια περιόδων μη πραγματοποίησης κυκλοφορίας

Παροχή βοήθειας για τη συλλογή και την ερμηνεία των δειγμάτων και διαγραφιών

Να αφήσουν τα υπολλείματα στο λάκκο της λάσπης.

7.2.4. Εκτίμηση του κόστους

Η εκτίμηση και η ανάλυση του κόστους μιας γεώτρησης είναι το τελικό στάδιο στο σχεδιασμό. Σε πολλές περιπτώσεις η εκτίμηση κόστους είναι το διαχειριστικό εργαλείο με το οποίο θα αποφασιστεί η εκτέλεση του έργου ή όχι. Α και συνιστά ουσιαστικό μέρος του προγράμματος της γεώτρησης, ο προσδιορισμός του αποτελεί ένα από τα πλέον δύσκολα σημεία. Το κόστος, είναι προφανές ότι εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έργου. Μετά το σχεδιασμό του τεχνικού μέρους της γεώτρησης, προσδιορίζεται ο χρόνος που εκτιμάται για την εκτέλεση της.

. Το κόστος γεώτρησης σε ένα έργο κυκλώματος γεωεναλλαγής θα μπορούσε να είναι περισσότερο από 50% από ό, τι με τη συμβατική τεχνολογία. Τα έξοδα γεωτρήσεων ποικίλουν με έναν πολύ σημαντικό τρόπο. Μια γεώτρηση, με 60 m βάθος και με διάμετρο 90 mm διανοιγμένη σε συνεκτικά μη ενοποιημένα υλικά, θα μπορούσε να κοστίσει 30 € / m. Από την άλλη πλευρά, μια βαθιά γεώτρηση 1500 m για έρευνα γεωθερμική ή υδρογονανθράκων θα μπορούσε να ξεπεράσει τα 1000 € / m. Σχετικά με τα κλειστά κάθετα κυκλώματα και σχηματισμούς με ένα καλό ποσοστό διείδυσης ($> 100 \text{ m} / d$), το κόστος γεώτρησης βρίσκεται κάπου μεταξύ 20 και 40 € / m. Σημαντικές αλλαγές μπορεί να συμβούν, ανάλογα με τη χώρα και τις συνθήκες της αγοράς: διαθεσιμότητα εξοπλισμού, ζήτηση κ.λπ..

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν το κόστος των γεωτρήσεων, όσον αφορά το έδαφος, είναι οι εξής:

- Βάθος και διάμετρος
- Το είδος του σχηματισμού / ανάγκη βοηθητικού περιβλήματος
 - Ενοποιημένα: ασβεστόλιθος, ψαμμίτης, σχιστόλιθος
 - Μη ενοποιημένα: άμμος, χαλίκι, λάσπη, πέτρες
- Σκληρότητα σχηματισμού / λειαντικότητα
- Βαθμός ρωγμών
- Υπόγεια ύδατα: φορτίο νερού και ταχύτητα ροής.

Επιπλέον, υπάρχουν μια σειρά από παράγοντες κατά τη μελέτη της κατασκευής μιας περιοχή γεωθερμικών γεωτρήσεων. Εκείνοι με τη μεγαλύτερη επίδραση είναι:

- Διαθέσιμη επιφάνεια
- Διαμόρφωση της δομής, δίκτυο αποστράγγισης, δίκτυο εδάφους.
- Σχεδιασμός χρόνου των δομικών έργων: σκάψιμο, πάσσαλοι, τοιχοποιία .
- Παρεμβολές μεταξύ των υπερβολάβων
- Προετοιμασία περιοχής γεώτρησης
- Διαχείριση υπολλειμάτων και λάσπης
- Η διάθεση των αποβλήτων
- Επιρροές από άλλες υπηρεσίες: ηλεκτρικό δίκτυο, τηλέφωνο, φυσικό αέριο, νερό, τούνελ.
- Εκκένωση των υπογείων υδάτων

7.2.5. Αποτίμηση επικινδυνότητας

Μια άλλη πτυχή της γεώτρησης μείζονος σημασίας είναι η εκτίμηση των κινδύνων που

συνδέονται με αυτό το είδος της εργασίας. Αυτά κυρίως κατανέμονται σε πέντε κατηγορίες κινδύνων που σχετίζονται με:1) Την ασφάλεια και υγεία στο χώρο γεώτρησης2) Τους περιβαλλοντικούς κινδύνους: να επηρεάσει τις προμήθειες νερού, πηγές, διασταυρούμενη μόλυνση, ανεπιθύμητα μείγματα μεταξύ διαφορετικών υδροφόρων οριζόντων3) Τους ενεργειακούς κινδύνους: λανθασμένος σχεδιασμός, κακή εκτέλεση, υπο/υπερυπολογισμός, χαμηλή απόδοση, χαμηλή άνεση4) Τους οικονομικούς κινδύνους: κακή σχέση κόστους / οφέλους, βάσει απόδοσης της ταχύτητας ροής, κακή παροχή ποιότητας νερού5) Τους γεωτεχνικούς κινδύνους: δομικές βλάβες, υποδομές, σιδηρόδρομοι, δρόμοι.

Όλα αυτά τα θέματα θα πρέπει να εξεταστούν και να αξιολογηθούν, με βάση τις συνθήκες. Οι γεωτρήσεις απαιτούν δαπανηρό εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό. Κατά το σχεδιασμό ενός προγράμματος γεωτρήσεων, μια περαιτέρω διάκριση πρέπει να γίνει μεταξύ των γεωθερμικών έργων για οικιακή χρήση (<30 kW), και των θεσμικών και εμπορικών εγκαταστάσεων. Για τις πρώτες, η επικοινωνία με εταιρίες που διαθέτουν εμπειρία στην περιοχή του έργου θα μπορούσε να είναι αρκετή. Θα είναι εξοικειωμένοι με τις συνθήκες της γεώτρησης, τους κινδύνους και τις απαιτούμενες άδειες για την περιοχή και μπορεί να ενημερώνει έτσι τους μελετητές μηχανικούς για τις διαδικασίες.

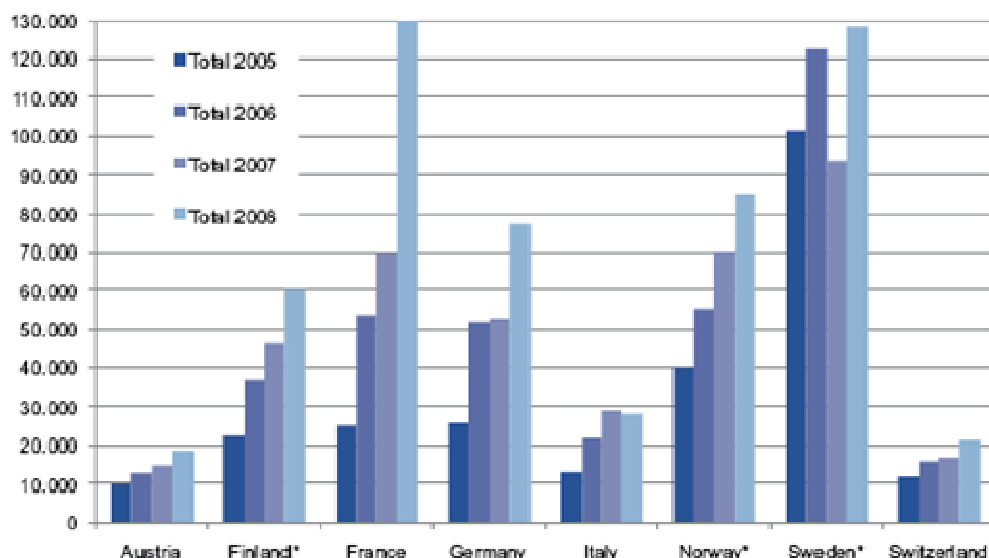
Για τα μεγάλα έργα (> 30 kW), συνιστάται να διανοίγεται μια πιλοτική γεώτρηση με έναν κατάλληλο υδρογεωλογικό έλεγχο, ως το πρώτο βήμα του έργου. Η γεώτρηση θα σωληνωθεί και για τη Δοκιμή Θερμικής Απόκρισης (TRT) και θα καταστήσει δυνατό να προσδιοριστεί η λιθολογία, το ποσοστό διείσδυσης, τη θέση του υδροφόρου ορίζοντα, την αναλογία απόδοσης του υπογείου νερού, την ανάγκη για βοηθητικό περίβλημα και άλλα στοιχεία, έτσι ώστε να επιλεγεί το καλύτερο πρόγραμμα γεώτρησης καθώς επίσης και την εκτίμηση του κόστους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταξύ των τελικών καταναλωτών ενέργειας, ο οικιακός τομέας καταλαμβάνει μία από τις σημαντικότερες θέσεις. Τα τελευταία χρόνια, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει δείξει αυξανόμενο ενδιαφέρον στο να καταστεί η ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων πιο αποτελεσματική και καλύτερη για το περιβάλλον. Οι τεχνολογίες άντλησης θερμότητας χρησιμοποιούνται ευρέως για την αναβάθμιση της φυσικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας από ανανεώσιμες πηγές, όπως είναι η θερμότητα αέρα, νερού, εδάφους και τα θερμικά απόβλητα, σε χρήσιμες θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και την ψύξη χώρων και νερού σε κατοικημένους ή εμπορικούς χώρους και σε βιομηχανικές εργασίες.

Η αντλία θερμότητας είναι ένα πολύ αποδοτικό σύστημα. Το πλεονέκτημα αυτό ενισχύεται όταν γίνεται χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή, θερμική) στις διαδικασίες που χρησιμοποιούν αντλίες θερμότητας που λειτουργούν μέσα σε κτίρια. Στην εικόνα 8.1 μπορούμε να δούμε την εξέλιξη των πωλήσεων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη, 2005 - 2008. Από το 2007 έως 2008 οι πωλήσεις αυξήθηκαν κατά σχεδόν 50%.



Εικόνα 8.1 – Εξέλιξη των πωλήσεων των ΑΠΕ στην Ευρώπη, 2005 - 2008

8.2. ΘΕΩΡΙΑ

8.2.1. Ορισμός

Φαίνεται φυσικό η θερμική ενέργεια να μεταφερθεί από ένα καυτό αντικείμενο σε ένα ψυχρό αντικείμενο. Οι αντλίες θερμότητας λειτουργούν για να αντιστραφεί η φυσική κατεύθυνση της ροής θερμικής ενέργειας.

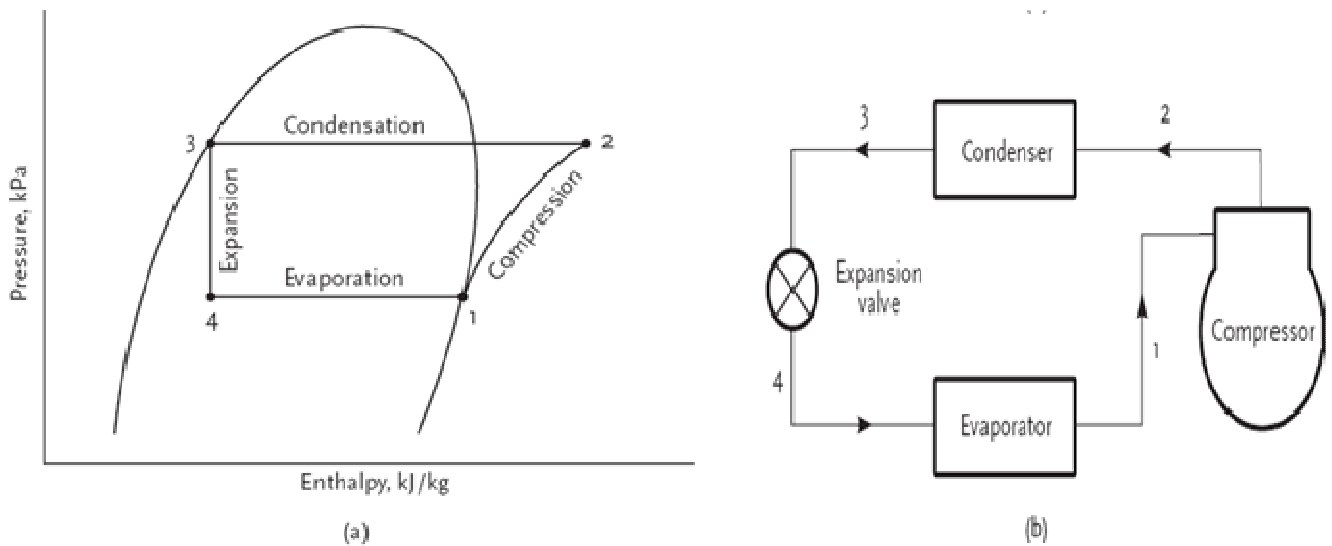
Μια αντλία θερμότητας είναι μια μηχανή ή μια συσκευή που μεταφέρει τη θερμότητα από μια περιοχή («πηγή») σε άλλη («καταβόθρα» ή «καταβόθρα θερμότητας»), χρησιμοποιώντας μηχανικό έργο. Μια αντλία θερμότητας υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς από το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, όπως οποιαδήποτε άλλη μηχανή θερμότητας και συνεπώς μπορεί να υπολογιστεί μία μέγιστη απόδοση από τον κύκλο Carnot.

Ένα ευρωπαϊκό πρότυπο για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της επίδοσης της αντλίας θερμότητας, (EN 14511 - Μέρος 1ο), ορίζει μια αντλία θερμότητας ως εξής: «αντλία θερμότητας είναι μια ή πολλές διατάξεις τοποθετημένες μέσα σε ένα κιβώτιο, που έχουν σχεδιαστεί ως μια μονάδα ώστε να παρέχει θερμότητα. Η ψύξη γίνεται μέσω της αντιστροφής του κύκλου ψύξης».

Το πλεονέκτημα της άντλησης θερμότητας είναι ότι χρειάζεται λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από ό, τι χρειάζεται για να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια σε θερμότητα (όπως σε ηλεκτρικές καμίνους, πλίνθους και θερμαντήρες ακτινοβολίας). Στην πραγματικότητα, σε ήπιες χειμερινές θερμοκρασίες μπορεί να κερδηθεί τρεις φορές περισσότερη θερμότητα από κάθε watt ηλεκτρικής ενέργειας απ' ό,τι από μία ηλεκτρική κάμινο.

8.2.2. Πώς λειτουργεί μια αντλία θερμότητας

Το ρευστό, στην αέρια κατάστασή του, συμπιέζεται και κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα από ένα συμπιεστή (Εικ. 8.2). Από την πλευρά εξόδου του συμπιεστή, το θερμό τώρα και εξαιρετικά πεπιεσμένο αέριο ψύχεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας, που ονομάζεται συμπυκνωτής, μέχρι που συμπυκνώνεται σε ένα υψηλής πίεσεως και μέτριας θερμοκρασίας υγρό.

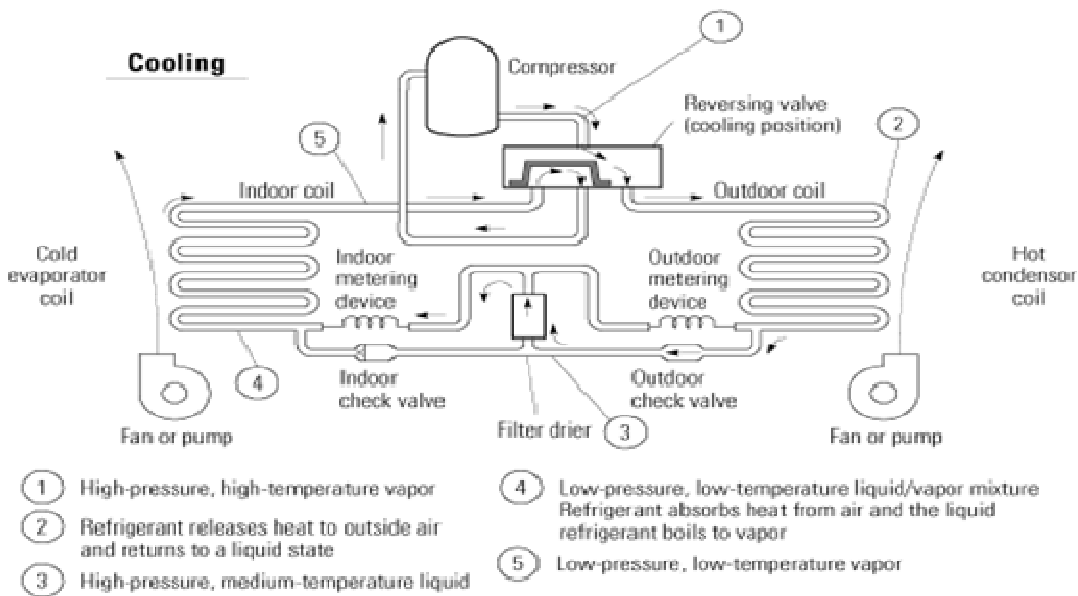
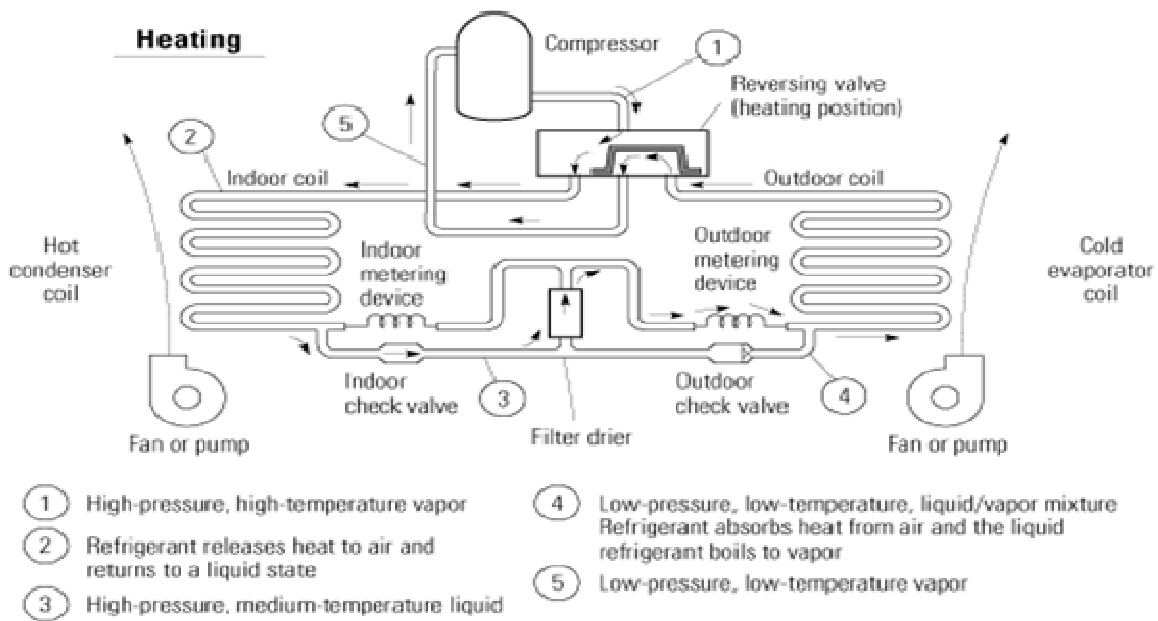


Εικόνα 8.2 – Το ρευστό, στην αέρια κατάστασή του, συμπιέζεται και κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα από ένα συμπιεστή

Το συμπυκνωμένο ψυκτικό στη συνέχεια διέρχεται μέσα από μια συσκευή μείωσης της πίεσης, που μοιάζει με εκτονωτική βαλβίδα ή με τριχοειδή σωλήνα. Αυτή η συσκευή περνά στη συνέχεια το χαμηλής πίεσης, (σχεδόν) υγρό ψυκτικό σε έναν άλλο εναλλάκτη θερμότητας, τον εξατμιστήρα, όπου το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται σε ένα αέριο μέσω της απορρόφησης θερμότητας. Το ψυκτικό κατόπιν επιστρέφει στο συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

8.2.3. Λειτουργία θέρμανσης και ψύξης

Οι λειτουργίες θέρμανσης και ψύξης των αντλιών θερμότητας, κάνουν ακριβώς το ίδιο πράγμα: διοχετεύουν τη θερμότητα από τη μια περιοχή στην άλλη (Εικόνα 8.3). Στη λειτουργία ψύξης, λειτουργεί ακριβώς όπως ένα κλιματιστικό, μεταφέροντας θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου προς τα έξω. Στη λειτουργία θέρμανσης, η ροή ψυκτικού αναστρέφεται έτσι ώστε να παίρνει μάζες χαμηλής θερμοκρασίας από την πηγή και μηχανικώς να τη συμπυκνώνει ώστε να παράγει μάζες υψηλής θερμοκρασίας, που στη συνέχεια παραδίδονται σε κάποιο κτίριο.



Εικόνα 8.3 – Σχηματικό διάγραμμα της λειτουργίας αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα (διασκευασμένο από την Αμερικάνικη Ένωση Μηχανικών Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού, ASHRAE)

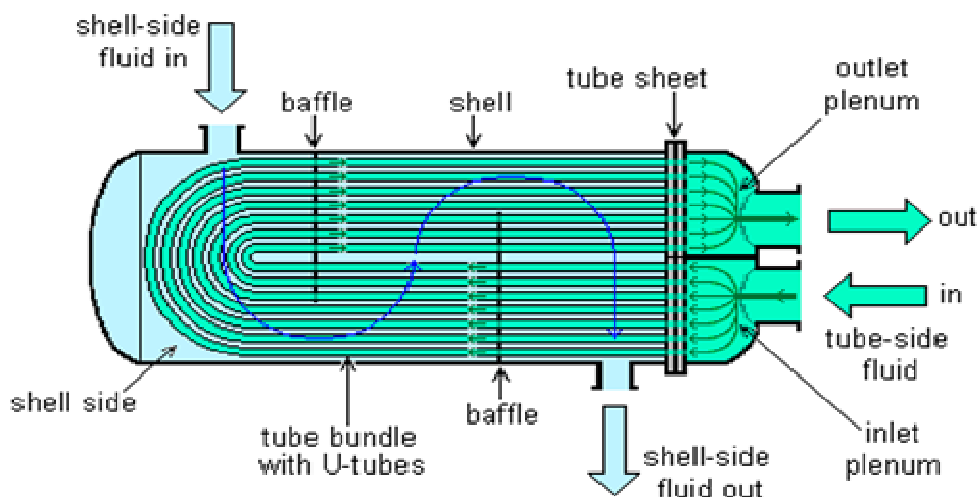
8.2.4. Συστατικά αντλίας θερμότητας

Τα συστατικά μιας αντλίας θερμότητας είναι:

- Το ψυκτικό: η ουσία που κυκλοφορεί μέσω της αντλίας θερμότητας, που εναλλάξ απορροφά, μεταφέρει και απελευθερώνει θερμότητα
- Η βαλβίδα αναστροφής: ελέγχει την κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού στην αντλία θερμότητας
- Ο εξαμιστής: ένα πηνίο (εναλλάκτης θερμότητας) στο οποίο το ψυκτικό απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον και βράζει ώστε να γίνει ατμός χαμηλής θερμοκρασίας
- Ο συμπιεστής: συμπιέζει τα μόρια του ψυκτικού αερίου μαζί, αυξάνοντας τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου
- Ο συμπυκνωτής: ένα πηνίο (εναλλάκτης θερμότητας) στο οποίο το ψυκτικό αποβάλλει θερμότητα στον περιβάλλοντα χώρο και μετατρέπεται σε υγρό
- Η συσκευή διαστολής: απελευθερώνει την πίεση που δημιουργήθηκε από τον συμπιεστή.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εναλλάκτη θερμότητας (συμπυκνωτή ή εξαμιστή) σε μια αντλία θερμότητας. Οι πιο κοινοί είναι:

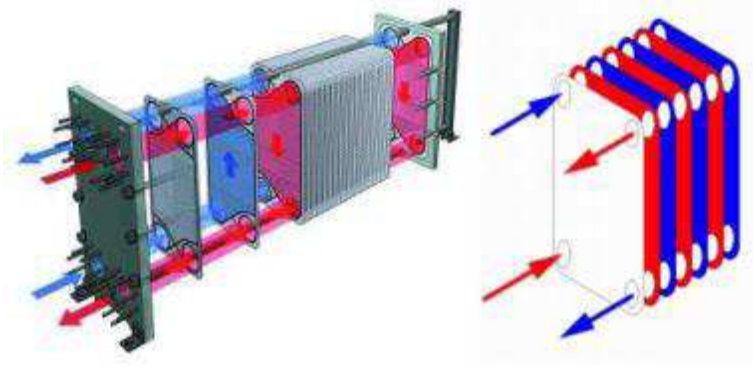
- Οι θερμικοί εναλλάκτες θερμότητας σωληνοειδούς δέσμης (Εικόνα 8.4) κατασκευάζονται με στρογγυλούς σωλήνες που τοποθετήθηκαν σε κυλινδρικούς σωλήνες με τους άξονές τους ομοαξονικά με τον άξονα του κελύφους. Υπάρχουν διάφορες θεωρήσεις σχεδιασμού που πρέπει να ληφθούν υπόψη, όπως η δρομολόγηση των υγρών (του κελύφους ή του σωλήνα), η πτώση πίεσης, κ.λπ..



Εικόνα 8.4 – Σχήμα εναλλάκτη θερμότητας σωλήνα

- Οι εναλλάκτες θερμότητας πλακών και πλαισίου (Εικ. 8.5) κατασκευάζονται συνήθως από λεπτές πλάκες. Οι πλάκες είτε είναι λείες είτε έχουν κάποια μορφή της αυλάκωσης και είναι είτε επίπεδη ή τυλίγεται σε έναν εναλλάκτη. Γενικά, αυτοί οι εναλλάκτες δεν μπορεί να

φιλοξενήσουν πολύ υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες.

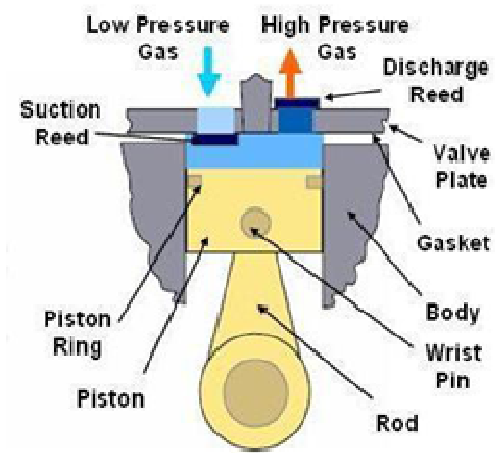


Εικόνα 8.5. Εναλλάκτης θερμότητας πλακών και πλαισίου

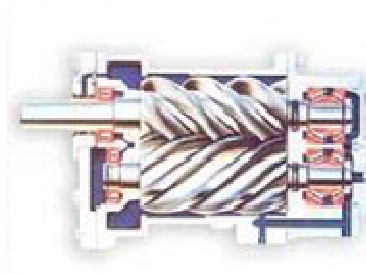
Τυπικοί εναλλάκτες θερμότητας κελύφους και σωλήνα χρησιμοποιούν μια "δέσμη" σωλήνων που περικλείεται σε ένα κέλυφος, στην οποία η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από τα ζεστά υγρά ή αέρια που ρέουν μέσα από τους σωλήνες, προς το υγρό ή το ψυκτικό που ρέει πάνω και γύρω από τους σωλήνες εντός του κελύφους, συλλαμβάνοντας τη θερμική ενέργεια και ρέοντας πάλι πίσω προς τα έξω. Οι εναλλάκτες θερμότητας πλάκας και επίπεδης πλάκας λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο με θαλάμους ζεστού και κρύου υγρού που χωρίζονται από μεταλλικές πλάκες.

Μεταξύ των συμπιεστών, μπορούμε να διακρίνουμε τρία διαφορετικά είδη που χρησιμοποιούνται σε μια αντλία θερμότητας:

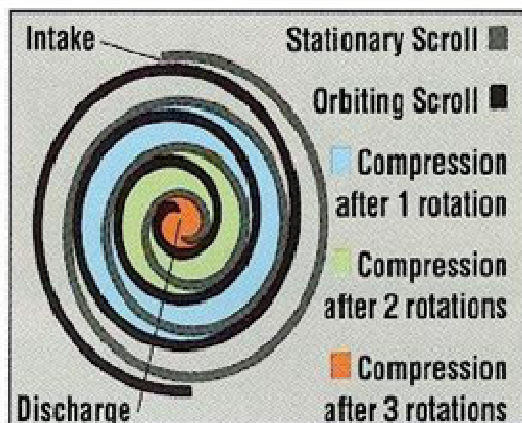
- Εμβολοφόρος συμπιεστής: ένας συμπιεστής θετικής μετατόπισης (Εικόνα 8.6) που χρησιμοποιεί έμβολα που οδηγούνται από ένα στροφαλοφόρο άξονα για να παραδώσει αέρια σε υψηλή πίεση. Το αέριο εισέρχεται στον γεωθερμικό εναλλάκτη αναρρόφησης, κατόπιν ρέει μέσα στον κύλινδρο συμπίεσης, όπου συμπιέζεται από ένα έμβολο κινείται σε μία παλινδρομική κίνηση μέσω ενός στροφαλοφόρου άξονα και στη συνέχεια εξάγεται
- Ελικοειδής συμπιεστής: ένας τύπος συμπιεστή αερίου (Εικόνα 8.7), η οποία χρησιμοποιεί έναν περιστροφικού τύπου μηχανισμό θετικής μετατόπισης. Ο περιστροφικός ελικοειδής συμπιεστής χρησιμοποιεί δύο στροφεία με οπές, ελικοειδή και περιστρεφόμενα, εντός ενός περιβλήματος για να σπρώξει το αέριο προς ένα μικρότερο χώρο
- Συμπιεστής κύλισης: ένας συμπιεστής (Εικόνας 8.8) που έχει δύο σπειροειδή τοιχώματα ή περιστροφικά συστατικά που αλληλοεμπλέκονται και χρησιμοποιούνται για να συμπιέσουν ένα ψυκτικό μέσο. Ένα από τα συστατικά ελικοειδούς σχήματος είναι γενικά είτε σταθερό, είτε στάσιμο και το άλλο κινείται σε ένα μοτίβο τροχιάς για να επιτελεί τη λειτουργία του. Οι συμπιεστές κύλισης είναι απλούστεροι και πιο αποτελεσματικοί από ό, τι οι μονάδες εμβόλου.



Εικόνα 8.6 – Εμβολοφόρος συμπιεστής



Εικόνα 8.7 – Συμπιεστής αερίου



Εικόνα 8.8– Ελικοειδής συμπιεστής

8.3. ΨΥΚΤΙΚΑ

Ένα ψυκτικό είναι μία ένωση που χρησιμοποιείται σε έναν κύκλο θερμότητας που υφίσταται μία αλλαγή φάσης από ένα αέριο σε ένα υγρό και αντιστρόφως. Οι δύο κύριες χρήσεις των ψυκτικών είναι στα ψυγεία / καταψύκτες και τα κλιματιστικά.

Το ιδανικό ψυκτικό έχει καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες, είναι μη διαβρωτικό, και ασφαλές. Οι επιθυμητές θερμοδυναμικές ιδιότητες είναι ένα σημείο ζέσεως κάπως κάτω από την θερμοκρασία που στοχεύουμε, μια υψηλή θερμότητα εξάτμισης, μια μέτρια πυκνότητα σε υγρή μορφή, μία σχετικά υψηλή πυκνότητα σε αέρια μορφή και μια υψηλή κρίσιμη θερμοκρασία. Επειδή το σημείο ζέσεως και η πυκνότητα του αερίου επηρεάζονται από την

πίεση, τα ψυκτικά μπορούν να κατασκευαστούν με τρόπο ώστε αν είναι πιο κατάλληλα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή με την επιλογή της πίεσης λειτουργίας. Οι ιδιότητες διάβρωσης είναι ένα θέμα των υλικών συμβατότητας με τα συστατικά που χρησιμοποιούνται για τον συμπιεστή, τις σωληνώσεις, τον εξατμιστή και τον συμπυκνωτή. Οι εκτιμήσεις ασφάλειας περιλαμβάνουν την τοξικότητα και ευφλεκτότητα.

Τα κύρια ψυκτικά μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις διαφορετικές ομάδες:

– Τα CFC: έχουν χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικά μέσα σε κλιματιστικά και ψυγεία, σε δοχεία αεροζόλ ψεκασμού, στην παραγωγή αφρών ως βιομηχανικών διαλυτών και ως παράγοντες καθαρισμού στην κατασκευή των ηλεκτρονικών. Μία χημική βιομηχανία των ΗΠΑ έδωσε την εμπορική ονομασία «φρέον» και ο όρος έχει γίνει από τότε πασίγνωστος. Χημικώς, τα CFC είναι ένα υποσύνολο της πιο γενικής κατηγορίας των ενώσεων που είναι γνωστές ως αλογονάνθρακες (ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και αλογόνο). Πρόκειται για αλογονάνθρακες που περιέχουν μόνο τα στοιχεία: άνθρακα, χλώριο και φθόριο. Τα πιο κοινά CFC είναι μικρά μόρια που περιέχουν μόνο ένα ή δύο άτομα άνθρακα. Τα CFC, έχουν το υψηλότερο δυναμικό καταστροφής του όζοντος (ODP).

– Τα HCFC: αφορά την χημική σύνθεση του ψυκτικού μέσου. Ο υδροχλωροφθοράνθρακας υποδεικνύει ότι το ψυκτικό αποτελείται από υδρογόνο, χλώριο, φθόριο, και άνθρακα. Τα HCFC είναι τεχνητές χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα και υλικά για την παραγωγή αφρού. Είναι άφλεκτα αέρια. Μαζί με άλλες ουσίες, δρουν στο ανώτερο κομμάτι της ατμόσφαιρας, κάτι που καταστρέφει το στρώμα του όζοντος πάνω από τη Γη, που βοηθά στην προστασία της επιφάνειας της Γης από την επιβλαβή υπεριώδη ακτινοβολία. Μπορούν επίσης να συμβάλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι κύριες αποβολές HCFC είναι για παράδειγμα η διαρροή από εξοπλισμό ψύξης και κλιματισμού. Δεν υπάρχουν φυσικές πηγές υδροχλωροφθορανθράκων.

– Οι Υδροφθοράνθρακες (HFCs) - μια ομάδα ενώσεων που περιέχουν άνθρακα, φθόριο και υδρογόνο (σε αντίθεση με HCFC, τα οποία επίσης περιέχουν χλώριο). Είναι γενικά άχρωμα και άοσμα αέρια σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος και για το μεγαλύτερο μέρος τους χημικώς αδρανή. Τα HFC χρησιμοποιούνται κυρίως ως υποκατάστατα των CFC και HCFC (ουσίες που καταστρέφουν τη στιβάδα του όζοντος) που καταργείται σταδιακά κάτω από το 1987 Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ. Στο μεγαλύτερό τους μέρος χρησιμοποιούνται ως ψυκτικά μέσα σε εξοπλισμούς ψύξης και κλιματισμού και ως προωθητικά σε βιομηχανικά αερολύματα και στις δοσιμετρικές συσκευές εισπνοής (π.χ. για το άσθμα). Δευτερεύουσες χρήσεις περιλαμβάνουν αφοροποίηση (π.χ. κατασκευή αφρωδών πλαστικών για τη συσκευασία τροφίμων), διαλύτες καθαρισμού και ορισμένα συστήματα πυρόσβεσης.

8.3.1. Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ

Από τότε που ανακαλύφθηκε στη δεκαετία του 1980 ότι τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα ψυκτικά μέσα (CFC) ήταν οι κυριότερες αιτίες της καταστροφής του όζοντος, ξεκίνησε μια παγκόσμια σταδιακή κατάργηση των καταστρεπτικών απέναντι στο όζον ψυκτικών. Άρχισαν να αντικαθίστανται από τα φιλικά προς το όζον ψυκτικά (HCFC, HFC). Το 1987, το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ, μια διεθνή συμφωνία για το περιβάλλον, έθεσε κάποιους όρους και ξεκίνησε η παγκόσμια κατάργηση των καταστρεπτικών για το όζον χλωροφθορανθράκων.

Χρονοδιάγραμμα σταδιακής κατάργησης των HCFC και CFC για τις ανεπτυγμένες χώρες	
Ημερομηνία	Μέτρο ελέγχου
1 Ιανουαρίου 1996	Οι CFC καταργήθηκαν (1) Οι HCFC έχουν παγώσει στα επίπεδα των HCFC του 1989 + 2,8% της κατανάλωση των CFC του 1989 (βασικό επίπεδο)
1 Ιανουαρίου 2004	Οι Υδροχλωροφθορανθράκες (HCFC) μειώθηκαν κατά 35% κάτω από τα βασικά επίπεδα
1 Ιανουαρίου 2010	Οι HCFC μειώνονται κατά 65%
1 Ιανουαρίου 2015	Οι HCFC μειώνονται κατά 90%
1 Ιανουαρίου 2020	Οι HCFC καταργούνται και επιτρέπεται μόνο ένα 0,5% μέχρι το 2030 για τους υφιστάμενους εξοπλισμούς ψύξης και κλιματισμού

8.4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Υπάρχουν διάφοροι όροι που καθορίζουν την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας. Όλα αυτοί οι όροι εξαρτώνται από:- Την αποτελεσματικότητα της θερμικής αντλίας (που προσδιορίζεται κυρίως από την ποιότητα των συστατικών της)- Τη θερμοκρασία του θερμού ή ψυχρού νερού / αέρα που παράγεται από την αντλία θερμότητας- Τη θερμοκρασία του εισερχόμενου μείγματος (μίγμα νερού / αντιψυκτικού) από τον βρόχο εδάφους (στην περίπτωση μιας πηγής αντλίας θερμότητας εδάφους) ή εξωτερικού αέρα (στην περίπτωση μίας αντλίας θερμότητας αέρα).

8.4.1. Ταξινόμηση των όρων

Ο συντελεστής επίδοσης (COP) είναι ένα μέτρο της αποτελεσματικότητας μιας αντλίας θερμότητας. Προσδιορίζεται διαιρώντας την παραγωγή ενέργειας της αντλίας θερμότητας με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για την λειτουργία της αντλίας θερμότητας, σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερος είναι ο συντελεστής, τόσο πιο αποτελεσματική είναι η αντλία θερμότητας. Αυτός ο αριθμός είναι συγκρίσιμος με την σταθερή κατάσταση επίδοσης των κλιβάνων πετρελαίου και αερίου. Ο COP για μια αντλία θερμότητας σε μια εφαρμογή θέρμανσης ή ψύξης, με σταθερή κατάσταση λειτουργίας, είναι:

$$COP_{\text{heating}} = \frac{\Delta Q_{\text{hot}}}{\Delta A} \leq \frac{T_{\text{hot}}}{T_{\text{hot}} - T_{\text{cool}}}$$

$$COP_{cooling} = \frac{\Delta Q_{cool}}{\Delta A} \leq \frac{T_{cool}}{T_{hot} - T_{cool}}$$

όπου: $-\Delta Q_{cool}$ είναι η ποσότητα της θερμότητας που εξάγεται από μια κρύα δεξαμενή σε θερμοκρασία T_{cool}

$-\Delta Q_{hot}$ είναι η ποσότητα της θερμότητας που παραδίδεται σε μια ζεστή δεξαμενή σε θερμοκρασία T_{hot}

$-\Delta A$ είναι το έργο του συμπιεστή που διασκορπίστηκε.

Όλες οι θερμοκρασίες είναι σε απόλυτες μονάδες.

Εποχιακός συντελεστής απόδοσης (SPF):

Ο SPF αναφέρεται στην απόδοση κατά τη διάρκεια μιας ολόκληρης σεζόν. Η ισχύς εισόδου και εξόδου σωρεύονται για τη σεζόν. Τότε η συνολική ισχύς εξόδου διαιρείται με τη συνολική ισχύ εισόδου για να δώσει το SPF.

Συνολική ισχύς εξόδου (kWh) / Σύνολο εισροών ενέργειας (kWh) = SPF.

Το SPF είναι η καλύτερη μέθοδος της σύγκρισης των επιδόσεων της αντλίας θερμότητας, καθώς το ποσοστό αυτό θα δώσει μια πιο ακριβή εκτίμηση του κόστους λειτουργίας σε μια ολόκληρη σεζόν.

Δείκτης ενεργειακής απόδοσης (EER):

Ο EER μετρά την σταθερή απόδοση ψύξης της αντλίας θερμότητας. Ορίζεται διαιρώντας την ικανότητα ψύξης της αντλίας θερμότητας σε J/h με την ηλεκτρική ενέργεια εισόδου σε watt σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία. Όσο υψηλότερος είναι τόσο πιο αποτελεσματική είναι η μονάδα.

$$EER = COP \times 3.412$$

$$KW/ton = 12 / EER$$

Οι αντλίες θερμότητας είναι πιο αποτελεσματικές για τη θέρμανση από ό, τι για την ψύξη, εάν η διαφορά θερμοκρασίας διατηρείται ίση. Αυτό είναι επειδή η ενέργεια εισόδου του συμπιεστή σε μεγάλο βαθμό μετατρέπεται σε χρήσιμη θερμότητα όταν είναι σε λειτουργία θέρμανσης και εκκενώνεται μαζί με τη θερμότητα που έχει μετακινηθεί μέσω του συμπυκνωτή. Αλλά για την ψύξη, ο συμπυκνωτής είναι συνήθως σε εξωτερικούς χώρους και το έργο του συμπιεστή που διασκορπίστηκε αποβάλλεται αντί να χρησιμοποιηθεί με ένα χρήσιμο σκοπό.

8.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Τα συστήματα αντλίας θερμότητας είναι διαθέσιμα σε μια σειρά από τύπους και συνδυασμούς που μπορεί να ταιριάζουν σχεδόν σε οποιαδήποτε εφαρμογή.

Για σκοπούς θέρμανσης, μπορούν να διαχωριστούν σε κάποιους βασικούς τύπους, που

καθορίζονται από την πηγή και τον προορισμό της θερμότητας και το μέσο που η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί είτε για να απορροφήσει είτε για να απορρίψει την θερμότητα σε κάθε μία από αυτές τις θέσεις.

Σε όλους τους εναλλάκτες θερμότητας, τα μέσα μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι είτε ρευστό (νερό ή συχνά ένα μίγμα γλυκόλης) ή αέρας και μερικές φορές ένας συνδυασμός των δύο. Κατά την περιγραφή του τύπου της αντλίας θερμότητας, γενικά η πηγή θερμότητας παρέχεται πρώτη, ακολουθούμενη από την δεξαμενή προορισμού ή θερμότητας.

Οι κύριες παραλλαγές κοινής χρήσης είναι οι εξής:

- αέρα -αέρα
- νερού-νερού
- νερού-αέρα
- αέρα-νερού
- εδάφους-νερού
- έδαφους-νερού

8.5.1. Αέρα-αέρα

Τα συστήματα αέρα-αέρα χρησιμοποιούν τη θερμική ενέργεια που περιέχεται στον εξωτερικό αέρα και τον ατμό του ως πηγή ελεύθερης θερμότητας. Αυτή η θερμότητα κατόπιν παραδίδεται απευθείας από μονάδες με ανεμιστήρα στον αέρα στον εσωτερικό χώρο.

Οι αντλίες θερμότητας είναι καλή επιλογή για τις περιοχές με ηπιότερα κλίματα. Δεν λειτουργούν ικανοποιητικά σε ακραίες θερμοκρασίες. Σε περιπτώσεις που η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή η αντλία θερμότητας έχει μια βοηθητική λωρίδα θερμότητας που θα ενεργοποιηθεί. Αυτή η λωρίδα θα παράγει πολύ περισσότερη θερμότητα από την αντλία θερμότητας μόνη της, αλλά ταυτόχρονα επίσης κοστίζει πολύ περισσότερο για να λειτουργήσει.

Ένας άλλος τύπος συστήματος με πηγή τον αέρα είναι η αντλία θερμότητας που κάνει χρήση του απορριπτόμενου αέρα. Αυτή η μονάδα χρησιμοποιεί ως θερμική πηγή το ρεύμα αέρα που απορρίπτεται από το κτίριο. Επειδή ο αέρας βρίσκεται συνήθως στη θερμοκρασία του εσωτερικού του σπιτιού, δεν θα υποστεί την ίδια μείωση επιδόσεων, όπως μία αντλία θερμότητας εξωτερικού αέρα. Είναι σημαντικό να επισημάνουμε ότι η αντλία θερμότητας με χρήση απορριπτόμενου αέρα είναι συνήθως απλά ένα συμπλήρωμα σε ένα άλλο σύστημα θέρμανσης καθώς η πηγή θερμότητας του αναγκάστηκε να έρθει από αλλού. Αν το σπίτι δεν έχει θερμανθεί η αντλία θερμότητας απορριπτόμενου αέρα πρέπει να χρησιμοποιήσει αέρα με θερμοκρασία περιβάλλοντος. Επιπλέον, η ροή του όγκου του αέρα περιορίζεται στο ρυθμό αλλαγής του αέρα της κατοικίας που εξυπηρετεί.

Τα συστήματα δύο μερών (Single-split) αποτελούνται από δύο κομμάτια του εξοπλισμού που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους και εξωτερικούς χώρους αντίστοιχα, ενωμένα μεταξύ τους με σωληνώσεις και ηλεκτρικές συνδέσεις. Τα συστήματα πολλών μερών (Multi-split) έχουν μια παρόμοια διαμόρφωση από μία κύρια εξωτερική μονάδα αλλά με δύο ή περισσότερες εσωτερικές μονάδες που εξυπηρετούν διαφορετικές περιοχές στο κτίριο. Σε

πολλές περιπτώσεις, αυτά είναι ικανά να ελέγχουν ανεξάρτητα του δικού τους χώρου.

8.5.2. Νερού-νερού

Τα συστήματα νερού-νερού λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως τα συστήματα αέρα-αέρα εκτός απ' το ότι η πηγή θερμότητας είναι νερό, συνήθως υπόγεια ύδατα, ποταμιών, λίμνης, ή ακόμη και απόβλητα θερμότητας από εργοστασιακές διαδικασίες. Η θερμότητα κατόπιν παραδίδεται είτε σε θερμαντικά σώματα ή μονάδες συστημάτων σπειρών ανεμιστήρων εντός του εσωτερικού χώρου. Στην περίπτωση νερού του ποταμού ή της λίμνης, το υγρό σπάνια κυκλοφορεί, λόγω ρύπανσης των σωλήνων, κτλ.

Απαιτούνται εγκρίσεις για αυτόν τον τύπο της εγκατάστασης και υπάρχουν περιορισμοί ως προς τον τύπο του αντιψυκτικού διαλύματος που χρησιμοποιείται. Τα συστήματα νερού-νερού μπορούν να ρυθμιστούν μόνο για θέρμανση ή επίσης είναι διαθέσιμα και ως αναστρέψιμα συστήματα θέρμανσης / ψύξης.

8.5.3. Νερού-αέρα

Η πηγή θερμότητας είναι όπως περιγράφεται στο σύστημα νερού-νερού: η θερμότητα απορρίπτεται στον αέρα στον εσωτερικό χώρο. Είναι διαθέσιμα συστήματα σε παρόμοια κλίμακα μεγεθών.

Μπορεί να αποκτηθεί παρόμοια ευελιξία φορτίου, δίνοντας ταυτόχρονη θέρμανση / ψύξη, χρησιμοποιώντας μια διάταξη κυκλώματος θερμού νερού, που είναι γνωστή ως σύστημα μεταφοράς ενέργειας με πηγή το νερό. Το κτίριο είναι εξοπλισμένο με έναν σωλήνα δακτυλίου για την κύρια ροή ύδατος και την επιστροφή, σε κάθε δωμάτιο, μέσω του οποίου κυκλοφορεί με μια κεντρική αντλία ζεστού νερού.

Κάθε δωμάτιο με τη σειρά του είναι εξοπλισμένο με μια μικρή, αυτόνομη, αναστρέψιμη μονάδα αντλίας θερμότητας. Οι δύο εναλλάκτες θερμότητας στην αντλία θερμότητας είναι ένας συνδυασμός χρήσης νερού και αέρα. Ο αέρας δωματίου διέρχεται μέσω του ενός, το νερό από τον αγωγό-δακτύλιο, διαμέσου του άλλου, ενώ ο συμπιεστής αντλίας θερμότητας κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσω των εσωτερικών σωλήνων των εναλλακτών θερμότητας.

Ένα δωμάτιο που απαιτεί θερμότητα αντλεί πηγή θερμότητάς από το ζεστό νερό. Εάν απαιτείται ψύξη, η απορροφούμενη θερμότητα αποβάλλεται μέσα στο κύκλωμα νερού.

Για να λειτουργήσει αποτελεσματικά, το σύστημα απαιτεί το φορτίο θέρμανσης / ψύξης του κτιρίου να παραμείνει σε ισορροπία για μεγάλο μέρος του χρόνου που βρίσκεται σε λειτουργία. Όταν η θερμοκρασία του κυκλώματος νερού υπερβαίνει τα όρια λειτουργίας κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης ζήτησης ψύξης, η υπερβολική θερμότητα μπορεί να απορριφθεί στον εξωτερικό αέρα, μέσω ενός πύργου ψύξης ή ξηρό ψυγείο. Αντιστρόφως, αν χρειάζεται επιπλέον θερμότητα, ένας μικρός λέβητας συνδέεται με το βρόχο για να αυξήσει τη θερμοκρασία του. Σε άριστες συνθήκες εργασίας, η ζήτηση του κτιρίου βρίσκεται σε ισορροπία και είναι αυτάρκης σε θερμότητα και, τόσο ο πύργος ψύξης όσο και ο λέβητας, παραμένουν σε κατάσταση αναμονής.

8.5.4. Αέρα στο νερό

Η θερμότητα απορροφάται από τον εξωτερικό αέρα και παραδίδεται σε ένα σύστημα θερμαντήρων ή σπειρών ανεμιστήρων με βάση το νερό. Θερμότητα μπορεί επίσης να απορροφηθεί από τον απορριπτόμενο αέρα από αυτόν τον τύπο αντλίας θερμότητας. Αυτό μπορεί να είναι ένα μέσο για την ανάκτηση μέρους της θερμότητας που διαφορετικά θα χανόταν από την κατοικία.

Η ανάμειξη αέρα εξάτμισης με τον ατμοσφαιρικό αέρα, θα αυξήσει την θερμοκρασία του αέρα. Πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να εξασφαλίζεται ότι ο απορριπτόμενος αέρας με μεγαλύτερη υγρασία δεν επιδεινώνει την τάση στον εξατμιστή της κατασκευής πάγου.

8.5.5. Συστήματα εδάφους

Η θερμική ενέργεια εξάγεται από το έδαφος χρησιμοποιώντας βρόγχους κλειστών αγωγών, θαμμένους οριζόντια σε τάφρους ή κάθετα σε οπές στο έδαφος που συνδέονται με τη θερμική αντλία εδάφους. Το ρευστό που κυκλοφορεί στο κλειστό βρόχο θα είναι κανονικά ένα μείγμα νερού / προπυλενογλυκόλης ή ένα άλλο αποδεκτά ισοδύναμο μίγμα αντιψυκτικού. Ωστόσο, ορισμένες αντλίες άμεσης δράσης χρησιμοποιούν ψυκτικό σε κλειστούς βρόγχους. Οι ανοικτοί βρόγχοι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή νερού από κάποιον υδροφορο ορίζοντα και την απαλλαγή μέσω ενός ξεχωριστού κατόντη υδροφορέα της ροής του υδροφορέα. Ωστόσο, συνήθως απαιτούνται άδειες από την Υπηρεσία Περιβάλλοντος.

Μπορεί επίσης να εξαχθεί θερμότητα από επιφανειακές υδάτινες μάζες: ρέματα, δεξαμενές, λίμνες ή τη θάλασσα. Τα συστήματα αυτά συνήθως αναφέρονται ως υδροθερμικά. Τα σχέδια από τα συστήματα αυτά θα πρέπει να λαμβάνουν σοβαρά υπόψη τη θερμοκρασία και την ποιότητα του νερού και συχνά απαιτούν άδειες από την αρμόδια Υπηρεσία Περιβάλλοντος.

Η θερμότητα εισάγεται στην κατοικία και διανέμονται είτε σε ένα σύστημα θέρμανσης νερού (αντλίες θερμότητας εδάφους-νερού) ή σε ένα σύστημα διανομής αέρα (αντλίες θερμότητας εδάφους-αέρα).

8.6. ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΕΠΙΔΟΣΗΣ

Ο συντελεστής επίδοσης (COP) αυξάνεται καθώς η διαφορά θερμοκρασίας μειώνεται μεταξύ της πηγής θερμότητας και του προορισμού. Μπορεί να μεγιστοποιηθεί στο σχεδιασμό ανάλογα με το σύστημα που έχει επιλεχθεί. Στη λειτουργία θέρμανσης, επιλέγοντας ένα σύστημα που απαιτεί χαμηλή θερμοκρασία και μία πηγή θερμότητας με μία υψηλή θερμοκρασία μπορούμε να αυξήσουμε το συντελεστή επίδοσης. Το ίδιο καταφέρνουμε στη λειτουργία ψύξης, επιλέγοντας ένα σύστημα που απαιτεί υψηλή θερμοκρασία και μία πηγή θερμότητας με χαμηλή θερμοκρασία. Ο συντελεστής πέφτει καθώς η διαφορά θερμοκρασίας αυξάνει μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Το χειμώνα, ο συντελεστής επίδοσης μιας αντλίας θερμότητας αέρα που λαμβάνεται είναι χαμηλός, λόγω της χαμηλής εξωτερικής θερμοκρασίας αέρα (-5°C), κάτι που αυξάνει την

θερμική διαφορά με τον προορισμό.

Ο συντελεστής επίδοσης μπορεί να αυξηθεί επίσης αν απαιτούμε θέρμανση και ψύξη ταυτόχρονα. Ένα σύστημα που μπορεί να εκτελέσει ψύξη στο ένα μέρος και να αποβάλει τη θερμότητα που απορροφάται κατά τη διαδικασία σε ένα άλλο μέρος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο συντελεστής επίδοσης για την αντλία θερμότητας είναι:

$$COP = \Delta Q_{heat} + \Delta Q_{cool} / \Delta A$$

Όπου:

ΔQ_{cool} είναι η ποσότητα της θερμότητας που εξάγεται από μια δεξαμενή κρύου σε θερμοκρασία T_{cool}

ΔQ_{hot} είναι η ποσότητα της θερμότητας που παραδίδεται σε μια δεξαμενή ζεστού σε θερμοκρασία T_{hot}

ΔA είναι το έργο του συμπιεστή που έχει διασκορπιστεί.

Προκειμένου να καταστεί δυνατή η σύγκριση της επίδοσης των διαφόρων αντλιών θερμότητας, οι κατασκευαστές δημοσιεύουν αριθμούς συντελεστών επίδοσης σε κανονικές θερμοκρασίες για το θερμό νερό και για διάλυμα αλατόνευρο/ αέρα. Για τις αντλίες θερμότητας εδάφους, οι αριθμοί για τους συντελεστές συνήθως δίνονται σε θερμοκρασία αισθητήρα (θερμοκρασία αλατόνευρο) των 0°C και σε θερμοκρασίες ζεστού νερού των 35°C (τυπική θερμοκρασία για ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα υποδαπέδιας θέρμανσης), των 45°C (τυπική θερμοκρασία για θέρμανση με καλοριφέρ) και 60°C (τυπική θερμοκρασία για την παραγωγή ζεστού νερού βρύσης). Για αντλίες θερμότητας αέρα, οι αξιολογήσεις των συντελεστών επίδοσης δημιουργούνται κανονικά στις ίδιες θερμοκρασίες για το θερμαινόμενο νερό και για εξωτερική θερμοκρασία 7°C .

Ο συντελεστής επίδοσης των αντλιών θερμότητας θα πρέπει να συσταθεί βάσει ενός καλά καθορισμένου προτύπου. Το ισχύον ευρωπαϊκό πρότυπο ονομάζεται EN1461. Αυτό το πρότυπο θα υπερισχύσει του παλιού πρότυπου EN255. Πολλοί κατασκευαστές εξακολουθούν να δίνουν τις αξιολογήσεις τους με το παλιό πρότυπο που μερικές φορές οδηγεί σε σύγχυση. Το νέο πρότυπο είναι πιο συντηρητικό, δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη όχι μόνο την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος του συμπιεστή, αλλά και ότι καταναλώνεται από τις αντλίες κυκλοφορίας. Λόγω των πιο συντηρητικών ορισμών, ο συντελεστής επίδοσης της ίδιας αντλίας θερμότητας μπορεί να είναι μέχρι μία μονάδα χαμηλότερα κάτω από το νέο πρότυπο, σε σύγκριση με τη βαθμολογία με το παλιό πρότυπο. Ο σχεδιασμός του κεντρικού συστήματος θέρμανσης έχει μια ισχυρή επίδραση στον συντελεστή. Όσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία ροής, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής. Οι υψηλότερες τιμές του για θέρμανση ως εκ τούτου λαμβάνονται σε καλά μονωμένα κτίρια με προσεκτικά σχεδιασμένα υποδαπέδια θέρμανση.

Για τις αντλίες θερμότητας εδάφους, ο σχεδιασμός του γεωθερμικού εναλλάκτη επηρεάζει επίσης τον συντελεστή επίδοσης. Ένας μεγαλύτερου μεγέθους γεωθερμικός εναλλάκτης γεωθερμικός εναλλάκτης θα οδηγήσει σε υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες του εισερχόμενου διαλύματος και ως εκ τούτου υψηλότερο συντελεστή.

8.7. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η Οδηγία 2009/28/ΕΚ ορίζει τα ελάχιστα πρότυπα απόδοσης και τη μέτρηση των ανανεώσιμων πηγών εξόδου για αντλίες θερμότητας.

Το ποσό της αεροθερμικής, γεωθερμικής ή υδροθερμικής ενέργειας που δεσμεύεται από αντλίες θερμότητας και μπορεί να θεωρηθεί ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές για τους σκοπούς της παρούσας οδηγίας, η E_{res} , θα πρέπει να υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$E_{res} = Q_{usable} \times (1 - 1/SPF)$$

Όπου:

Q_{usable} = η υπολογιζόμενη συνολική χρήσιμη θερμική ενέργεια που παρέχεται από αντλίες θερμότητας που πληρούν τα κριτήρια που αναφέρονται στο άρθρο 5 (4), που εφαρμόζεται ως εξής: Λαμβάνονται υπόψη μόνο αντλίες θερμότητας με

$$SPF > 1.15 \times 1 / \eta$$

SPF = ο υπολογιζόμενος παράγοντας μέσης εποχιακής απόδοσης για τις αντλίες θερμότητας

η = ο λόγος μεταξύ της συνολικής ακαθάριστης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και υπολογίζεται ως μέσος όρος της ΕΕ με βάση τα στοιχεία της Eurostat.

Στα τέλη του 2012 η Επιτροπή καθόρισε κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το πώς τα κράτη μέλη πρέπει να εκτιμούν τα πλεονεκτήματα της Q_{usable} και του SPF για τις διαφορετικές τεχνολογίες και εφαρμογές αντλιών θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στις κλιματικές συνθήκες, ιδιαίτερα τα πολύ ψυχρά κλίματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 ΦΟΡΤΙΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

9.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν αρκετοί παράμετροι που έχουν σημασία κατά το σχεδιασμό και την ανάπτυξη ενός βελτιστοποιημένου προσαρμοσμένου στο έδαφος εναλλάκτη θερμότητας (GCHE), και αυτοί είναι:

- Οι κλιματολογικές συνθήκες
- Ο τύπος κτιρίου και οι απαιτήσεις ενέργειας
- Οι γεωλογικές συνθήκες και οι θερμικές παράμετροι του υπεδάφους
- Οι κατασκευές οπών στη γη / τάφρων, γεώτρηση / τάφρο επίχωσης
- Οι υδραυλικές ιδιότητες, ο τύπος του εναλλάκτη θερμότητας και οι διαστάσεις (αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας, απώλεια πίεσης και ισχύς άντλησης) και οι ιδιότητες του μέσου
- Η Γεω-υδρολογία, η επιρροή στα κάθετα και οριζόντια συστήματα (οι εποχική αλλαγή των επιπέδων των υπογείων υδάτων, οι μερικές ζώνες κορεσμού κ.λπ.).

Στην παρούσα εργασία θα επικεντρωθούμε στην ανάλυση των απαιτήσεων ενέργειας των κτιρίων και στους λεπτομερείς υπολογισμούς θερμικών φορτίων ψύξης και θέρμανσης, η οποία θα είναι απαραίτητη για μελλοντικές εργασίες στο πλαίσιο του έργου και για το γενικό σχεδιασμό των GCHE. Και τα δύο αποτελούν βασικές πτυχές της σύλληψης της ιδέας και της τελικής διαστασιολόγησης ενός συστήματος που βασίζεται σε GCHE, καθώς επηρεάζουν το βασικό ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ του εδάφους γύρω από το GCHE και την εγκατάσταση.

Κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης GCHE, πρέπει να λάβουμε υπόψη τόσο την μέγιστη ισχύ όσο και την ενεργειακή ζήτηση, διότι μόνο όταν η αντλία θερμότητας είναι σε λειτουργία ο εναλλάκτης θερμότητας εδάφους μεταφέρει ή απορροφά θερμότητα. Επειδή η αντλία θερμότητας έχει διαστάσεις για τις χειρότερες συνθήκες λειτουργίας, όταν το θερμικό φορτίο του κτιρίου είναι μικρότερο από την ισχύ της αντλίας θερμότητας, αυτή θα λειτουργεί περιοδικά. Αυτό το ζήτημα επηρεάζει τη θερμική αντίσταση του εδάφους, δεδομένου ότι για τον υπολογισμό του θα πρέπει να γνωρίζει το συνολικό ποσό της θερμότητας που εισάγεται ή εξάγεται κατά τη διάρκεια όλη τη σεζόν.

Γενικά, ο σχεδιασμός όλων των θερμικών εγκαταστάσεων θα πρέπει να βασίζεται στη γνώση των διαφόρων παραγόντων, όπως: οι εσωτερικές συνθήκες που θα πρέπει να επιτευχθούν, η επίδραση των εξωτερικών συνθηκών, καθώς και τα κριτήρια και οι κανόνες που επιτρέπουν την επίτευξη της ευημερίας, της ασφάλειας και της ορθολογικής χρήσης της ενέργειας στο εσωτερικό του κτιρίου.

Κάθε κτίριο έχει διαφορετικά επίπεδα άνεσης, τελικές χρήσεις, χαρακτηριστικά σχεδιασμού, κ.λπ.. Ως εκ τούτου, ακολουθώντας τους κανονισμούς και τις ενδείξεις που δόθηκαν από τις αρμόδιες αρχές, μπορεί να ακολουθηθεί ένα πρότυπο σχεδιασμού άνετου και συγκεκριμένου. Εκτός αυτού, οι εξωτερικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία ξηρού/υγρού βολβού, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, κ.λπ., είναι απαραίτητο να καθορίσουν τη μέγιστη στιγμιαία ζήτηση θερμικής ενέργειας, προκειμένου να αναβαθμίσουν όλο τον εξοπλισμό και τα συστήματα του κτιρίου.

Μόλις οι συνθήκες σχεδιασμού καθοριστούν (δηλ. Οι εσωτερικές και εξωτερικές συνθήκες, η θερμική μόνωση του κτιρίου, κ.λπ.) προκειμένου να καθοριστούν όλα τα θερμικά φορτία σε κάθε σύστημα θέρμανσης και ψύξης, οι ακόλουθοι παράγοντες σχεδιασμού θα πρέπει επίσης να ληφθούν υπόψη:

- Κατασκευή πρόσοψης και χαρακτηριστικά του προσανατολισμού
- Ηλιακός παράγοντας και προστασία των γυάλινων επιφανειών
- Η επίδραση των γύρω κτιρίων
- Ωριαία λειτουργία των υποσυστημάτων
- Θερμικά κέρδη
- Εξαερισμός και δείκτης αφαίρεσης

Όλοι οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν ξεχωριστά για κάθε τοπικό τμήμα του κτιρίου, έτσι ώστε να μπορεί να κερδίθει το μέγιστο και ελάχιστο φορτίο. Ως εκ τούτου, η θερμαντική και η ψυκτική ισχύς που πρέπει να παρέχονται από το σύστημα θερμικής αντλίας θα πρέπει να καθοριστούν με το άθροισμα όλων των θερμικών φορτίων που λήφθηκαν προηγουμένως, λαμβάνοντας υπόψη τις απώλειες θερμότητας μέσα στο δίκτυο διανομής. Από την άλλη πλευρά, χρειάζονται δυναμικές προσομοιώσεις προκειμένου να υπολογιστεί το προφίλ ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου.

9.2. ΒΑΣΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

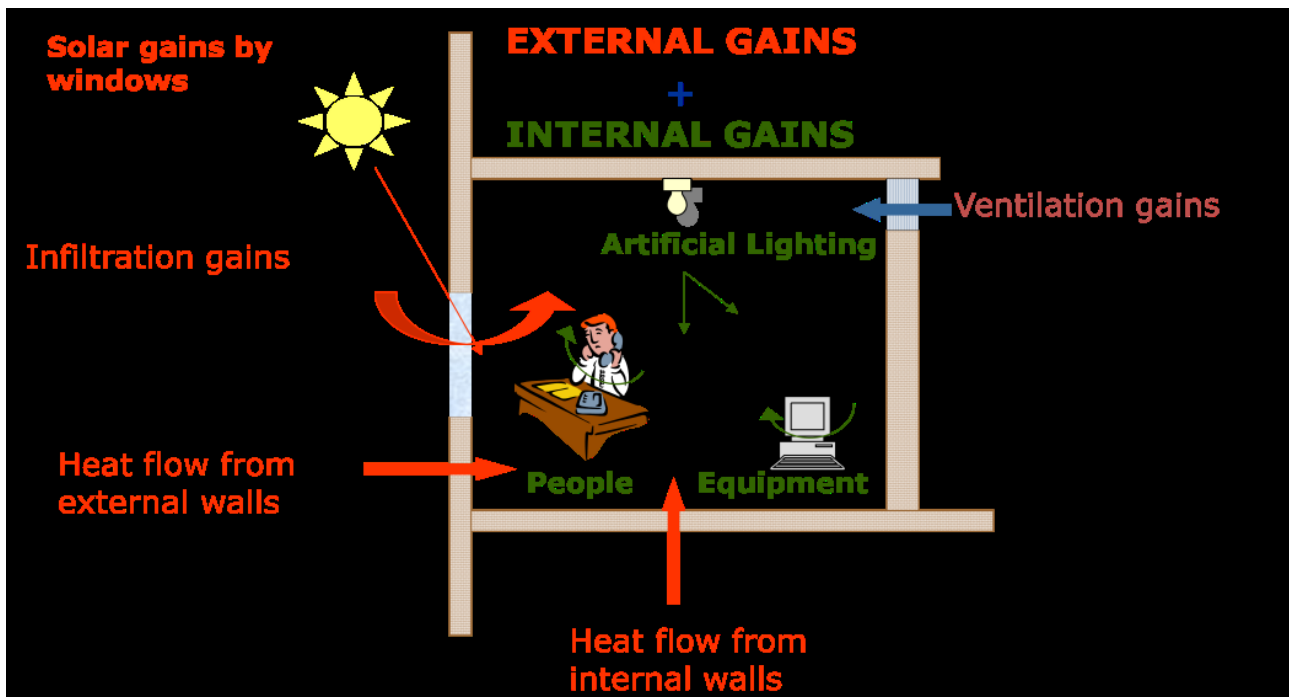
Η γνώση αυτού του χώρου είναι απαραίτητη για τους ειδικούς. Ανάλογα με τη βασική εκπαίδευση τους (μηχανικός, γεωλόγος, κ.λπ.), τα θέματα της ανάπτυξης μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο περίπλοκα.

9.2.1. Κέρδη και φορτία

Το θερμικό φορτίο ορίζεται ως η ποσότητα της θερμότητας που έλκεται προς τα έξω ή παρέχεται στο κτίριο προκειμένου να διατηρηθεί η θερμοκρασία και η υγρασία σταθερή και ίση με μία προκαθορισμένη τιμή.

Η θερμική διαδικασία υπολογισμού του φορτίου έχει δύο στάδια:

- Υπολογισμός κερδών θερμότητας. Τα κέρδη θερμότητας αντιπροσωπεύουν την στιγμιαία ροή θερμότητας (θετική ή αρνητική) από το εξωτερικό (περιβάλλον ή γειτονικά δωμάτια) στο εσωτερικό
- Υπολογισμός θερμικού φορτίου.



Εικόνα 9.1. Δυναμικά αλληλεπιδρόντα υποσυστήματα σε ένα πλαίσιο κτιρίου

Μπορούμε να διαιρέσουμε τη ροή θερμότητας σε δύο ομάδες (Εικ. 9.1):

- **Εξωτερικά κέρδη**

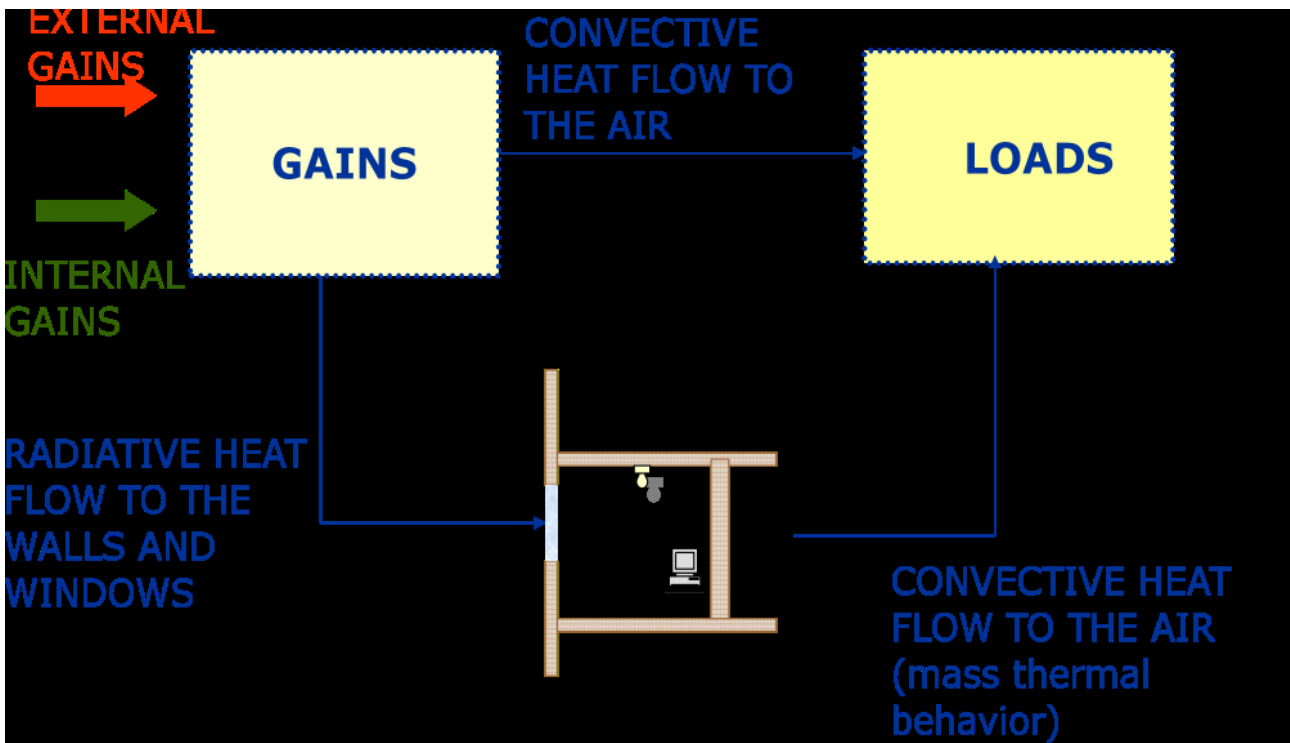
- Κέρδος θερμότητας από την εισερχόμενη ακτινοβολία από τα παράθυρα και φεγγίτες
- Κέρδος θερμότητας με αγωγή μέσα από τοίχους, οροφές, παράθυρα σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον
- Κέρδος θερμότητας με αγωγή μέσα από τοίχους, οροφές σε επαφή με ένα περιβάλλον διαφορετικής θερμοκρασίας
- Κέρδος θερμότητας με αγωγή μέσα από τοίχους, δάπεδα σε επαφή με τα κέρδη από τη διήθηση του εδάφους (ροή αέρα μόνο απ' το εξωτερικό).

- **Εσωτερικά κέρδη**

- Κέρδος θερμότητας που οφείλεται σε ανθρώπους
- Κέρδος θερμότητας που οφείλεται σε τεχνητό φωτισμό
- Κέρδος θερμότητας που οφείλεται στον εξοπλισμό

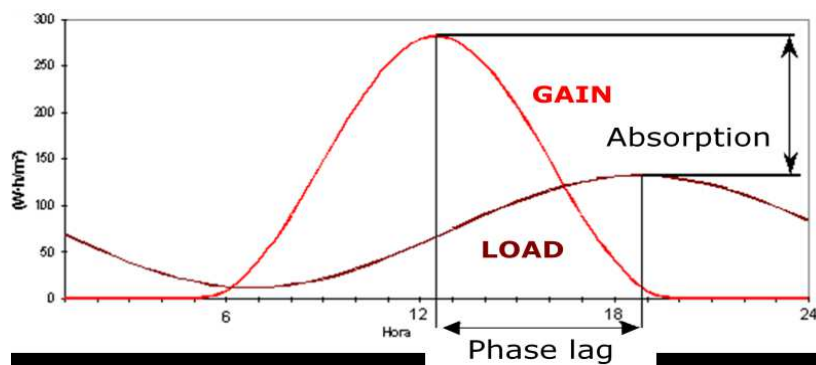
Εκτός από αυτά, πρέπει να λάβουμε υπόψη τα κέρδη εξαερισμού (ροή αέρα από μια καθορισμένη από τον χρήστη πηγή, όπως ένα σύστημα HVAC).

Κάθε κέρδος θερμότητας χωρίζεται σε δύο μέρη: στην αγωγή και την ακτινοβολία (Εικόνες 9.2 & 9.3). Το πρώτο επηρεάζει άμεσα τον εσωτερικό χώρο όσο το δεύτερο απορροφάται και αποθηκεύεται από τα περιμετρικά τοιχώματα, και παραδίδεται αργότερα στον εσωτερικό χώρο με τη μεταφορά αέρα. Έτσι, η μεταφορά του κέρδους θερμότητας μετατρέπεται σε θερμικό φορτίο ακαριαία και η ακτινοβολία του κέρδους θερμότητας υγροποιείται και καθυστερείται χρονικά προτού θεωρηθεί θερμικό φορτίο. Με σκοπό να ληφθεί το θερμικό φορτίο από το κλάσμα της ακτινοβολίας του κέρδους θερμότητας, χρησιμοποιείται η μέθοδος της συνάρτησης μεταφοράς ή των παραγόντων απόκρισης.



Εικόνα 9.2. Σχέση μεταξύ των θερμικών κερδών και φορτίων

Η μέθοδος της συνάρτησης μεταφοράς ή των παραγόντων απόκρισης μπορεί να περιγραφεί ως η μέθοδος της θερμικής ιστορίας του τοιχώματος. Το τοίχωμα θεωρείται ως ένα μαύρο κουτί και ανάλογα με τα συστατικά του (στρώματα, υλικά, κ.λπ.), έχει μια διαφορετική θερμική συμπεριφορά. Εμείς μπορούμε να θεωρήσουμε βαριούς ή ελαφριούς τοίχους με χαμηλή ή υψηλή θερμική μάζα. Ένα βαρύ τοίχωμα σχηματίζεται από υλικά υψηλής πυκνότητας με σημαντικό πάχος, ενώ η θερμική μάζα του τοιχώματος χαρακτηρίζεται από τη θερμική αγωγιμότητα και θερμική χωρητικότητα των υλικών.



Εικόνα 9.3. Γραφικό παράδειγμα φορτίου και κέρδους

9.2.2. Υπολογισμός κερδών θερμότητας

Αυτή η υπο-ενότητα περιγράφει τα μαθηματικά μοντέλα για τον υπολογισμό κερδών

θερμότητας. Ο σκοπός είναι μια βασική κατανόηση αυτών των μοντέλων που εφαρμόζονται σε διαφορετικούς αριθμητικούς κωδικούς που διατίθενται στην αγορά για τον υπολογισμό θερμικών φορτίων και για την προσομοίωση του προφίλ ενέργειας του κτιρίου.

$$(1) \quad Q(n) = \sum_{i=0} a_i E(n-i) - \sum_{i=1} b_i Q(n-i)$$

όπου:

- Τα a και b είναι συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς z
- Το E παριστάνει την εξωτερική θερμοκρασία επιφάνειας.

Ο αριθμός των χρονικών σταδίων (n) που απαιτείται για τους υπολογισμούς δείχνει εάν ο τοίχος είναι ένα βαρύ ή ελαφρύ τοίχωμα με υψηλή ή χαμηλή θερμική μάζα. Εάν χρειάζονται λίγα μόνο χρονικά στάδια για να περιγράψουν τη θερμική συμπεριφορά του τοιχώματος, ο τύπος (1) μπορεί να αντικατασταθεί από έναν ορισμό θερμικής αντίστασης, παραμελώντας τη θερμική μάζα.

9.2.3. Οι εσωτερικοί τοίχοι

Για τον υπολογισμό των κερδών θερμότητας για εσωτερικούς τοίχους, η υπόθεση της χαμηλής θερμικής μάζας και σταθερών οριακών συνθηκών (θερμοκρασία επιφάνειας τοιχώματος) έχει ως εξής:

$$(2) \quad Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{\Delta x_i}{K_i} + \frac{1}{h_2}}$$

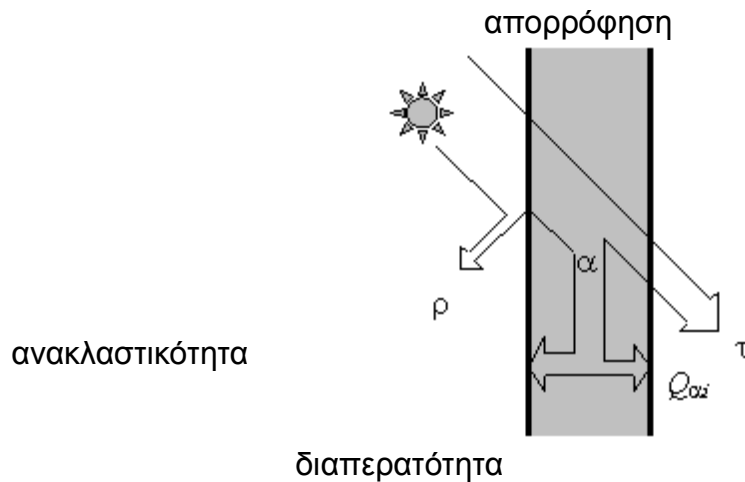
όπου:

- H είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας στην επιφάνεια (W/m^2K)
- ΔT είναι η βαθμίδα θερμοκρασίας διαμέσου του τοιχώματος (K)
- Το x είναι το πάχος της στρώσης i (m)
- K είναι η θερμική αγωγιμότητα του στρώματος i (W/mK).

Για παράδειγμα, στην Ισπανία, οι μέγιστες τιμές U που συνιστώνται για εξωτερικούς τοίχους ποικίλλουν ανάλογα με το κλίμα της περιοχής (1,2 για ζεστά κλίματα και 0,74 για ψυχρά κλίματα). Για εσωτερικούς τοίχους, αυτές οι τιμές κυμαίνονται από 1,22 για θερμά κλίματα έως 1,00 για ψυχρά κλίματα).

9.2.4. Κέρδη θερμότητας μέσω παραθύρων

Η μετάδοση θερμότητας μέσω γυάλινων επιφανειών γίνεται, από τη μία πλευρά, λόγω της μεταβολής θερμοκρασίας μεταξύ των δύο γυάλινων επιφανειών η οποία καθορίζει μια μεταφορά θερμότητας με αγωγή, και από την άλλη, λόγω της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, προκαλώντας τη μετάδοση ακτινοβολίας (Εικ. 9.5).



Εικόνα 9.5. Ηλιακή ακτινοβολία, καθώς προσπίπτει σε παράθυρο

Για να εξεταστεί η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας, ορίζουμε ένα γυάλινο ηλιακό παράγοντα (SF) ως τον λόγο ανάμεσα στη συνολική ενέργεια που εισέρχεται διαμέσου του υαλοπίνακα και την ηλιακή ενέργεια που χτυπά την επιφάνεια εκτός του γυαλιού.

Αυτή η ενέργεια είναι το άθροισμα της άμεσης μετάδοσης θερμότητας και της απορροφούμενης ηλιακής ενέργειας που μεταδίδεται διαμέσου του παραθύρου λόγω συναγωγής:

$$SF = \tau_D I_D + \tau_d I_d + h_i [(\alpha_D I_D + \alpha_d I_s) / (h_e + h_i)]$$

(3)

όπου:

- τ , α και ρ είναι οι συντελεστές διαπερατότητας, απορρόφησης και ανακλαστικότητας, με τιμές μεταξύ 0 και 1 ανάλογα με τις ιδιότητες του γυαλιού
- h είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή σε εσωτερική ή εξωτερική επιφάνεια παραθύρου (W/m^2K)
- I_D είναι η άμεση ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2)
- I_d είναι η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2).

9.2.5. Κέρδη διείσδυσης και εξαερισμού

Όλη η εισερχόμενη ενέργεια λόγω διείσδυσης και/ή αερισμού μπορεί να θεωρηθεί ως καθαρά συναγωγής, έτσι ώστε οποιοδήποτε κέρδος θερμότητας να μετατρέπεται άμεσα σε θερμικό φορτίο. Το κέρδος θερμότητας (ή απώλεια) λαμβάνεται μέσω ενός ενεργειακού ισοζυγίου που εκτελείται στο εξωτερικό όγκο αέρα:

$$(4) \dot{Q}_{inf} = \dot{m}_{inf} \rho C_p (T_{outside} - T_{inside})$$

$$(5) \dot{Q}_{vent} = \dot{m}_{vent} \rho C_p (T_{vent} - T_{inside})$$

όπου:

ρ (Kg/m³) και C_p (J / KgK) είναι η πυκνότητα του αέρα και ο αέρας ειδική θερμοχωρητικότητα.

Για τον υπολογισμό του φορτίου θερμότητας διείσδυσης, ο ρυθμός ροής μάζας (\dot{m}_{inf}) (m³/s) εκτιμάται με εμπειρικές μεθόδους, ενώ οι παράμετροι αερισμού (ρυθμός ροής μάζας, \dot{m}_{vent} (m³/s) και θερμοκρασία T_{vent}) (K) καθορίζονται από την εθνική νομοθεσία.

9.2.6. Εσωτερικά κέρδη θερμότητας

Εσωτερικά κέρδη θερμότητας είναι οι παράγοντες των οποίων κοινό χαρακτηριστικό είναι το ότι η πηγή θερμότητας είναι μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο: οι άνθρωποι, τεχνητό φωτισμό και τον εξοπλισμό. Η στιγμιαία αύξηση της θερμότητας από τις πηγές αυτές μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$(6) \quad Q = n Q_0 f$$

όπου:

- Για τους ανθρώπους, το Q εξαρτάται από το n (αριθμός), το Q_0 (βαθμός δραστηριότητας, παράγοντες ρουχισμού κ.λπ.), το f (χρονοδιάγραμμα)
- Για τεχνητό φωτισμό, το Q εξαρτάται από το n (αριθμός), το Q_0 (τύπος λαμπτήρα), το f (στρατηγική ελέγχου, χρονοδιάγραμμα)
- Για εξοπλισμό, το Q εξαρτάται από το n (αριθμός), το Q_0 (εγκατεστημένη ισχύς), f (χρονοδιάγραμμα)

Κατά τον υπολογισμό των εσωτερικών κερδών, θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη τόσο την αισθητή όσο και τη λανθάνουσα θερμότητα, λόγω του ότι το αποτέλεσμα της ισορροπίας της υγρασίας είναι πολύ σημαντικό για την ψύξη.

9.3. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΘΕΜΕΛΙΩΔΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

9.3.1. Μέθοδοι για τον υπολογισμό θερμικών φορτίων

9.3.1.1. Ευρωπαϊκά πρότυπα

EN ISO 13790 Θερμική απόδοση κτιρίων - Υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων. Στην Ευρώπη, η δημοσίευση τον Δεκέμβριο του 2002, για τις Ενεργειακές Επιδόσεις των Κτιρίων (EPBD, EPBD 2002) ακολούθησε μια εντολή στην CEN (Ευρωπαϊκή Επιτροπή Τυποποίησης) να αναπτύξει ένα σύνολο προτύπων για την ενεργειακή επίδοση των κτιρίων (M343 2004), με σκοπό την υποστήριξη των κρατών μελών της Ε.Ε. για την εφαρμογή σε εθνικό επίπεδο του EPBD. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το σύνολο των προτύπων CEN δίνονται στο λεγόμενο "Umbrella Document" της CEN (CEN / TR 15615 2007).

Το 1995, συντάχθηκε το ευρωπαϊκό πρότυπο EN 832 (EN 832 1995), το οποίο περιέχει μια απλουστευμένη μέθοδο υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων. Συνέχεια του ήταν το πρότυπο EN ISO 13790:2003, που αναφέρεται παραπάνω, που περιλαμβάνει και μη οικιστικά κτίρια. Στο πλαίσιο της εντολής 343 στη CEN για την υποστήριξη του ΟΕΕΚ, η έκδοση 2004 αυτού του διεθνούς προτύπου έχει επεκταθεί με τον υπολογισμό της χρήσης ενέργειας για ψύξη χώρων και επιπλέον χαρακτηριστικά (EN ISO 13790 2007).

Εν ολίγοις, το νέο πρότυπο EN ISO 13790:2008 δίνει τις μεθόδους υπολογισμού για την εκτίμηση της ετήσιας χρήσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων ενός κατοικημένου ή μη κτιρίου, ή ενός μέρους του, που αναφέρεται ως "το κτίριο".

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τον υπολογισμό:

- της μεταφοράς θερμότητας από τη μετάδοση και τον αερισμό της ζώνης του κτιρίου όταν θερμαίνεται ή ψύχεται σε σταθερή εσωτερική θερμοκρασία
- της συμβολής των εσωτερικών και ηλιακών κερδών θερμότητας στη θερμική ισορροπία του κτιρίου
- των ετήσιων ενεργειακών αναγκών για θέρμανση και ψύξη, για τη διατήρηση των συγκεκριμένων τιμών αναφοράς των θερμοκρασιών στο κτίριο – η λανθάνουσα θερμότητα δεν συμπεριλαμβάνεται
- της ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου, κάνοντας χρήση των καταχωρήσεων από τα σχετικά πρότυπα του συστήματος που αναφέρονται στο πρότυπο ISO 13790:2008.

Το ISO 13790:2008 δίνει επίσης μια εναλλακτική λύση απλή ωριαία μέθοδο, χρησιμοποιώντας ωριαία προγράμματα χρήστη (όπως τιμές αναφοράς θερμοκρασίας, τρόπους αερισμού ή προγράμματα λειτουργίας κινητής ηλιακής σκίασης).

Οι διαδικασίες παρέχονται για τη χρήση των πιο λεπτομερών μεθόδων προσομοίωσης, προκειμένου να εξασφαλισθεί η συμβατότητα και η συνοχή μεταξύ της εφαρμογής και τα αποτελέσματα των διαφόρων τύπων της μεθόδου. Το ISO 13790:2008 παρέχει, για παράδειγμα, τη θέσπιση κοινών κανόνων για τις οριακές συνθήκες και φυσικά δεδομένα εισόδου, ανεξάρτητα από την προσέγγιση υπολογισμού που έχει επιλεγεί.

Το ISO 13790:2008 καθιερώθηκε για κτίρια που είναι, ή υποτίθεται ότι είναι, θερμαινόμενα και / ή ψύχονται για την άνεση των ανθρώπων, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους τύπους κτιρίων ή άλλους τύπους χρήσης (π.χ. βιομηχανικά, γεωργικά, πισίνες), εφ' όσον επιλέγονται τα κατάλληλα δεδομένα εισόδου και λαμβάνεται υπόψη ο αντίκτυπος των ειδικών φυσικών συνθηκών στην ακρίβεια.

Οι διαδικασίες υπολογισμού σε ISO 13790:2008 περιορίζονται σε περιπτώσεις λογικής θέρμανσης και ψύξης. Η χρήση της ενέργειας λόγω της ύγρανσης υπολογίζεται στο σχετικό πρότυπο για την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων εξαερισμού. Ομοίως, η χρήση της ενέργειας λόγω της αφύγρανσης υπολογίζεται στο σχετικό πρότυπο για την ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ψύξης χώρου.

Το ISO 13790:2008 έχει εφαρμογή σε κτίρια στο στάδιο του σχεδιασμού και για τα ήδη υπάρχοντα κτίρια. Τα δεδομένα εισόδου που, άμεσα ή έμμεσα, επιβάλλονται από το ISO 13790:2008 πρέπει να διατίθενται από τα αρχεία του κτιρίου ή απ' το ίδιο το κτίριο. Εάν αυτό δεν συμβαίνει, αναφέρεται ρητά σε σχετικές θέσεις στο πρότυπο ISO 13790:2008 ότι

μπορεί να αποφασιστεί σε εθνικό επίπεδο να δοθεί η άδεια και για άλλες πηγές πληροφοριών. Στην περίπτωση αυτή, ο χρήστης αναφέρει τα δεδομένα εισόδου που έχουν χρησιμοποιηθεί και από ποιά πηγή. Κανονικά, για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης για την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, συντάσσεται ένα πρωτόκολλο σε εθνικό ή περιφερειακό επίπεδο, για να καθορίσει το είδος των πηγών πληροφόρησης και τους όρους, όταν μπορούν να εφαρμοστούν αντί των πλήρων απαιτούμενων καταχωρήσεων.

9.3.1.2. Τα πρότυπα ASHRAE

Η μέθοδος της συνάρτησης μεταφοράς (TFM) είναι ένα πολύ γνωστό πρότυπο που συνιστάται από την ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). Μπορεί να θεωρηθεί το πιο χρησιμοποιούμενο εργαλείο που διατίθενται σήμερα για την θερμική ανάλυση κτιρίων. (ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2005. Chapter 32, Energy Estimating and Modelling Methods; ASHRAE Handbook of Fundamentals, 2009. Chapter 18, Non-residential Cooling and Heating Load Calculation).

9.3.1.3. Μέθοδος βαθμομέρας

Οι βαθμομέρες ψύξης ή θέρμανσης (CDD, HDD) είναι ποσοτικοί δείκτες που έχουν σχεδιαστεί για να αντανakλούν τη ζήτηση για ενέργεια που απαιτείται για την ψύξη ή τη θέρμανση ενός κτιρίου. Οι δείκτες αυτοί προέρχονται από τις καθημερινές παρατηρήσεις της θερμοκρασίας και οι απαιτήσεις θέρμανσης ή ψύξης για μια δεδομένη δομή σε μία συγκεκριμένη τοποθεσία θεωρείται να είναι ανάλογη με τον αριθμό των HDD / CDD σε αυτή την τοποθεσία.

Για παράδειγμα, το HDD ορίζεται σε σχέση με μία βασική θερμοκρασία - την εξωτερική θερμοκρασία πάνω από την οποία ένα κτίριο δεν χρειάζεται θέρμανση. Η πιο κατάλληλη θερμοκρασία βάσης για οποιοδήποτε συγκεκριμένο κτίριο εξαρτάται από τη θερμοκρασία με την οποία το κτίριο θερμαίνεται και τη φύση του κτιρίου (συμπεριλαμβανομένων των ενοίκων που παράγουν θερμότητα και του εξοπλισμού μέσα σ' αυτό). Για τους υπολογισμούς που σχετίζονται με κάποιο συγκεκριμένο κτίριο, θα πρέπει να επιλέγεται HDD με την πιο κατάλληλη θερμοκρασία βάσης για το εν λόγω κτίριο.

Υπάρχουν κάποιοι τρόποι με τους οποίους το HDD μπορεί να υπολογιστεί: όσο πιο λεπτομερής η καταγραφή των δεδομένων θερμοκρασίας, τόσο πιο ακριβές το HDD που μπορεί να υπολογιστεί. Ωστόσο, τα περισσότερα HDD υπολογίζονται με τη χρήση απλών μεθόδων προσέγγισης, που χρησιμοποιούν καθημερινές μετρήσεις θερμοκρασίας, αντί πιο λεπτομερών αρχείων θερμοκρασίας, όπως μετρήσεις ημώρου. Μια δημοφιλής μέθοδος προσέγγισης είναι η λήψη μέσης θερμοκρασίας μια δεδομένη ημέρα και το αφαιρούμε από τη θερμοκρασία βάσης. Αν η τιμή είναι μικρότερη ή ίση με το μηδέν, εκείνη την ημέρα έχει μηδενικό HDD. Όμως, αν η τιμή τους είναι θετική, ο αριθμός αυτός αντιπροσωπεύει τον αριθμό του HDD για εκείνη την ημέρα.

9.3.2. Προγράμματα για την προσομοίωση της ενεργειακής επίδοσης κτιρίων

Παρά τον μεγάλο αριθμό στην αγορά των ενεργειακών προγραμμάτων μοντελοποίησης για κτίρια, τα περισσότερα είναι άγνωστα στους επαγγελματίες μελετητές μηχανικούς ή η χρήση τους περιορίζεται στον υπολογισμό των θερμικών φορτίων για τη διαστασιολόγηση των συστημάτων κλιματισμού. Σύμφωνα με μια μελέτη από το Τεχνικό Πανεπιστήμιο της Τσεχίας τα πλέον χρησιμοποιούμενα προγράμματα μοντελοποίησης που χρησιμοποιούνται από τους αρχιτέκτονες και τους μηχανικούς είναι τα: Equest, Energy10, DOE-2, TRNSYS, VISUALDOE, Ecotect, ESP-r, energyplus.

Η νέα οδηγία 2010/31/ΕΕ (αναδιατύπωση της οδηγίας για την ενεργειακή επίδοση κτιρίων (ΟΕΕΚ)), η οποία εγκρίθηκε στις 19 Μαΐου 2010, προβλέπει την ανάπτυξη ενός ευρωπαϊκού προγράμματος για την ανάπτυξη της ενεργειακής προσομοίωσης.

9.3.3. Περιοχές και εφαρμογές στην Ευρώπη

Οι περιφερειακές διαφορές στο κλίμα, με βάση την παράδοση και τη συμπεριφορά των χρηστών στην Ευρώπη θα έχει αντίκτυπο στις διαδικασίες υπολογισμού, τα δεδομένα εισόδου και, κατά συνέπεια, στην ενεργειακή επίδοση.

Πολλά πρότυπα επιτρέπουν επιλογές μεταξύ των διαφόρων επιλογών που πρέπει να γίνουν σε εθνικό επίπεδο. Μερικά από τα πρότυπα περιλαμβάνουν μια μέθοδο αναφοράς (συχνά λεπτομερή) και επιτρέπουν εθνικά παραρτήματα με (συχνά απλουστευμένες) εθνικές μεθόδους. Τα περισσότερα πρότυπα επιτρέπουν τα δεδομένα εισόδου και τις συνοριακές συνθήκες να καθορίζονται σε εθνικό επίπεδο(EN ISO 13790).

9.4. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ/ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΦΕΛΟΥΣ

Ο υπολογισμός της ενεργειακής ζήτησης κτιρίου επηρεάζει το σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας εδάφους με τους ακόλουθους τρόπους:

- Τη μακροπρόθεσμη εξέλιξη των θερμικών συνθηκών του εδάφους υπό τις απαιτήσεις που βασίζονται στη ζήτηση θερμικής ενέργειας (φορτίο βάσης), δηλαδή την αυξανόμενη ή μειούμενη θερμοκρασία εδάφους
- Η συμπεριφορά του εδάφους στη μέγιστη απαιτούμενη από την εγκατάσταση ισχύ (μέγιστο φορτίο), δηλαδή η ανάλυση της αποδόμησης που μπορεί να συμβεί σε θαμμένους αγωγούς λόγω των συνθηκών ακραίων θερμοκρασιών στην αντλία θερμότητας.

Για το λόγο αυτό μια σωστή εκτίμηση του προφίλ ενέργειας του κτιρίου είναι σημαντική για έναν εναλλάκτη θερμότητας εδάφους, με τις σωστές διαστάσεις, προκειμένου να ληφθεί η κατάλληλη επίδοση απ' το σύστημα. Αυτό επηρεάζει επίσης την επένδυση στην κατασκευή του. Εκτός από τη ζήτηση ενέργειας του κτιρίου, αντιπροσωπεύει τα βασικά στοιχεία που απαιτούνται για τον υπολογισμό της απόσβεσης της εγκατάστασης.

9.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, τα δύο βήματα που απαιτούνται για τη δημιουργία συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι:

- Οι υπολογισμοί θερμικού φορτίου
- Η ανάλυση της ενεργειακής ζήτησης.

Και τα δύο είναι μια βασική πτυχή της σύλληψης και της τελικής διαστασιολόγησης ενός συστήματος που βασίζεται σε προσαρμοσμένους στο έδαφος εναλλάκτες θερμότητας (GCHΕ), επειδή επηρεάζουν τη συμπεριφορά του εδάφους και την αποτελεσματικότητα του συστήματος.

Κατά συνέπεια, προκειμένου να προσδιοριστεί το θερμικό φορτίο, είναι απαραίτητο:

- Να γίνει προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της κατασκευής (υλικά, διαστάσεις, το σχήμα και το εξωτερικό χρώμα), των περιβαλλοντικών πληροφοριών (δεδομένα κλίματος, η επιλογή των συνθηκών σχεδιασμού)
- Να επιλεγούν οι εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, υγρασία και αερισμό),
- Να επιλεγούν τα χαρακτηριστικά του χώρου (απαιτήσεις φωτισμού, οι δραστηριότητες των ενοίκων, ο εξοπλισμός που θα χρειαστεί και η διαδικασία που θα ακολουθηθεί)
- Να επιλεγεί η ημέρα και η ώρα για τις οποίες έχει αποφασιστεί το φορτίο, που προτιμώνται για τις μέγιστες και τις ελάχιστες απαιτήσεις.

Ένα καλό εργαλείο για τους υπολογισμούς αυτούς είναι το πρότυπο EN ISO 13790:2008 που προσφέρει μια μέθοδο για την εκτίμηση της ετήσιας χρήσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων από ένα κατοικημένο ή μη, κτίριο. Πιο περίπλοκα εργαλεία για τον υπολογισμό του προφίλ ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου είναι τα δυναμικά προγράμματα προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

10.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας κατακόρυφος γεωθεναλλάκτης θερμότητας (ΒΗΕ) οφείλει να μεταφέρει ένα ρευστό στο υπέδαφος και να επιτρέψει την ανταλλαγή θερμότητας από το υπέδαφος, στο ρευστό (απομάκρυνση θερμότητας, λειτουργία θέρμανσης του συστήματος) ή την ανταλλαγή από το ρευστό, στο υπέδαφος (θερμική ένεση, ψύξης του συστήματος). Ο ΒΗΕ αποτελείται από σωλήνες που περιέχουν το ρευστό. Επειδή χρειάζεται να εγκατασταθεί κάτω από ένα ορισμένο βάθος, είναι συνήθως μακρύς και λεπτός.

Λόγω της ανάγκης να κυκλοφορεί ένα ρευστό από ένα βάθος στο έδαφος προς την επιφάνεια, υπάρχουν μόνο λίγες βασικές επιλογές για τους ΒΗΕ:

- Ομοαξονικοί (ή ομόκεντροι) σωλήνες, επίσης γνωστοί ως σωλήνες εντός σωλήνα
- Σωλήνες τύπου U (δύο ή περισσότεροι απλοί σωλήνες που συνδέονται στο κάτω μέρος)
- Μόνο για σωλήνες θέρμανσης. Ένας μόνο σωλήνας αρκεί, καθώς ο ατμός μπορεί να κινηθεί προς τα πάνω στο κέντρο του σωλήνα, ενώ το συμπύκνωμα ρέει προς τα κάτω κατά μήκος των τοιχωμάτων του σωλήνα.

Κατά τη διάρκεια της άνω των 60 χρόνων ανάπτυξης των ΒΗΕ, έχουν αναπτυχθεί και δοκιμαστεί διάφορες εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού. Λόγω του κόστους της αποτελεσματικότητας, μόνο λίγα (απλά) σχέδια επικρατούν. Αυτοί οι ΒΗΕ εισάγονται σε γεωτρήσεις και οι δακτύλιοι μεταξύ των σωλήνων και του τοιχώματος των οπών είτε γεμίζονται με ένα ειδικό ένεμα, είτε με νερό αν η γεώτρηση είναι σταθερή (περιορισμένοι στη Σκανδιναβία).

10.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΘΕΤΟΥ ΓΕΩΘΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών ενός κτηρίου με γεωθερμική αντλία θερμότητας περιλαμβάνει σαν πρώτο βήμα τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειαστούν. Στη συνέχεια υπολογίζονται τα λοιπά μεγέθη της εγκατάστασης, τα οποία είναι:

- A) ισχύς αντλίας θερμότητας
- B) διάμετρος και υλικό σωληνώσεων.

10.2.1 Βάθος γεώτρησης κάθετου εναλλάκτη

Το βάθος της γεώτρησης επηρεάζει άμεσα το κόστος του συστήματος. Μεγαλύτερο βάθος

γεώτρησης σημαίνει μεγαλύτερες δαπάνες διάτρησης και μεγαλύτερο μήκος σωλήνα. Επομένως ο ακριβής υπολογισμός του βάθους γεώτρησης είναι πολύ σημαντικός στην επίτευξη μιας ακριβής εκτίμησης του κόστους εγκατάστασης του συστήματος.

Για μεγάλες (50RT και άνω) εφαρμογές, πρέπει να εξεταστεί το χώμα ώστε να διαπιστωθούν ακριβώς οι ιδιότητες του εδάφους. Το πλεονέκτημα στη δοκιμή είναι ότι τα ακριβέστερα στοιχεία εδάφους θα δώσουν στο μηχανικό ακριβείς πληροφορίες για τη θερμική αγωγιμότητα, ώστε να μπορέσει να υπολογίσει με μεγαλύτερη ασφάλεια το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης. Επομένως οι εδαφολογικές ιδιότητες, δηλαδή η αγωγιμότητα και η θερμική διαχυτότητα, πρέπει να προέλθουν είτε από μια δοκιμή στην περιοχή της εγκατάστασης (ground testing) είτε από μια ακριβή εκτίμηση.

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται η μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) και περιγράφεται στην ακόλουθη αναφορά:

Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty, Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings ASHRAE, Atlanta 1997.

10.2.1.1 Μέση ετήσια ροή θερμότητας

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία, αρχικά πρέπει να υπολογιστεί το ακόλουθο μέγεθος q_a , το οποίο ονομάζεται «μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος»:

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{hoursc} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{hoursh}}{T_a}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα σε Btu/h (το ψυκτικό φορτίο εισάγεται με αρνητικό πρόσημο στην ανωτέρω σχέση)

EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης ετησίως
 C_{fc} και C_{fh} διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα

T_a το ετήσιο χρονικό διάστημα σε ώρες (8.760h).

10.2.1.2 Ισοδύναμες ώρες θέρμανσης και ψύξης

Οι ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου EFL_{hoursc} και EFL_{hoursh} μπορούν να περιγραφούν ως το ποσό ωρών που θα λειτουργούσε με πλήρες φορτίο ένα σύστημα σχεδιασμένο για το μέγιστο φορτίο θέρμανσης κατά τη διάρκεια ενός έτους. Υπολογίζεται ως εξής:

$$EFL_{hoursc} = \frac{E_c}{q_{lc}} \quad \& \quad EFL_{hoursh} = \frac{E_h}{q_{lh}}$$

όπου:

q_{lc} και q_{lh} το ονομαστικό (μέγιστο) ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτηρίου αντίστοιχα
 E_c και E_h οι ετήσιες καταναλώσεις ενέργειας σε ψύξη και θέρμανση.

10.2.1.3 Διορθωτικοί συντελεστής C_{fc} και C_{fh}

Οι διορθωτικοί συντελεστές C_{fc} και C_{fh} σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές EER και COP της αντλίας θερμότητας αντίστοιχα. Οι τιμές τους, βάσει της μεθόδου της ASHRAE, δίνονται από τον πίνακα:

Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας			
EER (ψύξη)	C_{fc}	COP (θέρμανση)	C_{fh}
11,0	1,31	3,0	0,75
13,0	1,26	3,5	0,77
15,0	1,23	4,0	0,80
17,0	1,20	4,5	0,82

10.2.1.4 Διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Η διάμετρος της σωλήνωσης έχει να κάνει με τη μεταφερόμενη ισχύ από τον κλιματιζόμενο χώρο προς το έδαφος και την παροχή του μέσου.

Η επιλογή της διαμέτρου είναι τέτοια, ώστε συναρτήσει της απαιτούμενης μεταφερόμενης παροχής εντός των σωληνώσεων, η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1 – 1,5m/sec, ώστε να επιτυγχάνεται στρωτή ροή.

Η μεταφερόμενη θερμική ισχύς και η παροχή μάζας του εργαζόμενου μέσου σχετίζονται με τη σχέση:

$$q_{lc} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (t_{wi} - t_{wo})$$

(υπολογισμός βάσει ψύξης)

$$q_{lh} = \dot{m} \cdot C_v \cdot (t_{wo} - t_{wi})$$

(υπολογισμός βάσει θέρμανσης)

όπου:

\dot{m} η παροχή μάζας του νερού μέσα στη σωλήνωση
 $C_v = 4,184 \text{ KJoule}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού
 t_{wi} η θερμοκρασία εισόδου του νερού στο γεωθερμικό εναλλάκτη
 t_{wo} η θερμοκρασία εξόδου του νερού από το γεωθερμικό εναλλάκτη.

Τύπος	Υλικό	Εξωτερική διάμετρος (mm)	Πάχος τοιχώματος (mm)	Θερμική αγωγιμότητα (W/(m.K))	Θερμική αντίσταση (K.m/W)
PE DN25 PN8	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,0	0,42	0,066
PE DN32 PN8	Πολυαιθυλένιο	32,0	2,0	0,42	0,051
PE DN40 PN8	Πολυαιθυλένιο	40,0	2,3	0,42	0,046
PE DN50 PN8	Πολυαιθυλένιο	50,0	2,9	0,42	0,047
PE DN20 PN12	Πολυαιθυλένιο	20,0	2,0	0,42	0,085
PE DN25 PN12	Πολυαιθυλένιο	25,0	2,3	0,42	0,077
PE DN32 PN12	Πολυαιθυλένιο	32,0	3,0	0,42	0,079
PE DN40 PN12	Πολυαιθυλένιο	40,0	3,7	0,42	0,078
PE DN50 PN12	Πολυαιθυλένιο	50,0	4,6	0,42	0,077
SDR-11 3/4"	Πολυαιθυλένιο	26,7	2,5	0,42	0,079
SDR-11 1"	Πολυαιθυλένιο	33,4	3,0	0,42	0,075
SDR-11 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	42,2	3,9	0,42	0,077
SDR-11 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	48,3	4,4	0,42	0,076
SDR-11 2"	Πολυαιθυλένιο	60,3	5,5	0,42	0,076
SDR-13 1"	Πολυαιθυλένιο	28,6	2,2	0,22	0,121
SDR-13 1-1/4"	Πολυαιθυλένιο	34,9	2,6	0,22	0,117
SDR-13 1-1/2"	Πολυαιθυλένιο	41,3	3,1	0,22	0,118
SDR-13 2"	Πολυαιθυλένιο	54,0	4,0	0,22	0,116

Η απόλυτη τιμή της διαφοράς θερμοκρασίας $t_{wi}-t_{wo}$ επιλέγεται από την αντλία θερμότητας του συστήματος συνήθως να ισούται με 4K.

Από τις ανωτέρω σχέσεις, δοθείσης της $t_{wi}-t_{wo}$ και του θερμικού φορτίου, υπολογίζεται τελικά η απαιτούμενη παροχή μάζας εντός της σωλήνωσης.

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση:

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Η ταχύτητα της ροής σχετίζεται με τη διατομή και τη διάμετρο της σωλήνωσης από τη σχέση:

$$\dot{V} = u \cdot A \Leftrightarrow \dot{V} = u \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \Leftrightarrow u = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2}$$

Από την ανωτέρω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να

μην υπερβαίνει το 1 – 1,5m/sec.

10.2.1.5 Απαιτούμενο βάθος κάθετου εναλλάκτη

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fc} \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

όπου:

R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

R_b : θερμική αντίσταση σωλήνωσης - γεώτρησης (σε h·ft·°F/Btu)

PLF_m : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

F_{sc} : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

t_g : η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)

t_{wi} : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_{wo} : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από τη γεωθερμική αντλία (σε °F)

t_p : διορθωτικός συντελεστής για τη θερμοκρασία εδάφους λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F)

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του θερμικού φορτίου θα γίνει αντίστοιχα σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fh} \cdot q_{lh}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

10.2.1.6 Θερμικές αντιστάσεις εδάφους

Οι ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους R_{ga} , R_{gm} , R_{gd} δίνονται από τις σχέσεις:

$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{k_g}$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{k_g}$$

$$R_{gd} = \frac{G_2}{k_g}$$

όπου:

k_g : η θερμική αγωγιμότητα του εδάφους σε Btu/(h*ft*°F)

G_1, G_2, G_f : συντελεστές που δίνονται από την παρακάτω σχέση (i=1, 2, f):

$F_{oi}, i=1, 2, f$ αδιάστατοι αριθμοί Fourier.

Ο αδιάστατος αριθμός Fourier ο οποίος αποδεικνύεται τελικά ότι σχετίζεται με τις θερμικές ιδιότητες του εδάφους δίνεται από τη σχέση:

$$F_o = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau}{d^2}$$

όπου

a_g : η θερμική διαχυτότητα του εδάφους σε ft²/ημέρα

τ : χρονική κλίμακα (χρονικός παλμός) επίδρασης της θερμοκρασίας του εδάφους από το γεωθερμικό εναλλάκτη σε ημέρες

d : η εσωτερική διάμετρος της σωλήνωσης του εναλλάκτη σε ft.

Η θερμική αγωγιμότητα k_g και η θερμική διαχυτότητα a_g του εδάφους δίνονται από τον παρακάτω πίνακα της ASHRAE:

Rock Type	% ¹ Occurrence in Earth's Crust	k - All ² Ther. Con. Btu/h·ft·°F	K - 80% ³ Ther. Con. Btu/h ft·°F	c_p Spec. Heat Btu/lb·°F	ρ Density lb/ft ³	α ($k/\rho c_p$) Ther. Diff. ft ² /day
Igneous Rocks						
Granite (10% Quartz)	10.4	1.1—3.0	1.3-4.9	0.21	165	0.9-4.3
Granite (25% Quartz)			1.5-2.1			1.0-1.4
Amphibolite	42.8	1.1-2.7	1.5-2.2	0.12	175-195	1.1-4.7
Andesite		0.8-2.8	0.9-4.4			
Basalt		1.2-1.4				
Gabbro (Cen. Plains)		0.9-1.6		0.18	185	
Gabbro (Rocky Mtns.)	1.2-2.1		0.85-1.5			
Diorites	11.2	1.2-1.9	1.2-4.7	0.22	180	0.7-1.0
Grandiorites		1.2-2.0		0.21	170	0.8-4.3
Sedimentary Rocks						
Claystone		1.1-4.7				
Dolomite		0.9-3.6	1.6-3.6	0.21	170-475	1.1-2.3
Limestone		0.8-3.6	1.4-2.2	0.22	150-475	1.0-4.4
Rock Salt		3.7		0.20	130-435	
Sandstone	1.7	1.2-2.0		0.24	160-470	0.7-4.2
Siltstone		0.8-1.4				
Wet Shale (25% Qtz.)	4.2	0.6-2.3	1.0-4.8	0.21	130-165	0.9-1.2
Wet Shale (No Qtz.)			0.6-0.9			0.5-0.6
Dry Shale (25% Qtz.)			0.8-4.4			0.7-1.0
Dry Shale (No Qtz.)			0.5-0.8			0.45-0.55
Metamorphic Rocks						
Gneiss	21.4	1.0-3.3	1.3-2.0	0.22	160-175	0.9-1.2
Marble	0.9	1.2-3.2	1.2-1.9	0.22	170	0.8-1.2
Quartzite		3.0-4.0		0.20	160	2.2-3.0
Schist	5.1	1.2-2.6	1.4-2.2		170-200	
Slate		0.9-4.5		0.22	170-475	0.6-0.9

Η θερμοκρασία του εδάφους δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόγχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά. Σε όλες τις περιπτώσεις, ο γεωθερμικός εναλλάκτης επηρεάζει τη θερμοκρασία εδάφους ως εξής:

- ✓ Μακροπρόθεσμη Επίδραση. Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά τη διάρκεια πολλών ετών. Για παράδειγμα, η επίγεια θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί κατά 6°F σε 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται από τον εναλλάκτη.
- ✓ Ετήσια Επίδραση. Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση.
- ✓ Βραχυπρόθεσμη Επίδραση. Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.

Επομένως οι τρεις αυτές χρονικές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να προκύψουν κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων.

Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίστασης R_{ga} (ετήσια), R_{gm} (μηνιαία) και R_{gd} (καθημερινή), που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς:

- ένα δεκαετή παλμό των 3.650 ημερών
- ένα μηνιαίο παλμό των 30 ημερών
- ένα δωρο παλμό του 25% της ημέρας.

Οι τρεις αυτοί χρόνοι ορίζονται ως εξής:

- $\tau_1 = 3.650$ ημέρες
- $\tau_2 = 3.650 + 30 = 3.680$ ημέρες
- $\tau_f = 3.650 + 30 + 0,25 = 3.680,25$ ημέρες.

Τελικά ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για τον κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{o1} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_1)}{d^2}$$

$$F_{o2} = \frac{4 \cdot a_g \cdot (\tau_f - \tau_2)}{d^2}$$

$$F_{of} = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau_f}{d^2}$$

10.2.1.7 Μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

Εκφράζει το ποσοστό λειτουργίας της εγκατάστασης ως προς ισχύ και χρόνο, σε σχέση με τη διαρκή λειτουργία της σε ονομαστικό φορτίο. Εκτιμάται ως εξής για την περίπτωση ενός επαγγελματικού χώρου:

Έστω ότι μία μονάδα δεν θα δουλεύει κατά τη διάρκεια της νύχτας δηλαδή το 50% του χρόνου. Κατά τις υπόλοιπες 12 ώρες θεωρούμε ότι η μονάδα λειτουργεί το 60% του χρόνου. Άρα τελικά ο εξοπλισμός θα λειτουργούσε 30% των συνολικών ωρών αν ο χώρος χρησιμοποιούνταν επτά ημέρες την εβδομάδα. Ο χώρος όμως χρησιμοποιείται 5 μέρες την εβδομάδα κι έτσι ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου υπολογίζεται:

$$PLF_m = 0,30 \cdot (5/7) = 0,21.$$

10.2.1.8 Θερμική αντίσταση σωλήνωσης

Η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης και της γεώτρησης είναι συνάρτηση αφενός του υλικού και του πάχους της σωλήνωσης και αφετέρου του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης. Εκφράζει την αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας από το ρευστό εντός του εναλλάκτη προ το έδαφος, διαμέσου της σωλήνωσης και της γεώτρησης.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται δίνει τους ακόλουθους πίνακες για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης σωλήνωσης – γεώτρησης.

- ο Μετατροπές μονάδων:

$$1 \text{gallon} = 3,785 \text{lt}$$

$$1 \text{gpm (gallon per minute)} = 3,785 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 / 60 \text{sec}$$

$$1 \text{gpm} = 0,0631 \cdot 10^{-3} \text{m}^3 / \text{sec}.$$

Διάμετρος σωλήνωσης τύπου U	SDR	Παροχή νερού άνω των 2 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 3 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 5 gpm	Παροχή μίγματος 20% γλυκόλης 10 gpm
3/4 in	SDR 11	0,09	0,12	-	-
	SDR 9	0,11	0,15	-	-
	SDR 40	0,10	0,14	-	-
1 in	SDR 11	0,09	0,14	0,10	-
	SDR 9	0,11	0,15	0,12	-
	SDR 40	0,10	0,16	0,11	-
1-1/4 in	SDR 11	0,09	0,15	0,12	0,09
	SDR 9	0,11	0,17	0,15	0,11
	SDR 40	0,09	0,15	0,12	0,09
1-1/2 in	SDR 11	0,09	0,16	0,15	0,09
	SDR 9	0,11	0,18	0,17	0,11
	SDR 40	0,08	0,14	0,14	0,08

10.1 Θερμική αντίσταση σωλήνωσης σε $h \cdot ft \cdot oF/Btu$

10.2 Διόρθωση θερμικής αντίστασης. Κίτρινο φόντο: δεν συνιστάται.

Αγωγιμότητα εδάφους (Btu/(h·ft·°F))	0,9		1,3			1,7	
Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h·ft·°F))	0,5	2	0,5	1	2	0,5	1
Διάμετρος γεώτρησης 4 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,05	0,14	0,03	-0,02	0,17	0,05
1 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,13	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 5 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,18	0,04	-0,04	0,21	0,06
1 in σωλήνωση τύπου U	0,11	-0,04	0,14	0,03	-0,02	0,16	0,05
1-1/4 in σωλήνωση τύπου U	0,06	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,12	0,04
Διάμετρος γεώτρησης 6 in							
3/4 in σωλήνωση τύπου U	0,18	-0,07	0,21	0,04	-0,05	0,24	0,07
1 in σωλήνωση τύπου U	0,14	-0,06	0,17	0,03	-0,04	0,21	0,06
1-1/4 in σωλήνωση τύπου U	0,09	-0,04	0,12	0,03	-0,02	0,15	0,05
1-1/2 in σωλήνωση τύπου U	0,07	-0,03	0,09	0,02	-0,02	0,11	0,04

10.3 Θερμική αγωγιμότητα υλικών πλήρωσης γεωτρήσεων.

Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (Btu/(h·ft·°F))	Υλικό πλήρωσης γεώτρησης	Αγωγιμότητα υλικού πλήρωσης γεώτρησης (W/(m·K))
20% μπετονίτης	0,42	Αμμοχάλικο ξηρό	0,4
30% μπετονίτης	0,43	Νερό στάσιμο	0,6
Τσιμέντο	0,40 - 0,45	Μπετονίτης 10%, νερό	0,7
Σκυρόδεμα 130/150 lb/ft ³	0,60 - 0,80	Μπετονίτης/ τσιμέντο/ άμμος 9/9/20%, νερό	0,7 - 0,8
Σκυρόδεμα 50% χαλαζιακή άμμος	1,10 - 1,70	Υγρή άμμος	1,0
20% μπετονίτης - 40% χαλαζίτης	0,85	Παγωμένος μπετονίτης 10%	1,4
30% μπετονίτης - 30% χαλαζίτης	0,70 - 0,75	Μπετονίτης/ χαλαζίτης 12/50%, νερό	1,5
30% μπετονίτης - 30% σιδηρομετάλλευμα	0,45	Χαλίκι, νερό	1,8
60% χαλαζίτης - τέφρα - άμμος	1,07	Πάγος	2,3
		Τσιμέντο/ άμμος 27%/58%, νερό	2,4
		Χαλαζίτης, νερό	2,4 - 2,7
		Τσιμέντο/ γραφίτης	2,0

10.2.1.9 Συντελεστής θερμικών απωλειών Fsc

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων Fsc , που εκφράζει τη θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω πίνακα.

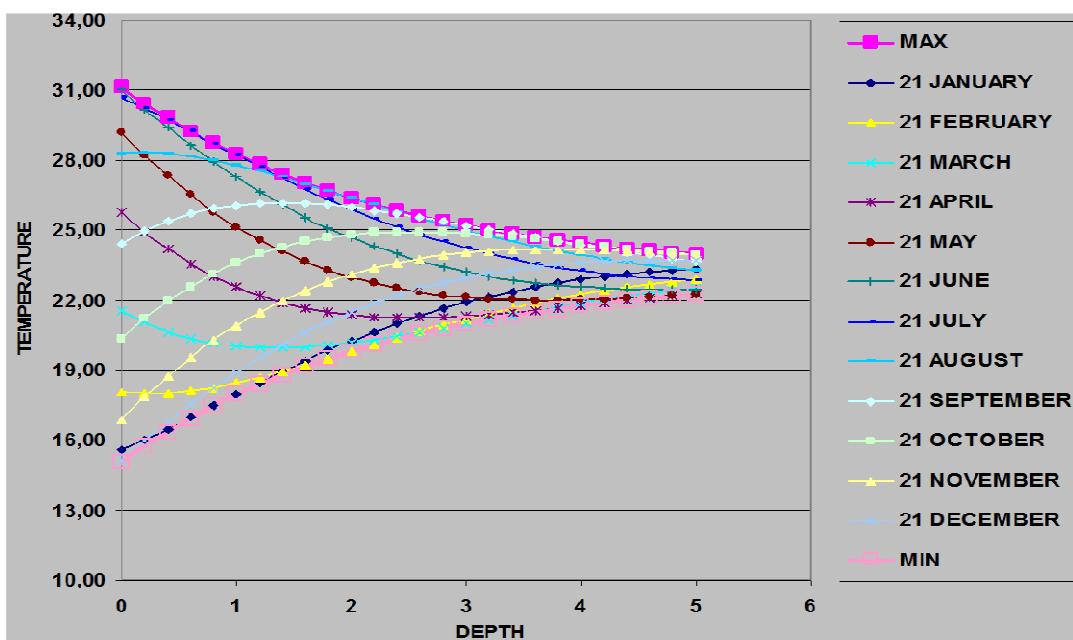
Παροχή ανά σωλήνωση (gpm)	Αριθμός βρόγχων ανά γεώτρηση		
	1	2	3
2	1,06	1,03	1,02
3	1,04	1,02	1,01

10.2.1.10 Θερμοκρασία εδάφους

Η θερμοκρασία εδάφους είναι ισχυρά εξαρτώμενη από τη γεωγραφική περιοχή της μελέτης. Έχει διαπιστωθεί ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη θερμοκρασία σε μικρό σχετικά βάθος, συνήθως μέχρι τα 5m, ενώ έχουν μηδενική επίδραση κάτω των 31m. Η μεταβολή της θερμοκρασίας στα 2m βάθους από την επιφάνεια του εδάφους δεν μεταβάλλεται περισσότερο από $\pm 2^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια του έτους.

Όλα αυτά εξαρτώνται βέβαια και από τις θερμοφυσικές ιδιότητες του υλικού του υπεδάφους. Από τη διεθνή βιβλιογραφία δίνεται για το υπέδαφος της Αθήνας μέση ετήσια θερμοκρασία ίση με $67^{\circ}\text{F} = 19,4^{\circ}\text{C}$.

- ο Μετατροπές μονάδων:
 $\Theta(^{\circ}\text{C}) = [\Theta(^{\circ}\text{F}) - 32] \cdot 5/9$.



10.4 Καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας υπεδάφους αναλόγως του βάθους, (μέση ετήσια θερμοκρασία αέρα 23oC).

State	City	GWT (F)	State/Country	City	GWT (F)	State/Country	City	GWT (F)
Alabama	Birmingham	65	South Carolina	Charleston	66	Germany	Frankfurt	52
Alabama	Mobile	70	South Carolina	Columbia	64	Germany	Hamburg	51
Alabama	Montgomery	67	South Carolina	Greenville	62	Germany	Munich	49
Alaska	Anchorage	40	South Dakota	Sioux Falls	51	Germany	Stuttgart	51
Alaska	Fairbanks	0	Tennessee	Knoxville	61	Greece	Athens	67
Arizona	Phoenix	73	Tennessee	Memphis	63	Hungary	Budapest	53
Arkansas	Little Rock	64	Tennessee	Nashville	60	Indonesia	Jakarta	83
California	Fresno	68	Texas	Austin	71	Ireland	Dublin	52
California	Los Angeles	64	Texas	Dallas	68	Israel	Jerusalem	63
California	Sacramento	67	Texas	Houston	71	Italy	Genova	60
California	San Diego	64	Texas	San Antonio	72	Italy	Milan	57
California	San Francisco	60	Utah	Salt Lake City	53	Italy	Naples	63
Colorado	Denver	52	Vermont	Burlington	46	Italy	Palermo	66
Connecticut	Hartford	51	Virginia	Norfolk	61	Italy	Rome	61
Delaware	Dover	57	Virginia	Richmond	60	Italy	Torino	58
Florida	Daytona Beach	70	Virginia	Roanoke	59	Italy	Trieste	58
Florida	Jacksonville	71	DC	Washington	57	Italy	Venice	58
Florida	Miami	78	Washington	Seattle	53	Japan	Nagoya	62
Florida	Tallahassee	69	Washington	Spokane	49	Japan	Osaka	63
Florida	Tampa	75	West Virginia	Charleston	58	Japan	Sapporo	51
Georgia	Atlanta	62	Wisconsin	La Crosse	48	Japan	Tokyo	64
Georgia	Savannah	67	Wisconsin	Milwaukee	47	Korea	Inch'on	56
Hawaii	Honolulu	79	Wyoming	Cheyenne	48	Korea	Pusan	59
Idaho	Boise	47	Alberta	Calgary	42	Korea	Seoul	57
Illinois	Chicago	51	Alberta	Edmonton	40	Kuwait	Kuwait City	80
Illinois	Springfield	56	British Columbia	Vancouver	53	Libyan Arab Jamahiriya	Tripoli	71
Indiana	Fort Wayne	53	Manitoba	Winnipeg	40	Malaysia	George Town	84
Indiana	Indianapolis	55	New Brunswick	Moncton	42	Malaysia	Kuala Lumpur	83
Iowa	Des Moines	53	Newfoundland	Saint John's	43	Mexico	Acapulco	78
Kansas	Wichita	59	Nova Scotia	Halifax	45	Mexico	Mexico City	65
Ohio	Cincinnati	57	Ontario	Ottawa	45	Mexico	Veracruz	75
Kentucky	Lexington	60	Ontario	Toronto	48	Morocco	Casablanca	66
Kentucky	Louisville	60	Prince Edward Island	Charlottetown	42	Netherlands	Amsterdam	52
Louisiana	New Orleans	70	Quebec	Montreal	46	New Zealand	Auckland	56
Louisiana	Shreveport	66	Saskatchewan	Regina	39	New Zealand	Christchurch	54
Maine	Caribou	46	Argentina	Buenos Aires	64	New Zealand	Wellington	57

Maine	Portland	48	Australia	Adelaide	64	Norway	Oslo	46
Maryland	Baltimore	57	Australia	Brisbane	72	Paraguay	Asuncion	64
Massachusetts	Boston	50	Australia	Canberra	67	Peru	Lima	70
Massachusetts	Worcester	50	Australia	Melbourne	59	Philippines	Manila	67
Michigan	Detroit	50	Australia	Perth	67	Poland	Krakow	48
Michigan	Flint	49	Australia	Sydney	67	Poland	Warsaw	49
Michigan	Grand Rapids	46	Austria	Salzburg	51	Portugal	Porto	64
Minnesota	Duluth	41	Austria	Vienna	50	Puerto Rico	San Juan	84
Minnesota	Minneapolis	47	Bahrain	Manama	80	Qatar	Doha	83
Mississippi	Jackson	67	Belgium	Brussels	52	Romania	Bucharest	54
Missouri	Kansas City	58	Bolivia	La Paz	50	Saudi Arabia	Riyadh	82
Missouri	St. Louis	58	Brazil	Belem	82	Singapore	Singapore	82
Montana	Billings	49	Brazil	Brasilia	80	Spain	Barcelona	62
Montana	Helena	47	Brazil	Recife	78	Spain	Madrid	60
Nebraska	Omaha	53	Brazil	Sao Paulo	78	Spain	Sevilla	67
Nevada	Las Vegas	69	Bulgaria	Sofia	55	Spain	Valencia	65
Nevada	Reno	50	Chile	Santiago	61	Sweden	Stockholm	47
New Hampshire	Concord	50	China	Beijing	58	Switzerland	Geneva	53
New Jersey	Trenton	55	China	Guangzhou	77	Syria	Damascus	71
New Mexico	Albuquerque	59	China	Harbin	53	Taiwan	Taipei	75
New York	Albany	50	China	Hong Kong	77	Thailand	Bangkok	85
New York	Buffalo	50	China	Shanghai	62	Tunisia	Tunis	69
New York	New York City	52	China	Shenyang	55	Turkey	Ankara	52
North Carolina	Asheville	59	Colombia	Bogota	58	Turkey	Istanbul	60
North Carolina	Charlotte	62	Cuba	Havana	77	Turkey	Izmir	64
North Carolina	Greensboro	60	Czech Republic	Prague	50	United Arab Emirates	Abu Dhabi	80
North Carolina	Raleigh	62	Denmark	Copenhagen	47	United Arab Emirates	Dubai	80
North Dakota	Bismarck	44	Ecuador	Quito	60	United Kingdom	Aberdeen	49
North Dakota	Fargo	42	Egypt	Aswan	78	United Kingdom	Belfast	51
Ohio	Cleveland	51	Egypt	Cairo	73	United Kingdom	Birmingham	52
Ohio	Columbus	55	Finland	Helsinki	47	United Kingdom	Edinburgh	50
Ohio	Dayton	50	France	Bordeaux	61	United Kingdom	Liverpool	54
Oklahoma	Oklahoma City	62	France	Lyon	57	United Kingdom	London	54
Oregon	Portland	54	France	Marseille	59	Uruguay	Montevideo	64
Pennsylvania	Harrisburg	52	France	Nantes	56	Venezuela	Caracas	78
Pennsylvania	Philadelphia	55	France	Paris	54	Vietnam	Hanoi	84
Pennsylvania	Pittsburgh	52	Germany	Berlin	52	Yugoslavia	Belgrade	55

Οι θερμοκρασίες εισόδου t_{wi} και εξόδου t_{wo} του υγρού στο γεωθερμικό εναλλάκτη εξαρτώνται από τη ρύθμιση της αντλίας θερμότητας και από τη θερμοκρασία του εδάφους..

Η θερμοκρασία T_{wi} κατά τη διαδικασία της ψύξης μπορεί να πάρει τιμές από 80 έως 95oF. Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής.

Η θερμοκρασία T_{wi} κατά τη διαδικασία της θέρμανσης μπορεί να πάρει τιμές από 35 έως 60oF. Τούτο ρυθμίζεται επίσης από την αντλία θερμότητας και είναι παράμετρος επιλογής.

Η θερμοκρασία T_{wo} υπολογίζεται αντίστοιχα από τη ρυθμισμένη θερμοκρασιακή διαφορά $lt_{wi}-t_{wo}l$.

Η θερμοκρασία T_{wo} κατά την ψύξη δεν μπορεί να είναι μικρότερη από τη θερμοκρασία εδάφους.

Η θερμοκρασία T_{wo} κατά τη θέρμανση δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία εδάφους.

10.2.2 Υπολογισμός δικτύου

10.2.1 Πτώση πίεσης στο υδραυλικό δίκτυο

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστούν οι απώλειες πίεσης μέσα στο γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή.

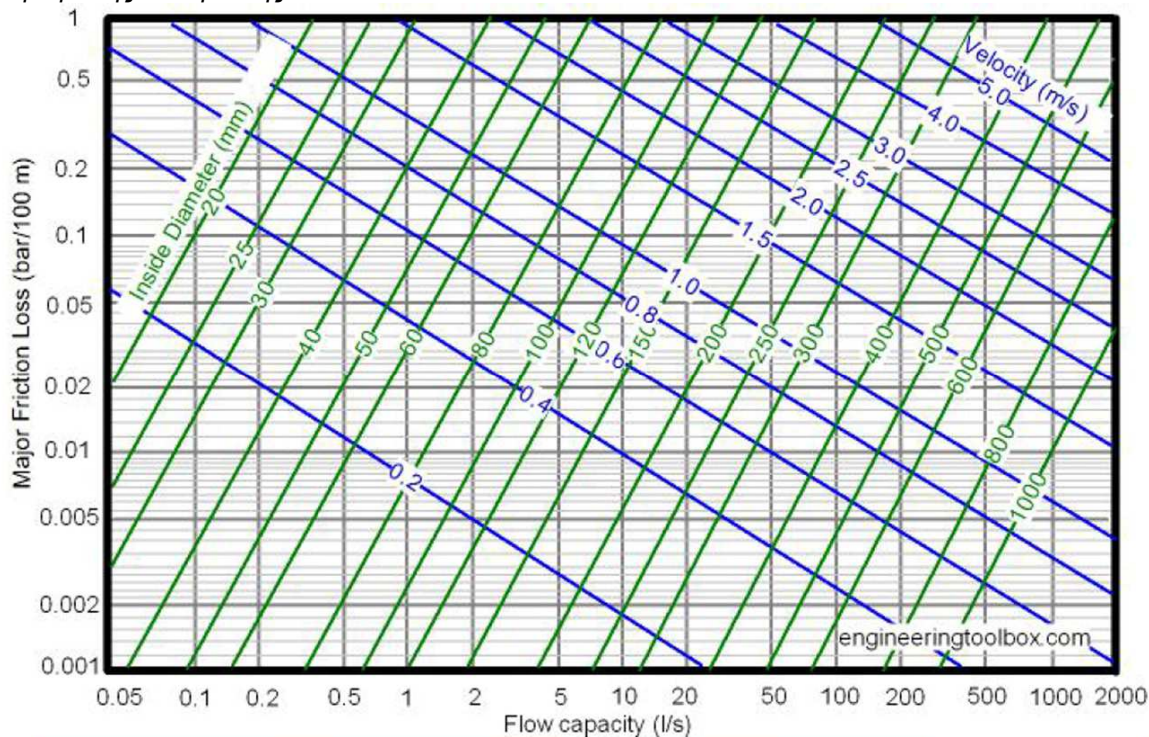
Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών:

- ο γραμμικές απώλειες δικτύου
- ο απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας)
- ο τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005bar
- ο τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3bar
- ο τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2bar.

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

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

10.5 Απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και τη διάμετρο της σωλήνωσης



Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης, όσο αφορά το τμήμα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας, για παροχή ρευστού 0,0985l/sec και $d_{in}=26\text{mm}$, θα είναι: $\Delta p/100\text{m}=0,028\text{bar}$.

Επειδή οι σωληνώσεις στις 2 γεωτρήσεις είναι παράλληλες, η πτώση πίεσης είναι ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας.

Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι 121,2m (διπλάσιο του βάθους της γεώτρησης).

Έτσι οι γραμμικές απώλειες πίεσης θα είναι 0,034bar.

10.2.2 Πτώση πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο

Το υδραυλικό δίκτυο από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο. Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το παραπάνω διάγραμμα, πολλαπλασιασμένη με το συνολικό μήκος του δικτύου αυτού. Η παροχή στο μέρος αυτό του συστήματος ισούται με τη συνολική παροχή του δικτύου $Q=0,394\text{lt/sec}$ ενώ η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων επιλέγεται να είναι 60mm. Η πτώση πίεσης από το διάγραμμα προκύπτει $\Delta p/100\text{m}=0,008\text{ bar}$.

Έστω ότι το ενδιάμεσο δίκτυο των σωληνώσεων έως την πιο απομακρυσμένη γεώτρηση από την αντλία θερμότητας έχει μήκος 100m. Οι απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο προκύπτουν ίσες με 0,008bar.

10.2.4 Συνολική πτώση πίεσης

- ✓ Οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με το άθροισμα των παρακάτω επιμέρους απωλειών:
 - τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων: 0,005bar
 - τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ: 0,3bar
 - τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων: 0,2bar
 - γραμμικές απώλειες πίεσης γεωεναλλάκτη: 0,034bar
 - γραμμικές απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο: 0,008bar
- ✓ Το άθροισμα των ανωτέρω απωλειών πίεσης δίνει τη συνολική πτώση πίεση στο συνολικό υδραυλικό δίκτυο:
 - συνολική πτώση πίεσης: 0,547bar =5,58m H₂O.
- ✓ Μετατροπές μονάδων:
 - 1bar = 10,197162 H₂O.
- ✓ Με τη συνολική πτώση πίεσης και τη συνολική παροχή επιλέγεται ο κυκλοφορητής του υδραυλικού δικτύου.

10.2.5 Δοχείο διαστολής

Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη δοχείου διαστολής. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την

πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια.

Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για:

- ο να αναπληρώνονται οι απώλειες του νερού του δικτύου που οφείλονται σε τυχόν μικροδιαρροές
- ο να παραλαμβάνεται η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του
- ο να μην δημιουργούνται υποπίεσεις οι οποίες γίνονται αιτία ατμοποιήσεων στο δίκτυο
- ο να αποτρέπεται η σπηλαίωση στην αναρόφηση των κυκλοφορητών.

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τη σχέση:

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right) - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)}$$

όπου:

V_t : ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m^3

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

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

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

P_1 : η χαμηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

P_2 : η υψηλότερη πίεση του δικτύου σε kPa

v_1 : ο ειδικός όγκος του νερού στη χαμηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg

v_2 : ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m^3/kg .

Ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση είναι άθροισμα δύο μεγεθών:

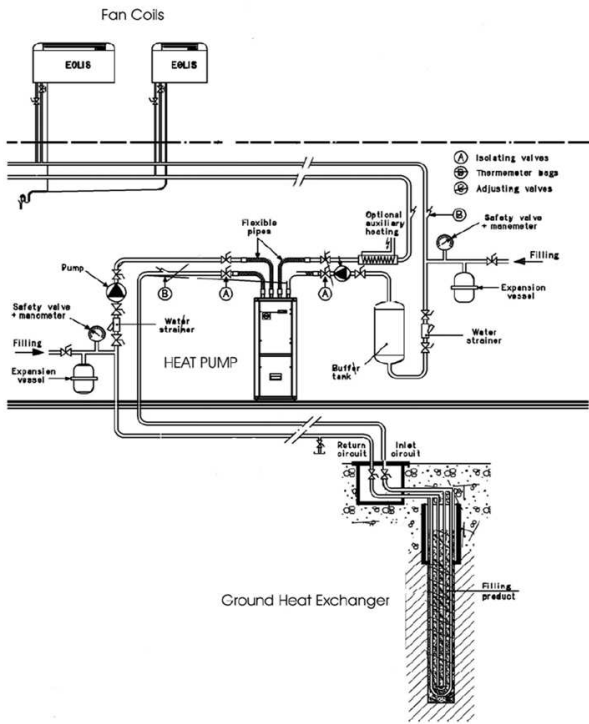
- ο του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη
- ο του όγκου στις σωληνώσεις του οριζοντίου συστήματος.

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους έχουμε:

$$V_{\gamma, \epsilon\nu.} = 4 \cdot L_{\gamma, \epsilon\nu.} \cdot \frac{\pi \cdot d_{in}^2}{4}$$

$$V_{\epsilon\nu. \delta.} = L_{\epsilon\nu. \delta.} \cdot \frac{\pi \cdot d_{in}^2}{4}$$

Συνεπώς ο συνολικός όγκος νερού στο δίκτυο είναι ίσος με το άθροισμα των παραπάνω αποτελεσμάτων.



10.6 Σκαρίφημα εγκατάστασης κάθετης ΓΑΘ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΕΝΑΛΛΑΚΤΩΝ

11.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η οριζόντια διάταξη είναι η πιο απαιτητική όλων των τύπων γεωθερμικών εναλλακτών από την άποψη της περιοχής εδάφους που απαιτείται για να παραχθεί μια καθορισμένη γεωθερμική παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό πολύ σπάνια χρησιμοποιείται σε αστικές ή ακόμα και προαστιακές εγκαταστάσεις. Παρ' όλα αυτά, σε αγροτικές περιοχές ή σε περιοχές με χαμηλούς ρυθμούς ανάπτυξης, η οριζόντια διάταξη μπορεί να έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με τους κατακόρυφους γεωθερμικούς εναλλάκτες. Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να εντοπιστούν και να συζητηθούν οι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση μιας περιοχής για έναν οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη.

Οι οριζόντιοι γεωθερμικοί εναλλάκτες επιλέγονται ως επί το πλείστον για οικιακά ή μικρά εμπορικά έργα. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν είναι φυσιολογικά οικονομικό να πραγματοποιηθεί η συνολική θερμική ανάλυση που απαιτείται για την εγκατάσταση ενός προσεκτικά υπολογισμένου γεωθερμικού εναλλάκτη. Επιπλέον, οι οριζόντιες σειρές επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από τις εποχικές διακυμάνσεις οι οποίες περιορίζουν τη χρησιμότητα οποιωνδήποτε βραχυπρόθεσμων θερμικών μετρήσεων. Ως εκ τούτου, ο μελετητής μηχανικός πρέπει να είναι σε θέση να συνεργαστεί με περιορισμένες πληροφορίες για να αποφασίσει αν ο διαθέσιμος χώρος σε μια δεδομένη θέση θα στηρίξει έναν κατάλληλο οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη. Στη διάθεση του μηχανικού βρίσκονται πλέον πακέτα λογισμικού και εξοπλισμοί μέτρησης μικρής κλίμακας για εφαρμογές όπου η χρήση τους μπορεί να βοηθήσει να βελτιωθεί ο σχεδιασμός.

11.2. ΒΑΣΙΚΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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

Σε αυτή την ενότητα, παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των οριζόντιων γεωθερμικών εναλλακτών (SHA).

11.2.1. Κλίμα

Ο πρώτος παράγοντας είναι η ηλιακή ροή που διαχέεται στο χώρο. Αυτή ασκεί μία άμεση επιρροή επί της θερμοκρασίας του οικοπέδου με τον γεωθερμικό εναλλάκτη. Η επίδρασή του γεωθερμικού εναλλάκτη θα επηρεαστεί από τα στοιχεία της χώρας: σκιασμένος ή υπαίθριος, με κλίση ή επίπεδος, ο προσανατολισμός της πυξίδας του πρανούς, ιδιαίτερα σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και ο τύπος της επιφάνειας κάλυψης. Ένα στρώμα χιόνι είναι ευεργετικό διότι μειώνει τις απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του εδάφους. Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις, ιδιαίτερα οι βροχοπτώσεις, έχουν σημαντική επιρροή στην επίδοση του SHA. Η περιεκτικότητα σε υγρασία έχει μεγάλη σημασία για την αποτελεσματική χωρητικότητα θερμότητος του εδάφους. Επιπλέον, επηρεάζει τη θερμική αγωγιμότητα των περισσότερων τύπων εδάφους, διαπερατών από την υγρασία. Τρίτον, το νερό που διαπερνά το οικόπεδο του γεωθερμικού εναλλάκτη εισάγει τη μεταφορά θερμότητας με μαζική κίνηση, εκτός από τον μηχανισμό της αγωγιμότητας. Για να είναι αποτελεσματικός ο τελευταίος αυτός μηχανισμός μεταφοράς θερμότητας, το χώμα πρέπει να είναι διαπερατό και στο χώρο πρέπει να γίνεται αποτελεσματική αποστράγγιση έτσι ώστε να μην πλημμυρίσει. Η μετατόπιση της υγρασίας με την επαναλαμβανόμενη εξάτμιση και συμπύκνωση μπορεί να οδηγήσει σε ξήρανση του εδάφους γύρω από το σωλήνα, όταν η SHA χρησιμοποιείται για εφαρμογές ψύξης. Αυτό οδηγεί σε σημαντικά φτωχότερες ιδιότητες μεταφοράς θερμότητας.

Η έκθεση στον άνεμο παρέχει επίσης ένα μηχανισμό θερμικής επαφής, του οποίου όμως το συνολικό αποτέλεσμα δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί.

11.2.2. Έδαφος

Η σύνθεση των ορυκτών του εδάφους είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την παραγωγή της SHA δυνάμει των κύριων θερμικών ιδιοτήτων του, δηλαδή της θερμικής χωρητικότητας και αγωγιμότητας. Στην περίπτωση των εδαφών, σε αντίθεση με τα πετρώματα κάτω απ' αυτά, αυτοί οι παράγοντες είναι δευτερεύοντες δείκτες παρά πρωτογενείς, καθοριστικοί της επίδοσης των γεωθερμικών εναλλακτών. Αυτό συμβαίνει γιατί τα εδάφη είναι ετερογενή συσσωματώματα σωματιδίων βράχου, οργανικής ύλης και νερού.

Η καταλληλότητα ενός εδάφους για χρήση του ως γεωθερμικός εναλλάκτης εξαρτάται από την κατανομή μεγέθους των κόκκων των πετρωμάτων, σε ίσο βαθμό, αν όχι μεγαλύτερο, απ' ότι απ' τον ίδιο τον τύπο του ορυκτού. Η κατανομή μεγέθους κόκκων έχει σημαντική επιρροή επί των ιδιοτήτων του στεγνού εδάφους, αλλά και μια εξίσου σημαντική επίδραση στην ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να επιτρέπει την κίνησή του μέσω του εδάφους. Η οργανική ύλη στο έδαφος παίζει σημαντικό ρόλο λόγω της έλξης της με το νερό, αν και όταν είναι στεγνή έχει εξαιρετικά κακές θερμικές ιδιότητες. Ως εκ τούτου, ένα χώμα με δυνατότητες να χρησιμοποιηθεί ως γεωθερμική SHA θα είναι γενικά ένα βαθύ έδαφος, κατάλληλο για καλλιέργεια. Ο άργιλος έχει συνήθως φτωχές επιδόσεις λόγω της μικρής ή και αμελητέας διαπερατότητάς του στο νερό. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν

λασπώδη, αμμώδη και χαλικώδη εδάφη, αλλά ίσως χρειαστεί ειδική προετοιμασία για τη βελτίωση της διαπερατότητας τους στο νερό ή των ιδιοτήτων τους σχετικά με τη συγκράτηση υγρασίας (Boyer & Grondzic, 1987). Κορεσμένη άμμος και χαλίκια μπορούν να προσφέρουν άριστες προοπτικές για τους γεωθερμικούς εναλλάκτες, λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητάς τους και ογκομετρική θερμοχωρητικότητα.

11.2.3. Τοπογραφία

Εάν είναι διαθέσιμη, μια επικλινή τοποθεσία είναι γενικά προτιμότερη μία επίπεδη. Η επικλινή τοποθεσία ενθαρρύνει κίνηση της υγρασίας του εδάφους και είναι λιγότερο πιθανό να πάσχουν από υπεράρδευση. Ένα αγροτεμάχιο σε μια μεγαλύτερη πλαγιά θα είναι σε θέση να επωφεληθεί από την κατάβαση της υγρασίας του εδάφους. Πράγματι, η ιδανική επιλογή για το καταλληλότερο σχήμα αγροτεμαχίου θα ήταν μακρόστενο, σαν κορδέλα που τρέχει κατά μήκος ενός περιγράμματος, προκειμένου να παρεμποδίσει το μεγαλύτερο μέρος της κίνησης του νερού του εδάφους.

Οι διαστάσεις και η επιφάνεια μιας υποψήφιας έκτασης επηρεάζουν επίσης την πιθανή απόδοσή της όταν θα φιλοξενεί έναν οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη SHA. Ειδικά στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, μια έκταση με νότιο προσανατολισμό θα δέχεται περισσότερη ηλιακή ροή απ' ό,τι μια επίπεδη, και ακόμη περισσότερο από ό,τι μια με βόρειο προσανατολισμό. Η διαφορά δεν είναι τόσο σημαντική όσο για τους ηλιακούς συλλέκτες καθώς η εδαφική έκταση είναι απολύτως δεκτική στη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Αλλά, αν τα άλλα πράγματα είναι ίσα, ένα έδαφος με νότιο προσανατολισμό προτιμάται.

Χρησιμοποιώντας την ίδια συλλογιστική, μια τοποθεσία σε ένα κοίλο πρέπει να αποφεύγεται εάν είναι διαθέσιμες άλλες εναλλακτικές λύσεις. Σε αυτό το είδος της τοπογραφίας θα είναι επίσης δύσκολο να εκτεθούν στο εξωτερικό οι σωληνώσεις με τρόπο που δεν δίνει πιθανότητα για αεροστεγή προστασία.

11.2.4. Κάλυμμα επιφάνειας

Οι προβλεπόμενες ή πιθανές χρήσεις μιας έκτασης θα έχουν σημαντικές επιπτώσεις για την καταλληλότητά της για χρήση ως γεωθερμική SHA. Αν και είναι κοινή εντύπωση πως μια ματ μαύρη επιφάνεια είναι ο πιο επιθυμητός τρόπος κάλυψης, το γεγονός είναι ότι οι πιο φυσικές επικαλύψεις εδάφους έχουν υψηλότερο βαθμό απορρόφησης ηλιακής ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό για την κάλυψη επιφάνειας μιας SHA είναι να είναι διαπερατό από την υγρασία. Η υγρασία που διαχέεται στο έδαφος μεταφέρει θερμότητα μαζί της και αυτή που διατηρείται στο έδαφος συμβάλλει σημαντικά, τόσο στη θερμική αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους και στην ικανότητα της θερμότητας να κινηθεί προς ή μακριά από τους θαμμένους σωλήνες, όπως είναι το επιθυμητό.

Ως εκ τούτου, οποιοδήποτε κάλυμμα επιφάνειας που είναι αδιαπέραστη από το νερό είναι πιθανό να υποβαθμίσει ουσιαστικά την θερμική παραγωγή του γεωθερμικού εναλλάκτη. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τους γεωθερμικούς εναλλάκτες που έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ψύξη. Η επίδραση της χρήσης υδατοπερατών οδοστρωμάτων, όπως το χαλικόστρωτο έδαφος ή ακόμα και η διαπερατή ασφάλτος, δεν έχει πλήρως τεκμηριωθεί,

αν και βρίσκονται σε εξέλιξη μερικές έρευνες (Greene και λοιποί, 2008). Ο προτιμώμενος τύπος της κάλυψης είναι τυπικά το γρασίδι ή άλλη χαμηλή βλάστηση. Υπάρχουν επίσης ανέκδοτες εμπειρίες ότι τα λαχανικά και τα θαμνώδη φρούτα δεν επηρεάζονται με μετρήσιμο τρόπο από την παρουσία ενός σωστά διαστασιοποιημένης SHA κάτω από έδαφος.

11.3. ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η διαδικασία αξιολόγησης ενός εδάφους για την πιθανή χρήση ενός γεωθερμικού εναλλάκτη ρηχής οριζόντιας συστοιχίας αποτελείται από το να βρουν απαντήσεις σε μερικά βασικά ερωτήματα:

- Ποια είναι η ετήσια εισαγωγή και εξαγωγή θερμικής ενέργειας που απαιτείται από το φορτίο στο χώρο;
- Ποιοί είναι οι μέσοι όροι της θερμοκρασίας, η παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία, οι βροχοπτώσεις και το χιόνι στην περιοχή;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του εδάφους της περιοχής;
- Ποια είναι η εκτιμώμενη θερμική παραγωγικότητα του εδάφους στην περιοχή;
- Μπορεί η θερμική παραγωγικότητα του εδάφους να βελτιωθεί;
- Είναι ο διαθέσιμος χώρος επαρκής για να προσφέρει αποδεκτή επίδοση η ΓΑΘ;

Το σημείο εκκίνησης για πληροφορίες σχετικά με τα θερμικά φορτία εδάφους (kW θέρμανσης ή / και ψύξης) είναι η Ενεργειακή Βαθμολόγηση Κτιρίου (BER) ή άλλο παρόμοιο έγγραφο που πραγματοποιείται από εξειδικευμένο επαγγελματία για την εν λόγω περιοχή. Αυτό μπορεί να χρειαστεί να προσαρμοστεί από τις ειδικές απαιτήσεις του πελάτη που δεν καλύπτονται από την άσκηση αξιολόγησης. Για εύκρατα και βόρεια γεωγραφικά πλάτη, οι απαιτήσεις συνήθως αφορούν τη θέρμανση. Σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, εκεί θα υπάρχουν απαιτήσεις συχνά και για ψύξη καθώς και για θέρμανση. Το βασικό επιθυμητό αποτέλεσμα είναι η καθαρή ετήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh / έτος) να παρέχεται από ή να αποβάλλεται στο γεωθερμικό εναλλάκτη.

Αυτά τα ποσά εισαγωγής και εξαγωγής ενέργειας πρέπει να ρυθμιστούν έχοντας υπ' όψιν την ισχύ μιας πιθανούς SHA. Κάθε τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας στην Ευρώπη λαμβάνει ετησίως ηλιακή ακτινοβολία που κυμαίνεται από πάνω από 2000 kWh / m² / έτος στις πιο ηλιόλουστες περιοχές, μέχρι περίπου 600 kWh / m² / έτος στις βορειότερες περιοχές της Ευρώπης (European Solar Radiation Atlas, 1984, 1986). Οι εύκρατες ζώνες λαμβάνουν περίπου 1200 kWh / m² / έτος. Η καθαρή θερμική ενέργεια εισαγωγής ή εξαγωγής από γεωθερμική συλλογή πρέπει να παραμείνει μικρή σε σχέση με την ηλιακή ισχύ εάν η μέση θερμοκρασία του εδάφους δεν πρέπει να μεταβληθεί αισθητά. Για εύκρατες ζώνες όπου η θέρμανση είναι το κυρίως (αν όχι μοναδικό) ζητούμενο του φορτίου, το ονομαστικό κατευθυντήριο ποσό των 50 kWh / m² / έτος χρησιμοποιείται συχνά για να καταλήξουμε σε μια εκτίμηση του μεγέθους γεωθερμικό εναλλάκτη.

Ο VDI Blatt 2 προτείνει ένα εύρος από 50 έως 70 kWh / m² / έτος. Εάν η βαθμολογία της ενέργειας του κτιρίου είναι, για παράδειγμα, 60 kWh/m²/year και το κτίριο είναι θερμαινόμενο χώρο 150 m², το μέγεθος της έκτασης του γεωθερμικό εναλλάκτη θα πρέπει να είναι επαρκές για την παροχή 60x150 ή 9000 kWh / έτος για το κτίριο. Από αυτό το ποσό, μόνο το κλάσμα (1-1/COP) παρέχεται από τον γεωθερμικό εναλλάκτη.

Για μια αντλία θερμότητας με εποχιακό συντελεστή απόδοσης 4, η κατευθυντήρια γραμμή SHA για το οικόπεδο είναι:

$$(1-1/4) \cdot 9000/50 = 135 \text{ m}^2.$$

Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε μια αναλογία περίπου ένα τετραγωνικό μέτρο περιοχής με SHA ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενο χώρο κτιρίου. Η αντιστοιχία αυτή έχει οδηγήσει σε έναν πρόχειρο κανόνα, που χρησιμοποιείται συχνά ως μέτρο σύγκρισης σκοπιμότητας, αλλά είναι σημαντικό να γίνονται τα τεστ για κάθε περίπτωση, δεδομένου ότι οι ιδιαίτερες συνθήκες στην περιοχή μπορεί να αλλάξουν εύκολα το αποτέλεσμα.

Εάν μια περιοχή 135 m² είναι διαθέσιμη για χρήση ως περιοχή εγκατάστασης SHA (να μην έχει σωλήνες, καλώδια ή άλλες υπηρεσίες κάτω απ' τη γη· που δεν προορίζεται για κτίσιμο κτιρίων· που να μην είναι στρωμένος για πάρκινγκ αυτοκίνητων ή για οποιαδήποτε άλλη χρήση που απαιτεί να αποστραγγίζεται νερό από αυτό), τότε θα πρέπει να εξεταστεί για τη γεωθερμική παραγωγικότητα. Αυτή η παραγωγικότητα είναι η ικανότητα του εδάφους να δώσει ή να απορροφήσει τις ροές της θερμικής ενέργειας χωρίς την ανάπτυξη απaráδεκτα υψηλών θερμοκρασιών.

Ειδικές οδηγίες για την πραγματοποίηση αυτής της αξιολόγησης είναι διαθέσιμες από πολλές πηγές. Οι περιγραφές και η ορολογία διαφέρουν σημαντικά και η γνώση της περιοχής είναι πολύτιμη. Οι αρχές που αναφέρθηκαν προηγουμένως στο τμήμα αυτό πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση μιας τοποθεσίας:

- Η οπτική επιθεώρηση μιας ανασκαφής ως το βάθος όπου σχεδιάζεται να γίνει η εγκατάσταση θα δείξει την μορφολογία του εδάφους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστούν τα χαρακτηριστικά αποστράγγισης. Πρέπει επίσης να σημειωθεί η χρονική περίοδος μέσα στο έτος. Δοκιμαστικοί λάκκοι που σκάφθηκαν για γεωτεχνική αξιολόγηση ή για δοκιμές διήθησης μπορεί να είναι πολύ χρήσιμοι για το σκοπό αυτό.
- Βαριά στρώματα αργίλου, σχιστόλιθου ή άλλων τύπων σπασμένων πετρωμάτων παρουσιάζουν δυσκολίες που μπορούν να καταστήσουν το οικόπεδο ακριβό ή ανέφικτο να αναπτύχθει
- Η άμμος ή τα χαλίκια μπορεί να είναι πολύ ευνοϊκά, εφόσον περιέχουν επαρκή υγρασία κατά τη διάρκεια της σεζόν λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.

Οι υποσχόμενοι τύποι εδάφους μπορεί να αποφέρουν έως και 40 W/m², ενώ πολύ φτωχοί τύποι μπορεί να δώσουν μέχρι 10 W/m². Τα στοιχεία αυτά βασίζονται σε μια τυπική, ήπια, ευρωπαϊκή περίοδο θέρμανσης των περίπου 1.800 ωρών/ (VDI Blatt 2). Μεγάλο μέρος αυτής της διαφοράς στην απόδοση γεωθερμικό εναλλάκτη μπορεί να προκύψει από τους βαθμούς κορεσμού υγρασίας, έτσι ώστε τα σχέδια των βροχοπτώσεων και η ετήσια χρήση του συστήματος θα πρέπει να τεθεί σε διαδικασία αξιολόγησης.

Για το παράδειγμα που συζητήθηκε παραπάνω, η έκταση του γεωθερμικό εναλλάκτη των 135 m² θα μπορούσε να υποστηρίξει μια αντλία θερμότητας με ικανότητα θέρμανσης περίπου 1,8kW (ή 1,35 kW ψυκτικής ικανότητας) με το λιγότερο παραγωγικό τύπο εδάφους. Οι αριθμοί αυτοί θα αυξηθούν σε 7,2 kW και 5,4 kW, αντίστοιχα, για μια έκταση γεωθερμικό εναλλάκτη υψηλής παραγωγικότητας. Αυτά τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το μέγεθος μόνο του γεωθερμικό εναλλάκτη του αγροτεμαχίου δεν εγγυάται ότι θα έχουμε ως

αποτέλεσμα μια SHA που θα λειτουργεί σωστά.

Η ημιποσοτική αξιολόγηση της πιθανής απόδοσης του γεωθερμικό εναλλάκτη απαιτεί τη μέτρηση των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους. Είναι πλέον διαθέσιμος ένας εξοπλισμός που μπορεί να παράγει αυτό το είδος των πληροφοριών για SHA γεωθερμικούς εναλλάκτες, με τη μορφή μιας συσκευής ανιχνευτή με βελόνα, ικανής να μετρήσει τη φαινομενική θερμική αγωγιμότητα του εδάφους (Soil Heat / Carbon Zero Consulting, Ltd). Μερικά πακέτα λογισμικού, συμπεριλαμβανομένου του Ground Loop Design (GLD) επιτρέπουν την ημιποσοτική προσομοίωση των διαφόρων εναλλακτών SHA με τη χρήση θερμικών παραμέτρων του εδάφους, τη διάταξη βρόγχου, της διαμέτρου των σωλήνων, κ.λπ.. ως παραμέτρους εισόδου.

11.4 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΓΕΩΕΝΑΛΛΑΚΤΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

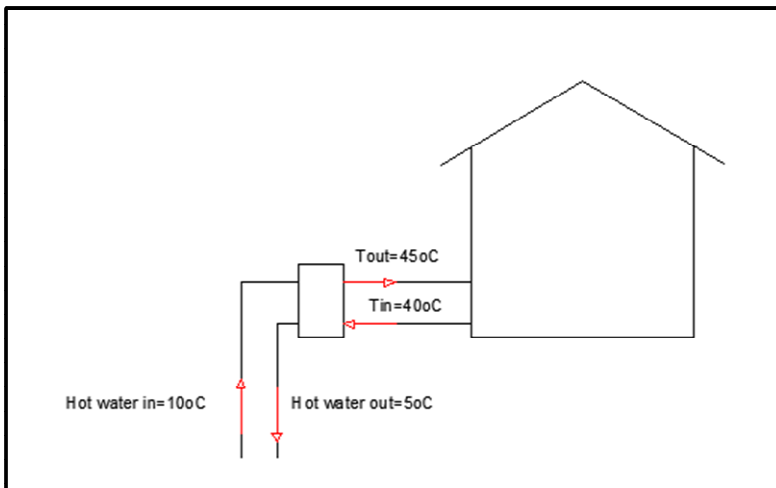
11.4.1 Θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη(CRES)

ΧΕΙΜΩΝΑΣ	ΘΕΡΟΣ
40/45 °C*	7/12°C
5/10°C	35/40°C

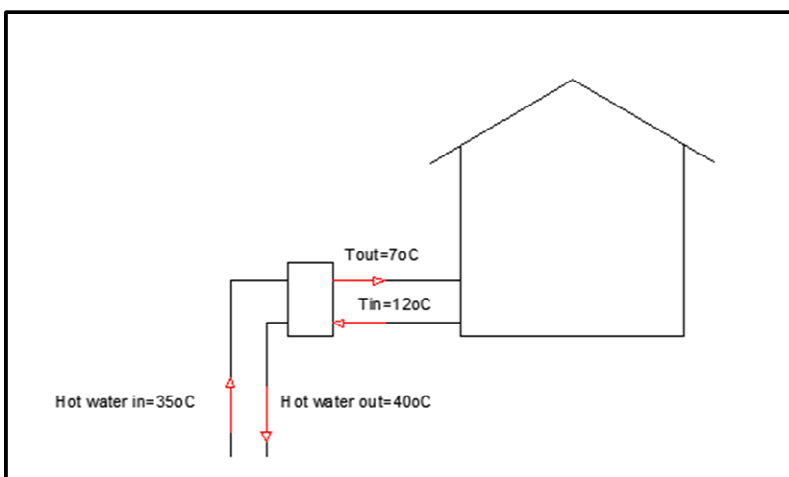
Πίνακας 11.1: Συνιστώμενες θερμοκρασίες λειτουργίας κυκλωμάτων για οριζόντιο εναλλάκτη(CRES)
*Hot water out: 45°C και cold water in στο μηχάνημα: 10°C

- ✓ Στην αριστερή στήλη του Πίνακα 11.1, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το χειμώνα. Η θερμοκρασία εξόδου από τον συμπυκνωτή είναι 45 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 5 °C.
- ✓ Στη δεξιά στήλη του Πίνακα 11.1, παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του εναλλάκτη για την λειτουργία του συστήματος το καλοκαίρι. Η θερμοκρασία εξόδου από τον εξατμιστή είναι 7 °C και η θερμοκρασία εισόδου στο έδαφος είναι 40 °C.

Αναλυτικά οι θερμοκρασίες λειτουργίας παρουσιάζονται στα σχήματα 11.1 και 11.2.



Σχήμα 11.1 Λειτουργία ΓΑΘ-Χειμώνα



Σχήμα 11.2 Λειτουργία ΓΑΘ-Θέρος

11.4.2 Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας

- ✓ Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία το χειμώνα :

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 45°C και εισόδου στον εξατμιστή 10°C και με κριτήριο ότι πρέπει η θερμική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Q_{heat} ($P_c > Q_{\text{heat}}$) επιλέγουμε την ΓΑΘ, με χαρακτηριστικά

Pf= ψυκτική ισχύς kW
Pa= απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
Pc= θερμική ισχύς kW
Pr= ισχύς για ζεστά νερά kW

✓ Επιλογή Γεωθερμικής Αντλίας σε Λειτουργία Θέρος:

Για θερμοκρασία νερού εξόδου από τον συμπυκνωτή 50 °C και εισόδου στον εξατμιστή 12°C και με κριτήριο ότι πρέπει η ψυκτική ισχύς της ΓΑΘ να υπερκαλύψει το Qcool,(Pf >Qcool)επιλέγουμε την ΓΑΘ με χαρακτηριστικά:

Pf= ψυκτική ισχύς kW
Pa= απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύς kW
Pc= θερμική ισχύς kW
Pr= ισχύς για ζεστά νερά Kw

Από τα παραπάνω στοιχεία μεταξύ των δύο αντλιών επιλέγουμε την ΓΑΘ η οποία έχει την επάρκεια να καλύψει και τα θερμικά και τα ψυκτικά φορτία της κατοικίας.

11.4.3 Υπολογισμός Παροχής αντλίας νερού οριζόντιου γήινου εναλλάκτη

Στο γήινο εναλλάκτη το χειμώνα απορροφάται η ισχύς Pf.
Στο γήινο εναλλάκτη το θέρος απορρίπτεται η ισχύς Pc.

$$Q = mcp\Delta\theta$$

✓ Χειμώνας
Pf = Pfrigorific kW = mcp5K=> m = ...m³ /h

✓ Θέρος
Pc = Pcalorific kW = mcp5K=> m = ...m³/h

Στο σημείο αυτό διακρίνουμε μια διαφορά όσον αφορά τις παροχές στο κύκλωμα του οριζόντιου εναλλάκτη. Για τη σωστή διαστασιολόγηση του συστήματος θα λάβουμε υπόψη την μεγαλύτερη παροχή νερού.

11.4.4 Ονομαστική διάμετρος σωλήνωσης εναλλάκτη

Από την παροχή μάζας υπολογίζεται η παροχή όγκου με τη σχέση
 $V=m/\rho$.

Η ταχύτητα της ροη σχετίζεται με τη διατομή και τη διάμετρο της σωλήνωσης από τη σχέση:

$$V=u A \leftrightarrow V= (\pi d^2/4)u \leftrightarrow u=4V/\pi D^2$$

Από την παραπάνω σχέση επιλέγεται η διάμετρος της σωλήνωσης ώστε η ταχύτητα ροής να μην υπερβαίνει το 1-1,5 m/sec.

11.4.5 Μήκος Εναλλάκτη

Αγωγιμότητα εναλλάκτη $k_{spiral}=18\text{W/m} \cdot$ (Πηγή REHAU).

(*Ο υπολογισμός της αγωγιμότητας του εναλλάκτη υπολογίστηκε από την εταιρεία Αγωγών REHAU.)

Το μήκος του εναλλάκτη υπολογίζεται από τον τύπο:

$$L = Q/k$$

- Χειμώνας:

$$L=Q/k \Rightarrow L=P_f(\text{ΓΑΘ}, 40/12^\circ\text{C})/18 \Rightarrow L=\dots\text{m}$$

- θερος:

$$L=Q/k \Rightarrow L=P_c(\text{ΓΑΘ}, 45/10^\circ\text{C})/18 \Rightarrow L=\dots\text{m}$$

Για τον υπολογισμό του μήκους του εναλλάκτη την περίοδο λειτουργίας «χειμώνα», διαιρούμε την ψυκτική ισχύ της ΓΑΘ με τον συντελεστή αγωγιμότητας του εναλλάκτη k .

Για την περίοδο λειτουργίας «θέρος» διαιρούμε αντίστοιχα την θερμική ισχύ της ΓΑΘ με τον συντελεστή k .

Μετά τους υπολογισμούς για κάθε περίοδο, διαπιστώνουμε μια διαφορά στο μήκος του εναλλάκτη

Για την κάλυψη όλων των αναγκών της κατοικίας (χειμώνα + θέρος) επιλέγουμε το μεγαλύτερο μήκος του εναλλάκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΕΓΧΥΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

12.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εγκατάσταση των οριζόντιων γεωθερμικών εναλλακτών (ΒΗΕ) και η έγχυση ενέματος στη γεώτρηση έχει την ίδια σημασία για την ολοκλήρωση και τη μελλοντική λειτουργία του συστήματος, όπως η διάνοιξη ή η ίδια η σύνδεση του ΒΗΕ στην αντλία θερμότητας (ΗΡ).

Τα ακόλουθα βασικά σημεία εξασφαλίζουν σωστή δουλειά:

- Η γεώτρηση θα πρέπει να παραμείνει ανοικτή έως ότου ολοκληρωθεί η έγχυση ενέματος. Έτσι οποιοδήποτε βοηθητικό περίβλημα αφαιρείται μετά την έγχυση.
- Οι ΒΗΕ σωλήνες χρειάζονται πολύ προσεκτικό χειρισμό κατά τη μεταφορά, κατά την αποθήκευση και την εγκατάσταση.
- Η έγχυση ενέματος χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή και φροντίδα.

Αυτές είναι οι τρεις βασικές λειτουργίες του ενέματος:1)Σφράγιση της γεώτρησης για την αναστολή κάθε κάθετης ροής του νερού κατά μήκος του ΒΗΕ (λειτουργία προστασίας υπόγεια υδάτων)2)Εξασφάλιση μιας καλής θερμικής επαφής μεταξύ των τοιχωμάτων των ΒΗΕ και του γύρω εδάφους (θερμική λειτουργία)3)Προστασία των ένθετων σωλήνων ΒΗΕ από μηχανική βλάβη (τεχνική λειτουργία)

12.2. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

12.2.1. Προκαταρκτικές εργασίες

Συνιστάται ορισμένες προπαρασκευαστικές εργασίες να γίνονται πριν από την εισαγωγή του ΒΗΕ στη γεώτρηση. Το προσωπικό μπορεί να πραγματοποιήσει αυτό το στάδιο κατά τη φάση της γεώτρησης.

Ο ΒΗΕ πρέπει να τοποθετηθεί και να στερεωθεί σε έναν ανελικτή , εάν το μήκος του ΒΗΕ είναι μεγαλύτερο από 50 m. Έτσι αποφεύγεται το ξετύλιγμα του ΒΗΕ στο έδαφος του εργοταξίου, το οποίο φέρει υψηλό κίνδυνο για οποιαδήποτε μηχανική βλάβη στον ΒΗΕ. Εάν ο ΒΗΕ είναι μεγαλύτερος από 150 m, ο ανελικτής είναι κατά προτίμηση εφοδιασμένος με ένα φρένο για να εξασφαλιστεί μια αργή και προσεκτική εισαγωγή μέσα στην οπή γεώτρησης.

Οι σωλήνες ΒΗΕ χρειάζονται έναν οπτικό έλεγχο για ανίχνευση βλαβών. Για σωλήνες PE100/PN16/SDR11, εγκοπές και βλάβες σε ένα max. 10% του πάχους του τοιχώματος του σωλήνα είναι αποδεκτές.

Συνιστάται επίσης ένας πρώτος έλεγχος της στεγανότητας του σωλήνα να γίνεται με τη χρήση αέρα σε περίπου 6 bar για την ανίχνευση βλάβης, ειδικά όταν η μεταφορά των BHEs στο εργοτάξιο και / ή την αποθήκευση των BHEs στο χώρο δεν έγιναν υπό την επίβλεψη γεωτρυπανιστών.

Στη συνέχεια, τα πρόσθετα βάρη συνήθως καθορίζονται στη βάση του BHE και ο σωλήνας εγχύσεως στερεώνεται στο BHE κοντά στη βάση.

Υπ' όψιν: να γίνεται χρήση, κατά προτίμηση, BHE που συγκολλήθηκαν σε εργοστάσιο. Αν η βάση συγκολληθεί στο BHE στο χώρο γεώτρησης, ο ειδικός για τη γεώτρηση χρειάζεται ένα έγκυρο πιστοποιητικό συγκόλλησης.



Εικόνα 12.1. BHE σε έναν ανελλικτή κατά την πρώτη δοκιμή πυκνότητας με τη χρήση αέρα (εικόνα: Polydynamics Engineering Zurich)



Εικόνα 12.2. BHE έτοιμος για τοποθέτηση με ένα πρόσθετο βάρος, με προστατευμένη βάση και έναν πέμπτο σωλήνα έγχυσης (εικόνα: Polydynamics Engineering Zurich)

12.2.2. Εισαγωγή του BHE

Ο BHE εισάγεται σε μια όσο το δυνατόν πιο τέλεια κατακόρυφα θέση (Εικόνα 12.1 και 12.2) μέσα στην οπή γεώτρησης. Μερικοί γεωτρυπανιστές για να το εξασφαλίσουν αυτό χρησιμοποιούν κυλίνδρους οδηγούς. Τα περιβλήματα των αιχμηρών απολήξεων θα πρέπει να προστατεύονται ώστε να αποφεύγονται οι ζημιές στους BHE μέσω τριβής (Εικ. 12.3). Ο BHE κινείται προσεκτικά, αργά και με έλεγχο της ταχύτητας μέσα στην οπή γεώτρησης.

Οι συνθήκες πίεσης εντός / εκτός των σωλήνων BHE χρειάζονται ιδιαίτερη προσοχή κατά την εισαγωγή:

- Ο ΒΗΕ πρέπει να γεμίσει με νερό, αν υπάρχει νερό στη γεώτρηση
- Σημαντικά τα ακόλουθα όρια για PE100/PN16/SDR11 σωλήνες:
Δρ (εσωτ.→ εξωτ.): max. 21 bar
Δρ (εξωτ. → εσωτ.): max. 8 bar
Αν αυτή η τιμή υπερβεί, ο ΒΗΕ αρχίζει να καταρρέει!

Μετά την πλήρη εισαγωγή, ο ΒΗΕ κόβεται στο απαιτούμενο μήκος (συχνά οι ΒΗΕ είναι διαθέσιμοι μόνο σε ορισμένα ειδικά μήκη).

Κατά την προετοιμασία για την έγχυση ενέματος, ο ΒΗΕ είναι γεμάτος με νερό, και ασκείται πρωτοταγής πίεση και ο ΒΗΕ σφραγίζεται ερμητικά (βαλβίδα). Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα όρια πίεσης για τους σωλήνες.



Εικόνα 12.3. Δύο διαφορετικοί προστάτες περιβληματος ακρών (εικόνα: Polydynamics Engineering Zurich)



Εικόνα 12.4– Οδηγοί κύλινδροι για να εξασφαλίσει κάθετη εισαγωγή (εικόνα: Polydynamics Engineering Zurich)



Εικόνα 12.5– Κόψτε τους σωλήνες στο απαιτούμενο μήκος, γεμίστε τα με νερό, εφαρμόστε μια πρώτη πίεση και σφραγίστε τους (εικόνα: Polydynamics Engineering Zurich)

12.3. ΕΓΧΥΣΗ ΕΝΕΜΑΤΟΣ

Το ίδιο το υλικό ενέματος πρέπει να πληρεί ορισμένες προδιαγραφές, που δίνεται από τις τοπικές αρχές ή από επαγγελματικούς συλλόγους.

Μπορούν να ρυθμιστούν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά υλικών:

- Ελάχιστη πυκνότητα των εναιωρημάτων των ενεμάτων
- Ελάχιστη σταθερότητα των εναιωρημάτων
- Ελάχιστη αντοχή συμπίεσης του σκληρυμένου υλικού επιχωμάτωσης
- Μέγιστη υδραυλική διαπερατότητα του σκληρυμένου υλικού επιχωμάτωσης
- Προαιρετικά, μια ελάχιστη θερμική αγωγιμότητα
- Προαιρετικά, μια ελάχιστη αντίσταση έναντι δομικής βλάβης μετά από αρκετούς κύκλους κατάψυξης-απόψυξης.





Εικόνα 12.6 Διάφοροι τύποι εξοπλισμού ενεμάτων (εικόνα: Polydynamics Μηχανικών Ζυρίχη)



Εικόνα 12.7– Κατά την έγχυση ενέματος, το βοηθητικό περίβλημα εξακολουθεί να προστατεύει τη γεώτρηση από το να καταρρεύσει. Ο ΒΗΕ είναι υπό πίεση (εικόνα: Polydynamics Μηχανικών Ζυρίχη)

κορυφή χρησιμοποιώντας κάδους ή με άντληση του εναιωρήματος από την επιφάνεια, δεν επιτρέπεται.

Η αρμολόγηση έχει τελειώσει, όταν το εναιώρημα ενέματος που ξεχειλίζει στην κεφαλή της γεώτρησης έχει την απαιτούμενη ποιότητα. Τώρα το βοηθητικό περίβλημα απομακρύνεται και ο ΒΗΕ παρασκευάζεται για τον τελικό έλεγχο.

Σημείωση: Για να αποφύγετε την ανεξέλεγκτη εκροή νερού ή αερίου από την γεώτρηση, η διαδικασία έγχυσης ενέματος πρέπει να γίνει αμέσως μετά την εισαγωγή του ΒΗΕ.

Λόγω των ορίων που αφορούν τη διαφορά πίεσεως εντός / εκτός της ΒΗΕ, δίνονται τα ακόλουθα όρια συστήματος και οδηγίες για ΒΗΕ PE100/PN16/SDR11 (Πίνακας 12.1).

Η προτιμώμενη λύση είναι τα βιομηχανικώς κατασκευασμένα και ενσασκισμένα υλικά επίχωσης με συνεχή ανάμειξη και ελεγχόμενη ποιότητα. Τα μείγματα που φτιάχνονται με το χέρι στην περιοχή της γεώτρησης δεν έχουν την ίδια σταθερή ποιότητα, όπως τα υλικά που αναμειγνύονται στη βιομηχανία.

Το ένεμα είτε αναμιγνύεται σε δεξαμενές ενός δεδομένου όγκου και στη συνέχεια αντλείται από την δεξαμενή σε δεξαμενή μέσα στη γεώτρηση μέσω του σωλήνα έγχυσης, είτε συνεχώς αναμιγνύεται χρησιμοποιώντας μία αντλία καθορισμού αναλογιών. Η ποιότητα του εναιωρήματος του ενέματος θα πρέπει να είναι σταθερή σε όλη την διαδικασία της έγχυσης και πρέπει να ελέγχεται με μετρήσεις πυκνότητας.

Για να εγγυηθεί τα χαρακτηριστικά της προστασίας των υπόγειων υδάτων του ενέματος, ο ειδικός για τη γεώτρηση πρέπει να ακολουθήσει ακριβώς τις οδηγίες ανάμειξης του κατασκευαστή.

Η έγχυση ενέματος στη γεώτρηση γίνεται είτε χρησιμοποιώντας τον αγωγό έγχυσης που φτιάχτηκε προηγουμένως είτε ενίοτε με τη χρήση μεταλλικών ράβδων συναρμολόγησης ΒΗΕ, οι οποίες στη συνέχεια απομακρύνονται, μια-μια, κατά την έγχυση. Ουσιαστικά, η έγχυση πρέπει να γίνεται από τον πυθμένα προς την κορυφή της γεώτρησης μετά την λεγόμενη διαδικασία αναδόχου. Ο σωλήνας έγχυσης αφήνεται εντός του φρέατος και η βαθύτερη ράβδος πρέπει να διατηρείται κάτω από το επίπεδο ενέματος κατά τη διάρκεια όλης της διαδικασίας. Η έγχυση ενέματος από την

Πίνακας 12.1. Τεχνικά όρια για PE100/PN16/SDR11 BHEs

Πυκνότητα του εναιωρήματος ενέματος	Επιτρεπόμενο μήκος για BHE χωρίς επιφυλάξεις	Έγχυση ενέματος μόνο για όταν οι BHEs είναι ερμητικά σφραγισμένοι	Το μήκος του BHE υπερβαίνει τους περιορισμούς πίεσης
1200 kg/m ³	Μέχρι και 400m	Χωρίς περιορισμούς	Χωρίς περιορισμούς
1400 kg/m ³	200m	>200m	Χωρίς περιορισμούς
1600 kg/m ³	120m	120-340m	>340m
1800 kg/m ³	100m	100-260m	>260m
2000 kg/m ³	80m	80-200m	>200m

Υπάρχουν πολλά διαφορετικά υλικά αρμολόγησης στην αγορά. Ορισμένα από αυτά έχουν υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα, άλλα παρουσιάζουν υψηλότερη αντίσταση ενάντια στους κύκλους ψύξης-απόψυξης και άλλα χρειάζονται μόνο ένα μικρό χρονικό διάστημα μέχρι να δοθεί μια μάλλον υψηλή συμπίεση και/ή αντοχή σε διάτμηση.

Συνεπώς, υπάρχει ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών προϊόντων με διαφορετικές φυσικές ιδιότητες. Εναπόκειται στους γεωτρυπανιστές ή τους μελετητές μηχανικούς να επιλέξουν το βέλτιστο υλικό για τους σκοπούς τους. Επιπλέον, η τιμή του ενέματος είναι ένα σημαντικό κριτήριο για τους πελάτες σε μια ανοικτή αγορά.

Μια υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα, για παράδειγμα, χαμηλώνει την αντίσταση γεώτρησης και αυξάνει την θερμοχωρητικότητα του BHE. Αυτό είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα ειδικά στην περίπτωση ψύξης. Στην περίπτωση θέρμανσης, το συνολικό μήκος BHE θα μπορούσε να μειωθεί κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Τόσο μια υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα ή μια υψηλότερη αντίσταση έναντι στους κύκλους ψύξης-απόψυξης επάγουν υψηλότερη πυκνότητα του αιωρήματος ενέματος. Αυτό θα μπορούσε να οδηγήσει στην επίτευξη των τεχνικών ορίων των BHEs πιο γρήγορα. Είναι εξάλλου ένα ζήτημα του συνολικού σχεδιασμού του συστήματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΝΟΜΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΤΥΠΑ

13.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει την κατάσταση σε κανονιστικά πρότυπα σε ολόκληρη την Ευρώπη και τις σχετικές εθνικές συνθήκες και συνοψίζει τις βασικές πτυχές των σημαντικότερων διαθέσιμων προτύπων.

Για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας και ενέργειας, τρία διαφορετικά θέματα πρέπει να διακριθούν κατά τη διαδικασία εγκατάστασης και συνήθως καλύπτονται από διαφορετικό εργατικό δυναμικό:

- Εγκαταστάσεις του χώρου της γεωθερμίας (γεωτρήσεις, διάταξη αγωγών αλλά και η κατασκευή της οπής κ.λπ.). Δεν υπάρχουν πρότυπα σε επίπεδο ΕΕ
- Οι αντλίες θερμότητας (εργασία με ψυκτικά / θερμοδυναμικά συστήματα, συστήματα υπό πίεση, ηλεκτρική ασφάλεια κ.λπ.). Μια σειρά από πρότυπα υπάρχουν σε ευρωπαϊκό ή διεθνές επίπεδο
- Εγκαταστάσεις κλασικής θέρμανσης και κλιματισμού (υδραυλικά, καλοριφέρ, δίκτυο αεραγωγών κ.λπ.).

Από ηλεκτρικής άποψης, η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC) έχει αναπτύξει μια σειρά από πρότυπα στη σειρά IEC 60335 σχετικά με την ασφάλεια των οικιακών και παρόμοιων ηλεκτρικών συσκευών που έχουν επικυρωθεί σε ευρωπαϊκό επίπεδο.

Η γενική κατάσταση της εφαρμογής των κανόνων σε όλη την Ευρώπη είναι:

- Αντλίες Θερμότητας - υπάρχουν πλήρη και εναρμονισμένα τεχνικά πρότυπα για τον εξοπλισμό
- Κράτη μέλη της ΕΕ (συν την Ελβετία και τη Νορβηγία) έχουν υιοθετήσει τα πρότυπα EN για τον έλεγχο, την αξιολόγηση και την ασφάλεια των αντλιών θερμότητας.
- Τα πρότυπα EN υπάρχουν μόνο για την ασφάλεια των εξοπλισμών γεώτρησης (ρηχές γεωτρήσεις), και από τη βιομηχανία πετρελαίου (κάτι που μπορεί να έχει κάποια σημασία για κάθε βαθιά γεώτρηση που ίσως πραγματοποιηθεί)
- Για γεωθερμικά συστήματα μικρού βάθους, υπάρχουν τεχνικά πρότυπα στις χώρες όπου η αγορά είναι ήδη ανεπτυγμένη. Σ' αυτές περιλαμβάνονται η Γερμανία, η Σουηδία, η Αυστρία και η Ελβετία

Στον τομέα της Γεωθερμίας και των αντλιών θερμότητας, τα πρότυπα και οι κώδικες μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους:

- Τεχνικές προδιαγραφές για την αποτελεσματικότητα, την ασφάλεια, τη μακροζωία κ.λπ. ισχύουν κυρίως για τον τομέα των αντλιών θερμότητας
- Τεχνικές προδιαγραφές για την προστασία του περιβάλλοντος, όπως για γεωτρήσεις, κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας κ.λπ. ισχύουν κυρίως από την πλευρά του εδάφους (γεωθερμία)
- Κανονισμοί και οι κατευθυντήριες γραμμές για την αδειοδότηση των γεωθερμικών

συστημάτων (συνήθως σχετικά με την προστασία των υπόγειων υδάτων), περιλαμβάνουν τους νομικούς κανονισμούς για την πρόσβαση και την ιδιοκτησία γεωθερμικών πόρων

13.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Για τον εξοπλισμό της αντλίας θερμότητας υπάρχει ένα ολοκληρωμένο και καλά εναρμονισμένο σύνολο τεχνικών προτύπων. Για αβαθή γεωθερμικά συστήματα, σε γενικές γραμμές, υπάρχουν τεχνικά πρότυπα στις χώρες όπου η αγορά έχει ήδη αναπτυχθεί. Τα κύρια διοικητικά εμπόδια και άδειες που ισχύουν για γεωθερμικά έργα καλύπτονται από τα γενικά πρότυπα EN.

Τα κράτη μέλη έχουν υιοθετήσει τα βασικά πρότυπα EN για τον έλεγχο και την αξιολόγηση, την ασφάλεια κ.λπ. σε εθνική τυποποίηση: η Ελβετία, η Νορβηγία και η Ισλανδία έχουν ενταχθεί στο ίδιο σύνολο προτύπων. Αν και δεν έχουν όλα τα σχετικά πρότυπα EN ακόμη εφαρμοστεί σε όλα τα κράτη μέλη, η διαδικασία βρίσκεται σε καλό δρόμο.

Τα περισσότερα προϋπάρχοντα εθνικά στάνταρ έχουν αποσυρθεί και αντικατασταθεί από τα πρότυπα EN. Τα εθνικά πρότυπα υπήρχαν, ιδίως στις χώρες με παράδοση στις αντλίες θερμότητας, όπως η Αυστρία, η Γερμανία, η Σουηδία και η Ελβετία. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα προϋπάρχοντα εθνικά πρότυπα διατηρούνται σε ισχύ για συγκεκριμένους τομείς που δεν καλύπτονται από τα πρότυπα EN.

Για τη γεωθερμική ενέργεια, τα πρότυπα EN υπάρχουν μόνο για την ασφάλεια των εξοπλισμών γεώτρησης (ρηχή γεωθερμία), καθώς και για τον τομέα της βιομηχανίας πετρελαίου (η οποία έχει κάποια σχέση με τη βαθιά γεωθερμία, μαζί με τα πρότυπα των ΗΠΑ, API). Τα πρότυπα της βιομηχανίας πετρελαίου απαριθμούνται μόνο στην κοινή μορφή EN, και εθνική προσαρμογή εμφανίζεται μόνο στη Γερμανία και τη Γαλλία.

Παρακάτω αναφέρονται οι υφιστάμενες ευρωπαϊκές νόρμες (Πίνακας 13.1). Η κατάσταση των εθνικών προδιαγραφών (π.χ. DIN, VDI) ποικίλλει μεταξύ των χωρών.

Πίνακας 13.1- Ευρωπαϊκές νόρμες	
EN 378-1:2008	Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας - Απαιτήσεις ασφαλείας και περιβαλλοντικές απαιτήσεις - Μέρος 1: Βασικές απαιτήσεις, ορισμοί, κριτήρια ταξινόμησης και επιλογής Η αναθεώρηση του 2008 περιλαμβάνεται την εναρμόνιση με την Ευρωπαϊκή Οδηγία για τον Εξοπλισμό υπό Πίεση (PED). (Η EN 378 χρησιμοποιείται ευρέως ως βασικό πρότυπο σε πολλά μέρη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς και σε πολλές γειτονικές χώρες)
EN 255-3	Κλιματιστικά, μονάδες ψύξης με υγρό και αντλίες θερμότητας με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές - Λειτουργία θέρμανσης - Δοκιμές και απαιτήσεις για τη σήμανση για τις μονάδες ζεστού νερού οικιακής χρήσης
EN 14511-1:2004	Κλιματιστικά, μονάδες ψύξης με υγρό και αντλίες θερμότητας με ηλεκτροκίνητους συμπιεστές για θέρμανση και ψύξη χώρων - Μέρη 1-4
ISO 13256-1:1998	Αντλίες θερμότητας νερού - Δοκιμές και αξιολόγηση για την επίδοση - Μέρος 1: Αντλίες θερμότητας νερού- αέρος και άλμης-αέρος
ISO 13256-2:1998	Αντλίες θερμότητας νερού - Δοκιμές και αξιολόγηση για την επίδοση - Μέρος 1: Αντλίες θερμότητας νερού- νερού και άλμης-νερού
EN 12171:2002	Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια. Διαδικασία για την προετοιμασία των εγγράφων για τη λειτουργία, τη συντήρηση και τη χρήση. Συστήματα θέρμανσης που δεν απαιτούν εκπαιδευμένο χειριστή
EN 12170:2002	Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια. Διαδικασία για την προετοιμασία των εγγράφων για τη λειτουργία, τη συντήρηση και τη χρήση. Συστήματα θέρμανσης που απαιτούν εκπαιδευμένους χειριστές
EN 12828:2003	Συστήματα θέρμανσης σε κτίρια - Σχεδιασμός για συστήματα θέρμανσης με βάση το νερό
EN 12831:2003	Συστήματα θέρμανσης σε κτίρια - Μέθοδος για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου σχεδιασμού
EN 15316/4/2:2008	Συστήματα θέρμανσης σε κτίρια - Μέθοδος υπολογισμού των ενεργειακών απαιτήσεων συστήματος και την αποδοτικότητα του συστήματος - Μέρος 4-2: Συστήματα παραγωγής θέρμανσης χώρου, συστήματα αντλιών θερμότητας
EN 15450:2007	Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια. Σχεδιασμός των συστημάτων θέρμανσης με αντλία θερμότητας

Το περιεχόμενο αυτών των εθνικών προτύπων αποτελεί χρήσιμο σημείο αναφοράς των βέλτιστων τοπικών πρακτικών και θα πρέπει να συμπεριληφθεί ως αναφορές για τεχνικούς σκοπούς.

Υπάρχουν επίσης μια σειρά από πρότυπα για γεωτρήσεις (Πίνακας 13.2), οι οποίες μπορεί να σχετίζονται με γεωθερμικά συστήματα μικρού βάθους.

Πίνακας 13.2. Νόρμες για γεωτρήσεις	
EN 791:1996	Ασφάλεια εξοπλισμού γεώτρησης
ISO 3551:1992	Εξοπλισμός περιστροφικής διάτρησης πυρήνα Σύστημα Α
ISO 3552:1992	Εξοπλισμός περιστροφικής διάτρησης πυρήνα Σύστημα Β
ISO 10097:1999	Ενσύρματος εξοπλισμός διάτρησης αδαμάντινου πυρήνα Σύστημα Α
ISO 10098:1992	Ενσύρματος εξοπλισμός διάτρησης αδαμάντινου πυρήνα Σύστημα CSSK
EN 12717:2001	Ασφάλεια εργαλειομηχανών, μηχανές διάτρησης
EN ISO 22475/1:2006	Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές - Μέθοδοι δειγματοληψίας και μετρήσεις των υπόγειων υδάτων - Μέρος 1: Τεχνικές αρχές για την εκτέλεση

Το κανονιστικό πρότυπο «Συστήματα θέρμανσης στα κτίρια - Σχεδιασμός των συστημάτων θέρμανσης αντλίας θερμότητας», EN 15450 Οκτώβρης του 2007, αφορά το σχεδιασμό των συστημάτων αντλίας θερμότητας, όχι μόνο για τις αντλίες νερού και εδάφους, αλλά για τις αντλίες αέρα.

Το EN 15450 αποσαφηνίζει το βασικό πρόβλημα για ένα γεωθερμικό πρότυπο σε ευρωπαϊκό επίπεδο:

- Οι κλιματικές συνθήκες σε όλη την Ευρώπη διαφέρουν πολύ, προκαλώντας μεγάλες διαφορές στον τομέα της ζήτησης θέρμανσης / ψύξης
- Οι γεωλογικές συνθήκες διαφέρουν σημαντικά από τα μη-ενοποιημένα εδάφη μέχρι τα σκληρά, κρυσταλλικά πετρώματα
- Οι παραδόσεις στη θέρμανση και ψύξη διαφέρουν σημαντικά (π.χ. υδραυλικά έναντι συστημάτων που βασίζονται στον αέρα, κλειστοί έναντι ανοικτών βρόγχων).

Ως εκ τούτου, αναγνωρίζεται ότι το πρότυπο EN 15450 μπορεί να δώσει μόνο ένα γενικό ελάχιστο πλαίσιο για το σχεδιασμό και την εγκατάσταση, με πολλά στοιχεία που πρέπει να συμπληρώνονται σε τοπικό ή περιφερειακό επίπεδο.

Το πρότυπο αυτό περιλαμβάνει τις ακόλουθες ενότητες:

- Απαιτήσεις συστήματος
- Απαιτήσεις για την εγκατάσταση
- Έναρξη λειτουργίας του συστήματος
- Απαιτήσεις συντήρησης.

Σύμφωνα με αυτό το ευρωπαϊκό πρότυπο, η πρώτη κατάλληλη παράμετρος που πρέπει να καθορίζεται για το σχεδιασμό του συστήματος είναι η πηγή θερμότητας η οποία μπορεί να είναι ο αέρας, το νερό ή το έδαφος. Επιπλέον, η ηλεκτρική παροχή πρέπει να διασφαλιστεί, καθώς και η τοποθέτηση της εγκατάστασης και το επίπεδο θορύβου. Εάν είναι απαραίτητος ένας πρόσθετος εφεδρικός θερμαντήρας, η ισχύς του πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο, δεδομένου ότι δεν είναι ανανεώσιμη ενεργειακή τεχνολογία. Επιπλέον, πρέπει να προσδιορίζονται δεξαμενές ζεστού νερού οικιακής χρήσης και άλλα σχετικά συστήματα, όπως για παράδειγμα χώροι προσωρινής αποθήκευσης. Ο έλεγχος του συστήματος, οι ρυθμίσεις ασφαλείας και οι λειτουργικές απαιτήσεις είναι υψίστης σημασίας

και πρέπει να καθορίζονται σύμφωνα με τα πρότυπα.

Με την έναρξη λειτουργίας του συστήματος πρέπει να πληρούνται τα ακόλουθα:

- Έλεγχος του συστήματος σε ικανοποιητική και ασφαλή λειτουργία
- Έλεγχος όλων των συνιστώσων του συστήματος σε λειτουργία σύμφωνα με τις συνθήκες σχεδιασμού
- Συντονισμός των παραμέτρων ελέγχου, ώστε να πληρούν τις προϋποθέσεις λειτουργίας σύμφωνα με το σχεδιασμό
- Η εξισορρόπηση του συστήματος διανομής της θερμότητας.

Όσον αφορά τις απαιτήσεις συντήρησης του συστήματος, υπάρχει αναφορά στο EN 12170 και EN 12171. Επιπλέον, αναφέρεται ότι το προσωπικό που ασχολείται με τη συντήρηση του συστήματος πρέπει να είναι εκπαιδευμένο και πιστοποιημένο σύμφωνα με το πρότυπο EN 13313.

Τέλος, υπάρχουν τέσσερα παραρτήματα που περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

- Παράρτημα Α (πληροφοριακό) - Κατευθυντήριες γραμμές για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σχεδιασμού
- Παράρτημα Β (κανονιστικό) - Κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό συστημάτων αντλιών θερμότητας
- Παράρτημα Γ (κανονιστικό) - Συνιστώμενες ελάχιστες και επιδιωκόμενες τιμές για το SPF
- Παράρτημα Δ (κανονιστικό) - Μέσα ημερήσια μοντέλα άντλησης για παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης.
-

Οι διαφορές μπορεί να υπάρξουν μεταξύ των χωρών όσον αφορά την εφαρμογή των ευρωπαϊκών προτύπων:

- Η Δανία και η Σουηδία έχουν υιοθετήσει όλα τα σχετικά πρότυπα EN ως εθνικά πρότυπα, και έχουν ένα ευρύ φάσμα εθνικών προτύπων, νομικών κανονισμών και αδειοδοτήσεων / πιστοποιήσεων εταιρειών και προσώπων
- Η Γαλλία υιοθέτησε τα σχετικά Ευρωπαϊκά πρότυπα EN ως εθνικά πρότυπα και έχει και κάποια επιπλέον εθνικά πρότυπα.
- Η Ρουμανία έχει ήδη υιοθετήσει τα πλέον σχετικά πρότυπα EN ως εθνικά πρότυπα και δεν έχει πολλά επιπλέον εθνικά πρότυπα. Για την αδειοδότηση και τανομικά θέματα, καλύπτεται μόνο η βαθιά γεωθερμία.

13.3. ΕΘΝΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ

Τεχνικά πρότυπα για τη θέρμανση και τις αντλίες θερμότητας υπάρχουν σε εθνικό επίπεδο στις χώρες όπου η αγορά είναι ανεπτυγμένη, όπως η Αυστρία, η Γερμανία, η Σουηδία και η Ελβετία. Αυτά τα εθνικά πρότυπα αναφέρονται παρακάτω (Πίνακας 13.3) και είναι στην πλειονότητά τους στην τοπική γλώσσα, εκτός του VDI 4640 το οποίο είναι διαθέσιμο σε γερμανικά και αγγλικά.

Το πιο προηγμένο και ολοκληρωμένο εθνικό πρότυπο είναι το γερμανικό έγγραφο VDI 4640. Αυτό εστιάζει ειδικά στο σύστημα αντλιών θερμότητας εδάφους ως σύνολο (κυρίως

στο μέρος 2), σε αντίθεση με τα άλλα που επικεντρώνονται περισσότερο σε διακριτά στοιχεία του συστήματος. Τα περιεχόμενα αυτού του εγγράφου είναι τα εξής:

- Μέρος 1: Γενικά / Άδειες / Περιβάλλον, περίοδος 2001-06
- Μέρος 2: Αντλίες θερμότητας εδάφους, περίοδος Δεκέμβριος 2001-09, υπό αναθεώρηση
- Μέρος 3: UTES, περίοδος 2001-06
- Μέρος 4: Άμεσες χρήσεις (ψύξη, εναλλάκτης θερμότητας εδάφους-αέρος), περίοδος 2004-09.

Πίνακας 13.3- Εθνικά πρότυπα

Χώρα	Αριθμός εγγράφου	Τίτλος εγγράφου	Έτος
AT	ÖNORM M 7753	Αντλίες θερμότητας με ηλεκτροκίνητες συμπιεστές για άμεση επέκταση, προσαρμοσμένες στο έδαφος	1995
AT	ÖNORM M 7755-2+3	Ηλεκτροκίνητες αντλίες θερμότητας	2000
AT	ÖWAV Regelblatt 207	Θερμική χρήση των υπόγειων υδάτων και του υπεδάφους, της θέρμανσης και της ψύξης	2009
CH	AWP T1	Σύστημα θέρμανσης με κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας	2007
CH	AWP T2	Σύστημα θέρμανσης με οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη έδαφος, ενεργειακοί πάσσαλοι ή κλωβοί ενέργειας	2007
CH	AWP T3	Τα υπόγεια ύδατα ως πηγή θερμότητας	2007
CH	AWP T5	Πλήρωση συστημάτων κατακόρυφων εναλλακτών θερμότητας	2007
CH	SIA D 0190	Η χρήση της θερμότητας της γης μέσω πασσάλων θεμελίωσης και άλλων κτιριακών μερών σε επαφή με το έδαφος	2005
CH	SIA 384/6 (SN 565)	Κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας για το 2009 θέρμανση και ψύξη	2009
DE	DIN8901	Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας-προστασία του εδάφους, των υπόγειων και των επιφανειακών υδάτων	2002
DE	VDI 4640 Blatt 1	Θερμική χρήση του υπεδάφους - Μέρος 1: Βασικές αρχές, εγκρίσεις, περιβαλλοντικές πτυχές	2009
DE	VDI 4640 Blatt 2	Θερμική χρήση του υπεδάφους - Μέρος 2: Αντλίες θερμότητας εδάφους	2001
DE	VDI 4640 Blatt 3	Θερμική χρήση του υπεδάφους - Μέρος 3: Υπόγεια αποθήκευση θερμικής ενέργειας	2002
DE	VDI 4640 Blatt 4	Θερμική χρήση του υπόγειου - Μέρος 4:	2004

		Άμεσες χρήσεις	
DE	DE DIN 8901	Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας - προστασία του εδάφους, των υπογείων και των επιφανειακών υδάτων	2002
SE	Normbrunn-07	Γεωτρήσεις για πηγάδια νερού και ενέργεια	2008
*Σημειώστε για την Ελβετία: Το AWP T1 είναι το πρώτο πρότυπο για την περίπτωση πραγματοποίησης έγχυσης από τον πάτω προς το στόμιο μιας γεωτρητικής εγκατάστασης.			

Το πρώτο μέρος του VDI 4640 αναφέρεται στις ακόλουθες γενικές πληροφορίες για τα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας (ΓΑΘ):

- Βασικές αρχές σχετικά με τον ορισμό της γεωθερμικής ενέργειας και τις αρχές για το σχεδιασμό ενός συστήματος αντλίας θερμότητας εδάφους
- Εγκρίσεις που αφορούν τα δικαιώματα (του πελάτη) πάνω στο νερό που χρησιμοποιείται, καθώς και το δίκαιο ορυχείων
- Πτυχές της ασφάλειας των αντλιών θερμότητας
- Αξιολόγηση τοποθεσίας που αφορά μικρά συστήματα έως 30kW ανάλογα με τις παραδοχές και εκτιμήσεις
- Περιβαλλοντικές πτυχές που αφορούν την επιλογή του υλικού για τις εγκαταστάσεις στο υπόγειο όπως σωλήνες, μείγμα νερού, κ.λπ..

Το δεύτερο μέρος της VDI 4640 αναφέρεται στο σχεδιασμό και την εγκατάσταση ενός πλήρους συστήματος ΓΑΘ:

- Συστήματα υπόγειων υδάτων (σχεδιασμός και εγκατάσταση)
- Κλειστά συστήματα
- Οριζόντιοι βρόγχοι - οριζόντιοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους (σχεδιασμός και εγκατάσταση)
- Κάθετοι βρόγχοι - κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας (σχεδιασμός και εγκατάσταση)
- Ειδικά χαρακτηριστικά των συστημάτων με άμεση εξάτμιση (σχεδιασμός και εγκατάσταση)
- Χαρακτηριστικά άλλων πηγών θερμότητας, όπως "ενεργειακοί πάσσαλοι", συμπαγείς οριζόντιοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους
- Η ενσωμάτωση του συστήματος (αγωγοί και γεωθερμικοί εναλλάκτες, εξαρτήματα και αντλίες, συνδέσεις των σωλήνων μεταξύ γεωθερμικών εναλλακτών και αντλιών θερμότητας, διαστασιολόγηση των σωλήνων και αντλιών)
- Χρήση των συστημάτων θέρμανσης
- Αποσυναρμολόγηση των συστημάτων ΓΑΘ.

Το τρίτο μέρος του VDI 4640 αναφέρεται στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας, πιο συγκεκριμένα:

- Γενικές πληροφορίες της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας (ορισμοί, ειδικά περιβαλλοντικά ζητήματα, επιλογή των υλικών για υψηλότερες θερμοκρασίες)
- Ενσωμάτωση σε ένα σύστημα παροχής ενέργειας (ενεργειακό ισοζύγιο, επίπεδα θερμοκρασίας, τα ποσοστά χρήσης του συστήματος αποθήκευσης, χρήση: αποθήκευση ψύχους και / ή μάζας χαμηλής θερμοκρασίας, με ή χωρίς αντλία

θερμότητας, ηλιακή ενέργεια και αποθήκευση θερμότητας, συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας σε συνδυασμό με την αποθήκευση θερμότητας, πολύπλοκα συστήματα παροχής ενέργειας που χρησιμοποιούν και αποθηκεύουν αποβαλλόμενη θερμότητα, περαιτέρω παραλλαγές του συστήματος της υπόγειας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας)

- Αποθήκευση σε υδροφόρα (περιγραφή του συστήματος, απαιτήσεις φυσικής τοποθεσίας, εξερεύνηση θέσης, σχεδιασμός των γεωτρήσεων, ειδικά ζητήματα που σχετίζονται με τη χορήγηση αδειών αποθήκευσης του υδροφόρα, πιθανά προβλήματα λειτουργίας που προκύπτουν από τη χημική σύνθεση των υπόγειων υδάτων)
- Οι ΒΗΕ (γεωμετρία του συστήματος αποθήκευσης, διαρρύθμιση, κατασκευή)
- Άλλα είδη υπόγειας αποθήκευσης θερμότητας (αποθήκευση σπηλαίου, εγκαταλελειμμένα ορυχεία, σχεδόν φυσικά υπόγεια συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας).

Το τέταρτο μέρος του VDI 4640 αναφέρεται σε συστήματα θερμικής πηγής, χωρίς τη χρήση αντλίας θερμότητας, πιο συγκεκριμένα:

- Άμεση θερμική χρήση των υπόγειων υδάτων (περιγραφή του συστήματος, επίδραση του περιβάλλοντος και ειδικά θέματα που αφορούν τη διαχείριση των υδάτων και η νομοθεσία για τα ύδατα, το σχεδιασμό)
- Άμεση θερμική χρήση του υπεδάφους με κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας, ενεργειακούς πασσάλους κ.λπ. (περιγραφή του συστήματος, περιβαλλοντικές πτυχές και ζητήματα που σχετίζονται με τη νομοθεσία του νερού, την κατασκευή και εγκατάσταση συμπεριλαμβανομένης της αποσυναρμολόγησης)
- Θέρμανση αέρα και ψύξη στο υπεδάφος (περιγραφή του συστήματος, περιβαλλοντικά ζητήματα, υγιεινή του αέρα, σχεδιασμός, εγκατάσταση, επιλογή των υλικών, αποσυναρμολόγηση, στρατηγικές ελέγχου, οικονομική αποτελεσματικότητα).

Οι γεωτρήσεις και το πρότυπο δοκιμών εδάφους EN ISO 22475/1 ορίζει ότι τουλάχιστον οι ακόλουθες πληροφορίες πρέπει να είναι διαθέσιμες πριν επιτραπεί να ξεκινήσει η εργασία στον χώρο:

- Ο στόχος των μετρήσεων
- Θέση των προγραμματισμένων γεωτρήσεων ή μετρήσεων
- Προσανατολισμός, κλίση και αποδεκτή αποκλίσεις στις γεωτρήσεις
- Απαιτήσεις τοπογράφησης και προσδοκώμενες γεωλογικές και υδρογεωλογικές συνθήκες
- Συχνότητα των μετρήσεων
- Κίνδυνοι για το περιβάλλον και την ασφάλεια
- Τους πιθανούς κινδύνους, π.χ. υπηρεσιών, την κυκλοφορία, εκρηκτικούς μηχανισμούς, μόλυνση)
- Προγραμματισμένα βάθη γεωτρήσεων ή / και ανασκαφών
- Επιδιωκόμενες επί τόπου δοκιμές
- Μέθοδος ολοκλήρωσης οπής και αναστύλωση
- Φροντίδα για το περιβάλλον
- Μέτρα έκτακτης ανάγκης
- Επίχωση και αποκατάσταση των χώρων εργασίας για να εξασφαλιστεί ότι δεν έχουν αφεθεί πίσω κίνδυνοι που μπορεί να βλάψουν τους πολίτες, το περιβάλλον ή τα ζώα, σύμφωνα με τους κανονισμούς.

Οι δοκιμές των συνθηκών σε μία περιοχή προκειμένου να προσδιοριστεί η καταλληλότητα και ο σχεδιασμός των ΓΑΘ περιλαμβάνονται μέσα σ' έναν αριθμό άλλων προτύπων, όπως: το ISO 14686:2003. *Υδρομετρικοί προσδιορισμοί. Δοκιμές άντλησης για πηγάδια νερού. Εκτιμήσεις και κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό, την επίδοση και τη χρήση*

13.4. ΕΝΑΡΞΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ, ΕΠΑΡΚΕΙΑ, ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ

Η έναρξη λειτουργίας ενός συστήματος πρέπει να περιλαμβάνει ελέγχους για το ότι:

- Το σύστημα λειτουργεί ικανοποιητικά και με ασφάλεια
- Όλα τα συστατικά του συστήματος λειτουργούν σύμφωνα με τις συνθήκες σχεδιασμού
- Ρύθμιση των παραμέτρων ελέγχου
- Εξισορρόπηση του συστήματος διανομής της θερμότητας.

Η αξιολόγηση της επάρκειας των φορέων εκμετάλλευσης και ο έλεγχος της συνεχούς επάρκειάς τους θεωρείται από πολλούς να είναι μια προϋπόθεση για μια υγιή αγορά ΓΑΘ. Η πιστοποίηση των ειδικών γεώτρησης, των ειδικών εγκατάστασης και γενικά όλων των ειδικών που συμβάλλουν στο σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρηση των συστημάτων ΓΑΘ είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του συστήματος.

Ένα από τα πιο κοινά εμπόδια στην αυξημένη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι η διαδικασία αδειοδότησης, όπου πιθανώς να απαιτούνται άδειες για τη χρήση των υπογείων υδάτων ως πηγή θερμότητας και για τη διάτρηση.

13.4.1. Έναρξη λειτουργίας και συντήρηση

Οι δοκιμές των αντλιών θερμότητας περιλαμβάνονται εντός ενός αριθμού προτύπων (Πίνακας 13.4). Για τις απαιτήσεις συντήρησης, υπάρχει αναφορά στην EN12170 και EN12171. Το προσωπικό που ασχολείται με τη συντήρηση του συστήματος πρέπει να είναι εκπαιδευμένοι και πιστοποιημένοι σύμφωνα με το EN13313.

Πίνακας 13.4. Πρότυπα δοκιμών αντλιών θερμότητας	
ISO 14686:2003	Υδρομετρικοί προσδιορισμοί. Τεστ άντλησης για πηγάδια νερού. Εκτιμήσεις και κατευθυντήριες γραμμές για το σχεδιασμό, την απόδοση και τη χρήση
ISO 13256-1:1998	Αντλίες θερμότητας νερού - Δοκιμές και αξιολόγηση των επιδόσεων - Μέρος 1: Αντλίες θερμότητας νερού-αέρα και άλμης-αέρα
ISO 13256-2:1998	Αντλίες θερμότητας νερού - Δοκιμές και αξιολόγηση των επιδόσεων - Μέρος 2: Αντλίες θερμότητας νερού-νερού και άλμης-νερού
EN 14336:2004	Συστήματα θέρμανσης σε κτίρια - Εγκατάσταση και έναρξη λειτουργίας των συστημάτων θέρμανσης νερού

13.4.2. Επάρκεια και έλεγχος

Η αξιολόγηση της επάρκειας των φορέων εκμετάλλευσης και ο έλεγχος της διάρκειας της επάρκειάς τους θεωρείται από πολλούς να είναι μια προϋπόθεση για μια υγιή αγορά ΓΑΘ. Είναι επίσης ένα από τα κύρια μελήματα της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, το ότι χωρίς τα μέτρα αυτά, το κοινό θα έχει μεγάλες πιθανότητες να έχει κακή εξυπηρέτηση από λιγότερο σχολαστικούς φορείς. Το κύριο πρόσφατο Ευρωπαϊκό Πρότυπο που είναι σχετικό σε αυτόν τον χώρο προέρχεται από τον γεωτεχνικό τομέα, αλλά μπορεί να θεωρηθεί σχετικό με τον χώρο των ΓΑΘ. Οι απαιτήσεις δεν είναι τόσο υψηλές ώστε αυτό να αποτελέσει πρόβλημα για όποια αξιόπιστη επιχείρηση ασχολείται με την κατασκευή και εγκατάσταση ΓΑΘ.

EN ISO 22475 / Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές - Μέθοδοι δειγματοληψίας και μετρήσεις των υπόγειων υδάτων - Μέρος 2: Τα κριτήρια αξιολόγησης επιχειρήσεων και προσωπικού προσδιορίζουν τις απαιτούμενες ικανότητες:

- του υπεύθυνου εμπειρογνώμονα
- του ειδικευμένου για τη γεώτρηση
- της επιχείρησης (ή εταιρείας).

Ο αρμόδιος εμπειρογνώμονας πρέπει να έχει αποδεδειγμένη επαρκή γνώση σχετικά:

- με νόμους, κανονισμούς υγείας και ασφάλειας, κανόνες και πρότυπα
- με γεωλογία, υδρογεωλογία, μηχανική του εδάφους και των πετρωμάτων
- με το EN ISO 22.475 -1
- με το σύστημα διασφάλισης ποιότητας.

Ο υπεύθυνος εμπειρογνώμονας πρέπει να είναι σε θέση να κατανοήσει το στόχο του προγράμματος εργασίας, να εποπτεύει το έργο του ειδικευμένου για τη γεώτρηση και να ζητήσει πρόσθετη εμπειρογνωμοσύνη, εάν απαιτείται.

Ο ειδικευμένος για τη γεώτρησης πρέπει να έχει τεκμηριωμένη ικανότητα όσον αφορά:

- Βασικές γνώσεις των σκοπών της έρευνας εδάφους
- Μηχανικές και υδρογεωλογικές αρχές
- Ανασκαφικές μέθοδοι και υπόγειες μετρήσεις, συμπεριλαμβανομένων των επιχόσεων γεωτρήσεων
- Την ολοκλήρωση των εγγραφών σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 22475-1
- Κανονισμοί σχετικά με την υγεία, την ασφάλεια και το περιβάλλον
- Τη λειτουργία, τον ασφαλή χειρισμό και τη συντήρηση του εξοπλισμού
- Το σύστημα διασφάλισης ποιότητας.

Η επιχείρηση που διεξάγει την έρευνα ή τα έργα σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO 22475-1 πρέπει να είναι σε θέση να παρέχει:

- Έμπειρο προσωπικό και κατάλληλες εγκαταστάσεις
- Σύστημα για την υγεία και την ασφάλεια
- Σύστημα διασφάλισης ποιότητας
- Τη βεβαιότητα πως όλος ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται πρέπει να συμμορφώνονται με τις κατάλληλες τεχνικές προδιαγραφές, να συντηρείται, να βαθμονομείται και να χρησιμοποιείται σωστά
- Έναν ειδικό για τη γεώτρηση ο οποίος θα είναι συνεχώς παρών και υπεύθυνος για την εκτέλεση της δειγματοληψίας, των μετρήσεων και της καταγραφής κάθε εξοπλισμού γεώτρησης

- Συμμόρφωση με εσωτερικούς κανονισμούς, με κανόνες υγείας και ασφάλειας και τεχνικούς κανονισμούς
- Κάλυψη για αστική ευθύνη.

EN ISO 22475/3: 2007 Γεωτεχνικές έρευνες και δοκιμές - μέθοδοι δειγματοληψίας και μετρήσεις των υπόγειων υδάτων - Μέρος 3: Η αξιολόγηση της συμμόρφωσης των επιχειρήσεων και του προσωπικού από τρίτους απαιτεί αυτή (η αξιολόγηση) να αποδεικνύει την ικανότητά της να ανταποκριθεί το σύνολο των κριτηρίων ικανότητας σύμφωνα με το πρότυπο EN ISO / TS 22475-2. Όταν η πλήρης αξιολόγηση κρίνεται ικανοποιητική, ο οργανισμός αξιολόγησης της συμμόρφωσης θα εκδώσει πιστοποιητικό για την επιχείρηση η οποία θα ισχύει για 3 χρόνια.

Υπάρχουν επίσης τα πρότυπα για την πιστοποίηση σε σχέση με τα συστήματα ψύξης:
 EN ISO 17024:2003. Αξιολόγηση της συμμόρφωσης - Γενικές απαιτήσεις για φορείς πιστοποίησης προσώπων
 EN 13313:2001. Συστήματα ψύξης και αντλίες θερμότητας. Αρμοδιότητα του προσωπικού.

13.4.3. Πιστοποίηση

Η πιστοποίηση των ειδικών που συμβάλλουν στον σχεδιασμό, την εγκατάσταση και τη συντήρηση των συστημάτων ΓΑΘ είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα, προκειμένου να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του συστήματος. Πιστοποιημένοι μελετητές μηχανικούς, κατασκευαστές και εγκαταστάτες (συμπεριλαμβανομένων των ειδικών γεώτρησης) είναι αναγκαίοι για την εξασφάλιση υψηλής απόδοσης και τη μακροζωία ενός συστήματος ΓΑΘ. Επίσης, για την πιστοποίηση των εταιρειών των γεωτρήσεων, θα πρέπει να αναπτυχθούν κοινοί βασικοί κανόνες προκειμένου να διευκολυνθεί η διασυννοριακή υπηρεσία.

Για την εγκατάσταση αντλίας θερμότητας, το πρόγραμμα EU-Cert.HP μπορεί να αποδειχθεί πολύ χρήσιμο και έχει τη δυνατότητα για μια κοινή εφαρμογή στα 27 μέλη της ΕΕ. Εθνικά πιστοποιητικά ποιότητας, όπως στη Γαλλία, είναι προαιρετικά και μπορούν να συμπεριληφθούν σε ένα κοινό σύστημα ή μπορεί να συνεχίσουν να συνυπάρχουν με τα ήδη ισχύοντα χωρίς προβλήματα. Υπάρχει διαφορετική δραστηριότητα ακόμη για το θέμα του εδάφους. Για τη δημιουργία τέτοιων συστημάτων, η συνεργασία των σχετικών επαγγελματικών φορέων και βιομηχανικών συνδέσεων θα είναι απαραίτητη, προκειμένου να εξασφαλιστεί η αποδοχή των προγραμμάτων που προκύπτουν στον τομέα της γεωθερμίας.

Διανοίξεις οπών για νερό ή για ρηχή γεωθερμία στο παρελθόν αποτελούσαν περιφερειακές επιχειρήσεις και έτσι οι κανόνες σε επίπεδο ΕΕ δεν ήταν σημαντικοί. Ορισμένες εθνικές πιστοποιήσεις για τις εταιρείες γεωτρήσεων μπορεί να εξελιχθούν σε εμπόδιο, εάν καταστούν υποχρεωτικές από τις περιφερειακές αρχές. Σχετικές πιστοποιήσεις από άλλα κράτη μέλη θα πρέπει να γίνουν αποδεκτά από τις αρχές σε άλλα μέρη της Ευρώπης. Ως εκ τούτου, θα πρέπει να ξεκινήσει ένα κοινό πρότυπο EN με βάση τις εθνικές προσεγγίσεις.

Προς το παρόν, η πιστοποίηση για ειδικούς για τη γεώτρηση υπάρχει μόνο στη Γερμανία, τη Σουηδία, την Ελβετία ενώ στην Αυστρία το θέμα αυτό είναι υπό ανάπτυξη (Πίνακας 13.5).

Πίνακας 13.5. Πιστοποίηση για γεωτρυπανιστές			
DVGW W 120	Qualifikationsanforderungen für die Bereiche Bohrtechnik, Brunnenbau und Brunnenregenerierung	Πιστοποίηση επαγγελματικών εταιρειών γεωτρήσεων	2005-12 (DE)
DACH-Gütesiegel EWS	Gütesiegel für Erdwärmesonden-Bohrfirmen	Πιστοποίηση επαγγελματικών εταιρειών γεωτρήσεων	2001/2006 (CH/DE)
RAL/ZDB	RAL-Gütezeichen "Erdwärme", Gütegemeinschaft Geothermische Anlagen	Πιστοποίηση επαγγελματικών εταιρειών γεωτρήσεων	2007 (DE)
C-Borrare	Certifiering av brunnsborrningsföretag Certification of well	Πιστοποίηση εταιρειών διανοίξεων γεωτρήσεων	2006 (SE)

Είναι πολύ σημαντικό όλες οι εργασίες στο χώρο να πραγματοποιούνται με ασφαλή τρόπο, χωρίς να βλάπτονται οι φορείς, το κοινό ή το περιβάλλον. Οι απαιτήσεις ασφαλείας μπορούν να συνοψιστούν λέγοντας ότι τα αντίστοιχα εθνικά πρότυπα, οι προδιαγραφές ή οι κανονιστικές απαιτήσεις πρέπει να εφαρμόζονται οπουδήποτε τα αντίστοιχα διεθνή πρότυπα δεν είναι διαθέσιμα (EN ISO 22475/1).

Για τον έλεγχο της ποιότητας και την πιστοποίηση των αντλιών θερμότητας, οι βασικές απαιτήσεις δίνονται από την EN 14511 και, για το θέμα του ζεστού νερού, απ' το πρότυπο EN 255-3. Άλλες σχετικές προδιαγραφές αντλίας θερμότητας, όπως η EN 378 ή η EN 60335 - 2-40 (για την ηλεκτρική ασφάλεια) είναι επίσης κοινές σε όλη την Ευρώπη. Τα σήματα ποιότητας όπως το P-mark στη Σουηδία ή η Gütesiegel Wärmepumpe στην Αυστρία, τη Δανία και την Ελβετία βασίζονται σε δοκιμές σύμφωνα με τα κοινά πρότυπα CEN που αναφέρονται παραπάνω. Ο Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος Αντλιών Θερμότητας (EHPA) εργάζεται για τη δημιουργία ενός εναρμονισμένου σήματος ποιότητας (σήμα ποιότητας EHPA), ή, τουλάχιστον, για την εναρμόνιση των ήδη υπαρχουσών.

13.4.5. Νόμιμες άδειες

Ένα από τα πιο συνήθη εμπόδια στην αυξημένη χρήση της γεωθερμικής ενέργειας είναι η διαδικασία αδειοδότησης. Οι άδειες μπορούν να ζητηθούν για τη χρήση των υπογείων υδάτων ως πηγή θερμότητας, αλλά και για BHE και για γεωτρήσεις.

Φυσικά, οι κανονισμοί για τις άδειες είναι αναγκαίοι για την προστασία των υπογείων υδάτων και του εδάφους από τη ρύπανση. Ένα πρόβλημα είναι ότι οι διαδικασίες και το σκεπτικό για τη λήψη αποφάσεων δεν διαφέρουν σημαντικά μόνο μεταξύ των κρατών μελών, αλλά και στο εσωτερικό των χωρών σε επίπεδο περιφερειών. Σε ορισμένες

περιπτώσεις, ακόμα και η αρμόδια αρχή είναι ασαφής, όπως δείχνει το παράδειγμα των αρχών του νερού και των αρχών των ορυχείων για τα μεγαλύτερα εργοστάσια ΓΑΘ στη Γερμανία. Από την άλλη πλευρά, οι κατευθυντήριες γραμμές για τις διαδικασίες αδειοδότησης και απλοποιημένες διαδικασίες για τις μικρές ΓΑΘ (για κατοικίες) σε αδιάφορης σημασίας περιοχές έχουν διευκολύνει την ανάπτυξη της αγοράς σε ορισμένα γερμανικά κρατίδια και την Ελβετία.

Η διαδικασία της αδειοδότησης των συστημάτων ΓΑΘ διαφέρει μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών. Στον τομέα των αδειών για τις γεωθερμικές γεωτρήσεις και την εκμετάλλευση, η ευρωπαϊκή εναρμόνιση θα μπορούσε να παρέχει ένα γενικό πλαίσιο, με λεπτομέρειες που μένουν για να συμπληρωθούν σε εθνικό ή ακόμη και σε περιφερειακό επίπεδο, ώστε να είναι σύμφωνη με τις τοπικές διατάξεις.

Για παράδειγμα, το γερμανικό δίκαιο διέπει τα γεωθερμικά συστήματα μικρού βάθους του νερού με το νόμο για τα ύδατα, αλλά υπάρχουν και εξαιρέσεις όπου αβαθής γεωθερμική ενέργεια διέπεται από το νόμο εξόρυξης. Επιπλέον, ο ομοσπονδιακός νόμος περί ορυχείων εφαρμόζεται σε ομοσπονδιακό επίπεδο και ο ομοσπονδιακός νόμος περί νερού οικιακής χρήσης, σε κρατικό επίπεδο και γι' αυτό δεν είναι προφανές ποια είναι η αρμόδια αρχή για την αντιμετώπιση κάθε εφαρμογής.

Τα περισσότερα γερμανικά κρατίδια έχουν δημοσιεύσει δικές της κατευθυντήριες γραμμές σχετικά με το πώς η διαδικασία υποβολής αιτήσεων και χορήγησης αδειών θα πρέπει να αντιμετωπίζονται. Οι δημοσιεύσεις αυτές καθοδηγούν στην πραγματικότητα τον αιτούντα να κατανοήσει τη διαδικασία και δείχνει τις απαιτήσεις για την προστασία των υδάτων. Οι καλές κατευθυντήριες γραμμές παρέχουν επίσης έναν εύκολο τρόπο για έργα ΓΑΘ κάτω από μια ορισμένη ικανότητα, και σε υδρογεωλογικά προβληματικές συνθήκες.

Στην Ελλάδα, δεδομένου ότι υπάρχει μια ξεχωριστή ρύθμιση για τα «Συστήματα για τη θέρμανση και την ψύξη από την εκμετάλλευση της θερμότητας του υπεδάφους και των υπόγειων υδάτων που δεν θεωρούνται ως γεωθερμικό δυναμικό (θερμοκρασία κάτω των 250°C)», δεν υπάρχει σύγκρουση με το νόμο περί εξορύξεων. Επιπλέον, δεν υπάρχει περαιτέρω αναφορά στα δικαιώματα στη χρήση του νερού και τα περιβαλλοντικά ζητήματα.

Σύμφωνα με αυτές τις ενδεικτικές περιπτώσεις, είναι προφανές ότι οι κύριες αναφορές σε νόμιμες άδειες είναι τα δικαιώματα για το νερό και η εκμετάλλευση του υπόγειου δυναμικού.

13.5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εισαγωγή των προτύπων που αφορούν τις αντλίες θερμότητας ήταν ζωτικής σημασίας, καθώς τα προϊόντα αυτά παρασκευάζονται και διακινούνται σε ολόκληρη την Ευρώπη. Δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου πλέον εμπόδια για το εμπόριο μηχανημάτων και εξαρτημάτων εντός της κοινής αγοράς για τα συστήματα αντλιών θερμότητας. Οι ετικέτες επίδοσης και ποιότητας με βάση τα πρότυπα αυτά είναι διαφανείς και συγκρίσιμες μεταξύ των κρατών μελών.

Ορισμένες τεχνικές διαφορές για τις εγκαταστάσεις εδάφους (ιδίως των ΒΗΕ) και γεωτρήσεων μεταξύ των σκανδιναβικών χωρών και της Κεντρικής Ευρώπης βασίζονται κυρίως στις διάφορες γεωλογικές καταστάσεις, και συνεπώς δεν μπορούν εύκολα να

εναρμονιστούν. Η γεωθερμική τεχνολογία πρέπει πάντα να σέβεται την περιφερειακή γεωλογική κατάσταση, η οποία ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό σε όλη την Ευρώπη και δεν μπορεί να επηρεάζεται καθόλου από την πολιτική .

Εμπόδια για την εργασία και τις υπηρεσίες δεν υπάρχουν ως κάποιιο βαθμό, αλλά όχι περισσότερο από ό, τι στον τομέα των κατασκευών γενικότερα. Ειδικές πιστοποιήσεις είναι εθελοντικές και νέες πιστοποιήσεις για τους εγκαταστάτες αντλιών θερμότητας έχουν την ευκαιρία να γίνουν δεκτές στις περισσότερες χώρες.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι οι νομικές διατάξεις, που αφορούν τις περιβαλλοντικές άδειες και την ιδιοκτησία / άδεια των πόρων. Χωρίς σαφή τίτλο για τη χρήση των πόρων, δεν είναι δυνατή επένδυση. Ωστόσο, αυτό δεν μπορεί να ρυθμίζεται από τα πρότυπα, αλλά πρέπει να αντιμετωπιστεί από τα νομοθετικά όργανα.

Επειδή η γεώτρηση και η εγκατάσταση για τα γεωθερμικά συστήματα στη ρηχή γεωθερμική σφαίρα είναι συνήθως υπηρεσίες που παρέχονται από τους αναδόχους περισσότερο σε τοπικό επίπεδο, η ανάγκη για εναρμονισμένα πρότυπα δεν είναι τόσο επείγουσα όσο η ανάγκη για κατάλληλα πρότυπα σε άθε τομέα, καθώς σε πολλές χώρες δεν υπάρχουν κατευθυντήριες γραμμές και τα πρότυπα και συνεπώς η προστασία των καταναλωτών δεν είναι εγγυημένη. Σε τέτοιες περιπτώσεις είναι πιθανό να εμφανιστεί ένα αρνητικό αντίκτυπο στην αγορά, αν αυξηθεί η ζήτηση και παραδίδονται έργα χαμηλής ποιότητας σε χώρες χωρίς τις ειδικές προδιαγραφές.

Επομένως είναι επιθυμητό να υπάρχουν κοινές προδιαγραφές στον χώρο της γεωθερμίας. Το πρώτο πραγματικό πρότυπο είναι υπό ανάπτυξη στη Γερμανία και θα ασχοληθεί με το υλικό, την κατασκευή και την εγκατάσταση των κατακόρυφων γεωθερμικών εναλλακτών.

Στοιχεία που πρέπει να καλυφθούν με νέα ευρωπαϊκά πρότυπα για τις αβαθείς γεωθερμικές εφαρμογές θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν:

- Τη διάταξη (μέγεθος) του γεωθερμικού συστήματος (υπόγεια φρεάτια, κατακόρυφοι εναλλάκτες θερμότητας, οριζόντιοι βρόχοι κ.λπ.), σύμφωνα με τις διαφορετικές κλιματικές και γεωλογικές συνθήκες στην Ευρώπη
- Τα υλικά για τις γεωτρήσεις, κατακόρυφους εναλλάκτες θερμότητας, άλλους σωλήνες βρόγχων, γεωθερμικούς εναλλάκτες κ.λπ..
- Οι γεωθερμικές γεωτρήσεις υπόγειων υδάτων: Γεωτρήσεις, κατασκευή οπών και ολοκλήρωσή τους
- Κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες θερμότητας: Γεωτρήσεις, εγκατάσταση και ολοκλήρωση (έγχυση ενέματος ή ανοικτή ολοκλήρωση
- Διάταξη αγωγών για οριζόντιους βρόγχους
- Άλλοι τύποι εναλλακτών θερμότητας εδάφους
- Σύνδεση σε αντλία θερμότητας ή άλλα συστήματα, ολοκλήρωση συστημάτων, διεπαφές
- Λαμβάνοντας υπόψη τις μεγάλες διαφορές στο κλίμα και τη γεωλογία, θα μπορούσε να είναι μια επιλογή τα πρότυπα με γενικό πλαίσιο για την Ευρώπη και ειδικά παραρτήματα σε χώρες (ή περιοχές).

Σε γενικές γραμμές, η πιστοποίηση των ειδικών και των συνιστώσων του συστήματος ΓΑΘ θα εγγυάται την ποιότητα και την ορθή λειτουργία των συστημάτων ΓΑΘ και θα βοηθήσει την ευρωπαϊκή αγορά να έχει ραγδαία ανάπτυξη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΕΠΙΔΟΣΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

14.1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η υλοποίηση ενός έργου με ένα αποτελεσματικό σύστημα Θερμότητας, Αερισμού και κλιματισμού (HVAC) ΓΑΘ είναι αδύνατη χωρίς τη γνώση για τις τεχνικές λεπτομέρειες του έργου και, ταυτόχρονα, τις νομικές πτυχές της ανάπτυξης. Κατά τη διάρκεια των μηχανικών έργων ενός τέτοιου πρότζεκτ (μελέτη, σχεδιασμός, υλοποίηση, δοκιμή και παράδοση), οι ειδικοί πρέπει να εξετάσουν όλα τα ρυθμιστικά στοιχεία που απαιτούνται από τα πρότυπα ενεργειακής επίδοσης.

Συνήθως, όχι μόνο μεταξύ όσων είναι εξοικειωμένοι με τον τομέα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αλλά ακόμη και στους ειδικούς, υπάρχει μία ευρέως διαδεδομένη άποψη ότι μια λύση ενός συστήματος HVAC με ΓΑΘ είναι αποτελεσματική μόνο και μόνο επειδή εξάγει από το έδαφος ένα μέρος της θερμικής ενέργειας, χρήσιμο για ένα κτίριο.

Δύο πρόσφατες οδηγίες της ΕΕ (EPBD – Οδηγία για την Ενεργειακή Επίδοση Κτιρίων και RESD - Οδηγία για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) έχουν διευκρινίσει πολλές πτυχές της απόδοσης στα κτίρια με συστήματα HVAC ΓΑΘ. Οι οδηγίες αναφέρουν ότι μόνο οι εφαρμογές που έχουν εποχιακό συντελεστή απόδοσης καλύτερο από μια συγκεκριμένη τιμή είναι αποτελεσματικές. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα προσπαθήσουμε να διευκρινίσουμε ποιο είναι το ελάχιστο επίπεδο απόδοσης και πώς υπολογίζουμε την προστιθέμενη ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Θα καθορίσουμε επίσης την EPBD και τη RESD σε σχέση με τα έργα ενεργειακής επίδοσης με ΓΑΘ HVAC και θα εξηγήσουμε τη χρήση της πρωταρχικής έννοιας της ενέργειας ως ενοποιητικό στοιχείο μεταξύ ενέργειες εισόδου και εξόδου.

Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται εδώ απαιτούνται από την έναρξη της φάσης της πραγματοποίησης της μελέτης για μια εφαρμογή ΓΑΘ, και είναι εξαιρετικά χρήσιμο στο στάδιο της παρακολούθησης της εφαρμογής, έτσι ώστε όλα τα μηχανικά στάδια που εμπλέκονται σε ένα έργο με ΓΑΘ να ζητούν να είναι διαθέσιμες οι έννοιες και οι κατευθυντήριες γραμμές που παρουσιάζονται εδώ.

Σε όλη την Ευρώπη και σε όλο τον κόσμο, η προσέγγιση στα συστήματα ΓΑΘ HVAC βρίσκονται σε ένα στάδιο ωρίμανσης. Τα έγγραφα προγραμματισμού που εγκρίθηκαν από την ΕΕ κατά τα τελευταία δύο χρόνια δεν περιορίζονται πλέον στον καθορισμό των στόχων στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της ανάπτυξης αποδοτικών κτιρίων, αλλά έχουν αλλάξει προς την ποσοτικοποίηση της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ και προς τη θέσπιση ελάχιστων απαιτήσεων επίδοσης σε αυτόν τον τομέα. Μάλιστα, η νέα αυτή προσέγγιση έχει ως αποτέλεσμα την στροφή προς την ποιότητα και όχι στην ποσότητα.

Η εμφάνιση της έννοιας του «Net Zero Energy Building» («Κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης») στο ευρωπαϊκό κανονιστικό σύστημα, καθώς επίσης και στις ΗΠΑ,

απαίτησε αποσαφήνιση των αλγορίθμων που καθορίζουν αν ένα κτίριο ανήκει στην κατηγορία μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης ή όχι.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν σωστά τις απαιτήσεις των RESD και EPBD διατάξεων, ένας ειδικός χρειάζεται: να έχει κατανοήσει διεξοδικά την ουσία των δύο εγγράφων, να έχει κατανοήσει σωστά την ενεργειακή απόδοση στα θέματα εφαρμογής των ΓΑΘ HVAC και τον συντελεστή απόδοσης, τις ειδικές απαιτήσεις της γεωγραφικής περιοχής στην οποία εκτελείται το έργο και τις απαιτήσεις του συστήματος από την άποψη της θέρμανσης ή / και ψύξης. Αυτή η γνώση επιτρέπει σε κάθε πιστοποιημένο ειδικό σε ΓΑΘ HVAC να πραγματοποιεί χρηστά και αποτελεσματικά σχέδια.

Οι ειδικοί που συμμετέχουν σε αυτή τη δραστηριότητα πρέπει να είναι μηχανικοί οι οποίοι έχουν μια βαθιά κατανόηση των εννοιών της ενέργειας, που έχουν λάβει μια σειρά μαθημάτων θεωρημένων από μια εξειδικευμένη αρχή και που εξετάστηκαν από μια εξουσιοδοτημένη επαγγελματική δομή πιστοποίησης.

14.2. ΟΔΗΓΙΕΣ

Για να εκτιμήσουμε σωστά την ποιότητα ενός έργου γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, πρέπει να εξεταστούν οι δύο οδηγίες EPBD και RESD, που καθιερώνουν τις επιπτώσεις της χρήσης γεωθερμικής πηγής χαμηλής ενθαλπίας στο κτίριο του έργου και τις μεθόδους υπολογισμού που χρησιμοποιούνται για την οικονομία ενέργειας και τη μείωση των εκπομπών CO₂.

Η γεωθερμική ζήτηση μπορεί να ποσοτικοποιηθεί μόνο με μια λεπτομερή ανάλυση του κτιρίου και των θερμικών εγκαταστάσεων του, των οποίων η κύρια πηγή ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια. Για την καλύτερη κατανόηση του μηχανισμού αυτού θα χρησιμοποιήσουμε το σχήμα απ' την εικόνα 14.1, το οποίο δείχνει το εξής:

- Υπάρχει μια συνεχής ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ του κτιρίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, που περνά απ' το κέλυφος του κτιρίου. Η εξωτερική θερμοκρασία στις κρύες εποχές του χρόνου παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο. Η άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζει σημαντικά την εσωτερική θερμοκρασία του αέρα το καλοκαίρι και το χειμώνα. Η ανάγκη για φρέσκο αέρα στο κτίριο επιτυγχάνεται με τον αερισμό. Κανένα από αυτά τα θέματα μπορεί να αγνοηθεί από την ετήσια ενεργειακή ισορροπία του κτιρίου
- Το σύστημα HVAC του κτιρίου είναι αυτό το σύστημα των εσωτερικών εγκαταστάσεων που εξασφαλίζει την άνεση στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων.

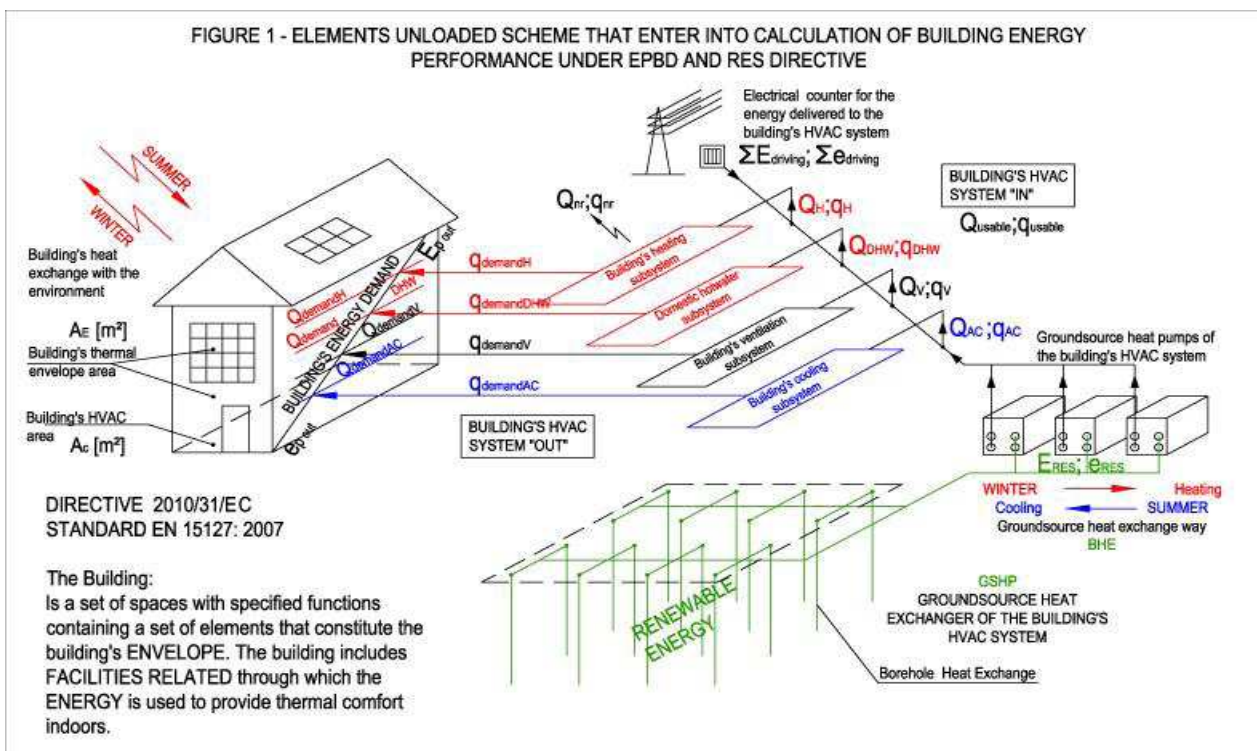
Το σύστημα HVAC περιέχει:

- Υποσύστημα θέρμανσης
- Υποσύστημα θερμού νερού
- Το υποσύστημα αερισμού
- Τα υποσύστημα ψύξης (κλιματισμός).

Το σύστημα HVAC, μέσω των υποσυστημάτων του, ικανοποιεί τη ζήτηση θερμικής ενέργειας του κτιρίου, την ενεργειακή ζήτηση.

Μεταξύ εξωτερικού συστήματος HVAC ενός κτιρίου και εσωτερικού συστήματος HVAC ενός κτιρίου υπάρχει μια διαφορά τιμής που εκφράζεται από την απώλεια ενέργειας του συστήματος HVAC ενός κτιρίου.

- Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας του κτιρίου αποτελούν μέρος του συστήματος HVAC της. Σήμερα, οι περισσότερες είναι ηλεκτροκίνητες και έτσι χρειάζονται ηλεκτρική ενέργεια για να διατηρήσουν την ανταλλαγή θερμότητας στο έδαφος. Στις εύκρατες και κυρίως ζεστές ευρωπαϊκές χώρες, οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι αναστρεφόμενες και έτσι διαθέτουν και λειτουργία θέρμανσης και λειτουργία ψύξης. Στις ευρωπαϊκές χώρες με ψυχρό κλίμα, κυρίως, οι αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται μόνο για τη θέρμανση, την επίτευξη της θέρμανσης του κτιρίου χωρίς τη χρήση του κύκλου ψύξης της θερμικής μηχανής.
- Η γεωθερμική ενέργεια χαμηλής ενθαλπίας λαμβάνεται από το έδαφος γυρίζοντας τη θερμική μηχανή με τον εξαμιστή νερού από κλειστό κύκλωμα σε ανοικτό κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή θερμότητας με το έδαφος.



Εικόνα 14.1. Υπολογισμός της ενεργειακής απόδοσης κτιρίου υπό τις οδηγίες EPBD και RES

14.3. ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΟΔΗΓΙΕΣ EPBD και RESD

14.3.1. Ενεργειακή απόδοση του κτιρίου

Η παράμετρος της ποιότητας του κτιρίου δίδεται από την ενέργεια που καταναλώνεται αποτελεσματικά ή εκτιμάται ότι είναι απαραίτητη για να ανταποκριθεί στην κανονική χρήση του κτιρίου.

14.3.2. Η ανάγκη απόδοσης

Το ελάχιστο επίπεδο της ενεργειακής επίδοσης που πρέπει να πληρούται ώστε ιδιοκτήτης του κτιρίου να μπορεί να αποκτήσει ορισμένα πλεονεκτήματα που θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη χορήγηση άδειας κατασκευής του κτιρίου, το σήμα ποιότητάς και το δικαίωμα να το ενοικιάσει ή να το πωλήσει.

14.3.3. Δείκτης ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου EP

Πρόκειται για έναν παγκόσμιο δείκτη που αντιπροσωπεύει το αλγεβρικό σταθμισμένο άθροισμα της ενέργειας που παρέχεται στο κτίριο από το εξωτερικό για όλους τους τύπους ενέργειας (για παράδειγμα: το κτίριο στην Εικόνα 14.1 χρησιμοποιεί δύο τύπους ενέργειας: ηλεκτρική και γεωθερμική).

14.3.4. Τρόποι για να εκφραστεί ο δείκτης απόδοσης

- Με την ετήσια συγκεκριμένη τιμή χρήσης πρωτογενούς ενέργειας για το κτίριο [kWh/m² ανά έτος]
- Με τη συγκεκριμένη τιμή εκπομπών του οικολογικού σπιτιού, που παράγονται από τις πηγές συστήματος HVAC του κτιρίου [kg CO₂/m² ανά έτος].

14.3.5. Πρωτογενής ενέργεια

Είναι η ενέργεια που δεν έχει υποβληθεί σε οποιαδήποτε μετατροπή ή μετασχηματισμό της διαδικασίας και προέρχεται από πηγές όπως:

- Μη ανανεώσιμες: ορυκτά καύσιμα, πυρηνική ενέργεια
- Ανανεώσιμες: ορίζονται στην οδηγία RES

14.3.6. Συντελεστής μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή ενέργεια στο χώρο της κοινότητας

Για τις ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας, σύμφωνα με την απόφαση της 9 Νοεμβρίου 2007, που δημοσιεύεται στην Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης – L301/14, 20 Νοέμβρη 2007, ο συντελεστής μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε πρωτογενή έχει τιμή:

$$(1) f_{ee} = 2.5$$

Αυτό σημαίνει ότι:

$$(1) 1 \text{ kWh ηλεκτρικής ενέργειας} = 2,5 \text{ kWh πρωτογενούς ενέργειας}$$

Η παρούσα απόφαση βασίζεται σε μια ευρωπαϊκή μέση απόδοση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών από το δίκτυο διανομής, και έχει τιμή:

(2) $\eta_{\text{tot}} = 0.4$ μέση απόδοση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα (παράρτημα II της οδηγίας 2006/32/EK)

Με την ίδια απόφαση της Επιτροπής, η Ευρωπαϊκή μέση απόδοση φυσικού αερίου, που χρησιμοποιείται ως πηγή που παράγει θερμική ενέργεια, έχει τιμή:

(3) $\eta_{\text{gas}} = 0,91$ μέση απόδοση για τη μετατροπή της ενέργειας του φυσικού αερίου σε ενέργεια για τον τελικό καταναλωτή

Η τιμή αυτή αφορά την απώλεια του συστήματος διανομής φυσικού αερίου και επιτρέπει τον υπολογισμό του συντελεστή μετατροπής της ενέργειας φυσικού αερίου σε πρωτογενή ενέργεια:

(4) $f_{\text{gas}} = 1,1 = 1 / \eta_{\text{gas}} = 1,1$ συντελεστής μετατροπής της ενέργειας του φυσικού αερίου σε πρωτογενή ενέργεια (Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης L114/76: 27.4.2006)

Για τον προσδιορισμό των τιμών του συντελεστή μετατροπής που αναφέρονται παραπάνω, λήφθηκε υπόψη η οδηγία 2006/32/CE του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της Ευρώπης της 5ης Απριλίου 2006, σχετικά με την ενεργειακή απόδοση για τους τελικούς καταναλωτές και τις ενεργειακές υπηρεσίες.

14.3.7. Δείκτης Ενεργειακής Επίδοσης Κτιρίων ως πρωτογενής ενέργεια

Εκφράζει την ετήσια ειδική χρήση πρωτογενούς ενέργειας του κτιρίου ep_{in} σε κλιματιζόμενο χώρο και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$(5) ep_{in} [\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ ανά έτος}] = ep_{in} [\text{kWh} / \text{έτος}] / A_c [\text{m}^2]$$

όπου:

- $ep_{in} [\text{kWh} / \text{έτος}]$ είναι η ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου που εκφράζεται ως πρωτογενής ενέργεια
- $A_c [\text{m}^2]$ είναι η κλιματιζόμενη επιφάνεια του κτιρίου που καθορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο και αντιπροσωπεύει το άθροισμα των επιφανειών των δαπέδων των δωματίων που χρησιμοποιούν το σύστημα HVAC. Δεν περιλαμβάνονται εδώ οι ακατοίκητοι χώροι, όπως τα μη θερμαινόμενο δωμάτια - υπόγεια, σοφίτες και αποθήκες.

14.3.8. Δείκτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων ως εκπομπές αερίων θερμοκηπίου

Αυτό εκφράζει τον συγκεκριμένο ρύπο θερμοκηπίου GES, σε κλιματιζόμενο χώρο του κτιρίου και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$(6) \text{GES} [\text{kg CO}_2/\text{m}^2 \text{ ανά έτος}] = m \text{CO}_2 [\text{kg CO}_2 \text{ ετησίως}] / A_c [\text{m}^2]$$

όπου:

- $m\text{CO}_2 [\text{kg CO}_2 / \text{ανά έτος}]$ είναι το άθροισμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, υπολογιζόμενο σε ισοδύναμα kg CO_2 ανά έτος.

Ο συντελεστής εκπομπών GES ειδικός για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κοινοτικό επίπεδο, που προκύπτει από το σταθμισμένο υπολογισμό των εθνικών συντελεστών εκπομπών για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έχει τιμή:

$$(7) f_{EE} = 0,486 \text{ kg CO}^2/\text{kWh}$$

Ο συντελεστής εκπομπών GES, ειδικός για την καύση φυσικού αερίου σε λέβητες για την παραγωγή ζεστού νερού έχει τιμή:

$$(8) f_{NG} = 0,29 \text{ kg CO}^2/\text{kWh}$$

14.3.9. Ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές

Η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές είναι γνωστή ως E_{RES} [kWh / έτος] και είναι η μη ορυκτή ενέργεια που χρησιμοποιείται από το σύστημα HVAC του κτιρίου για την ικανοποίηση των ενεργειακών αναγκών του. Η ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνει την αιολική, την ηλιακή, την αερο-θερμική, τη γεωθερμική, την υδροθερμική, την ενέργεια από τους ωκεανούς, την υδροηλεκτρική ενέργεια και την ενέργεια της πτώσης του νερού, τα αέρια από τη βιομάζα και τα βιοαέρια που προέρχονται από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αποβλήτων της πόλης, οργανικών και άλλων που έχουν υποστεί ζύμωση.

Η ομάδα της γεωθερμικής, αεροθερμικής και υδροθερμικής ενέργειας αντιπροσωπεύει την ενέργεια που αποθηκεύεται υπό μορφή θερμότητας κάτω από την επιφάνεια της γης, στον αέρα και στην επιφάνεια των νερών (λίμνες, θάλασσες, τους ωκεανούς κ.λπ.).

14.3.10. Της ενεργειακής ζήτησης του κτιρίου

Η ανάγκη ενέργειας είναι γνωστή ως Q_{demand} ή E_{pout} [kWh / έτος] και αντιπροσωπεύει το σταθμισμένο άθροισμα της ζήτησης ενέργειας των υποσυστημάτων του κτιρίου HVAC.

$$(9) Q_{demand} = Q_{demandH} + Q_{demandDHW} + Q_{demandV} + Q_{demandAC} \text{ [kWh / έτος]}$$

όπου:

- $Q_{demandH}$ [kWh / έτος] = ενεργειακή ζήτηση υποσυστήματος θέρμανσης
- $Q_{demandDHW}$ [kWh / έτος] = ενεργειακή ζήτηση υποσυστήματος που παράγει το ζεστό νερό

για οικιακή κατανάλωση

- $Q_{demandV}$ [kWh / έτος] = ενεργειακή ζήτηση του υποσυστήματος αερισμού
- $Q_{demandAC}$ [kWh / έτος] = ενεργειακή ζήτηση υποσυστήματος ψύξης

14.3.11. Ενεργειακή ζήτηση για το σύστημα HVAC του κτιρίου

Η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για να ικανοποιήσει τη ζήτηση κτίριο που είναι γνωστή ως Q_{usable} [kWh / yr] ή E_{pin} [kWh / έτος] και για να το υπολογίσουμε θα πρέπει να εκτιμήσουμε την ενεργειακή απώλεια των υποσυστημάτων HVAC του κτιρίου, που δηλώνεται ως Q_{nr} [kWh / έτος].

Ο τύπος υπολογισμού της Q_{usable} είναι:

$$(10) Q_{usable} = Q_{demandH} + Q_{demandDHW} + Q_{demandV} + Q_{demandAC} + q_{nr} \text{ [kWh / yr]}$$

ή:

$$(11) Q_{usable} = Q_{demand} + Q_{nr}$$

Κάθε όρος της εξίσωσης (10) καθορίζεται από μία ειδική τεχνολογία. Για παράδειγμα, για τη $Q_{demandH}$ ορίστηκε το πρότυπο EN 15316-1:2007, με βάση διάφορα πακέτα λογισμικού (Energy Plus, TRNSYS, TRACE 700 Σχεδιασμός φορτίου κ.λπ.), που επίσημα έχουν συμφωνηθεί από κάθε κοινότητα, λογισμικό που μπορεί να συγχωνευθεί σε ένα ενιαίο λογισμικό για όλες τις χώρες της κοινότητας.

Όταν ένα σύστημα HVAC του κτιρίου μειώνεται μόνο για τη θέρμανση και την παραγωγή ζεστού νερού, η εξίσωση (10) γίνεται:

$$(12) Q_{usable} = Q_{demandH} + Q_{demandDHW} + Q_{nr} \text{ [kWh / έτος]}$$

όπου Q_{nr} [kWh / έτος] αντιπροσωπεύει τις ετήσιες απώλειες ενέργειας των υποσυστημάτων θέρμανσης και ζεστού νερού.

14.3.12. Χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για το σύστημα HVAC του κτιρίου

Ονομάζεται $\Sigma E_{driving}$ [kWh / έτος].

Σε ένα σύστημα HVAC αντλιών θερμότητας, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας " $\Sigma E_{driving}$ " έχει δύο συνιστώσες:

- Την ετήσια ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας και κατά τη χρήση $1 \div n$ αντλίες θερμότητας, το μέγεθος της πρώτης συνιστώσας είναι:

$$(13) \sum_{i=1}^n E_{driving I}^{HP} \text{ [kWh / έτος]}$$

- Την ετήσια κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία όλων των άλλων στοιχείων του συστήματος HVAC, εκτός από τις αντλίες θερμότητας. Αυτό το στοιχείο αντιπροσωπεύει το άθροισμα της χρήσης της ενέργειας για τις αντλίες κυκλοφορίας, ανεμιστήρες και μονάδες σπειρών ανεμιστήρων για θέρμανση και ψύξη:

$$(14) \sum_{i=1}^n E_{driving}^{pumps}, \sum_{i=1}^n E_{driving}^{fancoils}$$

Έτσι, μπορούμε να γράψουμε:

$$(15) \Sigma E_{driving} = \sum_{i=1}^n E_{driving I}^{HP} + (\sum_{i=1}^n E_{driving}^{pumps} + \dots)$$

Η εξίσωση (14) μας βοηθά να αξιολογήσει την ετήσια χρήση ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα HVAC για τις δύο συνιστώσες:

- Ο πρώτος όρος της εξίσωσης (15) αντιπροσωπεύει μια "θετική" χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας, διότι χωρίς ηλεκτρική ενέργεια, δεν μπορούμε να εξαγάγουμε πρωτογενή ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές. Επιπλέον, το θερμαντικό ισοδύναμο για την ετήσια ενεργή ενέργεια για τις αντλίες θερμότητας μπορεί να αποδειχθεί χρήσιμο συστατικό της θερμότητας στο σύστημα HVAC του κτιρίου.
- Ο δεύτερος όρος της εξίσωσης (15) αντιπροσωπεύει μια απώλεια στο πλαίσιο του συστήματος HVAC, και το καλύτερο είναι, στα συστήματα θερμότητας HVAC με βάση την αντλία, να είναι όλοι οι όροι σε παρένθεση όσο το δυνατόν μικρότεροι και όχι μεγαλύτεροι ή ίσοι με το 10% της τιμής $\Sigma E_{driving}$.

Έχοντας κάνει αυτή την εκτίμηση, μπορούμε να ξαναγράψουμε την εξίσωση (15) ως εξής:

$$(16) \sum E_{\text{driving}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{driving}}^{\text{HP}} + Q_{\text{nr}}^{\text{driving}} \text{ [kWh / έτος]}$$

όπου το $Q_{\text{nr}}^{\text{driving}}$ αντιπροσωπεύει την απώλεια ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση ενέργειας στη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών των υποσυστημάτων HVAC. Δηλαδή:

$$(17) Q_{\text{nr}}^{\text{driving}} = \sum_{i=1}^n E_{\text{driving}}^{\text{pumps}} + (\sum_{i=1}^n + E_{\text{driving}}^{\text{fancoil}} \dots)$$

Στην περίπτωση της χρήσης ΓΑΘ και υπολογίζοντας ένα όριο απώλειας της τάξης του 10%, μπορούμε να γράψουμε:

$$(18) Q_{\text{nr}}^{\text{driving}} = 0,1 \sum E_{\text{driving}} \text{ [kWh / έτος]}$$

ή:

$$(19) \sum E_{\text{driving}} = 1,1 \sum_{i=1}^n E_{\text{driving}}^{\text{HP}} \text{ [kWh / έτος]}$$

Σε άλλες εφαρμογές με αεροθερμικές ή υδροθερμικές αντλίες θερμότητας, η θερμοκρασία πηγής εξαρτάται από τη μεταβλητή θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου και είναι δυνατή μόνο με τη χρήση πρόσθετων πηγών ενέργειας από ορυκτές πηγές, όπως η ηλεκτρική ενέργεια, το φυσικό αέριο και το υγροποιημένο καύσιμο.

Πρόσθετες πηγές κβαντικής ενέργειας θα αυξήσουν την τιμή $\sum E_{\text{driving}}$, αυξάνοντας την τιμή του Q_{nr} όταν το συμπλήρωμα της ενέργειας θέρμανσης είναι ηλεκτρικό:

$$(20) Q_{\text{nr}} = Q_{\text{nr}}^{\text{driving}} + Q_{\text{nr}}^{\text{resistor}} \text{ [kWh / έτος]}$$

ή:

$$(21) Q_{\text{nr}} = Q_{\text{nr}}^{\text{driving}} + Q_{\text{nr}}^{\text{resistor}} + Q_{\text{fuel}} \text{ [kWh / έτος]}$$

όταν το συμπλήρωμα της ενέργειας θέρμανσης είναι και ηλεκτρικό και από πρόσθετο καύσιμο.

14.3.13. Η συνεισφορά ανανεώσιμης ενέργειας που παρέχεται στο κτίριο

Για την ομάδα με τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τη χρήση αντλιών θερμότητας, τη γεωθερμική, αεροθερμική και υδροθερμική ενέργεια, η οδηγία ΑΠΕ όρισε στο παράρτημα VII την ακόλουθη σχέση:

$$(22) E_{\text{RES}} = Q_{\text{usable}} (1-1/\text{SPF}) \text{ [kWh / έτος]}$$

όπου:

- E_{RES} είναι η ετήσια ανανεώσιμη ενέργεια που επιτυγχάνεται με τη χρήση αντλιών θερμότητας
- Q_{usable} είναι η ενεργειακή ζήτηση του συστήματος HVAC του κτιρίου, το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση (10).

Ο SPF είναι ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης του συστήματος HVAC του κτιρίου, και ορίζεται ως εξής:

$$(23) \text{SPF} = Q_{\text{usable}} / \sum E_{\text{driving}} \text{ [-]}$$

όπου:

- Το $\Sigma E_{\text{driving}}$ αντιπροσωπεύει, κατά τη χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, την ετήσια συνολική ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται από το σύστημα HVAC για να καλύψει τη θέρμανση, την παραγωγή ζεστού νερού οικιακής χρήσης, τον αερισμό και τον κλιματισμό.

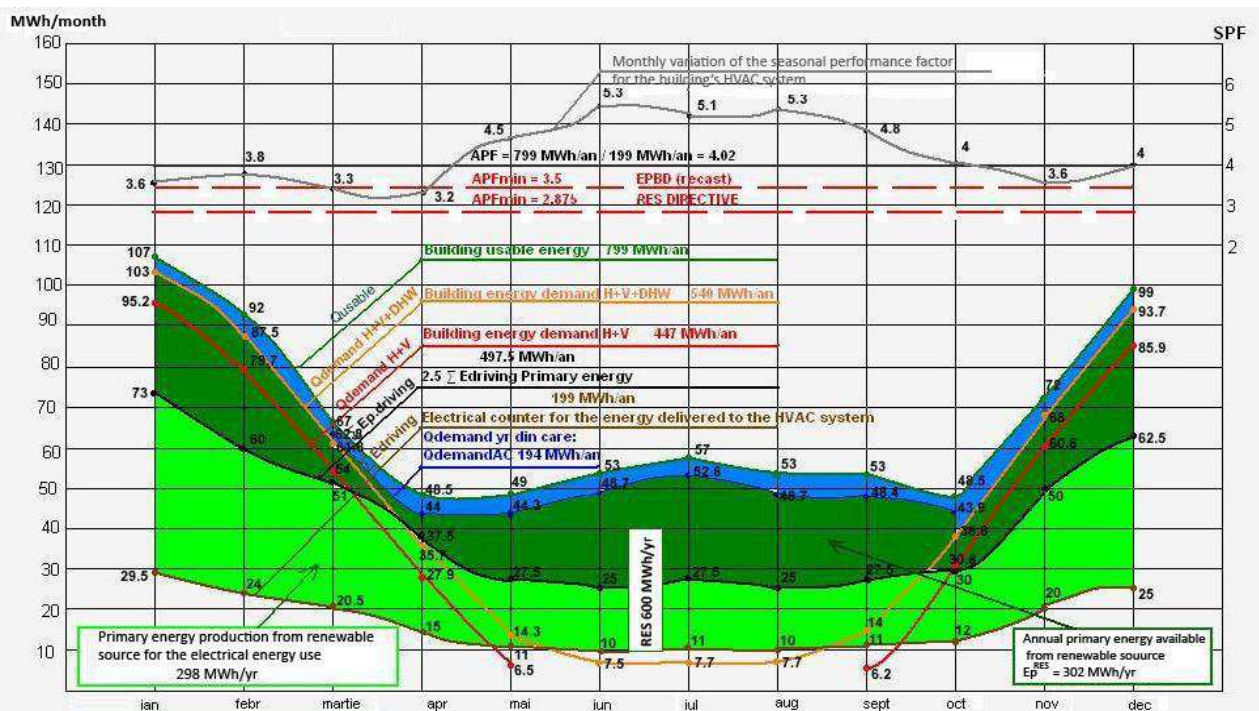
Η εξίσωση (23) είναι σχετικά εύκολη στη χρήση, διότι η Q_{usable} μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό που προσομοιώνει την κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου για ένα χρόνο και το $\Sigma E_{\text{driving}}$ είναι το άθροισμα των μηνιαίων μετρήσεων ηλεκτρικής ενέργειας για το σύστημα HVAC του κτιρίου. Η ευθύνη για τον καθορισμό της Q_{usable} δίνεται σε ένα εξουσιοδοτημένο πρόσωπο, το οποίο ονομάζεται «ελεγκτής ενέργειας» και ορίζεται από τις προβλέψεις του EPBD και λειτουργεί ανεξάρτητα. Η ευθύνη για τον καθορισμό των θεωρητικών παραλλαγών της ενέργειας που απαιτείται από τα υποσυστήματα HVAC βρίσκεται στο μηχανικό του συστήματος HVAC του κτιρίου.

Μια ανάλυση για την ετήσια θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου από τη Ρουμανία φαίνεται στην Εικόνα 14.2. Το κτίριο βρίσκεται σε μια αστική περιοχή, η οποία έχει ένα ανασχεδιασμένο σύστημα HVAC με αναστρέψιμες αντλίες θερμότητας με θερμική πηγή εδάφους. Έχει παρατηρηθεί ότι το SPF έχει μέγιστη τιμή το καλοκαίρι, όταν οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται ως ψύκτες και ελάχιστη τιμή κατά τη μεταβατική περίοδο μεταξύ των κρύων και των ζεστών εποχών του έτους.

Χρησιμοποιώντας τον εποχιακό συντελεστή (που καθορίζεται μηνιαίως και τόσο στις κρύες [Οκτ-Δεκ και Ιαν-Απρ] όσο και τις ζεστές [Απρ-Οκτ] περιόδους του έτους στην περίπτωση που αναλύθηκε) ορίζεται μια μέση τιμή, που ονομάζεται:

$$APF = SPF_{\text{yr}} \text{ ετήσιος συντελεστής επίδοσης}$$

Ο APF προσδιορίζεται με την ενσωμάτωση των μηνιαίων τρέχουσων τιμών.



Εικόνα 14.2. Γραφική αναπαράσταση των μηνιαίων διακυμάνσεων της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης του κτιρίου και τον εποχιακό συντελεστή απόδοσης

14.4. ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ SPF ΚΑΙ APF ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΣΧΕΔΙΑΣΤΕΣ HVAC-ΓΑΘ

Για τον μηχανικό ΓΑΘ, ο κατακόρυφος εναλλάκτης θερμότητας (ΒΗΕ) που απαιτείται για τον υπολογισμό είναι ο εξής:

- Μηνιαία διακύμανση της δύναμης και της ενέργειας από το σύστημα HVAC
- Επίδοση της αντλίας θερμότητας.

Και τα δύο συνδέονται με τη μεταβολή της ενέργειας που δίνεται από $\Sigma E_{\text{driving}}$. Αυτή η μεταβλητή εμφανίζεται στις εξισώσεις:

$$(24) Q_{\text{usable}} = E_{\text{RES}} + \Sigma E_{\text{driving}} \text{ [kWh / έτος]}$$

$$(25) \Sigma E_{\text{driving}} = Q_{\text{usable}} / \text{SPF} \text{ [kWh / έτος]}$$

Αν εξαλείψουμε τη μεταβλητή $\Sigma E_{\text{driving}}$ από την εξίσωση (24), χρησιμοποιώντας την εξίσωση (25), έχουμε:

$$(26) Q_{\text{usable}} = E_{\text{RES}} + Q_{\text{usable}} / \text{SPF} \text{ [kWh / έτος]}$$

ή:

$$(27) E_{\text{RES}} = Q_{\text{usable}} (1 - 1/\text{SPF}) \text{ [kWh / έτος]}$$

Η εξίσωση (27) μας λέει ότι η ετήσια διακύμανση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που πρέπει να παρέχει ο ΒΗΕ στο σύστημα HVAC-ΓΑΘ του κτιρίου εξαρτάται από τη ζήτηση ενέργειας του συστήματος HVAC και την εποχιακή διακύμανση του συντελεστή επίδοσης.

Έτσι, ο μηχανικός της ΓΑΘ πρέπει να γνωρίζει και να ενσωματώσει σε αυτή εκτίμηση τα κατώτερα όρια του εποχιακού συντελεστή επίδοσης όπως προβλέπεται από την κοινοτική νομοθεσία.

Οι δύο αυτές οδηγίες της ΕΕ που απαρτίζουν τους «Κώδικες Ενέργειας- Επίδοσης για τα κτίρια» είναι εξαιρετικά σημαντικές και σύμφωνα με αυτά τα κριτήρια δεν είναι όλες οι εφαρμογές αντλιών θερμότητας τύπου ΓΑΘ επιτυχείς. Έτσι, σύμφωνα με το παράρτημα VII - Οδηγία RES: «μόνο οι εφαρμογές αντλιών θερμότητας φυσικού περιβάλλοντος που ικανοποιούν τη συνθήκη (29) θα είναι αποδεκτές»:

$$(28) \text{SPF}_{\text{HP}} > 1,15 \times 1 / \eta_{\text{tot}}$$

Εάν το η_{tot} δίνεται από τον τύπο (2), τότε:

$$(29) \text{SPF}_{\text{HP}} > 2,875$$

Ο ετήσιος μέσος όρος SPF_{HP} , που ονομάζεται APF από την οδηγία RES όπου η εφαρμογή που αναλύθηκε σε σχέση με την εξίσωση (29), όπως στην Κοινοτική Νομοθεσία και οι τιμές SPF είναι πάνω από το όριο του 2,875.

Επιπλέον, η οδηγία EPB ορίζει το «ΚΤΙΡΙΟ ΜΕ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ» το οποίο είναι ένα κτίριο που, ως αποτέλεσμα ενός πολύ υψηλού επιπέδου ενεργειακής επίδοσης, έχει ετήσια συνολική χρήση ίση ή μικρότερη από την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτή η εξίσωση σημαίνει:

$$(30) E_{\text{RES}} \geq 2,5 \Sigma E_{\text{driving}}$$

Αν λάβουμε υπόψη ότι, εξ ορισμού, $\text{SPF} = Q_{\text{usable}} / \Sigma E_{\text{driving}}$, έχουμε:

$$(31) E_{\text{RES}} \geq 2,5 Q_{\text{usable}} / \text{SPF}$$

Αν συνδυάσουμε τις εξισώσεις (31) και (27), έχουμε $Q_{usable} (1-1/SPF) \geq 2,5 Q_{usable}/SPF$:

(32) $SPF_{min} EPB$ οδηγίας (αναδιατύπωση) $\geq 3,5$ για ΓΑΘ υπογείων ή επιφανειακών υδάτων και $\geq 3,75$ για ΓΑΘ εδάφους.

Αν συνεχίσουμε την ανάλυσή μας με E_p^{RES} ως μέρος της πρωτογενούς ενέργειας που απομένει από την E_{RES} , αφού αφαιρέσουμε την τιμή της χρησιμοποιημένης ηλεκτρικής ενέργειας ($\Sigma E_{driving}$ σε πρωτογενείς μονάδες ενέργειας), έχουμε τις εξισώσεις:

$$(33) E_p^{RES} = Q_{usable} (1-1/SPF) [1-1,5 / (SPF-1)] \text{ [kWh / έτος]}$$

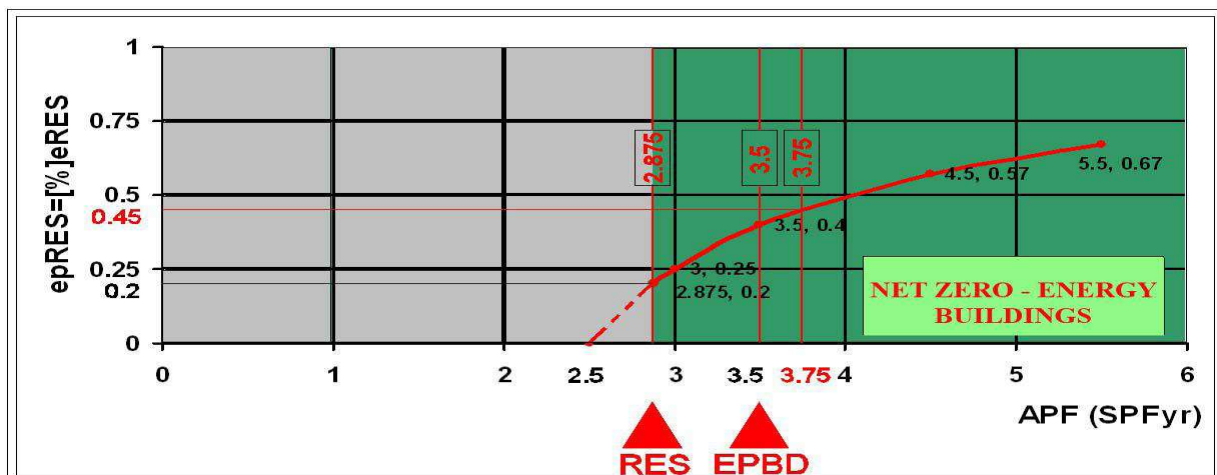
$$(34) E_{pRES} = E_{RES} [1-1,5 / (SPF-1)] \text{ [kWh / έτος]}$$

Και η (33) και η (34) μας βοηθούν να αναλύσουμε ευρύτερα τις ρυθμίσεις που περιγράφονται παραπάνω. Έτσι:

- Αν $SPF = 1$, τότε $E_{RES} = 0$. Το αποτέλεσμα αυτό δεν έχει κανένα νόημα
- Αν $SPF = 2,5$, τότε $E_{RES} = 0,6 Q_{usable}$ και $E_p^{RES} = 0$. Αυτή η παραλλαγή δεν έχει πρωτογενή ενέργεια διαθέσιμη, αφού επέτρεψε την τιμή της χρησιμοποιημένης ηλεκτρικής ενέργειας στο σύστημα HVAC του κτιρίου. Η εφαρμογή των αντλιών θερμότητας φυσικού περιβάλλοντος δεν είναι αποδεκτή στην Ευρώπη
- Αν $SPF \geq 2,875$, τότε $E_{RES} \geq 0,65 Q_{usable}$ και $E_p^{RES} \geq 0,2 E_{RES}$. Αυτή είναι η ελάχιστη προϋπόθεση που έχει τεθεί από την οδηγία RES απ' το παράρτημα VII. Η πρωτογενής ενέργεια που διατίθεται από ανανεώσιμες πηγές, μετά την παραχώρηση άδειας για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας, πρέπει να αντιστοιχεί τουλάχιστον στο 20% της τιμής της ανανεώσιμης ενέργειας. Στο φάσμα του SPF 2,5 - 2,875, ένα κτίριο εξοπλισμένο με αντλίες θερμότητας φυσικού περιβάλλοντος χρησιμοποιεί λιγότερη πρωτογενή ενέργεια από ό, τι παράγει, αλλά δεν είναι αποδεκτό από τη RES.
- Αν $SPF \geq 3,5$, τότε $E_{RES} \geq 0,71 Q_{usable}$ και $E_p^{RES} \geq 0,4 E_{RES}$. Ευρωπαϊκά κτίρια που είναι χτισμένα με αυτόν τον τρόπο, με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, μπορούν να ονομαστούν Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας, που παράγουν πάνω από 40% περισσότερη πρωτογενή ενέργεια από όση καταναλώνουν από ορυκτές πηγές.

Το Σχήμα 14.3. δείχνει γραφικά τη λειτουργία E_p^{RES} που εκφράζεται στην εξίσωση (31). Το σχήμα περιλαμβάνει τιμές SPF και APF που παρουσιάζουν έργα σε επιπέδο κατασκευής και εκμετάλλευσης, από υδροθερμικές και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι:

1. ΜΗ ΑΠΟΔΕΚΤΗ - όπου $SPF, APF < 2,875$
2. ΑΠΟΔΕΚΤΗ - όπου $2,875 \leq SPF, APF < 3,5$
3. ΚΑΛΗ και ΣΧΕΔΟΝ ΜΗΔΕΝΙΚΗ - όπου $SPF, APF \geq 3,5$ για υδροθερμικές αντλίες θερμότητας και $> 3,75$ για τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.



Σχήμα 14.3. Ελάχιστες επιδόσεις των τεχνικών συστημάτων κτιρίων που χρησιμοποιούν αντλίες θερμότητας φυσικού περιβάλλοντος, σύμφωνα με την οδηγία RES 2009 και EPB Αναδιατύπωση οδηγίας 2009

Οπότε, δεν είναι αρκετό να είναι η APF εντός των ορίων που καθορίζονται από μια συγκεκριμένη κατηγορία, αλλά είναι απαραίτητο οι εποχιακές τιμές, που ορίστηκαν από τον μέσο όρο των μηνιαίων τιμών, να είναι πάνω από τα όρια αυτά.

14.5. ΟΙ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ COP ΚΑΙ REE ΟΡΙΣΜΕΝΕΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Ο SPF είναι ένας δυναμικός διαφορετικός συντελεστής απόδοσης που διαφέρει ανά μήνα, εποχή και από έτος σε έτος, και ο οποίος εξαρτάται από την επίδοση «σταθερού σημείου» για το σύστημα αντλιών θερμότητας HVAC του κτιρίου.

Η «επίδοση σταθερού σημείου» μιας αντλίας θερμότητας σημαίνει την απόκριση μιας αντλίας θερμότητας όταν δοκιμάζεται υπό εργοστασιακές συνθήκες. Η πιστοποίηση επίδοσης της αντλίας θερμότητας βασίζεται στο EUROVENT.

Η απόφαση της Επιτροπής της 9ης Νοεμβρίου 2007, σχετικά με την καθιέρωση των οικολογικών κριτηρίων για την υποστήριξη οικολογικής σήμανσης για ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας περιορίζεται σε μια θερμαντική ικανότητα με ανώτατο όριο τα 100kW. Αυτή η ικανότητα καλύπτει αποτελεσματικά την μέγιστη θερμική ισχύ των αντλιών θερμότητας που πωλούνται στην Ευρώπη. Αυτή η ομάδα προϊόντων δεν περιλαμβάνει:

- αντλίες θερμότητας για την παραγωγή αποκλειστικά ζεστού νερού οικιακής χρήσης
- αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την εξαγωγή θερμότητας από ένα κτίριο και την εκκένωσή του στον αέρα, το έδαφος ή το νερό για την ψύξη του κτιρίου.

Η επίδοση της αντλίας θερμότητας καθορίζεται με τον ορισμό:

- του συντελεστή επίδοσης (COP) που αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ της ενέργειας θέρμανσης και της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για μια δεδομένη πηγή και μια ορισμένη ληφθείσα θερμοκρασία.
- της τιμής απόδοσης (REE) που αντιπροσωπεύει τη σχέση μεταξύ της ισχύος ψύξης και της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για μια δεδομένη πηγή και μια ορισμένη δοθείσα θερμοκρασία.

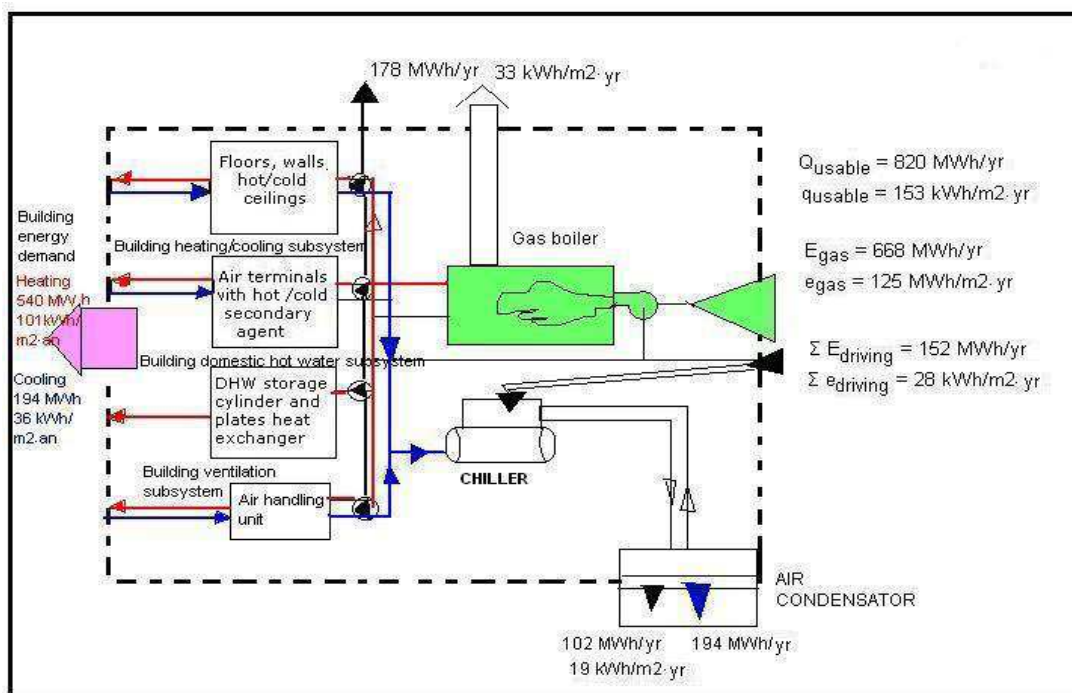
14.6. ΑΝΑΦΟΡΑ ΠΡΩΤΟΓΕΝΟΥΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΟΥ ΑΠΟΚΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ο σκοπός των μετρήσεων που προβλέπονται στην Οδηγία EPB (Αναδιατύπωση) είναι να αποκτηθεί πρωτογενής ενέργεια κατά τη διάρκεια της χρήσης ενέργειας από ορυκτές πηγές σε όλες τις εφαρμογές αντλιών θερμότητας φυσικού περιβάλλοντος, που προορίζονται για νέα κτίρια, αλλά και κατά τον εκσυγχρονισμό μεγάλου μέρους ενός ήδη υπάρχοντος κτιρίου. Στην περίπτωση των νέων κτιρίων, η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι υποχρεωτική.

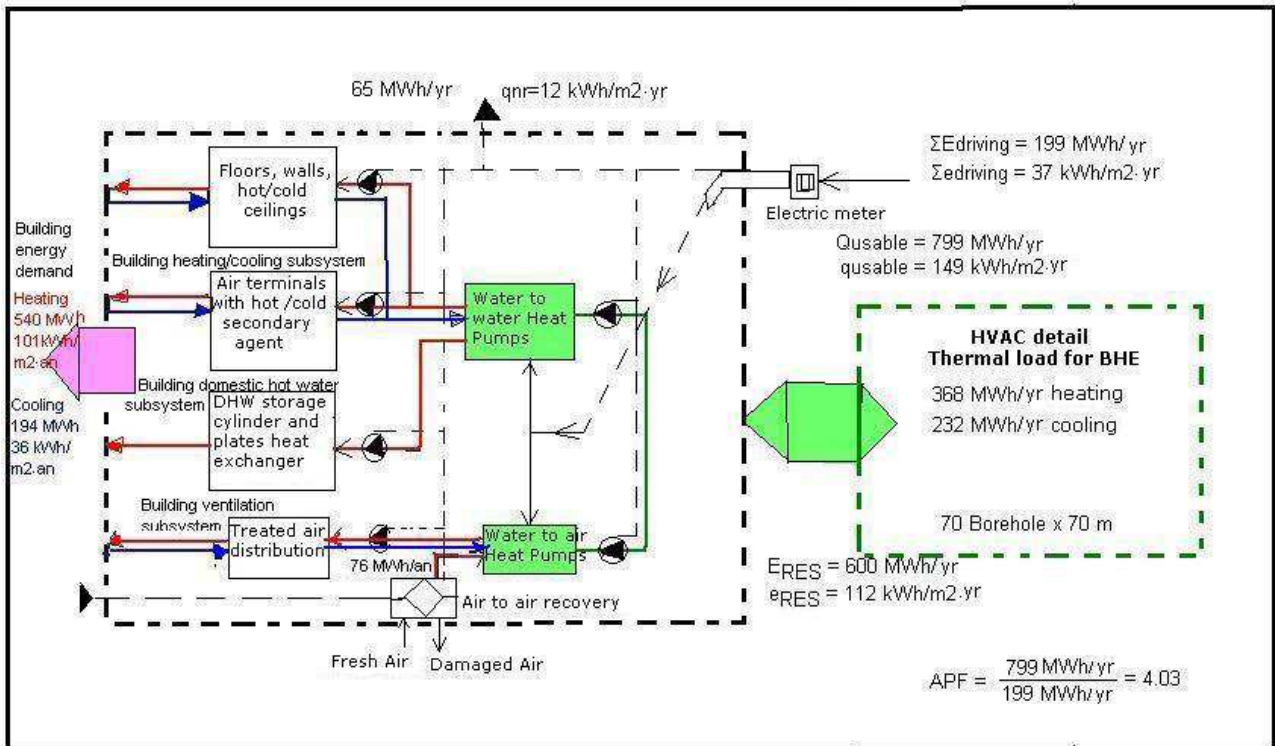
Η Γερμανία, κατά την αναμονή των διατάξεων του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, εισήγαγε, την 1η Ιανουαρίου 2009, ένα νόμο που προτείνει ανανεώσιμες πηγές στον τομέα της θέρμανσης. Τον Ιανουάριο του 2007, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε ένα πακέτο «Ενέργεια και κλίμα» με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 20% και την αύξηση της ποσότητας των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κατά 20% μέχρι το 2020.

Η τελική προθεσμία από τις Κρατικές Αρχές της εφαρμογής των μέτρων που προβλέπονται στην οδηγία EPB (Αναδιατύπωση) ήταν η 31η Δεκεμβρίου του 2010 (για όλα τα κτίρια με επιφάνεια > 250 m²).

Τα έγγραφα που αναφέρονται παραπάνω δίνουν την υποχρέωση για κάθε κράτος μέλος της ΕΕ να εξασφαλίσει έναν ανεξάρτητο μηχανισμό ελέγχου για τη διασφάλιση των πιστοποιητικών Ενεργειακής Επίδοσης Κτιρίων. Ζητήται από αυτά τα πιστοποιητικά να δηλώνουν σαφώς την ετήσια ειδική κατανάλωση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την πρωτογενή ενεργειακή οικονομία.



Εικόνα 14.4. Θερμικό ισοζύγιο ενός τυπικού συστήματος HVAC



Εικόνα 14.5. Θερμικό ισοζύγιο ενός γεωθερμικού συστήματος HVAC

14.7. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΟΦΕΛΗ

Το περιεχόμενο αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζει τον αλγόριθμο για την αξιολόγηση της ενεργειακής απόδοσης του έργου με HVAC ΓΑΘ, με βάση το πλαίσιο που ορίζεται από EPBD και RESD.

Η σωστή εφαρμογή του αλγορίθμου που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο δίνει στον επιχειρηματία / επενδυτή τη δυνατότητα να υιοθετήσει μια αποτελεσματική λύση HVAC ΓΑΘ, έτσι ώστε η παραγόμενη ενέργεια RES, η οποία υπερβαίνει την ενέργεια εισόδου από συμβατικές πηγές θα αποτελέσει τη συμβολή / εξοικονόμηση / πραγματική πρόσληψη εφαρμογών ΓΑΘ.

Τα EPBD και RESD διευκρινίζουν αυτό το ζήτημα σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Η γερμανική νομοθεσία για το θέμα αυτό, σωστά προέβλεψε την περιγραφόμενη ευρωπαϊκή νομοθεσία, παρουσιάζοντας τις σωστές μεθόδους και τον αλγόριθμο που πρέπει να ακολουθηθεί.

14.8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο μηχανικός θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με τα ακόλουθα θέματα:

- EPBD - τα κριτήρια ενεργειακής επίδοσης του κτιρίου
- Το σύστημα HVAC με ΓΑΘ είναι ένα υποσύστημα του κτιρίου
- Το κτίριο και το σύστημά του HVAC με ΓΑΘ ταξινομούνται ως μια ενότητα
- Η κατάταξη της ενέργειας βασίζεται στην ετήσια ειδική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh / έτος]
- Το σύστημα ΓΑΘ παράγει πρωτογενή ενέργεια
- Το RESD απαιτεί η πρωτογενής ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές να αντικαταστήσει την ενέργεια που χρησιμοποιείται από το σύστημα HVAC του κτιρίου με τη χρήση πηγής ορυκτών
- Ο έλεγχος απόδοσης ενός συστήματος HVAC με ΓΑΘ γίνεται με τον υπολογισμό του SPF
- Η οδηγία RES απαιτεί $SPF \geq 2,875$
- Η Αναδιατύπωση EPBD εισάγει το Κτίριο με μηδενική Ενεργειακή Κατανάλωση (NET-ZERO BUILDING ENERGY, NZEB) έννοια που αντιπροσωπεύει τον στόχο για την επόμενη δεκαετία για την Ευρώπη και τις ΗΠΑ
- Κατά την επόμενη δεκαετία, όλα τα νέα κτίρια, κατοικήσιμα και μη, θα πρέπει να χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
- Ένα κτίριο θα τοποθετηθεί στην κατηγορία NZEB, αν συντελεστές της εποχιακής του επίδοσης είναι μεγαλύτεροι από την τιμή 3.5, κάτι που εξασφαλίζει ότι πάνω από το 70% της συνολικής ετήσιας θερμικής χρήσης ενέργειας του κτιρίου θα είναι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Οι βασικές συνέπειες της εσφαλμένης ή ελλιπούς χρήσης των εννοιών αυτών είναι:

- Σε βραχυπρόθεσμο επίπεδο - Ο σχεδιασμός / υλοποίηση μιας λύσης ΓΑΘ μη αποδοτικής ενεργειακά
- Σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο επίπεδο - Υψηλότερο κόστος λειτουργίας για τον κύκλο ζωής κτιρίου, όχι μόνο σε σύγκριση με μια υψηλής ποιότητας λύση RES, αλλά και σε σύγκριση με μια κλασική λύση HVAC.

Το επόμενο βήμα για τις διατάξεις για EPBD και RESD είναι να περιληφθούν στα εθνικά πλαίσια κανόνων ρύθμισης και διαδικασιών. Η εκπλήρωση αυτού του σταδίου είναι η εγγύηση ότι, στο μέλλον, τα έργα HVAC με ΓΑΘ θα αυξήσουν την αποτελεσματικότητα στον τομέα της θέρμανσης / ψύξης, δημιουργώντας εξοικονόμηση ενέργειας και θετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. «GEOTRAINET TRAINING MANUAL FOR DESIGNERS OF SHALLOW GEOTHERMAL SYSTEMS» Geo-Education for a sustainable geothermal heating and cooling market, Project: IEE/07/581/S12.499061, www.geotrainet.eu
2. «Geothermal Heat Pump Design Manual», Application Guide, © 2002 McQuay International