



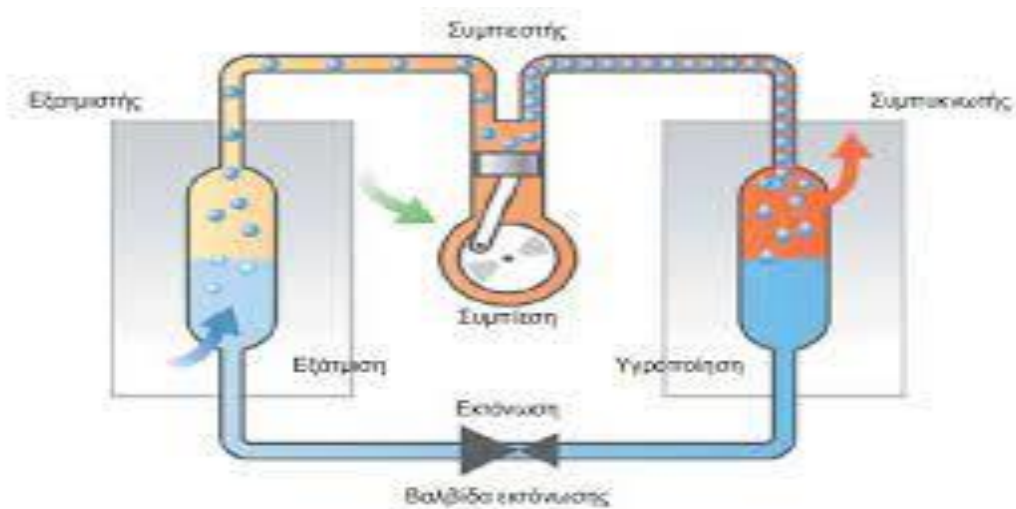
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΝΕΡΟΥ- ΑΕΡΑ ΚΑΙ ΝΕΡΟΥ-ΝΕΡΟΥ



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΧΑΤΖΗΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΑΓΓΕΛΟΣ-ΑΝΤΩΝΙΟΣ (Α.Μ. 7482)**

**ΜΑΝΙΑΤΗΣ ΝΙΚΟΛΑΣ (Α.Μ. 7558)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΥΓΗΤΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2023**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου Πελοποννήσου και αναφέρεται στον πειραματικό προσδιορισμό λειτουργικών χαρακτηριστικών αντλιών θερμότητας νερού-αέρα και νερού-νερού.

Αναλυτικότερα θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό της απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης-ψύξης και θα βγάλουμε το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους του καθηγητές μας για την πολύτιμη βοήθεια και τις γνώσεις που μας πρόσφεραν. Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Καλογήρου Ι. και τον κύριο Μπαϊλό για τις συμβουλές τους και τη συμπαράσταση για τη διεξαγωγή της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την στήριξη και την υπομονή τους όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μας.

## Περιεχόμενα

|  |    |
|--|----|
| Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή .....  | 4  |
| 1.1 Βασικές Αρχές.....   | 5  |
| 1.2 Ιστορία των αντλιών θερμότητας.....                          | 7  |
| Κεφάλαιο 2 Αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη.....         | 9  |
| 2.1. Αντλία Θερμότητας vs Κλιματιστικό .....                     | 10 |
| 2.2. Κύκλος Ψύξης.....   | 12 |
| 2.3. Κύκλος Αντλίας Θερμότητας.....                              | 14 |
| 2.4. Βαλβίδα αναστροφής .....                                    | 15 |
| 2.5. Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε λειτουργία ψύξης.....      | 16 |
| 2.6. Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης ..... | 17 |
| Κεφάλαιο 3 Αντλίες Θερμότητας με Αέρα.....                       | 18 |
| 3.1. Αντλίες θερμότητας αέρα σε αέρα.....                        | 18 |
| 3.2. Λειτουργία θέρμανσης .....                                  | 20 |
| 3.3. Ικανότητα θέρμανσης.....                                    | 22 |

|   |    |
|---|----|
| 3.4. Αντλίες θερμότητας αέρα σε νερό .....                          | 23 |
| 3.4.1. Πώς λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού; .....      | 24 |
| 3.5. Απόδοση αντλίας θερμότητας.....                                | 27 |
| 3.5.1. Συντελεστής απόδοσης περιόδου θέρμανσης (HSPF).....          | 27 |
| 2.6. Διαστασιολόγηση.....   | 28 |
| 3.7. Τεχνολογικές Πρόοδοι .....                                     | 28 |
| 3.8. Λειτουργικό κόστος και αποπληρωμή .....                        | 29 |
| 3.9. Προσδόκιμο ζωής και Εγγυήσεις.....                             | 29 |
| 3.10. Θέματα εξυπηρέτησης.....                                      | 29 |
| 3.10.1. Απόψυξη .....   | 29 |
| 3.10.2. Συσσωρευτής .....   | 31 |
| 3.10.3. Liquid Line Drier .....                                     | 31 |
| 3.10.4. Αντίστροφη Βαλβίδα .....                                    | 31 |
| Κεφάλαιο 4 ( GROUND SOURCE HEAT PUMPS (GSHP) σελ 32 PDF).....       | 32 |
| 4.1. Αρχές λειτουργίας.....   | 32 |
| 4.2. Συστήματα κάθετου βρόχου.....                                  | 33 |
| 4.3. Εγκατάσταση.....   | 34 |
| 4.4. Συστήματα οριζόντιου βρόχου.....                               | 36 |
| 4.5. Εγκατάσταση.....   | 38 |
| 4.6. Διατάξεις βρόχου εδάφους (σειρά ή παράλληλες).....             | 38 |
| 4.7. Σωληνώσεις βρόχου γείωσης (Earth Loop Piping).....             | 40 |
| 4.8. Μέγεθος βρόχου εδάφους .....                                   | 41 |
| 4.9. Κόστος εγκατάστασης.....                                       | 42 |
| Κεφάλαιο 5 ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΗΓΗΣ ΝΕΡΟΥ (WSHP).....               | 43 |
| 5.1. Πώς λειτουργεί.....  | 44 |
| 5.2. Τύποι Συστημάτων βρόχου WSHP .....                             | 45 |
| 5.3. Open Loop Ground Well Systems (Ανοικτά συστήματα εδάφους)..... | 46 |
| 5.3.1. Σύστημα Ενιαίου Πηγαδιού .....                               | 47 |
| 5.3.2. Αντλία θερμότητας νερού σε αέρα .....                        | 48 |
| 5.4.2. Αντλίες θερμότητας νερού σε νερό.....                        | 50 |
| Κεφάλαιο 6 Μετρήσεις -Πειραματικό μέρος.....                        | 51 |

## Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που μπορεί να θερμάνει ένα κτίριο (ή μέρος ενός κτιρίου) μεταφέροντας θερμική ενέργεια από το εξωτερικό χρησιμοποιώντας τον κύκλο ψύξης. Πολλές αντλίες θερμότητας μπορούν επίσης να λειτουργήσουν προς την αντίθετη κατεύθυνση, ψύχοντας το κτίριο αφαιρώντας τη θερμότητα από τον κλειστό χώρο και απορρίπτοντάς το έξω. Οι μονάδες που παρέχουν μόνο ψύξη ονομάζονται κλιματιστικά.

Όταν βρίσκεται σε λειτουργία θέρμανσης, συμπιέζεται ένα ψυκτικό σε εξωτερική θερμοκρασία. Ως αποτέλεσμα, το ψυκτικό γίνεται ζεστό. Αυτή η θερμική ενέργεια μπορεί να μεταφερθεί σε μια εσωτερική μονάδα. Αφού μεταφερθεί ξανά σε εξωτερικό χώρο, το ψυκτικό αποσυμπιέζεται και εξατμίζεται. Έχει χάσει μέρος της θερμικής του ενέργειας και επιστρέφει πιο κρύο από το περιβάλλον. Μπορεί τώρα να απορροφήσει την περιβάλλουσα ενέργεια από τον αέρα ή από το έδαφος πριν επαναληφθεί η διαδικασία. Συμπιεστές, ανεμιστήρες και αντλίες λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια.

Κοινοί τύποι είναι οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, οι αντλίες θερμότητας εδάφους, οι αντλίες θερμότητας με πηγή νερού και οι αντλίες θερμότητας αέρα εξαγωγής. Χρησιμοποιούνται επίσης σε συστήματα τηλεθέρμανσης.

Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας εκφράζεται ως συντελεστής απόδοσης (COP) ή εποχιακός συντελεστής απόδοσης (SCOP). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός, τόσο πιο αποδοτική είναι μια αντλία θερμότητας και τόσο λιγότερη ενέργεια καταναλώνει. Όταν χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρου, οι αντλίες θερμότητας είναι συνήθως πολύ πιο ενεργειακά αποδοτικές από τους απλούς θερμαντήρες ηλεκτρικής αντίστασης.

Λόγω της υψηλής απόδοσης τους και του αυξανόμενου μεριδίου των πηγών χωρίς ορυκτά σε ηλεκτρικά δίκτυα, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην ηλεκτροδότηση, την ενεργειακή μετάβαση και τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής.[1][2] Με 1 kWh ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να μεταφέρουν 3 έως 6 kWh θερμικής ενέργειας σε ένα κτίριο. Το αποτύπωμα άνθρακα των αντλιών θερμότητας εξαρτάται από τον τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά συνήθως μειώνουν τις εκπομπές σε ήπια κλίματα. Οι αντλίες θερμότητας θα μπορούσαν να ικανοποιήσουν πάνω από το 80% των παγκόσμιων αναγκών θέρμανσης χώρου και νερού με χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα από τους λέβητες συμπύκνωσης αερίου: ωστόσο, από το 2021 καλύπτουν μόνο το 10%.



Εικόνα 1: Εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας - αντλίας θερμότητας πηγής αέρα

## 1.1 Βασικές Αρχές

Η θερμότητα θα ρέει αυθόρμητα από μια περιοχή υψηλότερης θερμοκρασίας σε μια περιοχή χαμηλότερης θερμοκρασίας. Η θερμότητα δεν θα ρέει αυθόρμητα από χαμηλότερη θερμοκρασία σε υψηλότερη, αλλά μπορεί να ρέει προς αυτή την κατεύθυνση εάν εκτελεστεί εργασία. Η εργασία που απαιτείται για τη μεταφορά μιας δεδομένης ποσότητας θερμότητας είναι συνήθως πολύ μικρότερη από την ποσότητα θερμότητας. Αυτό είναι το κίνητρο για τη χρήση αντλιών θερμότητας σε εφαρμογές όπως η θέρμανση του νερού και το εσωτερικό των κτιρίων.

Η ποσότητα εργασίας που απαιτείται για να διοχετευτεί μια ποσότητα θερμότητας  $Q$  από μια δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας, όπως ο αέρας του περιβάλλοντος, σε μια δεξαμενή υψηλότερης θερμοκρασίας, όπως το εσωτερικό ενός κτιρίου, είναι:

$$W = \frac{Q}{COP}$$

όπου:

- $W$  είναι το έργο που εκτελείται στο λειτουργικό ρευστό από τον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας.
- $Q$  είναι η θερμότητα που μεταφέρεται από τη δεξαμενή χαμηλότερης θερμοκρασίας στη δεξαμενή υψηλότερης θερμοκρασίας.
- Το COP είναι ο στιγμιαίος συντελεστής απόδοσης για την αντλία θερμότητας στις θερμοκρασίες που επικρατούν στα ρεζερβουάρ τη μία στιγμή.

Ο συντελεστής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας είναι μεγαλύτερος από τη μονάδα, επομένως το η απαιτούμενο έργο είναι μικρότερη από τη μεταφερόμενη θερμότητα, καθιστώντας μια αντλία θερμότητας πιο αποτελεσματική μορφή θέρμανσης από τη θέρμανση με ηλεκτρική αντίσταση. Καθώς η θερμοκρασία της δεξαμενής υψηλότερης θερμοκρασίας αυξάνεται ως απόκριση στη θερμότητα που ρέει σε αυτήν, ο συντελεστής απόδοσης μειώνεται, προκαλώντας αυξανόμενη ποσότητα εργασίας που απαιτείται για κάθε μονάδα θερμότητας που μεταφέρεται.[6]

Ο συντελεστής απόδοσης και το έργο που απαιτείται από μια αντλία θερμότητας μπορούν να υπολογιστούν εύκολα λαμβάνοντας υπόψη μια ιδανική αντλία θερμότητας που λειτουργεί στον αντίστροφο κύκλο Carnot:

- Εάν η δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας βρίσκεται σε θερμοκρασία 270 K ( $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) και το εσωτερικό του κτιρίου είναι στους 280 K ( $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ο σχετικός συντελεστής απόδοσης είναι 27. Αυτό σημαίνει ότι μόνο 1 joule εργασίας είναι απαιτούνται για τη μεταφορά 27 τζάουλ θερμότητας από μια δεξαμενή στους 270 K σε μια άλλη στους 280 K. Το ένα τζάουλ εργασίας καταλήγει τελικά ως θερμική ενέργεια στο εσωτερικό του κτιρίου, έτσι για κάθε 27 τζάουλ θερμότητας που αφαιρούνται από τη χαμηλή Δεξαμενή θερμοκρασίας, προστίθενται 28 joules θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου, καθιστώντας την αντλία θερμότητας ακόμα πιο ελκυστική από την άποψη της απόδοσης.
- Καθώς η θερμοκρασία του εσωτερικού του κτιρίου αυξάνεται σταδιακά στους 300 K ( $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), ο συντελεστής απόδοσης πέφτει σταδιακά στο 9. Αυτό σημαίνει ότι κάθε joule εργασίας είναι υπεύθυνο για τη μεταφορά 9 joule θερμότητας από τη δεξαμενή χαμηλής θερμοκρασίας και στο κτίριο. Και πάλι, το 1 joule της εργασίας καταλήγει τελικά ως θερμική ενέργεια στο εσωτερικό του κτιρίου, έτσι 10 joule θερμότητας προστίθενται στο εσωτερικό του κτιρίου.

## 1.2 Ιστορία των αντλιών θερμότητας

Πολλοί άνθρωποι εξακολουθούν να πιστεύουν ότι η τεχνολογία αντλιών θερμότητας είναι μια πρόσφατη καινοτομία και, σε αυτή τη βάση, ανησυχούν ότι τα συστήματα μπορεί να είναι αναπόδεικτα ή σε πρώιμο στάδιο της εξέλιξής τους. Η αλήθεια ωστόσο είναι ότι η τεχνολογία αντλιών θερμότητας έχει καθιερωθεί για περισσότερα από 150 χρόνια και η πρώτη αντλία θερμότητας εδάφους τέθηκε σε χρήση πριν από περισσότερα από 70 χρόνια.

Ήταν πολύ πίσω το 1948 που ο J Gordon Cook έγραψε στο περιοδικό The Spectator:

«Σε αυτές τις μέρες της υλικής προόδου, όταν δίνονται τόσα λόγια στην επιστήμη ως εγγύηση για την ευημερία μας, φαίνεται απίστευτο ότι μια συσκευή όπως η αντλία θερμότητας θα έπρεπε να είχε διαφύγει της προσοχής που της αξίζει. Αν δεν ήταν μια ομάδα ενθουσιωδών αποφασισμένων να εφαρμόσουν τις θεωρίες τους στην πράξη, θα έπρεπε να περιμέναμε ακόμα στοιχεία για τις δυνατότητες της αντλίας θερμότητας στη Βρετανία. Τώρα ξέρουμε ότι θα λειτουργήσει και έχει έρθει η στιγμή που πρέπει να γίνουν τα πάντα για να αξιοποιήσουμε στο έπακρο τη γνώση που έχουμε αποκτήσει».

Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση της ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας στα αξιόπιστα και αποδοτικά συστήματα θέρμανσης που κατασκευάζονται από καθιερωμένες εταιρείες όπως η Lämpöässä σήμερα.

Ορόσημα:

1748: Ο Γουίλιαμ Κάλεν επιδεικνύει τεχνητή ψύξη.

1834: Ο Jacob Perkins κατασκευάζει ένα πρακτικό ψυγείο με διαθλαιθέρα.

1852: Ο Λόρδος Κέλβιν περιγράφει τη θεωρία της αντλίας θερμότητας.

1855–1857: Ο Peter von Rittinger αναπτύσσει και κατασκευάζει την πρώτη αντλία θερμότητας.

1945: Ο Τζον Σάμερ κατασκευάζει μια αντλία θερμότητας με πηγή νερού πλήρους κλίμακας στο Νόριτς

1983: Οι Lämpöässä κατασκευάζουν την πρώτη τους αντλία θερμότητας στη Lapua της Φινλανδίας

Η πρώτη αντλία θερμότητας όπως τη γνωρίζουμε σήμερα κατασκευάστηκε από τον Peter von Rittinger το 1856. Αναγνώρισε την αρχή της αντλίας θερμότητας ενώ διεξήγαγε πειράματα σχετικά με τη χρήση της λανθάνουσας θερμότητας των υδρατμών για την εξάτμιση της άλμης. Ως αποτέλεσμα, στην Αυστρία η αντλία θερμότητας χρησιμοποιήθηκε για την ξήρανση του αλατιού σε αλυκές.

Η πρώτη μεγάλης κλίμακας αντλία θερμότητας στο Ηνωμένο Βασίλειο αναπτύχθηκε από τον John Sumner το 1945 στο κατώφλι της Finn Geotherm στο Norwich. Το Ηλεκτρολογικό Τμήμα του Δημοτικού Συμβουλίου του Νόριτς είχε κατασκευάσει νέες εγκαταστάσεις στο Νόριτς στην οδό Duke, στην όχθη του ποταμού Βένσομ. Το γραφείο αρχικά προοριζόταν να θερμανθεί με αντλία

θερμότητας, αλλά η λιτότητα εν καιρώ πολέμου εμπόδισε τη διάθεση πόρων για την εστίαση σε ένα τόσο καινοτόμο έργο.

Μετά τον πόλεμο, ωστόσο, ο John Sumner, ο οποίος ήταν ο Ηλεκτρολόγος Μηχανικός της Πόλης για το Norwich, «σύνδεσε» ένα σύστημα από διασωθέντα εξαρτήματα βασισμένο σε ένα ψυκτικό SO<sub>2</sub>. Το σύστημα φημολογείται ότι έχει επιτύχει λόγο εποχικής απόδοσης 3,42. Το σύστημα λειτουργούσε με μέση θερμική απόδοση 147 kW και είχε μέγιστη απόδοση 234 kW.

Το σύστημα σχεδιάστηκε για να κυκλοφορεί το νερό γύρω από τα συστήματα εκπομπής θερμότητας του κτιρίου στους 50-55°C. Παρά την αποδοτικότητα και την αποτελεσματικότητα του συστήματος, δεν αντιγράφηκε ευρέως στο Ηνωμένο Βασίλειο λόγω της σχετικής φθηνότητας των ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας και αργότερα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο της Βόρειας Θάλασσας.

Ο John Sumner εγκατέστησε επίσης μια αντλία θερμότητας εδάφους κλειστού βρόχου για το σπίτι του στις αρχές της δεκαετίας του 1950. Ο βρόχος γείωσης αρχικά κατασκευάστηκε χρησιμοποιώντας χάλκινο σωλήνα θαμμένο σε περίπου 1 μέτρο βάθος και γεμίστηκε με κυκλοφορούν αντιψυκτικό. Ενώ οι αντλίες θερμότητας του Sumner ήταν απολύτως αποτελεσματικές και, για την εποχή τους, τεχνικά λαμπρές, έλαβαν μικρή υποστήριξη στο Ηνωμένο Βασίλειο, όπου ο άφθονος άνθρακας φαινόταν να παρέχει μια φθηνή και απεριόριστη πηγή ενέργειας.

Όπως συμβαίνει συχνά, ωστόσο, οι τεχνικές εξελίξεις του HB υιοθετήθηκαν και αναπτύχθηκαν στο εξωτερικό. Το 1948 εγκαταστάθηκε μια αντλία θερμότητας μεγάλης κλίμακας στο Όρεγκαν των Ηνωμένων Πολιτειών. Μετά την πετρελαϊκή κρίση του ΟΠΕΚ της δεκαετίας του 1970, ωστόσο, η ανάπτυξη και η υιοθέτηση των αντλιών θερμότητας άρχισε να επιταχύνεται. Η Σουηδία ειδικότερα ανέπτυξε νέους ατομικούς αντιδραστήρες και αναζητούσε αποτελεσματικά μέσα για τη θέρμανση των σπιτιών με ηλεκτρισμό και όχι με παραφίνη.

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου τα συστήματα πολυαιθυλενίου κλειστού βρόχου έγιναν ο κανόνας, με τα συστήματα κάθετου κλειστού βρόχου να αναπτύσσονται στη Γερμανία, την Ελβετία και τη Φινλανδία μέσω της εργασίας εταιρειών όπως η Lämpöässä. Μέχρι το 2008 υπολογίζεται ότι μόνο η Ελβετία είχε μεταξύ 30.000 και 44.000 μονάδες GSHP. Στις Ηνωμένες Πολιτείες η υιοθέτηση σε ευρεία κλίμακα είχε προχωρήσει ακόμη πιο γρήγορα. Υπολογίζεται ότι μέχρι το 2008 η αγορά των ΗΠΑ εγκαθιστούσε μεταξύ 50.000 και 60.000 μονάδες ετησίως με συνολικά περίπου 750.000 μονάδες να λειτουργούν μέχρι το 2008.

Η Suomen Lämpöpumpputekniikka Oy (γνωστή στους φίλους της ως Lämpöässä) ιδρύθηκε στη Lapua στις 29 Μαρτίου 1983, με βάση τη δεξιοτεχνία πέντε ανδρών και την εμπειρία δεκαετιών στη γεωθερμική θέρμανση. Η εταιρεία είχε το πρώτο της γραφείο στο σπίτι του Jorma Saksi, αλλά αργότερα μετακόμισε σε ενοικιαζόμενους χώρους στην αίθουσα υποδοχής κατά μήκος της οδού Härsiläntie. Το πρώτο έτος πραγματοποιήθηκε επίσης μια σημαντική εργασία, το σύστημα θέρμανσης του σχολείου Ruha. Η Lämpöässä έχει πλέον προμηθεύσει περισσότερες από 20.000 αντλίες θερμότητας στους πελάτες της σε όλη την Ευρώπη και διαθέτει περίπου 4.000 μονάδες στη βάση δεδομένων υπηρεσιών της που είναι άνω των 30 ετών και συνεχίζουν να είναι ισχυρές.



Η ανάπτυξη της τεχνολογίας αντλιών θερμότητας συνεχίζεται ακόμη με τις προόδους στην τεχνολογία συμπιεστών και ελέγχων, ιδίως που επιτρέπουν στα συστήματα να είναι πιο αποτελεσματικά και ευκολότερα στον έλεγχο. Η τεχνολογία αντλίας θερμότητας είναι αξιόπιστη, αποτελεσματική, αποδοτική και είναι εδώ για να μείνει! Σύμφωνα με τα λόγια του Gordon Cook το 1948:

«Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι στην αντλία θερμότητας έχουμε ένα μηχάνημα που θα παίζει εξαιρετικό ρόλο στο βιομηχανικό μέλλον της χώρας μας».

Σε ένα όμορφο, κοντά στον ιστορικό κύκλο, το Eastern Electricity Building στην Duke's Street στο Νόριτς πρόκειται να ανακαινιστεί για να παρέχει 154 οικιστικές μονάδες καθώς και εμπορικούς και εμπορικούς χώρους. Μία από τις κεντρικές προϋποθέσεις σχεδιασμού της ανάπτυξης του Duke's Wharf είναι ότι θα πρέπει να ενσωματώνει μια αντλία θερμότητας με πηγή νερού. Η τρέχουσα προδιαγραφή αφορά ένα σύστημα με μέγιστη χωρητικότητα περίπου 800 kW, με τον ποταμό Wensum να χρησιμοποιείται για άλλη μια φορά ως πηγή θερμότητας. Πιστεύουμε ότι ο John Sumner θα το είχε εγκρίνει.

## Κεφάλαιο 2 Αντλίες θερμότητας για θέρμανση και ψύξη

### **Επισκόπηση των Αντλιών θερμότητας**

Η θερμότητα πηγαίνει πάντα από υψηλή θερμοκρασία σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που αντλεί θερμότητα από χαμηλότερη θερμοκρασία σε υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό είναι αντίθετο με τη φυσική ροή της θερμότητας, αλλά αυτό ισχύει για όλες

τις ψυκτικές μηχανές. Ωστόσο, η ετικέτα «αντλία θερμότητας» έχει εξελιχθεί για να ορίζει εκείνες τις ψυκτικές μηχανές που μπορούν να διαμορφωθούν ώστε να παρέχουν ψύξη και θέρμανση, που συνήθως αναφέρονται ως «Αντίστροφος κύκλος».

## 2.1. Αντλία Θερμότητας vs Κλιματιστικό

Με απλά λόγια, και οι δύο συσκευές είναι ίδιες, εκτός από το ότι μια αντλία θερμότητας μπορεί να προσφέρει ψύξη το καλοκαίρι, καθώς και θέρμανση το χειμώνα χρησιμοποιώντας κύκλο αντιστροφής, ενώ ένα κλιματιστικό μπορεί μόνο να λειτουργεί για να παρέχει κρύο.

Τα κλιματιστικά αφαιρούν ουσιαστικά τη θερμότητα και την υγρασία από τον εσωτερικό χώρο και τη μεταφέρουν στον εξωτερικό αέρα. Αυτός ο αέρας εισέρχεται στη μονάδα στους 80°F και 50% σχετική υγρασία και αφού περάσει από το εσωτερικό πηνίο, φεύγει από τη μονάδα σε θερμοκρασία 55°F και σχετική υγρασία 100%. Η θερμότητα που έχει μεταφερθεί από αυτόν τον αέρα μεταφέρεται από ένα ψυκτικό μέσο (για παράδειγμα R134a) στον εξωτερικό χώρο ή στο πηνίο συμπυκνωτή. Η υγρασία συμπυκνώνεται στο πηνίο του εξαμιστή του κλιματιστικού και αποστραγγίζεται έξω.

Προφανώς, οι εξωτερικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορεί να είναι αρκετά υψηλές τις περιόδους που ο χώρος σας απαιτεί κλιματισμό. Το ψυκτικό πρέπει να μεταφέρει τη θερμότητα που αφαιρεί από τον αέρα του εσωτερικού χώρου στον εξωτερικό αέρα, αλλά ο εξωτερικός αέρας μπορεί να είναι σε θερμοκρασία 95° F ή περισσότερο. Επειδή πρέπει να μεταφέρουμε αυτή τη θερμότητα στον αέρα που είναι 95°F, η θερμοκρασία του ψυκτικού από το οποίο αφαιρούμε τη θερμότητα πρέπει να είναι σημαντικά υψηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να φυσά αέρα εξωτερικού χώρου πάνω από σωλήνες που περιέχουν ψυκτικό σε θερμοκρασία που είναι περίπου 25°F θερμότερη από τον αέρα του περιβάλλοντος, έτσι ώστε η θερμότητα μέσα στο ψυκτικό να μπορεί να μεταφερθεί στον εξωτερικό αέρα.

Το κλιματιστικό προορίζεται για την αφαίρεση θερμότητας από περιοχή χαμηλής θερμοκρασίας (π.Χ. Η ενέργεια απαιτείται στην άντληση (συμπιεστής) επειδή αναγκάζουμε τη μεταφορά της θερμότητας προς μια κατεύθυνση που είναι αντίθετη από τον τρόπο με τον οποίο η θερμότητα θα ρέει φυσικά.

Τεχνικά, οποιοδήποτε κλιματιστικό μπορεί να θεωρηθεί αντλία θερμότητας, αλλά η βιομηχανία HVAC θεωρεί ότι οι αντλίες θερμότητας είναι κλιματιστικά που έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν με «Αντίστροφο κύκλο».

Αν έχετε περπατήσει πίσω από ένα κλιματιστικό παράθυρο μια καλοκαιρινή μέρα, μπορεί να έχετε νιώσει τον ζεστό αέρα να εκκενώνεται από αυτά τα μηχανήματα. Όπως περιγράφηκε παραπάνω, η θερμοκρασία του αέρα που εξέρχεται από αυτές τις μονάδες έχει αυξηθεί επειδή το ψυκτικό στο σύστημα έλαβε θερμότητα από τον αέρα μέσα στο κτίριο και αυτή η θερμότητα μεταφέρεται στον αέρα που περνά πάνω από το εξωτερικό πηνίο, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του ο αέρας.

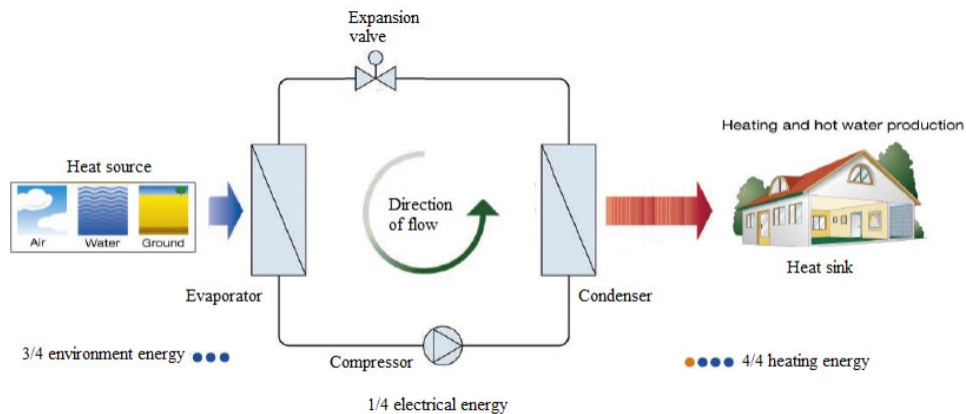
Σκεφτείτε τι θα συμβεί αν εγκαταστήσετε το κλιματιστικό παραθύρου αντίστροφα, δηλαδή γυρίζοντάς το κατά 180°. Τώρα, αντί να μεταφέρει θερμότητα από το εσωτερικό του δωματίου

στον εξωτερικό χώρο, το κλιματιστικό θα επιχειρούσε να ψύξει τον υπέροχο εξωτερικό χώρο και να μεταφέρει θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα υψηλότερης θερμοκρασίας στον αέρα χαμηλότερης θερμοκρασίας μέσα στο δωμάτιο.

Σε μια ημέρα 95°F αυτό θα ήταν απαράδεκτο γιατί θα καταλήξαμε με θερμοκρασίες 125° μέσα στο κλιματιζόμενο δωμάτιο. Ωστόσο, σκεφτείτε αυτήν τη διαδικασία σε μια ημέρα 45°F. Η μονάδα κλιματισμού, εγκατεστημένη προς τα πίσω, αφαιρεί τη θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα στους 45°F και τη μεταφέρει στον αέρα μέσα σε ένα δωμάτιο στους 70°F. Αυτή η διαδικασία θέρμανσης ονομάζεται "Reverse cycle air conditioning" και αυτό είναι που έχει σχεδιαστεί να κάνει μια αντλία θερμότητας. Είναι σχεδιασμένο να ψύχει έναν χώρο όταν λειτουργεί ως κλιματιστικό και έχει σχεδιαστεί για να θερμαίνει έναν χώρο όταν ο κύκλος αντιστρέφεται. Η πραγματική αντιστροφή του κύκλου επιτυγχάνεται αντιστρέφοντας τη ροή του ψυκτικού μέσου και αναγκάζοντας το εσωτερικό και το εξωτερικό πηνίο να αλλάξουν ρόλους.

### Ποιο είναι το όφελος;

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό μιας αντλίας θερμότητας είναι ότι η ποσότητα θερμότητας που μπορεί να μεταφερθεί είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για την κίνηση του κύκλου.



Εικόνα 2: όφελος από αντλία θερμότητας

Το κλειδί για την απόδοση μιας αντλίας θερμότητας είναι ο Συντελεστής Απόδοσης: ο «COP».

Παρά τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής, ο οποίος μας λέει ότι η ενέργεια δεν μπορεί ούτε να δημιουργηθεί ούτε να καταστραφεί, η αντλία θερμότητας μπορεί να αποδώσει έως και τέσσερις μονάδες θερμότητας για κάθε μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Η αντλία θερμότητας δεν δημιουργεί αυτήν την ενέργεια, αλλά απλώς μεταφέρει τη θερμότητα από τον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα στο θερμότερο εσωτερικό. Ακόμη και στον αέρα που φαίνεται πολύ κρύος, υπάρχει θερμική ενέργεια. Όταν κάνει κρύο έξω, μια αντλία θερμότητας εξάγει αυτήν την εξωτερική θερμότητα και τη μεταφέρει μέσα. Όταν είναι ζεστό έξω, αντιστρέφει τις κατευθύνσεις και λειτουργεί σαν κλιματιστικό, απομακρύνοντας τη θερμότητα από τον εσωτερικό σας χώρο. Σπρώχνει τη θερμότητα σε αντίθετη κατεύθυνση προς την κανονική ροή της (κρύο προς ζεστό, αντί από ζεστό προς κρύο).

Το COP προσδιορίζεται διαιρώντας την ενέργεια εξόδου της αντλίας θερμότητας με την ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας, σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Οι ηλεκτροκίνητες αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές θέρμανσης χώρου σε μέτρια κλίματα έχουν συνήθως COP τουλάχιστον 3,5 σε συνθήκες σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει ότι παράγεται 3,5 kWh θερμότητας για 1 kWh ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται για την κίνηση της διαδικασίας. Με απλά λόγια, μια τέτοια αντλία θερμότητας θα είναι φθηνότερη στη λειτουργία της υπό τον όρο ότι η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος δεν υπερβαίνει το 3,5 φορές την τιμή ενός εναλλακτικού καυσίμου. Ανεξάρτητα, ακόμη και όταν το κόστος λειτουργίας για τις αντλίες θερμότητας και τους λέβητες καυσίμου είναι μάλλον παρόμοιο, η περίπτωση των αντλιών θερμότητας ως τεχνολογίας χαμηλών εκπομπών άνθρακα είναι πιο πειστική. Θα μάθουμε περισσότερα για τους βασικούς δείκτες απόδοσης στα επόμενα κεφάλαια.

## 2.2. Κύκλος Ψύξης

Ο κύκλος ψύξης είναι η βάση λειτουργίας όλων των κλιματιστικών συμπίεσης ατμών και αντλιών θερμότητας. Αν και δεν απαιτείται λεπτομερής γνώση της θερμοδυναμικής για την πρακτική εφαρμογή των αντλιών θερμότητας, η βασική κατανόηση των εννοιών της ψύξης είναι σημαντική για όλους τους σχεδιαστές συστημάτων θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Ας επανεξετάσουμε πρώτα τον βασικό κύκλο ψύξης με συμπίεση ατμών.

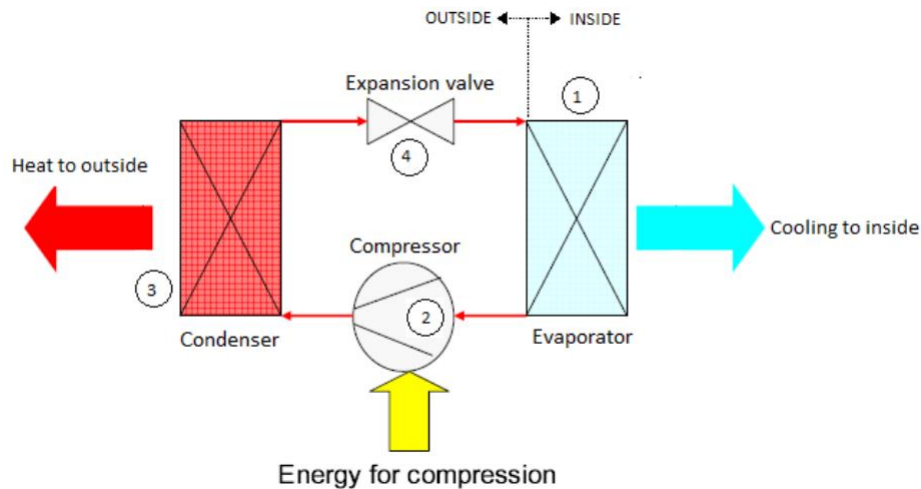
Ένας απλός κύκλος ψύξης συμπίεσης ατμού περιλαμβάνει τέσσερα κύρια εξαρτήματα:

- 1) συμπιεστή,
- 2) εξατμιστή,
- 3) συμπυκνωτή και
- 4) βαλβίδα εκτόνωσης,

όλα συνδέονται μέσω ενός σωλήνα σε κλειστό κύκλωμα. Περιέχει ένα ψυκτικό υγρό που εξατμίζεται και συμπυκνώνεται μέσα στη σωλήνωση ως μέρος της διαδικασίας λειτουργίας.

- Ο συμπιεστής είναι μια αντλία που κάνει το ψυκτικό να κυκλοφορεί μέσα στο σύστημα. Ο συμπιεστής έχει σχεδιαστεί για την άντληση ενός καθορισμένου όγκου ατμού, επομένως θα έχει καθορισμένη χωρητικότητα ή βαθμολογία BTU ή Χωρητικότητα, ανάλογα με το ψυκτικό που χρησιμοποιείται και τη θερμοκρασία λειτουργίας στον εξατμιστή. 1 τόνος ψύξης ισοδυναμεί με 12000 BTU's/ώρα.
- Ο εξατμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου το ψυκτικό μέσο εξατμίζεται. όπως και. απορροφά τη θερμότητα και το περιβάλλον κρύνει.
- Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας όπου συμπυκνώνεται το ψυκτικό. δηλαδή απελευθερώνει θερμότητα και ζεσταίνεται το περιβάλλον.
- Η βαλβίδα εκτόνωσης είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας του ψυκτικού στο τέλος του κύκλου διεργασίας. Η μείωση της πίεσης του ψυκτικού του επιτρέπει να εξατμιστεί μόλις προστεθεί θερμότητα.

Η βασική διάταξη ενός κυκλώματος ψύξης (λειτουργία ψύξης) φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 3: Ψυκτικός κύκλος

Ας δούμε πώς λειτουργεί αυτός ο κύκλος:

#### Στάδιο 1

- Το ψυκτικό εισέρχεται στον εξατμιστή με τη μορφή δροσερού μίγματος χαμηλής πίεσης υγρού και ατμού. Η θερμότητα μεταφέρεται από τον θερμό αέρα εσωτερικού χώρου στο ψυκτικό μέσο, προκαλώντας βρασμό του υγρού ψυκτικού

#### Στάδιο 2

- Οι ατμοί ψυκτικού από τον εξατμιστή εισέρχονται τώρα στον συμπιεστή, όπου η πίεσή του (και επομένως η θερμοκρασία) αυξήθηκε.

#### Στάδιο 3

- Ο προκύπτων καυτός, υψηλής πίεσης ατμός ψυκτικού μέσου εισέρχεται στον συμπυκνωτή όπου η θερμότητα μεταφέρεται στον αέρα ή το νερό του περιβάλλοντος. Μέσα στον συμπυκνωτή, το ψυκτικό συμπυκνώνεται σε υγρό.

#### Στάδιο 4

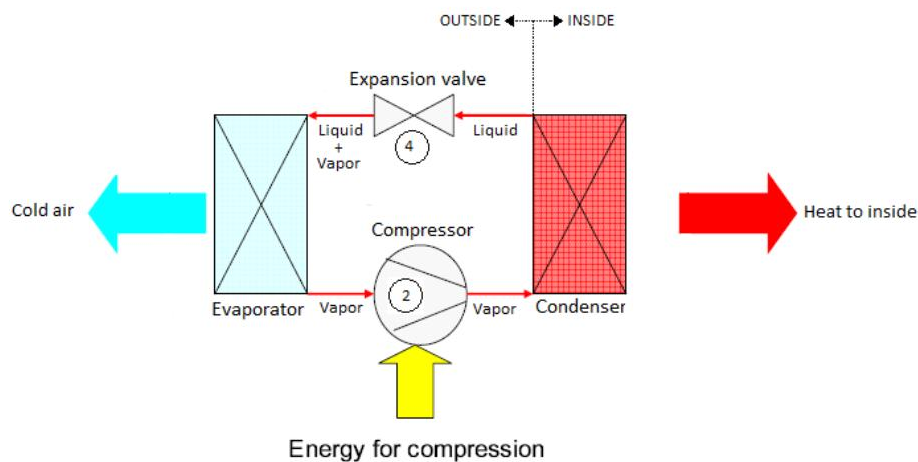
- Αυτό το υγρό ψυκτικό υψηλής πίεσης στη συνέχεια ρέει από τον συμπυκνωτή στη συσκευή εκτόνωσης, γεγονός που μειώνει την πίεσή του. Σε αυτή τη χαμηλή πίεση, ένα μικρό μέρος του ψυκτικού βράζει (ή αναβρασβήνει), ψύχοντας το υπόλοιπο υγρό ψυκτικό στην επιθυμητή θερμοκρασία του εξατμιστή.

Το δροσερό μείγμα ψυκτικού υγρού και ατμού επαναλαμβάνει τον κύκλο. Ο κύκλος ψύξης παραμένει σε συνεχή λειτουργία όποτε λειτουργεί ο συμπιεστής. Αυτός ο κύκλος χρησιμοποιείται σε ψυγεία, καταψύκτες, κλιματιστικά δωματίου, αφυγραντήρες, κεντρικά συστήματα

κλιματισμού, ψύκτες νερού, μηχανήματα αυτόματης πώλησης και άλλα μηχανήματα μεταφοράς θερμότητας.

### 2.3. Κύκλος Αντλίας Θερμότητας

Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί την ίδια αρχή του κύκλου συμπίεσης ατμού ψυκτικού και έχει τα ίδια βασικά εξαρτήματα όπως ένα παραδοσιακό κλιματιστικό (συμπιεστής, συμπυκνωτής, εξατμιστής και συσκευή εκτόνωσης), εκτός από το ότι μπορεί να αντιστρέψει τον κύκλο ψύξης ή με άλλα λόγια, να αλλάξει τις λειτουργίες από τους δύο εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτή και εξατμιστή). Ανατρέξτε στο παρακάτω σχήμα και σημειώστε ότι η εφαρμογή έχει αντιστραφεί για τη λειτουργία θέρμανσης. (Σημειώστε ότι τα εξαρτήματα δεν αντιστρέφονται φυσικά).



Εικόνα 4: Κύκλος αντλίας θερμότητας

#### Στάδιο 1

- Ο εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας λαμβάνει θερμότητα από τη γη, το υπόγειο νερό ή τον αέρα και τη μεταφέρει στο ψυκτικό. Το ψυκτικό εξατμίζεται και τώρα εισέρχεται στον συμπιεστή.

#### Στάδιο 2

- Το ψυκτικό, έχοντας πλέον απορροφήσει τη θερμότητα του περιβάλλοντος, εισέρχεται τώρα στον συμπιεστή και συμπιέζεται. Ο συμπιεστής αυξάνει την πίεση του ψυκτικού μέσου και επίσης την περιεκτικότητά του σε θερμότητα. Αυτό είναι το μόνο μέρος του κύκλου όπου απαιτείται πρόσθετη ενέργεια.

#### Στάδιο 3

- Το ψυκτικό αέριο περνά τώρα από τον εναλλάκτη θερμότητας «εσωτερικής πλευράς» όπου εγκαταλείπει τη θερμότητά του και μετατρέπεται ξανά σε υγρό.

#### Στάδιο 4

- Για να μπορέσει να ξεκινήσει ξανά ο κύκλος, το ψυκτικό πρέπει να αποσυμπιεστεί και έτσι να περάσει μέσα από μια βαλβίδα εκτόνωσης, όπου επιστρέφει σε ένα μίγμα υγρού/αερίου χαμηλής πίεσης και μπορεί να αρχίσει να απορροφά θερμότητα από το αέρα/γη/νερό ξανά καθώς κινείται προς το σημείο 1.

#### 2.4. Βαλβίδα αναστροφής

Ο κύκλος ψύξης αντιστρέφεται μέσω μιας βαλβίδας αντίστροφης βαλβίδας τεσσάρων κατευθύνσεων ή αλλιώς τετράοδης . Η βαλβίδα αναστροφής είναι μια ηλεκτρικά λειτουργική συσκευή που χρησιμοποιεί ένα πηνίο ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας για να καθοδηγεί την κατεύθυνση της ροής του ψυκτικού. Ρυθμίζει τις θύρες εκκένωσης ψυκτικού για να «ανταλλάσσουν» αποτελεσματικά τις λειτουργίες του εξατμιστή και του συμπυκνωτή.



Εικόνα 5:Βαλβίδα αναστροφής

Η βαλβίδα αναστροφής έχει τέσσερις θύρες (A, B, C και D):

- Μία θύρα συνδεδεμένη στην έξοδο του συμπιεστή
- Μία θύρα συνδεδεμένη στην είσοδο του συμπιεστή
- Μία θύρα συνδεδεμένη στη μία πλευρά του πηνίου εσωτερικού χώρου
- Μία θύρα συνδεδεμένη στη μία πλευρά του εξωτερικού πηνίου

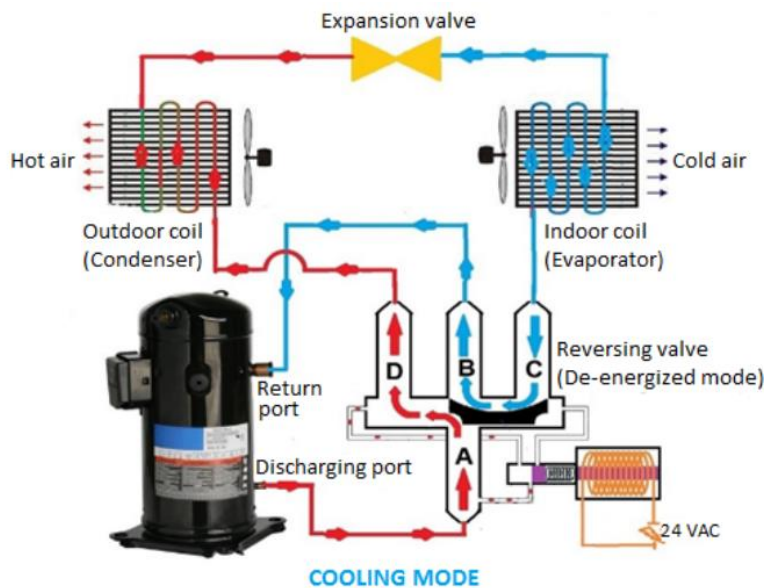
Η βαλβίδα αναστροφής έχει μια εσωτερική ολίσθηση που καθορίζει τελικά τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος. Η βαλβίδα αναστροφής βρίσκεται συνήθως στην έξοδο του συμπιεστή (εκκένωση). Εάν το σύστημα είναι σύστημα διαχωρισμένου τύπου, αυτή η θέση βρίσκεται εντός

του εξωτερικού τμήματος του συστήματος. Ας ελέγξουμε τη λειτουργικότητα και την αρχή λειτουργίας του.

## 2.5. Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε λειτουργία ψύξης

Η αντλία θερμότητας σε λειτουργία ψύξης λειτουργεί ως συμβατικό κλιματιστικό με το εσωτερικό πηνίο ως εξατμιστή και το εξωτερικό πηνίο ως συμπυκνωτή.

Το ψυκτικό μέσο (μετά την έξοδο από τον συμπιεστή μέσω της κόκκινης γραμμής στο παρακάτω σχήμα) ρέει πρώτα μέσω της βαλβίδας αναστροφής όπου κατευθύνεται στο εξωτερικό πηνίο. Δεδομένου ότι το ψυκτικό ρέει πάντα πρώτα στον συμπυκνωτή μετά την έξοδο από τον συμπιεστή, το εξωτερικό πηνίο λειτουργεί ως συμπυκνωτής. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η θερμότητα από το ψυκτικό απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα. Από το εξωτερικό πηνίο, το ψυκτικό ρέει μέσω της συσκευής διαστολής και στη συνέχεια στο εσωτερικό πηνίο, όπου το ψυκτικό συλλαμβάνει ή απορροφά θερμότητα από τον αέρα στην περιοχή που ψύχεται. Στη συνέχεια, το ψυκτικό ρέει πίσω στον συμπιεστή μέσω της βαλβίδας αναστροφής και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.

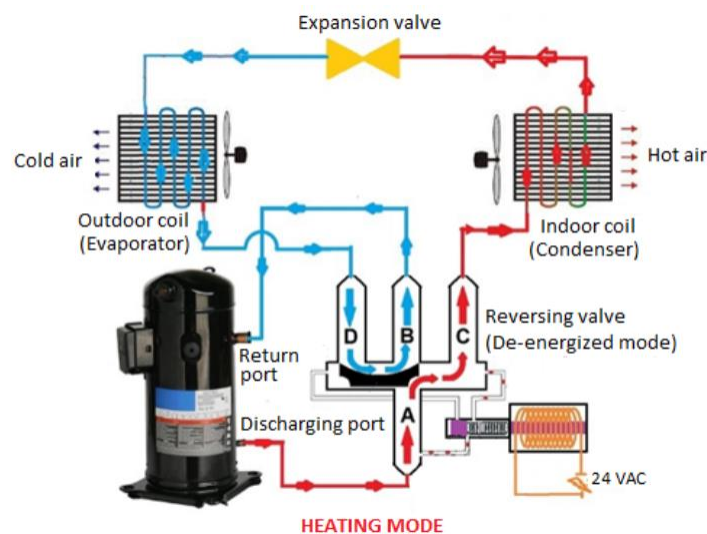


Εικόνα 6: Κύκλος με τριόδι βαλβίδα για ψύξη



## 2.6. Λειτουργία αντλίας θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης

Στη λειτουργία θέρμανσης, το ψυκτικό (μετά την έξοδο από τον συμπιεστή μέσω της κόκκινης γραμμής στο παρακάτω σχήμα εικ.7 ) ρέει πρώτα μέσω της βαλβίδας αναστροφής όπου κατευθύνεται στο εσωτερικό πηνίο. Δεδομένου ότι το ψυκτικό ρέει πάντα πρώτα στον συμπυκνωτή μετά την έξοδο από τον συμπιεστή, το πηνίο εσωτερικού χώρου λειτουργεί ως συμπυκνωτής. Σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, η θερμότητα από το ψυκτικό απορρίπτεται στον αέρα στον κατειλημμένο χώρο. Από το πηνίο εσωτερικού χώρου, το ψυκτικό ρέει μέσω της συσκευής διαστολής και στη συνέχεια στο εξωτερικό πηνίο, όπου το ψυκτικό συλλαμβάνει ή απορροφά θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα. Στη συνέχεια, το ψυκτικό ρέει πίσω στον συμπιεστή μέσω της βαλβίδας αναστροφής και ο κύκλος επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 7: Κύκλος με τριόδι βαλβίδα για θέρμανση

Το εξωτερικό πηνίο της αντλίας θερμότητας θα συγκεντρώσει θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας από το περιβάλλον, όπου αυτή η θερμότητα είναι ελεύθερα διαθέσιμη και άφθονη (έδαφος, νερό ή αέρας). Η πλευρά του συμπυκνωτή θα παρέχει πάντα θερμότητα υψηλότερης θερμοκρασίας στο φορτίο.

### Σημαντικό

- Η βαλβίδα αναστροφής είναι πάντα εγκατεστημένη στη θύρα εκκένωσης (υψηλή πίεση) του συμπιεστή στο σωλήνα «Α» και στη θύρα επιστροφής (η χαμηλή πίεση συνδέεται πάντα με το σωλήνα «Β»). Επομένως, ο σωλήνας Α έχει πάντα υψηλότερη πίεση ψυκτικού μέσου και ο σωλήνας Β έχει πάντα ψυκτικό μέσο χαμηλότερης πίεσης.
- Όλες οι βαλβίδες αναστροφής χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα που απαιτεί 24 VAC για να ενεργοποιηθεί. Το 99% των αστοχιών της βαλβίδας αντιστροφής οφείλονται σε κακό ή ελαττωματικό ηλεκτρικό πηνίο και όχι επειδή η ίδια η βαλβίδα έχει αστοχήσει. Η αντικατάσταση της βαλβίδας αναστροφής θα μπορούσε να είναι μια περίπλοκη διαδικασία. Χρειάζεται ένα πολύ εξειδικευμένο άτομο. Εάν

χρειάζεται πραγματικά να αντικαταστήσετε τη βαλβίδα σας και η μονάδα σας είναι ηλικίας άνω των 10 ετών, εξετάστε το ενδεχόμενο αντικατάστασης της αντλίας θερμότητας. Η βαλβίδα αντιστροφής της αντλίας θερμότητας μπορεί να κοστίζει \$200-\$250.

- Σημειώστε ότι η βαλβίδα αναστροφής ενεργοποιείται ή απενεργοποιείται με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή για να κατευθύνει τη ροή του ψυκτικού στα κατάλληλα πηνία.

### **Έχουν όλα τα συστήματα αντλιών θερμότητας βαλβίδες αντιστροφής;**

Όχι. Οι αντλίες θερμότητας που προορίζονται να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες αντιστροφής. Ωστόσο, τα συστήματα αντλιών θερμότητας που προορίζονται να παρέχουν μόνο θέρμανση δεν είναι εξοπλισμένα με βαλβίδες αναστροφής.

## Κεφάλαιο 3 Αντλίες Θερμότητας με Αέρα

Μια αντλία θερμότητας πηγής αέρα (ASHP) χρησιμοποιεί τον ΑΕΡΑ ως πηγή θερμότητας όταν το σύστημα λειτουργεί σε λειτουργία θέρμανσης. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη θερμότητα στον αέρα για να θερμάνουμε τον αέρα ή το νερό. Κατά συνέπεια, υπάρχουν δύο τύποι αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα.

1. Αντλία θερμότητας αέρα σε αέρα
2. Αντλία θερμότητας αέρα σε νερό

Η πρώτη λέξη στο όνομα της κατηγορίας είναι η πηγή θερμότητας. Η λέξη που ακολουθεί «προς» είναι το μέσο που αντιμετωπίζεται. Αυτό σημαίνει ότι όταν χρησιμοποιούμε τη θερμότητα στον αέρα για να θερμάνουμε τον αέρα, ονομάζουμε αυτή την αντλία θερμότητας αντλία θερμότητας αέρα-αέρα. Όταν χρησιμοποιούμε τη θερμότητα στον αέρα για να θερμάνουμε το νερό, ονομάζουμε αυτή την αντλία θερμότητας αντλία θερμότητας αέρα-νερού.

### 3.1. Αντλίες θερμότητας αέρα σε αέρα

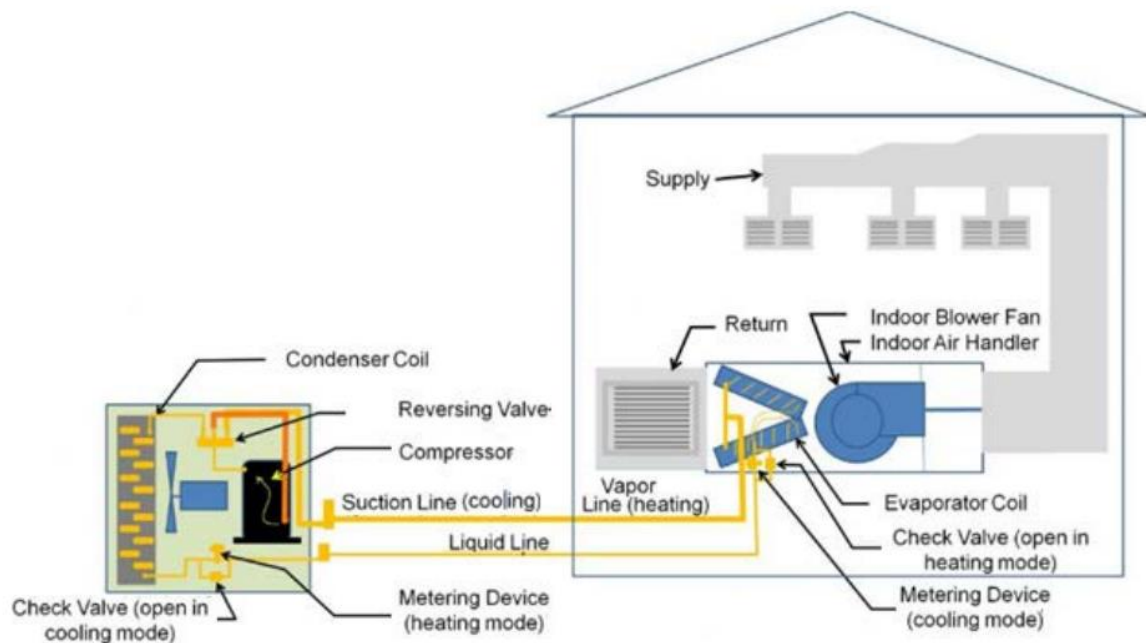
Ένας αέρας-αέρας χρησιμοποιείται για άνετη ψύξη και θέρμανση.

- Το χειμώνα, μια αντλία θερμότητας εξάγει τη θερμότητα που περιέχεται στον εξωτερικό αέρα και τη μεταφέρει μέσα στον κατειλημμένο χώρο.
- Τις ζεστές μέρες του καλοκαιριού, λειτουργεί αντίστροφα, αντλώντας θερμότητα από τον κατειλημμένο χώρο και αντλώντας την σε εξωτερικούς χώρους για να δροσίσει το σπίτι.

Οι περισσότερες από τις αντλίες θερμότητας αέρα σε αέρα ονομάζονται συστήματα διαχωρισμού, που σημαίνει ότι η θερμότητα απορροφάται σε ένα μέρος και απελευθερώνεται σε άλλη θέση. Το σύστημα Split αποτελείται από δύο επιφάνειες μεταφοράς θερμότητας. Ένα πηνίο ή επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας βρίσκεται μέσα στη δομή, ενώ η άλλη βρίσκεται έξω από τη δομή. Αυτές οι επιφάνειες αναφέρονται ως ο συμπυκνωτής και ο εξατμιστής.

Ο εξατμιστής απορροφά θερμότητα, ενώ ο συμπυκνωτής είναι υπεύθυνος για την απόρριψη θερμότητας. Η λειτουργία των επιφανειών μεταφοράς θερμότητας μπορεί να αλλάξει για να παραχθεί ο επιθυμητός τρόπος λειτουργίας του συστήματος. Έτσι, τα πηνία εσωτερικού και εξωτερικού χώρου μπορούν να λειτουργήσουν είτε ως συμπυκνωτής είτε ως εξατμιστής, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας στον οποίο λειτουργεί.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα κύρια στοιχεία και τη διάταξη.



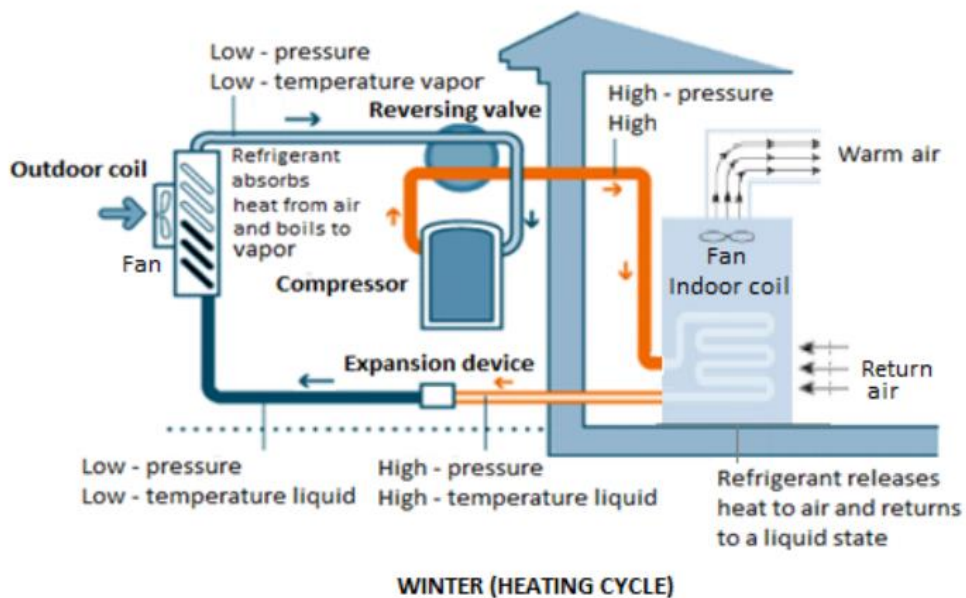
Εικόνα 8: Σχηματική διάταξη αέρα-αέρα

Η εσωτερική και η εξωτερική μονάδα συνδέονται μεταξύ τους με σωλήνες και ένα μέσο μεταφοράς θερμότητας, γνωστό ως ψυκτικό, το οποίο κυκλοφορεί μέσω του βρόχου για να διευκολύνει την επιθυμητή μεταφορά θερμότητας. Με μια ειδική βαλβίδα αντιστροφής 4 κατευθύνσεων, ο κύκλος ψύξης μπορεί να αλλάξει σε λειτουργία θέρμανσης ή ψύξης. Κατά τη θέρμανση, η εξωτερική μονάδα χρησιμεύει ως εξατμιστής για την εξαγωγή θερμότητας από τον αέρα. η εσωτερική μονάδα εκτελεί συμπύκνωση και φυσά ζεστό αέρα στο δωμάτιο. Το αντίστροφο συμβαίνει κατά την καλοκαιρινή ψύξη, δηλαδή η αντλία θερμότητας αφαιρεί τη θερμότητα από τον εσωτερικό αέρα και την απορρίπτει έξω.

### 3.2. Λειτουργία θέρμανσης

Στη λειτουργία θέρμανσης, το πηνίο εσωτερικού χώρου λειτουργεί ως συμπυκνωτής και το εξωτερικό πηνίο λειτουργεί ως εξατμιστής.

Δείτε στο σχήμα της αντλίας θερμότητας αέρα σε αέρα στη λειτουργία θέρμανσης παρακάτω:



Εικόνα 9: Χειμερινός κύκλος θέρμανσης

Ο ανεμιστήρας της εξωτερικής μονάδας αντλεί αέρα από το ανοιχτό περιβάλλον, ο οποίος ρέει πάνω από το εξωτερικό πηνίο που περιέχει ένα ψυκτικό υγρό. Το υγρό ψυκτικό απορροφά τη

θερμότητα από τον αέρα και βράζει (εξατμίζεται) μέχρι να εξατμιστεί. Το εξωτερικό πηνίο λοιπόν αναφέρεται ως Εξατμιστήρας.

Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου συμπιέζονται σε υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση και μετακινούνται στο εσωτερικό πηνίο. Το ψυκτικό υγρό εκχωρεί τη θερμότητά του στον αέρα του εσωτερικού χώρου και συμπυκνώνεται σε υγρό. Επομένως, στη λειτουργία θέρμανσης, το πηνίο εσωτερικού χώρου αναφέρεται ως πηνίο συμπυκνωτή.

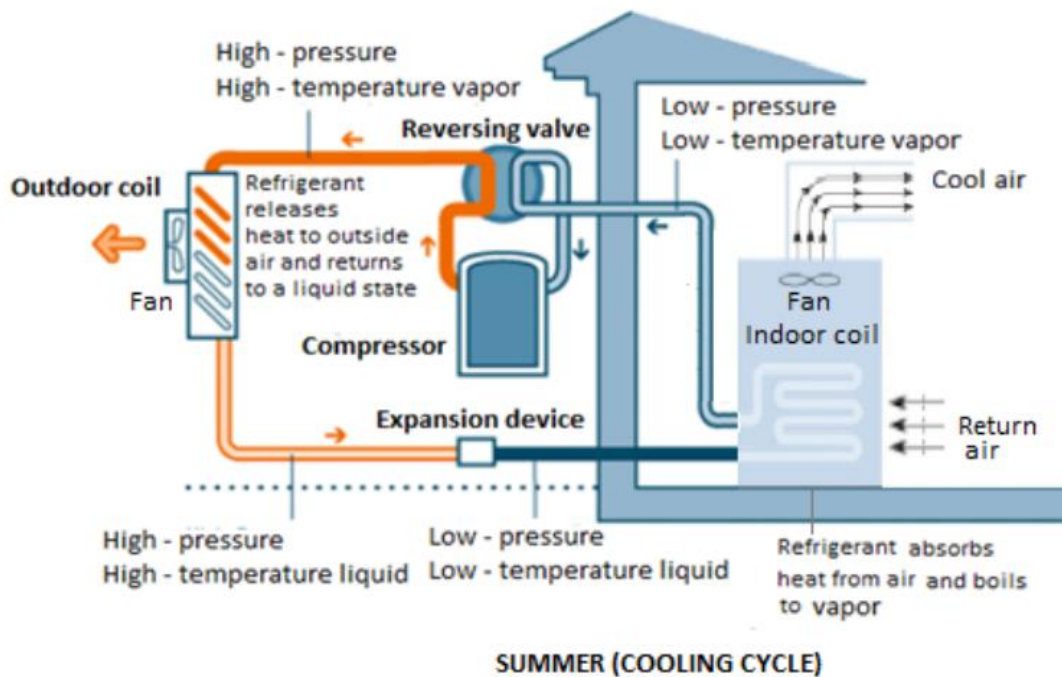
Το ψυκτικό κυκλοφορεί στον εξοπλισμό επαναλαμβάνοντας τις διαδικασίες συμπίεσης, συμπύκνωσης, διαστολής και εξάτμισης και επιστρέφει στη συμπίεση για να απομακρύνει τον θερμό αέρα από το εσωτερικό του δωματίου προς το εξωτερικό.

Αυτή η διαδικασία ελέγχεται αυτόματα από έναν θερμοστάτη μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη θερμοκρασία δωματίου. Όταν χρειάζεται επιπλέον θερμότητα τις ιδιαίτερα κρύες μέρες, ενεργοποιείται συμπληρωματικός θερμαντήρας ηλεκτρικής αντίστασης για να προσθέσει ζεστασιά στον αέρα που διέρχεται.

### **Λειτουργία ψύξης**

Η αντλία θερμότητας Αέρα προς Αέρα θα επανέλθει στη λειτουργία ψύξης τους καλοκαιρινούς μήνες όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία δωματίου. Στη λειτουργία ψύξης, το πηνίο εσωτερικού χώρου λειτουργεί ως εξατμιστής και το εξωτερικό πηνίο ως συμπυκνωτής. Ο αέρας από τον κατειλημμένο χώρο περνά πάνω από τον εξατμιστή ή το πηνίο ψύξης και η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από τον αέρα στο πηνίο. Αυτή η θερμότητα μεταφέρεται τελικά στο εξωτερικό πηνίο, το οποίο λειτουργεί ως συμπυκνωτής. Στον συμπυκνωτή, η θερμότητα απορρίπτεται στη συνέχεια προς τα έξω.

Ανατρέξτε στο παρακάτω σχήμα για τον κύκλο ψύξης.



Εικόνα 10: Καλοκαίρι (ψυκτικός κύκλος)

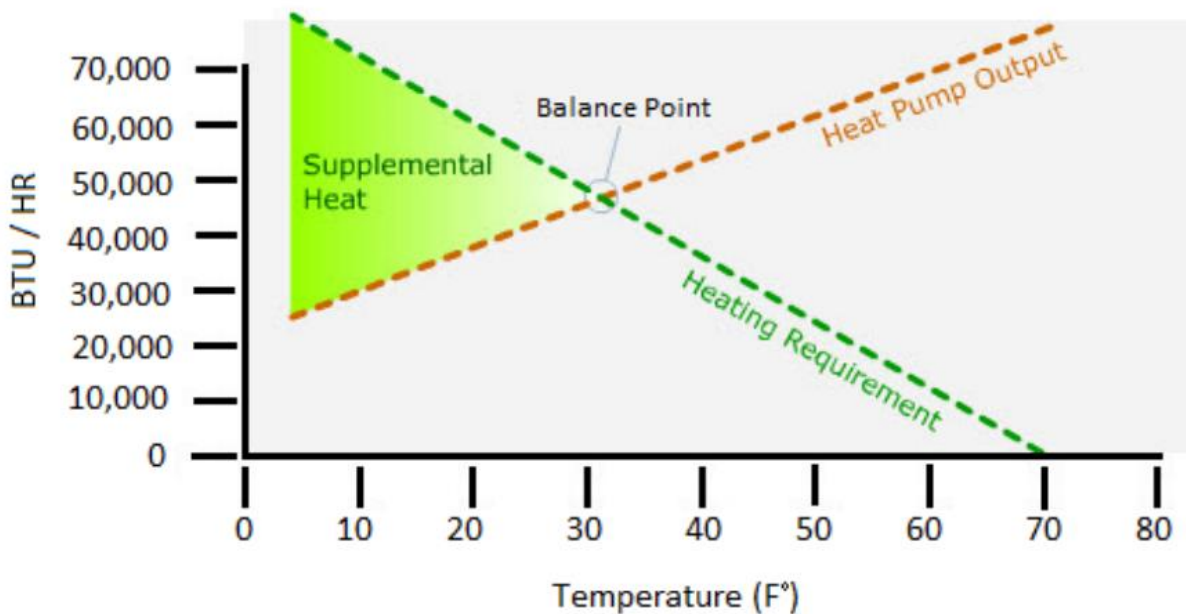
### 3.3. Ικανότητα θέρμανσης

Κανονικά, μια αντλία θερμότητας είναι ικανή να παρέχει το μέγιστο περίπου 1,25 φορές την ψυκτική της ικανότητα σε σχέση με την ικανότητα θέρμανσης. Εάν παρέχει 100.000 BTUH ψύξης, θα παρέχει σχεδόν 125.000 BTUH θέρμανσης στη μέγιστη χωρητικότητα. Ωστόσο, η μέγιστη ικανότητα θέρμανσης εμφανίζεται σε εξωτερικές θερμοκρασίες 70°F, όταν τη χρειαζόμαστε λιγότερο.

Η ικανότητα της αντλίας θερμότητας να μεταφέρει θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα στο εσωτερικό εξαρτάται από την εξωτερική θερμοκρασία. Καθώς η θερμοκρασία του εξωτερικού

αέρα πέφτει, μειώνεται και η ικανότητα της αντλίας θερμότητας να απορροφά θερμότητα. Ως «σημείο ισορροπίας» ορίζεται η ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία στην οποία μια αντλία θερμότητας μπορεί να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις θέρμανσης ενός χώρου χωρίς τη χρήση βοηθητικής ηλεκτρικής θερμότητας.

Αυτό το σημείο ισορροπίας προσδιορίζεται σχεδιάζοντας την απαίτηση θέρμανσης του χώρου σε διαφορετικές εξωτερικές θερμοκρασίες, την ικανότητα θέρμανσης της αντλίας θερμότητας και τη χαμηλότερη θερμοκρασία σχεδιασμού εξωτερικού περιβάλλοντος. Το σημείο όπου διασταυρώνονται οι γραμμές εξόδου της απαίτησης θέρμανσης χώρου και της αντλίας θερμότητας είναι το σημείο ισορροπίας. Για οποιαδήποτε θερμοκρασία κάτω από το σημείο ισορροπίας, θα απαιτείται συμπληρωματική θερμότητα.

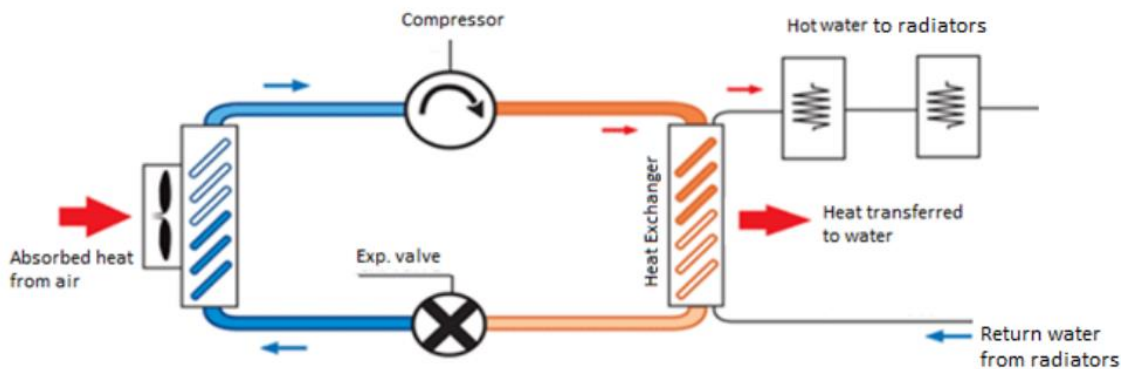


Η συμπληρωματική θερμότητα μπορεί να παρέχεται από φούρνο πετρελαίου, φυσικού αερίου ή ηλεκτρικής ενέργειας ή με τη μορφή θερμαντήρων ηλεκτρικής αντίστασης. Η συμπληρωματική θέρμανση ενεργοποιείται μόνο όταν το φορτίο θέρμανσης χώρου δεν μπορεί να καλυφθεί από τη χωρητικότητα της αντλίας θερμότητας. Το πρότυπο ASHRAE/IESNA 90.1-1999 ορίζει ότι οι αντλίες θερμότητας που είναι εξοπλισμένες με εσωτερικές θερμάστρες ηλεκτρικής αντίστασης πρέπει να διαθέτουν χειριστήρια για την αποφυγή της συμπληρωματικής λειτουργίας του θερμαντήρα όταν το φορτίο θέρμανσης μπορεί να καλυφθεί μόνο από την αντλία θερμότητας κατά τη διάρκεια της θέρμανσης ή της ανάκτησης απόκρουσης.

### 3.4. Αντλίες θερμότητας αέρα σε νερό

Οι αντλίες θερμότητας Air to Water ( αέρα-νερού) παίρνουν θερμότητα από τον αέρα έξω από το ακίνητο και τη μεταφέρουν σε νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων ή ως ζεστό νερό για βρύσες, ντους, υπηρεσίες πλυσίματος ή πλυντηρίου μέσα στο σπίτι. Τα κριτήρια

με τα οποία μεταφέρεται η θερμότητα μπορούν να απλοποιηθούν μέσω του σχηματικού σχήματος που παρουσιάζεται για το σύστημα κλιματισμού χώρου:



Η αντλία θερμότητας με πηγή αέρα δεν παράγει το είδος της θερμοκρασίας ζεστού νερού που θα συνδέατε με έναν λέβητα αερίου, υγραερίου ή πετρελαίου. Με ένα λέβητα, θα περιμένατε το ζεστό νερό να θερμανθεί στους περίπου 185°F (85°C), ενώ μια αντλία θερμότητας παράγει νερό στους περίπου 130°F (~55°C). Αυτό σημαίνει ότι θα χρειαστεί μεγαλύτερος όγκος νερού για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις θέρμανσης.

#### 3.4.1. Πώς λειτουργούν οι αντλίες θερμότητας αέρα-νερού;

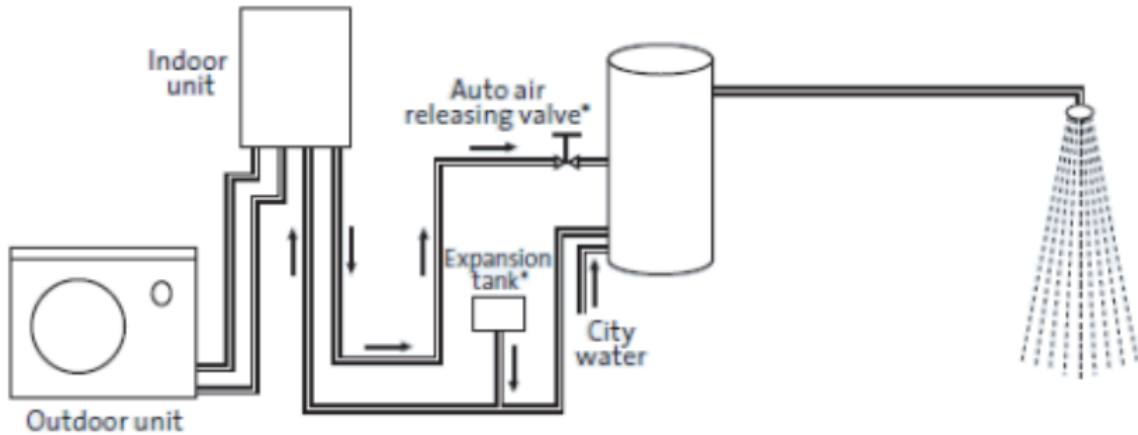
Το σύστημα αποτελείται από 2 μέρη: μια εσωτερική μονάδα και μια εξωτερική μονάδα (η οποία μπορεί να εγκατασταθεί σε αποστάσεις άνω των 50 μέτρων από την εσωτερική μονάδα). Ένα τρίτο εξάρτημα, μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, συνδέεται με την εσωτερική μονάδα. Το θερμαινόμενο νερό έως και 130°F (~55°C) μπορεί είτε να χρησιμοποιηθεί για την άμεση παροχή ζεστού νερού σε βρύσες/ντους ή/και για δρομολόγηση γύρω από ένα δίκτυο κεντρικής θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας. κάτω από το δάπεδο, καλοριφέρ ή συνδυασμός των δύο.

#### Εφαρμογή 1

Αυτή η εγκατάσταση προορίζεται μόνο για παροχή ζεστού νερού. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί ένα δοχείο διαστολής για να διατηρεί την πίεση στο εσωτερικό του συστήματος ζεστού νερού.

Η αυτόματη βαλβίδα απελευθέρωσης αέρα βοηθά στην αυτόματη απελευθέρωση αέρα μέσα στο σύστημα νερού.





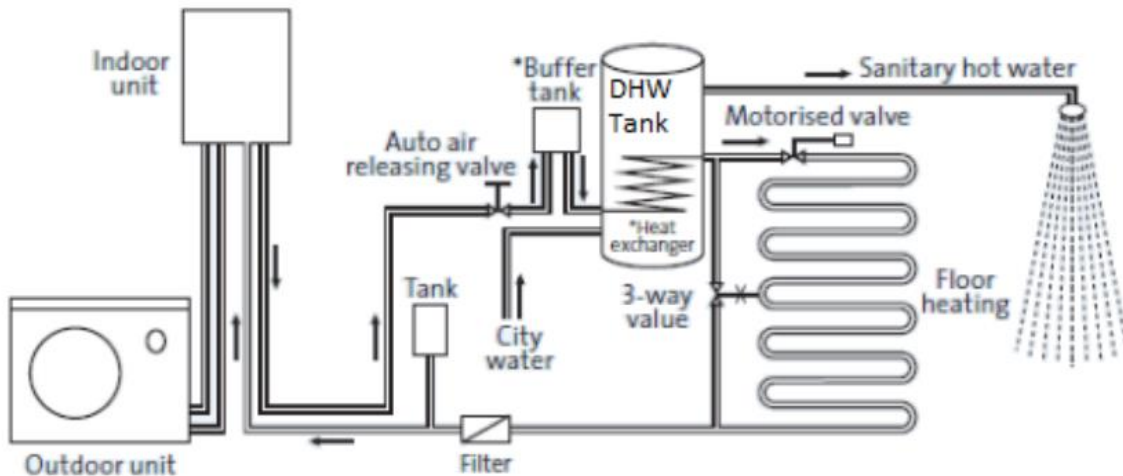
## Εφαρμογή 2

Τα πιο προηγμένα σχέδια αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα μπορούν να παρέχουν ζεστό νερό οικιακής χρήσης και θέρμανση χώρου ταυτόχρονα. Το ζεστό νερό οικιακής χρήσης (ZNX) συνήθως θερμαίνεται μέσω κάποιου είδους εναλλάκτη θερμότητας που επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από το νερό θέρμανσης στο ZNX. Ένας τρόπος για να το κάνετε αυτό είναι να χρησιμοποιήσετε μια «δεξαμενή στη δεξαμενή» – δείτε το παρακάτω σχηματικό. Εδώ η δεξαμενή ZNX περιβάλλεται από το νερό θέρμανσης χώρου και επομένως απορροφά θερμότητα από το νερό θέρμανσης χώρου μέσω των τοιχωμάτων της εσωτερικής δεξαμενής.

Η δεξαμενή απομόνωσης παρέχεται επίσης για να διατηρεί τον κατάλληλο όγκο νερού μέσα στο σύστημα νερού και να διατηρεί τη θερμοκρασία του νερού σε σταθερό επίπεδο. Έχει μέγεθος τουλάχιστον 10% της ελάχιστης παροχής όγκου νερού θέρμανσης που απαιτείται μέσω της αντλίας θερμότητας. Μια ρυθμιστική δεξαμενή είναι απολύτως απαραίτητη για τις αντλίες θερμότητας αέρα-νερού για:

- Για να επιτραπεί η πραγματοποίηση του κύκλου απόψυξης
- Για να επιτρέπεται η συμπληρωματική θέρμανση
- Βελτίωση της οικονομίας και της αποτελεσματικότητας του συστήματος

Το νερό επιστροφής αντικαθίσταται με το φρέσκο νερό της πόλης.



Σε ψυχρότερα κλίματα, ένα αντιψυκτικό διάλυμα κυκλοφορεί μεταξύ της εξωτερικής μονάδας και του εσωτερικού φορτίου. Αυτό μειώνει τον κίνδυνο παγώματος κατά τη διάρκεια διακοπής ρεύματος ή εάν η αντλία θερμότητας δεν λειτουργεί κατά τη διάρκεια του κρύου καιρού. Το αντιψυκτικό διάλυμα μπορεί να κυκλοφορήσει απευθείας μέσω του εσωτερικού συστήματος διανομής ή να διαχωριστεί από ένα υδρονικό σύστημα διανομής με βάση το νερό χρησιμοποιώντας έναν εναλλάκτη θερμότητας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα

Σε αντίθεση με τις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα, οι περισσότερες αντλίες θερμότητας αέρα-νερού χρησιμοποιούνται επίσης για αποκλειστικές εφαρμογές θέρμανσης. Θεωρητικά, είναι σε θέση να παράγουν κρύο νερό για ψύξη κτιρίων ή άλλες διαδικασίες που απαιτούν κρύο νερό, αλλά δεν αποτελούν οικονομική επιλογή.

### **Όλες οι αντλίες θερμότητας απαιτούν βαλβίδα αντιστροφής;**

Όχι, δεν απαιτούν όλες οι αντλίες θερμότητας βαλβίδα αντιστροφής 4 θυρών.

Τα συστήματα αντλιών θερμότητας που προορίζονται να παρέχουν μόνο θέρμανση δεν είναι εξοπλισμένα με βαλβίδες αναστροφής. Για παράδειγμα, η αντλία θερμότητας για θερμάστρα πισίνας δεν χρησιμοποιεί βαλβίδα αντιστροφής. Ο μοναδικός σκοπός του θερμαντήρα πισίνας με αντλία θερμότητας είναι η θέρμανση του νερού στην πισίνα. Αυτή η αντλία θερμότητας δεν χρησιμοποιείται ποτέ για την ψύξη του νερού της πισίνας, έτσι δεν χρειάζεται να λειτουργεί το σύστημα τόσο σε λειτουργία θέρμανσης όσο και σε λειτουργία ψύξης.

### **Σημαντικό**

Μόνο οι αντλίες θερμότητας που προορίζονται να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη είναι εξοπλισμένες με βαλβίδες αντιστροφής.

Οι περισσότερες μικρές οικιακές αντλίες θερμότητας είναι σε θέση να παρέχουν νερό σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες περίπου 130°F (~55°C) το μέγιστο. Για ασφάλεια έναντι της νόσου της Legionella που προκαλείται από μικρόβια ή βακτήρια σε στάσιμο νερό, η θερμοκρασία του ζεστού νερού οικιακής χρήσης είναι κατά διαστήματα άνω των 60°C. Σε αυτή τη θερμοκρασία τα βακτήρια πεθαίνουν μέσα σε δύο λεπτά και με ακόμη ταχύτερο ρυθμό σε υψηλότερες

θερμοκρασίες. Οι περισσότεροι εγκαταστάτες θα κανονίσουν τη θέρμανση του ZNX μία φορά την ημέρα σε θερμοκρασία άνω των 60°C, συνήθως με ένα θερμαντήρα εμβάπτισης σε χρονοδιακόπτη.

### 3.5. Απόδοση αντλίας θερμότητας

Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας μετράτε χρησιμοποιώντας έναν όρο "Συντελεστής Απόδοσης" γνωστός και ως (COP), και είναι ο λόγος της χρήσιμης θερμότητας που αντλείται σε υψηλότερη θερμοκρασία προς μια μονάδα ποσότητας εργασίας που καταβάλλεται. Θα εξετάσουμε στο COP όσον αφορά τις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα

Μια γενική έκφραση για την απόδοση μιας θερμικής μηχανής μπορεί να γραφτεί ως:

$$COP = \frac{Heat_{Energy,hot}}{Work}$$

Χρησιμοποιώντας την ίδια λογική που χρησιμοποιήθηκε για τις θερμικές μηχανές, αυτή η έκφραση γίνεται:

$$COP = \frac{Q_{hot}}{Q_{hot} - Q_{cold}}$$

Όπου:

Q hot = Εισαγωγή θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία και

Q ψυχρό = Η θερμότητα απορρίπτεται σε χαμηλή θερμοκρασία.

Η έκφραση μπορεί να ξαναγραφτεί ως εξής:

$$COP = \frac{T_{hot}}{T_{hot} - T_{cold}}$$

#### 3.5.1. Συντελεστής απόδοσης περιόδου θέρμανσης (HSPF)

Ο άλλος όρος για την απόδοση της αντλίας θερμότητας στον κύκλο θέρμανσης είναι ο Συντελεστής Απόδοσης Εποχής Θέρμανσης (HSPF). Είναι ο λόγος της θερμότητας που παρέχεται σε Btu ανά ώρα προς τα watt της ενέργειας που χρησιμοποιείται. Αυτός ο παράγοντας λαμβάνει υπόψη τις απώλειες κατά την εκκίνηση και τη διακοπή λειτουργίας του εξοπλισμού, καθώς και την ενέργεια που χάνεται κατά τη διάρκεια του κύκλου απόψυξης.

Οι νέες αντλίες θερμότητας που κατασκευάζονται μετά το 2005 απαιτείται να έχουν HSPF τουλάχιστον 7,7. Οι τυπικές τιμές για το HSPF είναι 7,7 για ελάχιστη απόδοση, 8,0 για μεσαία απόδοση και 8,2 για υψηλή απόδοση. Οι αντλίες θερμότητας μεταβλητής ταχύτητας έχουν βαθμολογίες HSPF έως και 9,0 και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας έχουν HSPF πάνω από 10,0. Το HSPF υπολογίζει κατά μέσο όρο την απόδοση του εξοπλισμού θέρμανσης για έναν τυπικό χειμώνα στις Ηνωμένες Πολιτείες, επομένως η πραγματική απόδοση θα ποικίλλει σε

διαφορετικά κλίματα. Σε ψυχρότερα κλίματα, ο HSPF μειώνεται και σε θερμότερα κλίματα, αυξάνεται.

## 2.6. Διαστασιολόγηση

Ενώ μια αντλία θερμότητας μπορεί να έχει μέγεθος ώστε να παρέχει το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που απαιτείται από έναν εσωτερικό χώρο, αυτό δεν είναι γενικά καλή ιδέα. Σε ψυχρά μέρη, τα φορτία θέρμανσης είναι μεγαλύτερα από τα φορτία ψύξης. Εάν η αντλία θερμότητας έχει μέγεθος ώστε να ταιριάζει με το φορτίο θέρμανσης, θα είναι πολύ μεγάλη για την απαίτηση ψύξης και θα λειτουργεί μόνο κατά διαστήματα στη λειτουργία ψύξης.

Αυτό μπορεί να μειώσει την απόδοση και την ικανότητα της μονάδας να παρέχει αφύγρανση το καλοκαίρι.

Επίσης, καθώς πέφτει η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, τόσο πέφτει και η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα. Συνεπώς, δεν έχει οικονομικό νόημα να προσπαθείτε να καλύψετε όλες τις ανάγκες σας σε θέρμανση με μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα.

Κατά κανόνα, μια αντλία θερμότητας με πηγή αέρα θα πρέπει να έχει μέγεθος ώστε να παρέχει όχι περισσότερο από το 125 τοις εκατό του φορτίου ψύξης. Μια αντλία θερμότητας που επιλέγεται με αυτόν τον τρόπο θα καλύπτει περίπου το 80 έως 90% του ετήσιου φορτίου θέρμανσης, ανάλογα με την κλιματική ζώνη, και θα έχει σημείο ισορροπίας μεταξύ 0°C και -5°C. Αυτό έχει γενικά ως αποτέλεσμα τον καλύτερο συνδυασμό κόστους και εποχιακής απόδοσης.

## 3.7. Τεχνολογικές Πρόοδοι

Σε περιοχές με ψυχρό κλίμα, οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα που χρησιμοποιούν τη θερμότητα του περιβάλλοντος είναι λιγότερο αποδοτικές από εκείνες στις θερμότερες περιοχές. Στο παρελθόν, όταν η τεχνολογία της αντλίας θερμότητας δεν ήταν τόσο προηγμένη όσο σήμερα, η απόδοση θέρμανσης ορισμένων τμημάτων του εξοπλισμού της αντλίας θερμότητας μειώθηκε δραστικά όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα έγινε χαμηλή.

Ως εκ τούτου, οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα εισήχθησαν σπάνια για σκοπούς θέρμανσης, ενώ οι λέβητες καύσης ορυκτών καυσίμων χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε τέτοιο ψυχρό κλίμα.

Ωστόσο, η απόδοση των αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα έχει βελτιωθεί αξιοσημείωτα τα τελευταία χρόνια και ορισμένα νεογέννητα προϊόντα έχουν επαρκή απόδοση θέρμανσης ακόμη και σε θερμοκρασία εξωτερικού αέρα -25°C λόγω της βελτιωμένης απόδοσης συμπιεστών και εναλλάκτη θερμότητας. Για παράδειγμα, ένα σύστημα θέρμανσης νερού αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα για οικιακή χρήση που χρησιμοποιήθηκε από την Daikin Industries, Ltd. ένα επίπεδο COP 3 σε θερμοκρασία αέρα -10°C.

### 3.8. Λειτουργικό κόστος και αποπληρωμή

Το ενεργειακό κόστος μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να είναι χαμηλότερο από αυτό άλλων συστημάτων θέρμανσης, ιδιαίτερα των συστημάτων θέρμανσης με ηλεκτρικό ή πετρέλαιο. Ωστόσο, η σχετική εξοικονόμηση θα εξαρτηθεί από το εάν αυτή τη στιγμή χρησιμοποιείτε ηλεκτρική ενέργεια, πετρέλαιο, προπάνιο ή φυσικό αέριο και από το σχετικό κόστος των διαφορετικών πηγών ενέργειας στην περιοχή σας. Με τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας, θα χρησιμοποιήσετε λιγότερο αέριο ή πετρέλαιο, αλλά περισσότερο

ηλεκτρική ενέργεια. Εάν ζείτε σε μια περιοχή όπου η ηλεκτρική ενέργεια είναι ακριβή, το κόστος λειτουργίας σας μπορεί να είναι υψηλότερο. Ανάλογα με αυτούς τους παράγοντες, η περίοδος απόσβεσης για επένδυση σε αντλία θερμότητας με πηγή αέρα και όχι σε κεντρικό κλιματιστικό μπορεί να είναι οπουδήποτε δύο έως επτά χρόνια.

### 3.9. Προσδόκιμο ζωής και Εγγυήσεις

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα έχουν διάρκεια ζωής μεταξύ 15 και 20 ετών. Ο συμπιεστής είναι το κρίσιμο στοιχείο του συστήματος. Οι περισσότερες αντλίες θερμότητας καλύπτονται από εγγύηση ενός έτους για ανταλλακτικά και εργασία, και επιπλέον εγγύηση πέντε έως δέκα ετών στον συμπιεστή (μόνο για ανταλλακτικά). Ωστόσο, οι εγγυήσεις διαφέρουν μεταξύ των κατασκευαστών, επομένως ελέγξτε τα ψιλά γράμματα.

### 3.10. Θέματα εξυπηρέτησης

Υπάρχουν μερικά πράγματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν ασχολείστε με αντλίες θερμότητας από πλευράς συντήρησης και σέρβις. Το πρώτο στοιχείο που πρέπει να λάβετε υπόψη είναι το γεγονός ότι ο συμπιεστής σε ένα σύστημα αντλίας θερμότητας μπορεί να δει πολύ περισσότερες ώρες χρήσης από τη μονάδα κλιματισμού με θερμαντήρα ηλεκτρικής αντίστασης ή τον φούρνο με θερμότητα αερίου. Αυτό είναι απολύτως λογικό αφού χρησιμοποιούμε τον συμπιεστή και σε λειτουργίες θέρμανσης και ψύξης. Οι συμπιεστές στις αντλίες θερμότητας αναγκάζονται επίσης να λειτουργούν σε πολύ μεγαλύτερη ποικιλία συνθηκών. Αυτό απαιτεί την εγκατάσταση πολλών πρόσθετων εξαρτημάτων και δρα για να μειώσει τη διάρκεια ζωής του συμπιεστή.

#### 3.10.1. Απόψυξη

Κατά τη λειτουργία θέρμανσης, σε χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, σχηματίζεται παγετός στα εξωτερικά πηνία. Εάν ο παγετός αφηθεί να συσσωρευτεί μέχρι το σημείο όπου το πηνίο μπλοκάρει τελείως, η χωρητικότητα της μονάδας θα μειωνόταν σημαντικά και ο συμπιεστής θα μπορούσε να καταστραφεί λόγω της εκκένωσης του υγρού. Επομένως, οι αντλίες θερμότητας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με χειριστήρια που παρακολουθούν και ανιχνεύουν τότε το εξωτερικό πηνίο παγώνει και θέτουν τη μονάδα σε κύκλο απόψυξης. Αυτά τα χειριστήρια πρέπει στη συνέχεια να καθορίσουν τότε το πηνίο έχει αποψυχθεί και να τερματίσουν τον κύκλο απόψυξης. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τι μπορεί να συμβεί εάν δεν εκτελεστεί ο κύκλος απόψυξης



*Εικόνα 11: Πάγος σε αντλία θερμότητας*

Ο κύκλος απόψυξης μπορεί να διαχειριστεί με τον κύκλο ψύξης της μονάδας. Εδώ, η βαλβίδα οπισθοπορείας αλλάζει τη συσκευή στη λειτουργία ψύξης. Αυτό στέλνει ζεστό αέριο στο εξωτερικό πηνίο για να λιώσει ο παγετός. Ταυτόχρονα, ο εξωτερικός ανεμιστήρας, ο οποίος συνήθως φυσά κρύο αέρα πάνω από το πηνίο, απενεργοποιείται προκειμένου να μειωθεί η ποσότητα της θερμότητας που απαιτείται για την τήξη ο παγετός. Ενώ συμβαίνει αυτό, η αντλία θερμότητας ψύχει τον αέρα στον αγωγό.

Τα χειριστήρια ζήτησης παγετού παρακολουθούν τη ροή αέρα, την πίεση του ψυκτικού μέσου και τη διαφορά θερμοκρασίας και πίεσης αέρα/πηνίου στο εξωτερικό πηνίο για να ανιχνεύσουν τη συσσώρευση πάγου στο εξωτερικό πηνίο. Ο αριθμός των εργασιών απόψυξης επηρεάζεται από το κλίμα, τη σχεδίαση αέρα/πηνίου και τις ώρες λειτουργίας. Διαπιστώθηκε ότι απαιτείται λίγη απόψυξη όταν οι συνθήκες εξωτερικού αέρα είναι κάτω από 42°F (~5,5°C) και 60% RH (επιβεβαιωμένο με ψυχομετρική ανάλυση). Υπό πολύ υγρές συνθήκες, όταν υπάρχουν μικρά αιωρούμενα σταγονίδια νερού στον αέρα, ο ρυθμός εναπόθεσης παγετού μπορεί να είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερος από ό,τι προβλέπεται από την ψυχομετρική ανάλυση. Η αντλία θερμότητας μπορεί να χρειαστεί απόψυξη μετά από μόνο 20 λεπτά λειτουργίας. Η απώλεια της διαθέσιμης ικανότητας θέρμανσης λόγω παγώματος θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον καθορισμό του μεγέθους μιας αντλίας θερμότητας με πηγή αέρα.

### 3.10.2. Συσσωρευτής

Οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν επίσης μια συσκευή που ονομάζεται συσσωρευτής αναρρόφησης που συνήθως δεν βρίσκεται σε άλλες μονάδες κλιματισμού. Ο συσσωρευτής είναι στην πραγματικότητα μια δεξαμενή που εγκαθίσταται ακριβώς πριν από τον συμπιεστή στη γραμμή αναρρόφησης. Ο σκοπός αυτής της συσκευής είναι να επιτρέπει σε οποιοδήποτε υγρό που βρίσκεται το δρόμο του προς τον συμπιεστή να εκτοξεύεται σε ατμό πριν εισέλθει στον συμπιεστή. Ο συσσωρευτής παρέχει επίσης έναν τρόπο για το λάδι που αναμιγνύεται με το υγρό ψυκτικό να επιστραφεί στον συμπιεστή.

### 3.10.3. Liquid Line Drier

Η φύση των αντλιών θερμότητας υπαγορεύει ότι ορισμένες από τις σωληνώσεις ψυκτικού έχουν διπλό σκοπό. Η ροή του ψυκτικού στη γραμμή υγρού μιας αντλίας θερμότητας αλλάζει στην πραγματικότητα κατεύθυνση. Τα περισσότερα συστήματα κλιματισμού διαθέτουν στεγνωτήρα υγρού γραμμής τοποθετημένο σε αυτή τη σωλήνωση. Οι αντλίες θερμότητας έχουν επίσης ένα στεγνωτήριο τοποθετημένο στη γραμμή υγρού, αλλά πρέπει να είναι τύπου διπλής ροής ώστε να φιλτράρει το ψυκτικό που ρέει και προς τις δύο κατευθύνσεις. Όταν η σωλήνωση ψυκτικού κατασκευάζεται και τοποθετείται σε κλιματιστικό σύστημα split, ακολουθούνται ορισμένες διαδικασίες για να διασφαλιστεί η καλή επιστροφή λαδιού στον συμπιεστή. Αυτά περιλαμβάνουν την τοποθέτηση λαδιοπαγίδων και τη σωστή τοποθέτηση των σωληνώσεων καθώς και την τοποθέτηση διπλών ανυψωτικών. Το γεγονός ότι οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν τις σωληνώσεις ψυκτικού για διαφορετικούς σκοπούς κατά τη διάρκεια των εργασιών θέρμανσης και ψύξης εμποδίζει τον εγκαταστάτη να ακολουθήσει αυτές τις διαδικασίες. Για το λόγο αυτό, οι αντλίες θερμότητας με split system πρέπει να εφαρμόζονται και να διοχετεύονται αυστηρά σύμφωνα με τις συστάσεις του κατασκευαστή του εξοπλισμού.

### 3.10.4. Αντίστροφη Βαλβίδα

Οι αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν μια ηλεκτρική βαλβίδα για την αλλαγή της ροής του ψυκτικού. Υπάρχουν επί του παρόντος τρεις διαφορετικές παραλλαγές καλωδίωσης ελέγχου για αντλίες θερμότητας. Αυτά βασίζονται στον τρόπο ελέγχου της βαλβίδας αναστροφής. Ορισμένοι κατασκευαστές ρυθμίζουν μια μονάδα έτσι ώστε να βρίσκεται σε λειτουργία θέρμανσης όταν η βαλβίδα είναι ενεργοποιημένη.

Ορισμένοι κατασκευαστές ενεργοποιούν τη βαλβίδα όταν η μονάδα βρίσκεται σε λειτουργία ψύξης. Μερικοί κατασκευαστές έχουν τον θερμοστάτη να ελέγχει τη λειτουργία της βαλβίδας μέσω της χρήσης ενός πρόσθετου καλωδίου ελέγχου και άλλοι κατασκευαστές ρυθμίζουν την καλωδίωση ελέγχου τους όπως η τυπική καλωδίωση για μια μονάδα χωρίς αντλία θερμότητας. Επιπλέον, υπάρχουν πολλές διαφορετικές απαιτήσεις ελέγχου που εξαρτώνται από τον τρόπο ελέγχου των ηλεκτρικών θερμαντήρων. Καθώς ο εξοπλισμός γίνεται πιο περίπλοκος, γίνεται πιο ακριβός η συντήρηση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι υπάρχουν περισσότερα εξαρτήματα προς βλάβη και λιγότεροι τεχνικοί που είναι σε θέση να διαγνώσουν και να κάνουν εύκολα επισκευές.

## Κεφάλαιο 4 ( GROUND SOURCE HEAT PUMPS (GSHP)

Στο προηγούμενο κεφάλαιο, συζητήσαμε τις αντλίες θερμότητας πηγής αέρα (ASHP's) που μεταφέρουν θερμότητα μεταξύ του εξωτερικού αέρα και του εσωτερικού αέρα. Τι θα γινόταν αν αντικαθιστούσαμε τον εξωτερικό αέρα με επίγεια ή ατελείωτη ροή νερού σε θερμοκρασία μεταξύ 75°F και 80°F.

Οι αντλίες θερμότητας εδάφους ή γεωθερμικής πηγής (GSHP) χρησιμοποιούν το έδαφος ως ψύκτρα το καλοκαίρι και πηγή θερμότητας το χειμώνα αντί για εξωτερικό αέρα. Αυτά βασίζονται στη σχετική ζεστασιά της γης για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης. Όπως το ASHP, τα GSHP δεν δημιουργούν θερμότητα. απλά το μετακινούν από τη μια περιοχή στην άλλη.

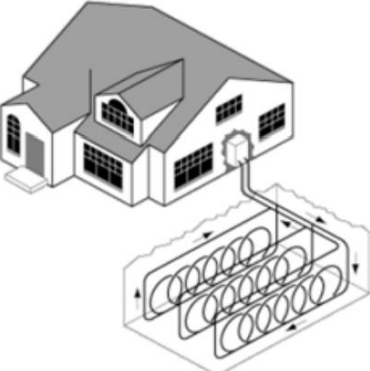
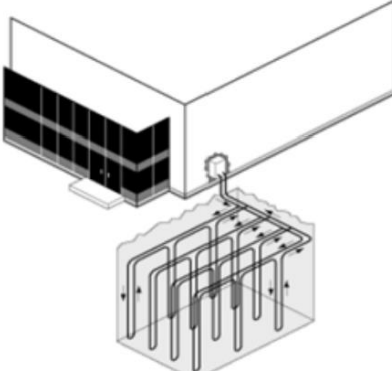

### 4.1. Αρχές λειτουργίας

Σε αυτήν την εφαρμογή, ο υπόγειος σωλήνας που περιέχει κάποιο ρευστό αντλείται μέσω μεγάλων μηκών σωληνώσεων που είναι θαμμένοι στο έδαφος. Το υγρό είναι νερό ή μείγμα νερού και αντιψυκτικού (για παράδειγμα γλυκόλη, άλμη κ.λπ.). Το ρέον ρευστό ανταλλάσσει τη θερμότητά του με τη γη και τη μεταφέρει σε εσωτερικούς χώρους. Η μεταφορά θερμότητας από και προς τις σωληνώσεις είναι παθητική καθώς δεν απαιτείται εξωτερική ενέργεια για τη θέρμανση και την ψύξη του νερού του βρόχου. Χρειάζεται μόνο μια μικρή αντλία κυκλοφορίας για την κυκλοφορία του υγρού σε κλειστό βρόχο.

Αυτός ο τύπος συστήματος είναι πλεονεκτικός επειδή η θερμοκρασία του εδάφους κάτω από τη γραμμή παγετού παραμένει σταθερή και θερμότερη το χειμώνα από τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Είναι πολύ πιο εύκολο να εξαγάγετε θερμότητα από νερό 80°F παρά κρύο εξωτερικό αέρα 30°F. Επομένως, η χωρητικότητα και η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας εδάφους (GSHP) δεν διακυβεύεται κατά τις χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, που ήταν ο κύριος περιορισμός των αντλιών θερμότητας με πηγή αέρα (ASHP).

Οι σωλήνες που αποτελούν τον εναλλάκτη θερμότητας εδάφους μπορούν να προσανατολιστούν σε κάθετο, οριζόντιο ή σπειροειδές μοτίβο. Οποιοδήποτε από αυτά τα μοτίβα μπορεί να σχεδιαστεί για να παρέχει τις ίδιες θερμοκρασίες ρευστού κάτω από ένα δεδομένο σύνολο συνθηκών. Η επιλογή εξαρτάται από τη διαθέσιμη γη, τις συνθήκες του εδάφους και το κόστος εκσκαφής.



| Closed Loop System<br>Horizontal  | Closed Loop System<br>Vertical  | Closed Loop System<br>Pond/Lake   |
|---|---|---|
|  |  |  |

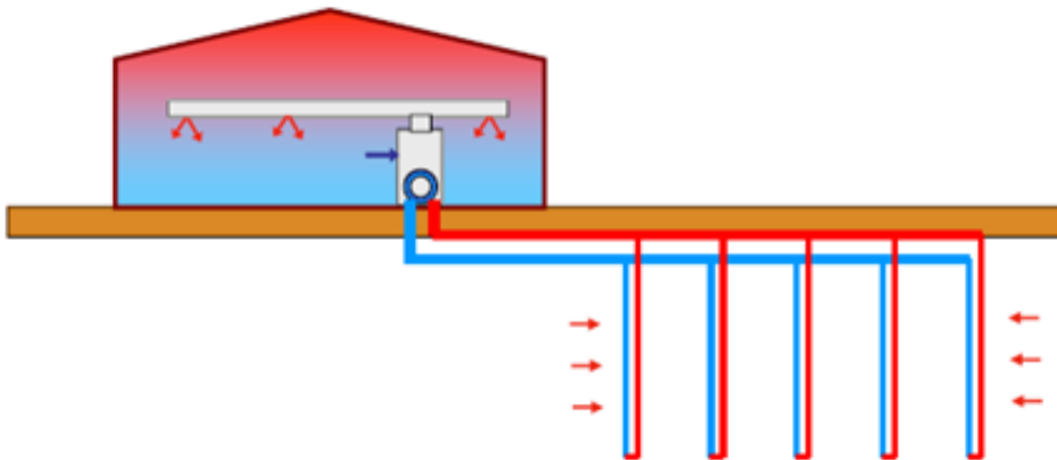
Εικόνα 12: Αντλίες Θερμότητας για Θέρμανση και Ψύξη

Τα χαρακτηριστικά και οι διαμορφώσεις του συστήματος αντλίας θερμότητας επίγειας πηγής συζητούνται παρακάτω.

#### 4.2. Συστήματα κάθετου βρόχου

Κάθετοι βρόχοι από σωλήνες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας (HDPE) ή διασυνδεδεμένου πολυαιθυλενίου (PEX) ανοίγουν μια οπή που μπορεί να έχει βάθος 200 έως 500 πόδια (~60 έως 150 m). Οι κατακόρυφες οπές έχουν συνήθως διάμετρο 4 έως 8 ίντσες (~10 έως 20 cm), η καθεμία τοποθετημένη σε απόσταση περίπου 10 πόδια (~3 m) μεταξύ τους.

Η διάμετρος των σωληνώσεων είναι συνήθως  $\frac{3}{4}$  -  $1\frac{1}{2}$ " (~20 - 40mm). Κατά κανόνα, οι κάθετοι βρόχοι απαιτούν περίπου 125 έως 150 πόδια (~38 έως 45 m) γεώτρησης και οπουδήποτε από 250 έως 300 ft<sup>2</sup> επιφάνειας εδάφους ανά τόνο (~3,5 kW) ψύξης.



### 4.3. Εγκατάσταση

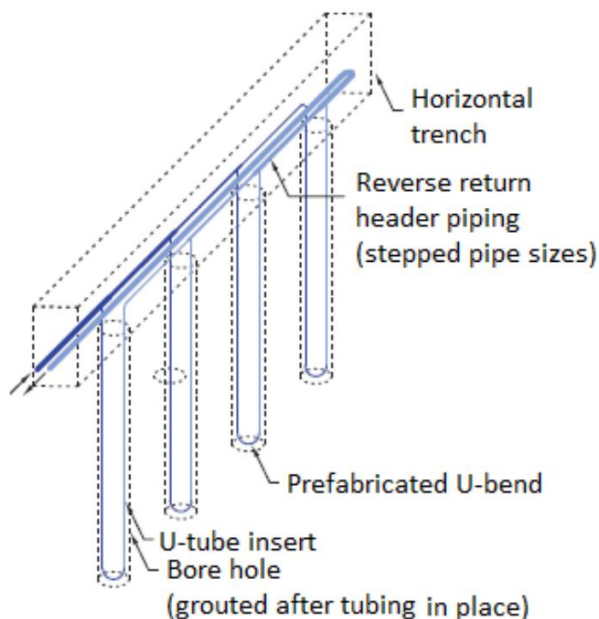
Οι μέθοδοι εγκατάστασης για κάθετο βρόχο περιλαμβάνουν:

- Άνοιγμα τρόπων
- Περιστροφική γεώτρηση
- Διάτρηση κινητήρα με κάτω οπή

Η επιλεγμένη μέθοδος θα εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, το διαθέσιμο γεωτρήσιμο και τον προϋπολογισμό. Οι κάθετες εγκαταστάσεις ενδέχεται να απαιτούν τη συγκατάθεση πόρων από την ΕΡΑ ή τις τοπικές ρυθμιστικές αρχές για δραστηριότητες γεώτρησης.

Μόλις ανοίξει ο απαιτούμενος αριθμός οπών, δύο σωλήνες HDPE ή PEX τροφοδοτούνται σε κάθε οπή διάτρησης. Τα κάτω άκρα αυτών των σωλήνων είναι συγκολλημένα με τήξη μαζί με ένα U-bend για να κλείσει ο βρόχος κυκλοφορίας.

Τα πάνω άκρα των σωλήνων (τροφοδοσία και επιστροφή) είναι «κεφαλής» έτσι ώστε όλα τα συγκροτήματα σωλήνων U να λειτουργούν παράλληλα (π.χ., η μία πλευρά κάθε συγκροτήματος σωλήνα U συνδέεται με μια κεφαλή τροφοδοσίας, ενώ η άλλη πλευρά συνδέεται σε μια κεφαλίδα επιστροφής). Οι κεφαλίδες συνήθως διαμορφώνονται για αντίστροφη ροή επιστροφής με κλιμακωτά μεγέθη σωληνώσεων ώστε να διατηρούν περίπου την ίδια απώλεια κεφαλής ανά μονάδα μήκους. Αυτό βοηθά στη διασφάλιση ίσης κατανομής ροής μέσω κάθε συγκροτήματος σωλήνα U.

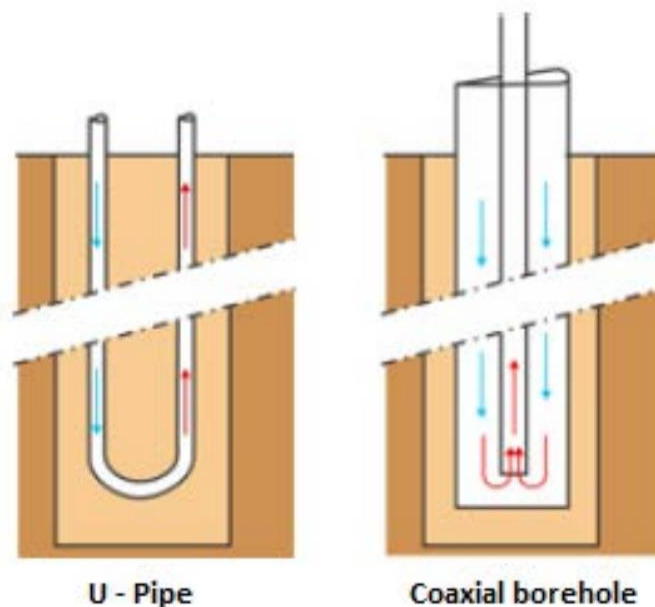


Όλοι οι βρόχοι γείωσης, ειδικά εκείνοι με θαμμένους (απρόσιτους) συνδέσμους σύντηξης, θα πρέπει να ελέγχονται υπό πίεση με πεπιεσμένο αέρα σε τουλάχιστον 75 psi για τουλάχιστον 24 ώρες για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν απολύτως διαρροές.

Μετά τη δοκιμή, κάθε οπή οπής γεμίζεται προσεκτικά με εναιώρημα ενέματος (μπεντονίτης) ή θερμικά ενισχυμένη άργιλο χαμηλής διαπερατότητας αναμειγμένο με λεπτό αδρανή, όπως άμμο. Η αρμολόγηση γεμίζει τυχόν κενά αέρα γύρω από τη σωλήνωση και τη γη και παίζει σημαντικό ρόλο στη μεγιστοποίηση της αγωγίμης μεταφοράς θερμότητας.

Η αρμολόγηση σφραγίζει επίσης τη γεώτρηση από τη διείσδυση επιφανειακών υδάτων. Ο τυπικός ενέματα έχει στην πραγματικότητα κακή αγωγιμότητα, επομένως η διάμετρος της γεώτρησης πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (σε διάμετρο περίπου 5") για να περιοριστεί η επίδραση του ενέματος. Ορισμένες πολιτειακές και τοπικές κυβερνήσεις έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις για την αρμολόγηση γεωτρήσεων για την προστασία της ακεραιότητας των υπόγειων υδάτων. Φροντίστε να επαληθεύσετε και να συμμορφωθείτε με αυτές τις τοπικές απαιτήσεις.

Τα δύο πιο συνηθισμένα σχέδια εναλλάκτη θερμότητας γεωτρήσεων είναι οι σωλήνες U και οι ομοαξονικοί (ομόκεντροι) σωλήνες.



#### 4.4. Συστήματα οριζόντιου βρόχου

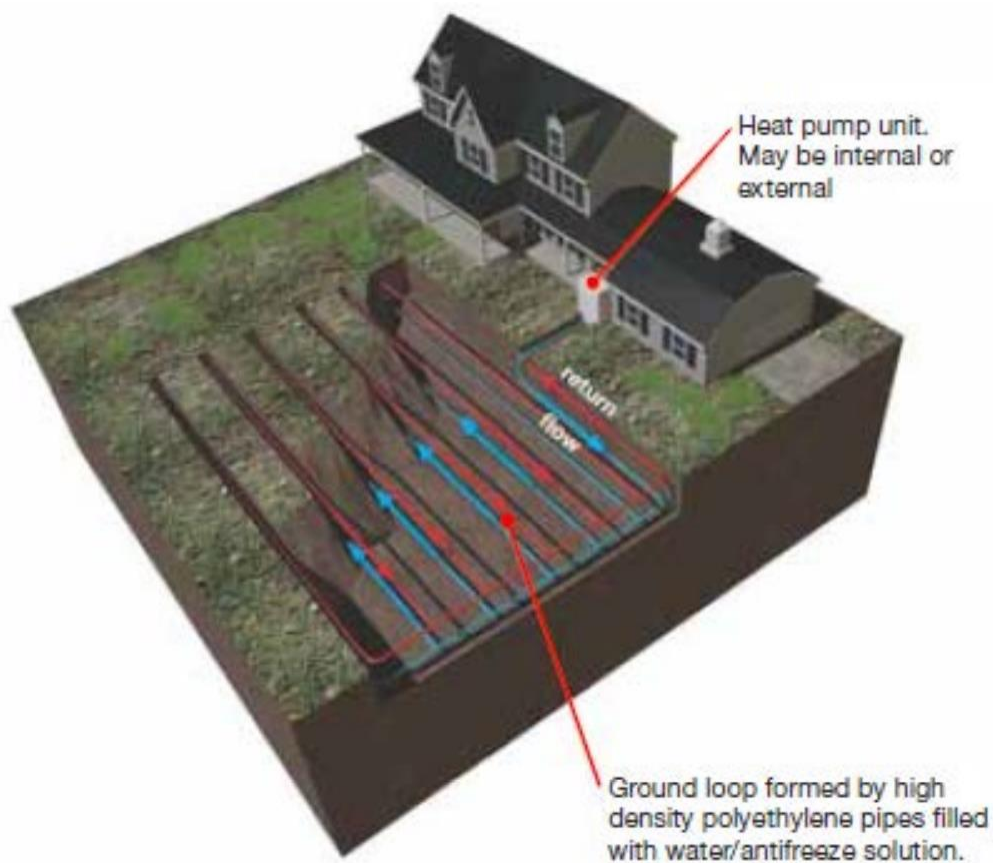
Ένας οριζόντιος βρόχος εκτελεί τις σωληνώσεις παράλληλα και κοντά στην επιφάνεια. Οι σωλήνες τοποθετούνται σε ρηγά αυλάκια και ένα λειτουργικό ρευστό κυκλοφορεί μέσω του δικτύου των σωλήνων και παρέχει το μέσο για τη μεταφορά θερμότητας από το έδαφος.

Οι οριζόντιοι βρόχοι εγκαθίστανται ευκολότερα αλλά απαιτούν σημαντικά μεγαλύτερη επιφάνεια (περίπου 2500 ft<sup>2</sup>/τόνο).

Οι σωλήνες βρίσκονται συνήθως σε βάθος 6 πόδια (1,8 m) και απέχουν μεταξύ τους 6 έως 15 πόδια (1,8 έως 4,6 m).

Το υλικό του σωλήνα είναι συνήθως πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE) και έχει συνήθως διάμετρο ¾ - 1½" (~20 - 40 mm).

Κατά κανόνα, οι οριζόντιοι βρόχοι μπορεί να κυμαίνονται από 100 έως 400 πόδια μήκους τάφρου ανά τόνο ψύξης. Οι ρυθμοί εξαγωγής θερμότητας γενικά επηρεάζονται από τις ιδιότητες του εδάφους και άλλους παράγοντες.

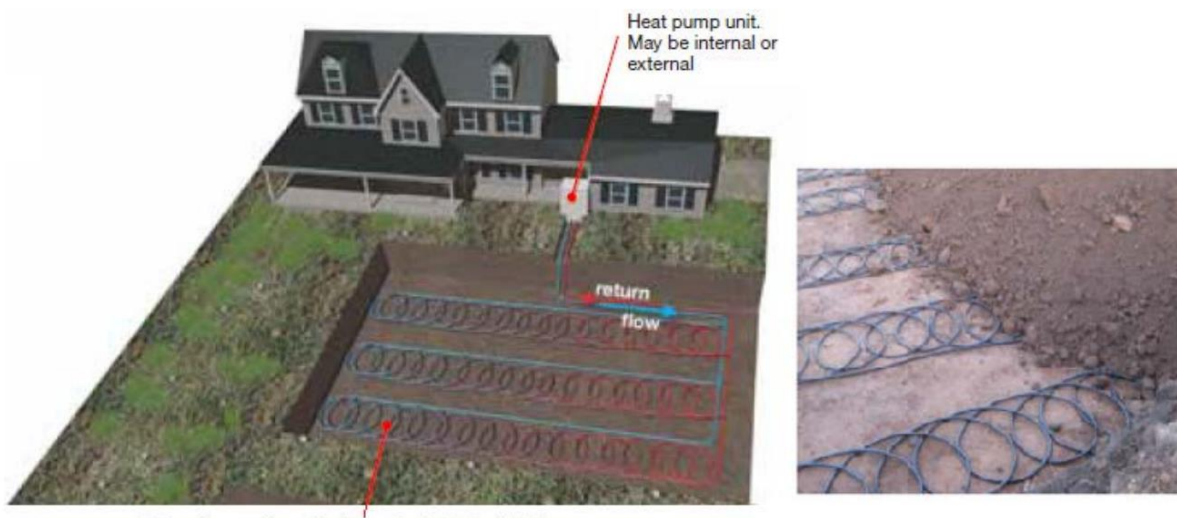


Το σύστημα οριζόντιου βρόχου μπορεί να διαμορφωθεί ως ευθεία, πολλαπλή ή σαθρή διάταξη. Οι βρόχοι γείωσης ενός σωλήνα εγκαθίστανται σε σχετικά μεγάλες ανοιχτές περιοχές, απαλλαγμένες από σκληρούς βράχους ή μεγάλους ογκόλιθους με επαρκές βάθος εδάφους.

Σε μια εναλλακτική διάταξη, ο μονός σωλήνας μπορεί να διπλασιαστεί ή να τετραπλασιαστεί σε πολλαπλά στρώματα. Πολλαπλοί σωλήνες που τοποθετούνται κοντά ο ένας στον άλλο δεν είναι τόσο αποτελεσματικοί στη συλλογή της θερμότητας που περιβάλλει, όσο οι μεμονωμένοι σωλήνες που βρίσκονται σε απόσταση πολλών μέτρων μεταξύ τους. Ωστόσο, πολλοί σωλήνες μέσα σε μία μόνο τάφρο μπορούν να μειώσουν σημαντικά την απαιτούμενη ποσότητα τάφρου και συχνά απαιτούν μεγαλύτερο μήκος σωληνώσεων σε σύγκριση με έναν βρόχο μεμονωμένης στρώσης.

Μια παραλλαγή του οριζόντιου βρόχου πολλαπλών στρωμάτων είναι ο περιελιγμένος βρόχος. γενικά αποκαλείται «ψυγός» συλλέκτης. Αυτή η θηλιά μπορεί να τοποθετηθεί είτε κάθετα σε τάφρο είτε οριζόντια σε ανοιχτό λάκκο. Ο σπειροειδής βρόχος απαιτεί γενικά περισσότερες συνολικές σωληνώσεις, συνήθως 500 έως

1.000 πόδια ανά τόνο ψύξης, αλλά λιγότερη διάνοιξη τάφρων από τους οριζόντιους βρόχους πολλαπλών στρωμάτων. Οι οριζόντιοι βρόχοι γείωσης θα έχουν μεγαλύτερη διακύμανση θερμοκρασίας μεταξύ φθινοπώρου και άνοιξης σε σύγκριση με τους κάθετους βρόχους γείωσης. Αυτό επιτρέπει στην αντλία θερμότητας να επιτυγχάνει σχετικά υψηλή θερμομαντική ικανότητα και COP το φθινόπωρο. Ωστόσο, και οι δύο αυτοί δείκτες απόδοσης θα μειωθούν καθώς προχωρά ο χειμώνας και τείνουν να είναι στο ελάχιστο ή κοντά στο ελάχιστο στα τέλη του χειμώνα ή στις αρχές της άνοιξης.



## 4.5. Εγκατάσταση

Οι μέθοδοι εγκατάστασης για οριζόντιο βρόχο περιλαμβάνουν:

- Απογύμνωση (δηλαδή τοποθέτηση σωλήνων και επίχωση)
- Διάνοιξη τάφρων (δηλαδή τοποθέτηση σωλήνων και επίχωση)
- Άμεση τοποθέτηση σωλήνων με άροτρα.

Η επιλεγμένη μέθοδος θα εξαρτηθεί από τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, τον προϋπολογισμό και τις τοπικές ρυθμιστικές απαιτήσεις. Διαφορετικές μέθοδοι θα δημιουργήσουν διαφορετικά αποτελέσματα τοποθεσίας και ενδέχεται να προκαλέσουν απαιτήσεις συναίνεσης από τις τοπικές ρυθμιστικές αρχές.

### Επιχωματισμός

Οι βρόχοι γείωσης θα πρέπει να γεμίζονται προσεκτικά για να αποφευχθούν κενά αέρα γύρω από τη σωλήνωση, καθώς και ζημιά στη σωλήνωση λόγω μεγάλων ή αιχμηρών βράχων. Εάν υπάρχουν τέτοιοι βράχοι, η σωλήνωση θα πρέπει να «στρωθεί» σε ένα στρώμα λεπτού χώματος ή άμμου για να προστατεύεται από ζημιές κατά την επίχωση.

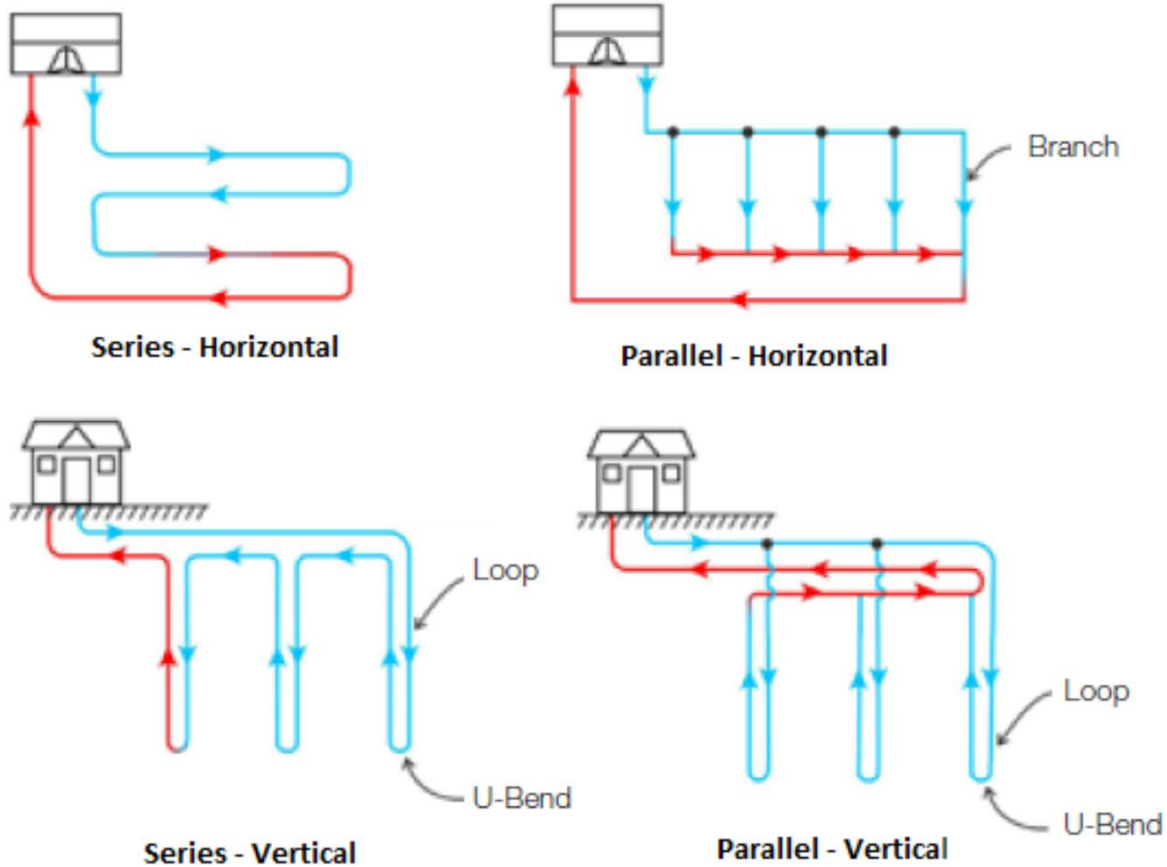
Ο βρόχος γείωσης θα πρέπει να ελέγχεται υπό πίεση πριν από την επίχωση. Θα πρέπει επίσης να ξεπλυθεί και να καθαριστεί από τον αέρα πριν φορτιστεί με το υγρό εργασίας.

## 4.6. Διατάξεις βρόχου εδάφους (σειρά ή παράλληλες)

Οι κάθετοι και οριζόντιοι βρόχοι μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά, παράλληλα ή σε συνδυασμό και των δύο. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τόσο σειριακές όσο και παράλληλες εγκαταστάσεις.

- Μια σειριακή ροή έχει μόνο μία διαδρομή για τη ροή του ρευστού. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι είναι ευκολότερο να αφαιρέσετε τον αέρα που έχει παγιδευτεί στον πλαστικό σωλήνα.
- Στα παράλληλα συστήματα, το ρευστό μπορεί να ακολουθήσει δύο ή περισσότερες διαδρομές μέσω του κυκλώματος. Ένα πλεονέκτημα του παράλληλου είναι ότι ένας σωλήνας μικρής διαμέτρου μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω χαμηλότερων πτώσεων πίεσης και να εξοικονομήσει χρήματα για την εγκατάσταση.

Οι παράλληλες διατάξεις χρησιμοποιούν αντίστροφη επιστροφή αντί για άμεση επιστροφή στο κτίριο, έτσι ώστε όλες οι παράλληλες διαδρομές ροής να έχουν ίσο μήκος, συμβάλλοντας στη διασφάλιση ισορροπημένης κατανομής ροής. Οι παράλληλοι βρόχοι είναι πιο συνηθισμένοι με τους βρόχους σειρών να είναι συνήθως κατάλληλοι μόνο για μικρές εφαρμογές.



Ο τύπος της διάταξης θα επηρεάσει τη διάμετρο του σωλήνα, τις απαιτήσεις ισχύος της αντλίας και το κόστος εγκατάστασης. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των σειρών και των παράλληλων διατάξεων συνοψίζονται παρακάτω.

| Σύστημα Διαμόρφωση    | Πλεονεκτήματα   | Μειονεκτήματα   |
|-----------------------|---|---|
| Παράλληλη Εγκατάσταση | Μικρότερο μέγεθος σωλήνα.<br>Απαιτείται λιγότερο αντιψυκτικό.<br>Ισοροπημένη ροή κατανομή.<br>Μειωμένη πτώση πίεσης κατά μήκος μικρότερων διαδρομών ροής έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη αντλία Απαιτήσεις ισχύος. | Οι γραμμές κεφαλίδας απαιτούν πιο περίπλοκες εργασίες σύνδεσης σωλήνων. Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται για την εξασφάλιση πλήρους απομάκρυνση του αέρα από κάθε ροή διαδρομές κατά την εκκαθάριση του συστήματος κατά την εκκίνηση. |
| Εγκατάσταση σε Σειρά  | Ευκολία αφαίρεσης παγιδευμένος αέρας.   | Η μεγαλύτερη διαδρομή ροής απαιτεί μεγαλύτερη   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  | <p>Απλοποιημένη διαδρομή ροής.<br/>Διάμετρος ενός σωλήνα συνεπάγεται απλούστερο σωλήνα αρθρώσεις σύντηξης, επιτρέποντας ταχύτερη εγκατάσταση.<br/>Ενεργοποιεί τη διαδρομή μονής ροής καθαρισμός για την απομάκρυνση του αέρα από τον βρόχο κατά το γέμισμα με νερό ή αντιψυκτικό λύση.</p> | <p>σωλήνα διαμέτρου για ελαχιστοποίηση της πίεσης πτώση.<br/>Απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ αντλίας.<br/>Απαιτεί μεγαλύτερους όγκους αντιψυκτικού.<br/>Η χωρητικότητα του συστήματος περιορίζεται συνολικά πτώση πίεσης από άκρη σε άκρη, οπότε όχι κατάλληλο για μεγάλες κτιριακές εφαρμογές.</p> |
|--|--|---|

#### 4.7. Σωληνώσεις βρόχου γείωσης (Earth Loop Piping)

- Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο υλικό σωληνώσεων βρόχου γείωσης είναι το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE). Πιο συγκεκριμένα, αυτή η σωληνώση χαρακτηρίζεται ως PE3608 με βάση το πρότυπο ASTM F-412.
- Το HDPE είναι ένα θερμοπλαστικό που σημαίνει ότι μπορεί να λιώσει και να αναμορφωθεί επανειλημμένα. Συνδέεται εύκολα χρησιμοποιώντας τεχνικές σύντηξης που εξασφαλίζουν άρθρωση χωρίς διαρροές.
- Η ονομαστική πίεση αυτού του σωλήνα καθορίζεται από τον λόγο διαμέτρου του (DR), ο οποίος είναι ο λόγος της εξωτερικής διαμέτρου διαιρεμένος με το πάχος του τοιχώματος. Τα κοινά DR για σωλήνες HDPE είναι 7, 9, 11, 13,5, 15,5 και 17,5.
- Προτείνεται λόγος διαμέτρου (DR) 11 ή μικρότερος για τα θαμμένα τμήματα των βρόχων γείωσης. Οι σωληνώσεις DR-11 PE3608 έχουν ονομαστική πίεση 160 psi. Οι ονομαστικές τιμές πίεσης του σωλήνα DR-9 PE3608 είναι 200 psi. Λάβετε υπόψη ότι τα χαμηλότερα DR συνεπάγονται μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος και το μεγαλύτερο πάχος τοιχώματος δημιουργεί μεγαλύτερη θερμική αντίσταση σε όλο το τοίχωμα του σωλήνα. Το τελευταίο είναι ανεπιθύμητο από την άποψη της μεταφοράς θερμότητας.
- Όλες οι εξωτερικές σωληνώσεις πρέπει να είναι μονωμένες και με χιτώνιο. Όταν το GSHP παρέχει θερμότητα, το κύκλωμα βρόχου γείωσης θα λειτουργεί κανονικά κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου του εσωτερικού του κτιρίου. Η καλής ποιότητας μόνωση και σφράγιση ατμών των εσωτερικών σωληνώσεων και εξαρτημάτων σε αυτό το κύκλωμα είναι επομένως απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των κινδύνων συμπύκνωσης. Οι σωληνώσεις θα πρέπει να διαμορφωθούν έτσι ώστε να αποφευχθεί η ζημιά εάν συμβεί συμπύκνωση.



- Οι διάμετροι σωλήνων μεταξύ 20mm και 40mm είναι συνήθεις για συστήματα κλειστού βρόχου. Η διάμετρος του σωλήνα θα πρέπει κατά προτίμηση να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να διατηρεί την απαίτηση ισχύος άντλησης μικρή, αλλά αρκετά μικρή ώστε να προκαλεί τυρβώδη ροή για να εξασφαλίζεται καλή μεταφορά θερμότητας.

- Οι σωλήνες πολυαιθυλενίου με διασταύρωση (γνωστός και ως PEX-A) μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για θαμμένους βρόχους γείωσης. Στη Βόρεια Αμερική, η χρήση σωλήνων PEX για βρόχους γείωσης είναι σχετικά νέα σε σύγκριση με τη σωλήνωση PE3608 χωρίς διασταύρωση. Όντας ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, οι σωλήνες PEX δεν μπορούν να συνδεθούν με θερμική σύντηξη (όπως με το HDPE) και να χρησιμοποιηθούν μηχανικοί σύνδεσμοι. Η διαρροή είναι πιθανή ανησυχία.

#### 4.8. Μέγεθος βρόχου εδάφους

Η εγκατάσταση βρόχου γείωσης μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας δεν είναι απλώς θέμα θάψεως ορισμένων σωλήνων και αγκίστρωσης αυτών των σωλήνων στη γεωθερμική αντλία θερμότητας. Ο βρόχος γείωσης πρέπει να ταιριάζει με το κέρδος ή την απώλεια θερμότητας του κτιρίου και της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με την οποία είναι συνδεδεμένη.

##### Βήμα 1

Το πρώτο βήμα για τον καθορισμό του μεγέθους ενός βρόχου γείωσης είναι να γίνει ο σωστός υπολογισμός απώλειας/κέρδους θερμότητας. Αυτό είναι σημαντικό για να γνωρίζετε πόσα BTUH χρειάζεται ο βρόχος γείωσης για να παρέχει στη γεωθερμική αντλία θερμότητας, ώστε να μπορεί να θερμάνει σωστά το κτίριο. Αυτό μας λέει επίσης ποιος θα πρέπει να είναι ο ρυθμός ροής μέσω του βρόχου γείωσης.

##### Βήμα 2

Στη συνέχεια, αναλύστε τις τοπικές γεωλογικές συνθήκες του εδάφους στο οποίο θα θαφτεί η γήινη θηλιά. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους (άργιλος, άμμος, χαλίκι, λάσπη, άνω χώμα και πολλά άλλα) και η περιεκτικότητα σε υγρασία του εδάφους θα καθορίσουν τον τρόπο γρήγορα μπορεί να μεταφέρει θερμότητα (τον ρυθμό της θερμικής διάχυσης) μέσα ή έξω από κάθε γραμμικό πόδι του βρόχου γης (ορισμένης διαμέτρου). Τα υγρά και πυκνά εδάφη είναι προτιμότερα από τα ξηρά και ελαφρά εδάφη. Τα κορεσμένα με νερό εδάφη επιτρέπουν καλή θερμική διάχυση και έτσι τείνουν να μειώνουν την ποσότητα των θαμμένων σωλήνων. Για παράδειγμα, για οριζόντιους βρόχους: το υγρό αργιλώδες έδαφος χρειάζεται συνήθως 600 γραμμικά πόδια σωλήνα ανά τόνο. Το πολύ ξηρό έδαφος χρειάζεται τουλάχιστον 1200 γραμμικά πόδια σωλήνα ανά τόνο, μερικές φορές περισσότερο. και το κορεσμένο έδαφος (όπου το νερό εισχωρεί στην τάφρο καθώς σκάβετε) χρειάζεται 425 γραμμικά πόδια σωλήνα ανά τόνο.

Ένας εξειδικευμένος και έμπειρος μηχανικός εδάφους/σχεδιαστής GSHP θα μπορεί να έχει πρόσβαση σε μια ερμηνεία των πληροφοριών εδάφους χρησιμοποιώντας αναλυτικό λογισμικό.

##### Βήμα 3

Αφού προσδιοριστεί το μήκος του σωλήνα βρόχου γείωσης, πρέπει να υπολογίσετε τη συνολική απώλεια πίεσης. Αυτό περιλαμβάνει την τριβή στο εσωτερικό του σωλήνα, τις πολλαπλές, τον σωλήνα και τα εξαρτήματα που θα βρίσκονται στο εσωτερικό του κτιρίου, το κιτ εύκαμπτων σωλήνων και τον εναλλάκτη θερμότητας νερού προς ψυκτικό της αντλίας γεωθερμικής θερμότητας (μερικοί έχουν πολύ μεγαλύτερες απώλειες πίεσης από άλλους).

Μην ξεχάσετε να προσθέσετε την απώλεια τριβής που προκαλείται από το ιξώδες του αντιψυκτικού και την απώλεια τριβής στη χαμηλότερη θερμοκρασία στην περίοδο θέρμανσης. Η απώλεια πίεσης επηρεάζει την ιπποδύναμη της αντλίας κυκλοφορίας και το κόστος λειτουργίας.

#### 4.9. Κόστος εγκατάστασης

Το κόστος εγκατάστασης ποικίλλει ανάλογα με τις συνθήκες του εργοταξίου, τη δομή του εδάφους, το μέγεθος του εναλλάκτη θερμότητας και τον εξουσιοδοτημένο ανάδοχο. Κατά κανόνα, οι ακόλουθες τιμές μονάδας είναι κατάλληλες για προκαταρκτικούς σκοπούς κοστολόγησης.

Η διάτρηση, οι σωληνώσεις και η αρμολόγηση για κάθετες οπές οπών είναι της τάξης των 22-25 \$ ανά κατακόρυφο μέτρο. Επιτρέψτε 80–90 \$ ανά οπή οπής για την οριζόντια κεφαλή σωληνώσεων και 50–65 \$ ανά μέτρο σωλήνα για την οριζόντια διάνοιξη από τη γραμμή του κτιρίου μέχρι το πεδίο εναλλάκτη θερμότητας εδάφους.

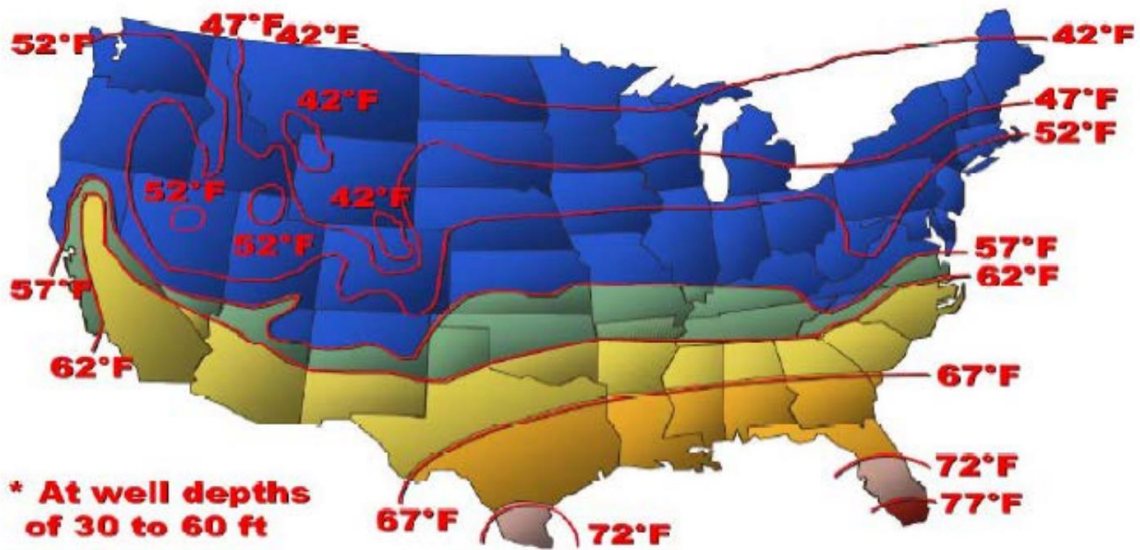
## Κεφάλαιο 5 ANΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΠΗΓΗΣ ΝΕΡΟΥ (WSHP)

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή νερού χρησιμοποιούν νερό ως πηγή θερμότητας όταν το σύστημα λειτουργεί σε λειτουργία θέρμανσης. Όπως και με τις αντλίες θερμότητας με πηγή αέρα, ένα σημαντικό πράγμα που πρέπει να λάβετε υπόψη είναι το υγρό που τελικά υποβάλλεται σε επεξεργασία. Για παράδειγμα, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε θερμότητα στο νερό για να θερμάνουμε τον αέρα ή το νερό. Όταν χρησιμοποιούμε θερμότητα στο νερό για τη θέρμανση του αέρα, ονομάζουμε αυτή την αντλία θερμότητας αντλία θερμότητας νερού-αέρα. Όταν χρησιμοποιούμε τη θερμότητα στο νερό για τη θέρμανση του νερού, ονομάζουμε αυτή την αντλία θερμότητας αντλία θερμότητας νερού σε νερό.

Οι αντλίες θερμότητας με πηγή νερού (WSHP) συλλέγουν την ενέργειά τους χαμηλής ποιότητας από υπόγεια ύδατα, ποτάμια, λίμνες ή λίμνες. Όπως και με τις αντλίες θερμότητας εδάφους, το κύριο πλεονέκτημα των αντλιών θερμότητας με πηγή νερού είναι ότι η θερμοκρασία των υπόγειων ή επιφανειακών υδάτων (σε ορισμένο βάθος) παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Οι εξαιρετικές θερμικές ιδιότητες του νερού επιτρέπουν στα WSHP να λειτουργούν με υψηλότερη απόδοση από τα GSHP και τα ASHP καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Στη λειτουργία ψύξης, το WSHP θα μπορούσε να αφαιρέσει τη θερμότητα από τον αέρα και να τη μεταφέρει στο νερό. Λόγω του γεγονότος ότι το νερό διατηρείται σε θερμοκρασία 62°F (τα καλοκαίρια), έναντι θερμοκρασίας εξωτερικού αέρα 95°F, χρειάζεται λιγότερη εργασία για να μεταφερθεί η θερμότητα στο νερό από ό,τι στον αέρα. Επομένως, ο κύκλος υδρόψυκτου κλιματισμού είναι πιο αποτελεσματικός από τον κύκλο αερόψυκτου. Το ίδιο συμβαίνει τους χειμώνες, όταν η αντλία θερμότητας θα αφαιρεί τη θερμότητα από το νερό στους 62°F σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες υπόψυξης του εξωτερικού αέρα το χειμώνα. Η ικανότητα θέρμανσης της αντλίας θερμότητας θα παραμείνει υψηλή χωρίς κανένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης. Τα συστήματα απόψυξης είναι δεν χρειάζεται.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τις κατά προσέγγιση θερμοκρασίες των υπόγειων υδάτων στις ΗΠΑ. Η αδιατάρακτη θερμοκρασία εδάφους θα παραμείνει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους κάτω από τα 30 πόδια. Πάνω από τα 30 πόδια η θερμοκρασία του εδάφους θα αλλάξει ανάλογα με την εποχή.



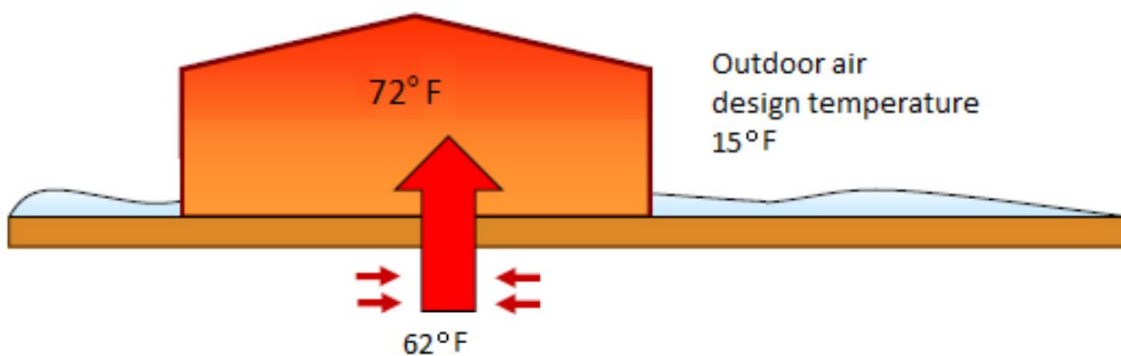
Πηγή: U.S. Geological Survey Paper 520-F1, Washington, D.C

### 5.1. Πώς λειτουργεί

Η γη είναι πηγή θερμότητας το χειμώνα

- Θερμοκρασία σχεδιασμού εξωτερικού αέρα: 15°F
- Θερμοκρασία υπόγειου νερού: 62°F
- Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα: 72°F

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μεταφέρουν υπόγεια θερμότητα στα κτίρια για να παρέχουν θέρμανση.

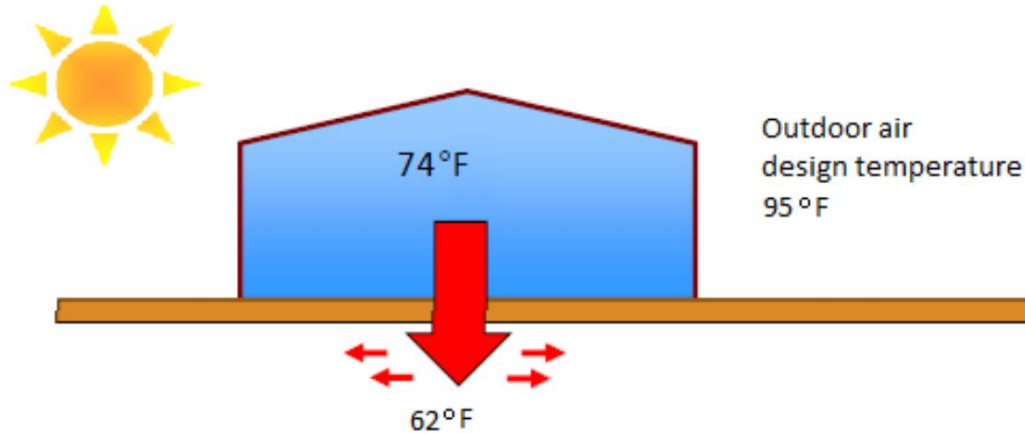


Η γη είναι ένας αποτελεσματικός τρόπος για να απορρίψετε τη ζέση το καλοκαίρι

- Θερμοκρασία σχεδιασμού εξωτερικού αέρα: 95°F
- Θερμοκρασία υπόγειου νερού: 62°F

- Θερμοκρασία εσωτερικού αέρα: 74°F

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας μεταφέρουν θερμότητα από τα κτίρια στο έδαφος για να παρέχουν ψύξη.



## 5.2. Τύποι Συστημάτων βρόχου WSHP

Υπάρχουν δύο τύποι ταξινομήσεων γεωθερμικών αντλιών θερμότητας: Τα συστήματα αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν πηγάδια εδάφους αναφέρονται ως συστήματα ανοιχτού βρόχου ενώ αυτά που χρησιμοποιούν θαμμένους βρόχους γεμάτους νερό αναφέρονται ως συστήματα κλειστού βρόχου.

### Συστήματα ανοιχτού βρόχου

- Ένα σύστημα αντλίας θερμότητας ανοιχτού βρόχου είναι αυτό που χρησιμοποιεί μια πηγή νερού που είναι ανοιχτή στην ατμόσφαιρα ή τη Γη. Κατά τη λειτουργία θέρμανσης, η θερμότητα μεταφέρεται από το νερό στη Γη στο κύκλωμα ψυκτικού μέσου. Αυτή η θερμότητα στη συνέχεια μεταφέρεται από το κύκλωμα ψυκτικού στον αέρα ή το νερό που θερμαίνεται.
- Τα συστήματα αντλιών θερμότητας ανοιχτού βρόχου βασίζονται σε σταθερή παροχή νερού από πηγές όπως πηγάδι, λίμνη ή λίμνη ως μέσο μεταφοράς θερμότητας. Το νερό δεν καταναλώνεται και απορρίπτεται πίσω στη γη/αποχέτευση ή στεγνώνει πηγάδι. Δεδομένου ότι το νερό δεν έρχεται σε επαφή με χημικές ή άλλες ουσίες εντός του συστήματος, δεν προκαλείται περιβαλλοντική ζημιά. Ωστόσο, είναι σημαντικό να ελέγξετε τους τοπικούς κώδικες και οδηγίες σχετικά με την εγκατάσταση αυτού του τύπου συστήματος αντλίας θερμότητας.
- Αυτή η διαδικασία είναι απλή στην εγκατάσταση, αλλά έχει ορισμένα μειονεκτήματα, όπως ρύπανση της μονάδας εναλλάκτη θερμότητας, υψηλή συντήρηση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις της απόρριψης νερού υψηλής θερμοκρασίας στην υδρόβια ζωή.

## Συστήματα κλειστού βρόχου

- Ένα σύστημα κλειστού βρόχου χρησιμοποιεί βρόχους ή πηνία θαμμένων σωλήνων που περιέχουν νερό ή μείγμα νερού/αντιψυκτικού. Αυτοί οι βρόχοι είναι σφραγισμένοι και, εάν δεν υπάρχουν διαρροές, θα παραμείνουν πλήρως γεμάτοι όλη την ώρα. Το νερό που περιέχεται σε αυτούς τους βρόχους χρησιμοποιείται ξανά και ξανά για να διευκολύνει τη μεταφορά θερμότητας είτε προς ή έξω από το σύστημα αντλίας θερμότητας.
- Σε αντίθεση με το σύστημα ανοιχτού βρόχου, το σύστημα κυκλοφορεί το υγρό εργασίας μέσω των σωλήνων και δεν χρησιμοποιεί πηγή νερού. Το μήκος των απαιτούμενων σωληνώσεων εξαρτάται από τη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους, τη θερμοκρασία του εδάφους και την απαιτούμενη ισχύ θέρμανσης και ψύξης.
- Το σύστημα κλειστού βρόχου είναι μια δημοφιλής επιλογή όταν ο υδροφόρος ορίζοντας είναι πολύ κάτω από το έδαφος, η θερμοκρασία του υπόγειου νερού είναι πολύ χαμηλή, η ποιότητα του νερού είναι κακή ή η περιεκτικότητα σε μεταλλικά στοιχεία είναι πολύ υψηλή.
- Το κύριο πλεονέκτημα του συστήματος κλειστού βρόχου έναντι ενός συστήματος ανοιχτού βρόχου είναι ότι δεν υπάρχει ρύπανση στον εναλλάκτη θερμότητας, καθώς το σύστημα κλειστού βρόχου χρησιμοποιεί το ίδιο επεξεργασμένο νερό στους βρόχους. Οι επιφάνειες του εναλλάκτη θερμότητας παραμένουν καθαρές, η απόδοση μεταφοράς θερμότητας δεν διακυβεύεται, η συντήρηση μειώνεται και η θαλάσσια ζωή δεν τίθεται σε κίνδυνο

Υπάρχουν τέσσερις βρόχοι σε ένα σύστημα κλειστού βρόχου:

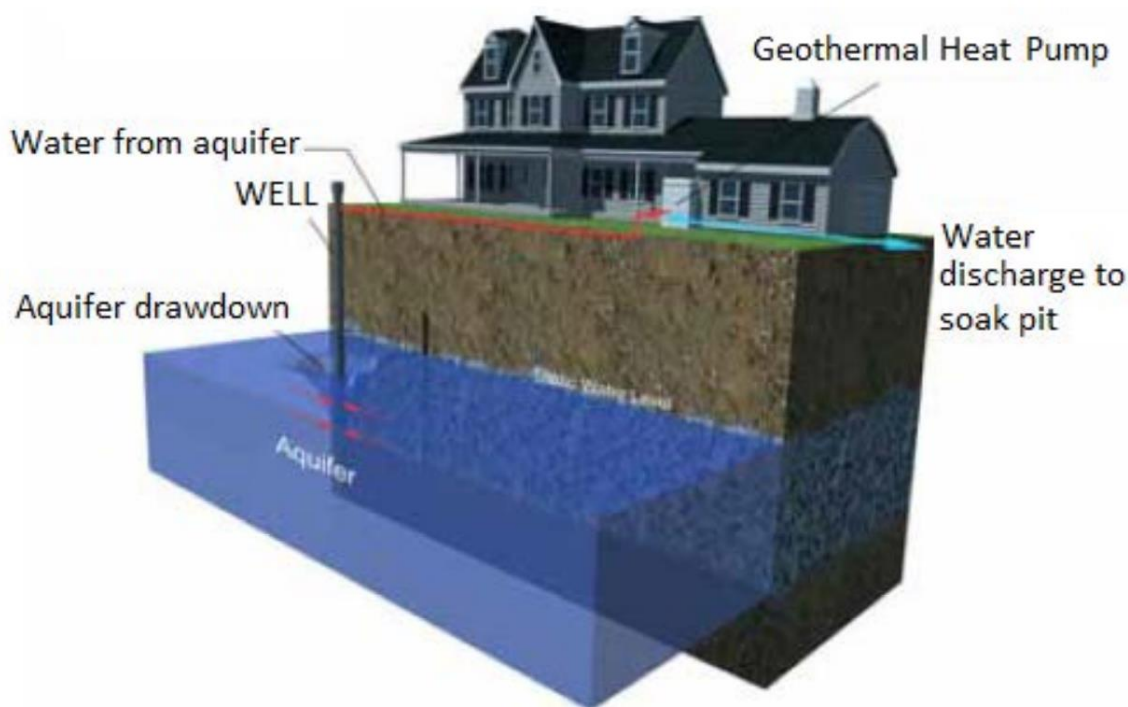
- Βρόχος νερού ή βρόχος εδάφους – Το αντιψυκτικό υγρό στον βρόχο ανταλλάσσει θερμότητα με έδαφος ή υδάτινα σώματα (ποτάμι, λίμνες ή λίμνες).
- Ψυκτικός βρόχος - Ανταλλάσσει θερμική ενέργεια με τον βρόχο γείωσης.
- Air Loop - Διανέμει τον θερμαινόμενο ή ψυχρό αέρα στο κτίριο.
- Βρόχος ζεστού νερού οικιακής χρήσης - Διέρχεται από τη γραμμή εκκένωσης ζεστού νερού του συμπιεστή και θερμαίνει τη δεξαμενή ζεστού νερού.

### 5.3. Open Loop Ground Well Systems (Ανοικτά συστήματα εδάφους)

Το σύστημα ανοιχτού βρόχου μπορεί να διαμορφωθεί ως σύστημα μονής γεώτρησης, στάθμης στήλης ή διπλού φρεατίου. Οι ρυθμοί εξαγωγής ενέργειας επηρεάζονται από τις ιδιότητες του υδροφόρου ορίζοντα, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμών ροής και της διαπερατότητας και είναι συνήθως περίπου 1,5 έως 3 grm/τόνο (0,03 έως 0,06 λίτρα ανά δευτερόλεπτο για κάθε απαιτούμενο kW).

### 5.3.1. Σύστημα Ενιαίου Πηγαδιού

Τα συστήματα ενός φρεατίου βασίζονται σε ένα μόνο πηγάδι. Το νερό αντλείται από αυτό το απομονωμένο πηγάδι χρησιμοποιώντας μια αντλία φρεατίου και κυκλοφορεί μέσω μιας αντλίας θερμότητας. Το νερό μετά την ανταλλαγή θερμότητας επιστρέφει σε διαφορετική θερμοκρασία στο περιβάλλον, εμποτισμός ή αποστράγγιση. Ένα παράδειγμα ενός πηγαδιού ανοιχτού βρόχου εμφανίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Αυτό το σύστημα παρέχει μια οικονομική λύση εάν υπάρχει προϋπάρχον πηγάδι. Σε οικιστικές καταστάσεις, ένα πηγάδι οικιακής παροχής νερού θα μπορούσε ενδεχομένως να είναι πολύ μικρό για να καλύψει τις ανάγκες σε νερό της αντλίας θερμότητας υπόγειων υδάτων. Τα οικιστικά πηγάδια παράγουν συνήθως 300 έως 400 γαλόνια νερού την ημέρα, όπου μια αντλία θερμότητας υπόγειων υδάτων για την ίδια κατοικία μπορεί να απαιτεί χιλιάδες γαλόνια νερού την ημέρα. Ένα ελαφρώς τροποποιημένο σύστημα ενός φρεατίου που μπορεί να αμβλύνει ορισμένες από αυτές τις ανησυχίες είναι ένα φρεάτιο με ορθοστάτη στήλη.

### 5.3.2. Αντλία θερμότητας νερού σε αέρα

Η αντλία θερμότητας WATER to AIR αντλεί θερμότητα από το νερό από πηγάδια εδάφους, λίμνες ή λίμνες και την εκπέμπει στον αέρα (εσωτερικό περιβάλλον). Το σύστημα περιέχει δύο πηνία εναλλάκτη θερμότητας:

- Πηνίο νερού προς ψυκτικό συνδεδεμένο με τον βρόχο νερού εδάφους
- Πηνίο ψυκτικού προς αέρα συνδεδεμένο με σύστημα εξαναγκασμένου αέρα
- Πηνίο νερού σε ψυκτικό μέσο

Το νερό στη Γη και το ψυκτικό στο σύστημα αντλίας θερμότητας περνούν από έναν ομοαξονικό εναλλάκτη θερμότητας σωλήνα σε σωλήνα. Ο εναλλάκτης θερμότητας σωλήνα σε σωλήνα είναι έχει διαμορφωθεί ως σωλήνας τοποθετημένος μέσα σε άλλο σωλήνα. Το νερό ρέει μέσω του εσωτερικού σωλήνα ενώ το ψυκτικό ρέει μέσω του εξωτερικού σωλήνα.

Στη λειτουργία θέρμανσης, η θερμότητα μεταφέρεται από το νερό στο ψυκτικό, με αποτέλεσμα το ψυκτικό να βράσει σε ατμό σε χαμηλές θερμοκρασίες. Στην ψύξη τρόπο λειτουργίας, η θερμότητα από τον ζεστό ατμό ψυκτικό μεταφέρεται στο νερό, απορρίπτοντας τη θερμότητα από το σύστημα και επιτρέποντας στο ψυκτικό να συμπυκνωθεί σε υγρό.



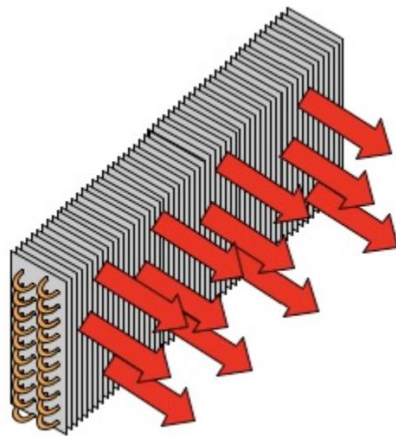
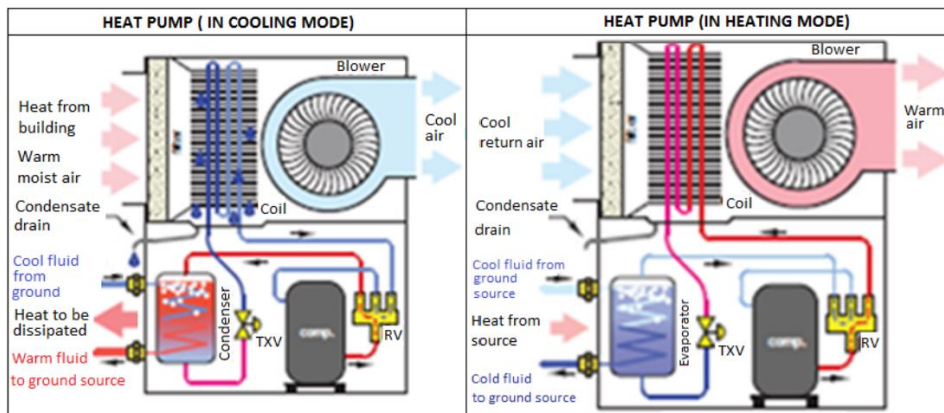
- Πηνίο ψυκτικού προς αέρα

Όπως κάθε άλλη μονάδα κλιματισμού, υπάρχει ένα περύγιο και πηνίο σωλήνα μέσω του οποίου ρέει το ψυκτικό. Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε λειτουργία θέρμανσης, το ζεστό αέριο από τον συμπιεστή διοχετεύεται στο εσωτερικό πηνίο. Στη συνέχεια, ένας φυσητήρας περνά αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο μέσω του πηνίου και η θερμότητα γίνεται μεταφέρεται από το ψυκτικό στον αέρα. Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί σε λειτουργία ψύξης, το ψυκτικό που ρέει μέσω του εσωτερικού πηνίου είναι ένα υγρό χαμηλής θερμοκρασίας. Καθώς ο ανεμιστήρας



περνάει αέρα από τον κλιματιζόμενο χώρο μέσω του πηνίου, ο αέρας, όντας θερμότερος από το ψυκτικό, μεταφέρει θερμότητα στο ψυκτικό μέσο, ψύχοντας έτσι τον αέρα.

Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα παραδείγματα μιας αντλίας θερμότητας νερού-αέρα που έχει διαμορφωθεί ως κατακόρυφο ερμάριο. Ο αέρας επιστροφής εισέρχεται στην επάνω αριστερή πλευρά του ντουλαπιού, περνά μέσα από ένα φίλτρο και στη συνέχεια μέσω του ψυκτικού σε έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα. Στη συνέχεια, ο κλιματιζόμενος αέρας αναρροφάται μέσω του φυσητήρα και εκκενώνεται κατακόρυφα από το ερμάριο σε ένα σύστημα αγωγών. Ο συμπιεστής και άλλα εξαρτήματα του ηλεκτρικού ή του συστήματος ψύξης βρίσκονται στο κάτω μέρος του ντουλαπιού.



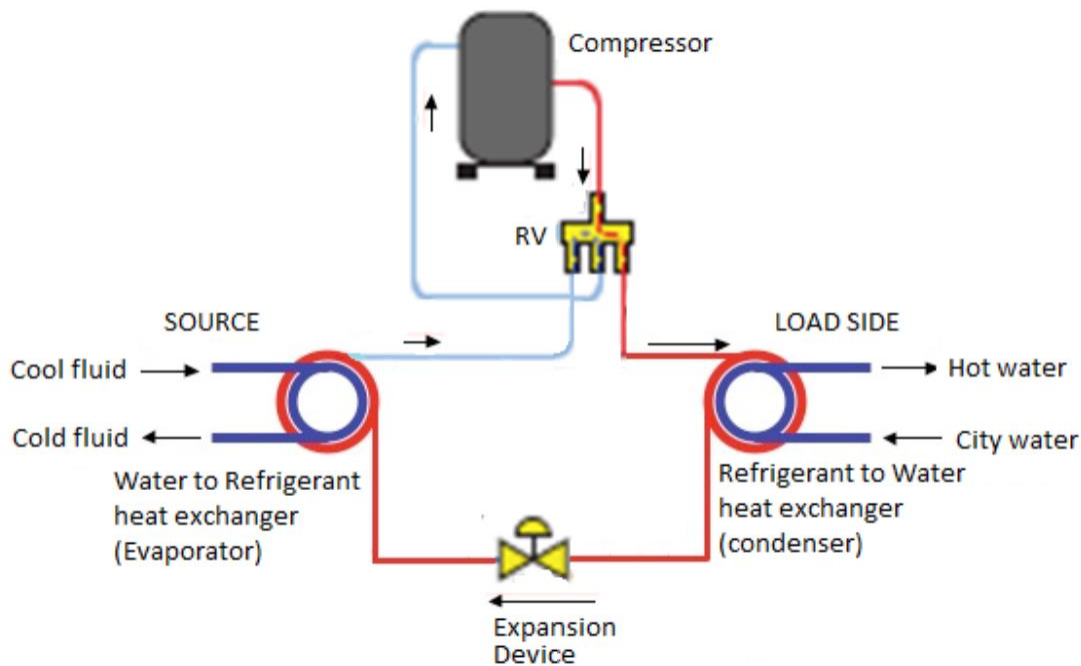
#### 5.4.2. Αντλίες θερμότητας νερού σε νερό

Εάν η αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού, αντί να χρησιμοποιηθεί ένας εναλλάκτης θερμότητας με πτερύγια και σωλήνα που χρησιμοποιήθηκε για τη μεταφορά θερμότητας στον αέρα (παραπάνω), χρησιμοποιείται ένας άλλος εναλλάκτης θερμότητας σωλήνα σε σωλήνα. Αυτός ο τύπος συστήματος θα χρησιμοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας σωλήνα σε σωλήνα για τη μεταφορά θερμότητας μεταξύ του νερού της Γης και της αντλίας θερμότητας και έναν άλλο για τη μεταφορά θερμότητας από το ψυκτικό στην αντλία θερμότητας στο νερό που χρησιμοποιείται για θέρμανση.

Το σύστημα περιέχει δύο πηνία εναλλάκτη θερμότητας:

- Πηνίο πλευρικής πηγής νερού προς ψυκτικό μέσο – ομοαξονικός τύπος
- Πλαϊνή φόρτωση Ψυκτικό προς Νερό - Ομοαξονικός τύπος

Κατά τη διάρκεια του κύκλου ψυκτικού, η θερμότητα μεταφέρεται από τον ομοαξονικό εναλλάκτη θερμότητας από την πλευρά της πηγής στον ομοαξονικό εναλλάκτη θερμότητας από την πλευρά του φορτίου. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τη σχηματική διάταξη.



Η πλευρά του φορτίου παρέχει ζεστό νερό για χρήση σε μπάνια, πλυντήριο και κουζίνα, καθώς και για θέρμανση πισίνας ή θέρμανση μεγάλων χώρων σε ενδοδαπέδια ή επιτοίχια συστήματα θέρμανσης.

## Κεφάλαιο 6 Μετρήσεις -Πειραματικό μέρος

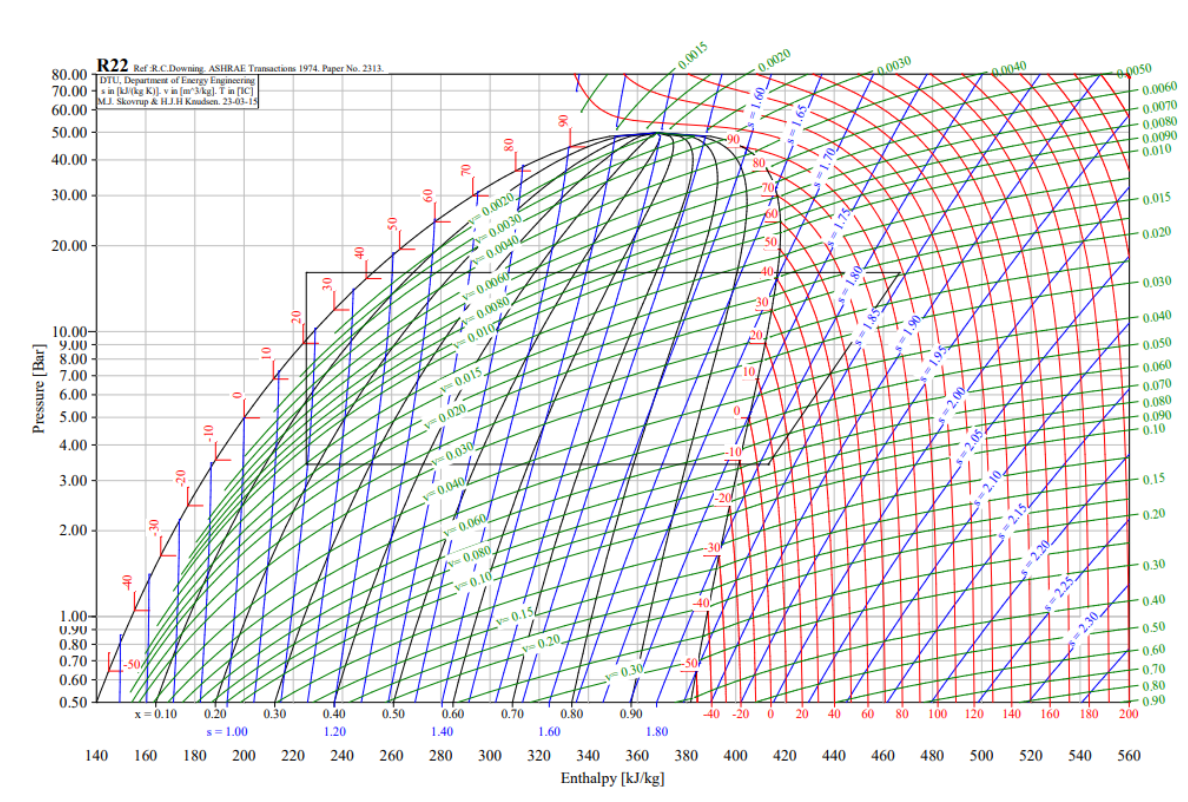
Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τα μηχανήματα που υπάρχουν στο εργαστήριο της σχολής. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:



Αντλία θερμότητας Νερού-Νερού

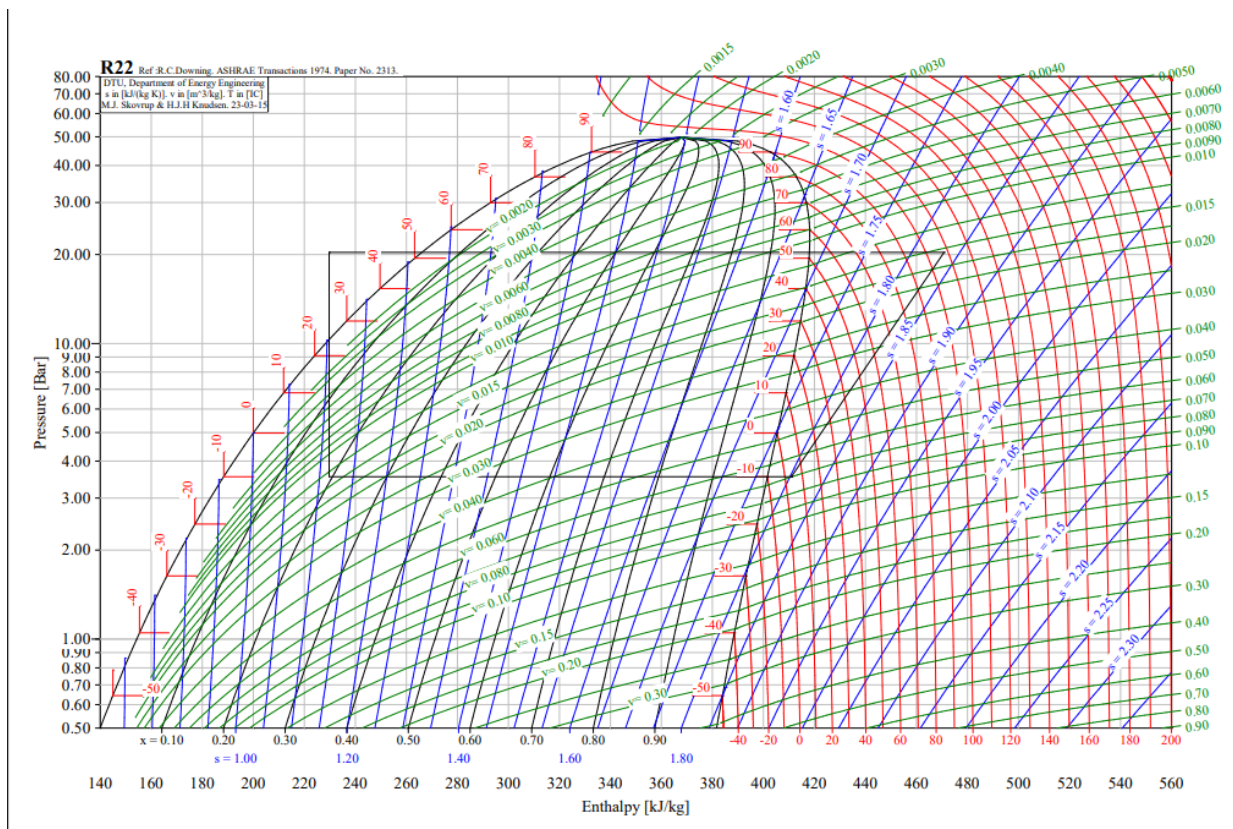
Test 1 αντλία νερού/νερού

|                    |                    |            |                   |            |                |      |      |  |
|--------------------|--------------------|------------|-------------------|------------|----------------|------|------|--|
| test#1             | freon R-22         |            |                   |            |                |      |      |  |
| KWhi=              | 18.05kWh           | KWhf=      | 18.2KWh           | Δt=        | 17:30,90       |      |      |  |
| Twci=              | Twei=              | 18°C       |                   |            |                |      |      |  |
| mwc=               | mwe=               | 30g/s      | (μεσαία)          |            |                |      |      |  |
| mR=                | 6g/s               |            | (υψηλή)           |            |                |      |      |  |
|                    |                    |            | κύκλωμα ψυκτικού  |            |                |      |      |  |
| κύκλωμα νερού      | κύκλωμα συμπυκνωτή |            | κύκλωμα εξατμιστή |            | πίεση ψυκτικού |      |      |  |
| Twco               | Tweo               | Είσοδος T2 | Έξοδος T3         | Είσοδος T4 | Έξοδος T1      | Pmin | Pmax |  |
| 22.5               | 8.1                | 20.6       | 20.4              | -5.9       | 0.5            | 2.3  | 14.5 |  |
| 23.5               | 7.3                | 63         | 21.3              | -12        | 6.7            | 2.3  | 14.6 |  |
| 18.9               | 7                  | 69.5       | 20.7              | -10        | 6.6            | 2.3  | 15   |  |
| 23.1               | 7                  | 69.2       | 21.1              | -10.5      | 6.3            | 2.3  | 15   |  |
| 22.5               | 6.8                | 59.1       | 21.2              | -11        | 6.8            | 2.3  | 15   |  |
| 22.8               | 6.5                | 70.7       | 21.1              | -10        | 6.1            | 2.3  | 15   |  |
| 22.21667           | 7.116667           |            | 20.96667          | -10.7      | 6.5            |      |      |  |
|                    | νερό               | ψυκτικό    | subcool           |            |                |      |      |  |
| Q <sub>H</sub> kW  | 0.5313             | 1.323      | 1.447             |            |                |      |      |  |
| Q <sub>C</sub> kW  | 1.3713             | 0.979      | 1.127             |            |                |      |      |  |
| W kW               |                    | 0.344      | 0.321             |            |                |      |      |  |
| W <sub>el</sub> kW |                    | 0.513992   |                   |            |                |      |      |  |



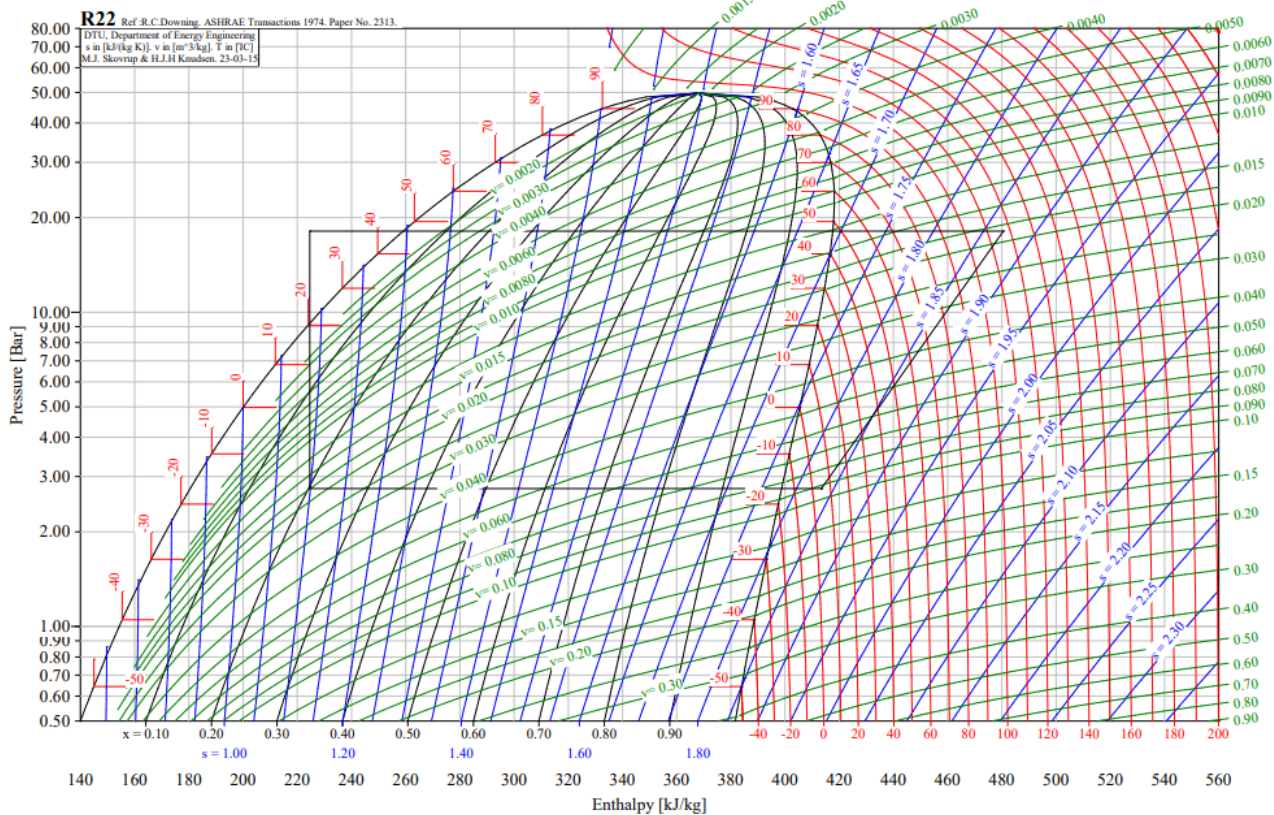
Test 2 αντλία νερού/νερού

|                    |                    |            |                   |            |                |      |      |  |
|--------------------|--------------------|------------|-------------------|------------|----------------|------|------|--|
| test#2             | freon R-22         |            |                   |            |                |      |      |  |
| KWhi=              | 18.2kWh            | KWhf=      | 18.4kWh           | Δt=        | 21:31,28       |      |      |  |
| Twci=              | Twei=              | 18°C       |                   |            |                |      |      |  |
| mwc=               | mwe=               | 10g/s      | (μικρή)           |            |                |      |      |  |
| mR=                | 6g/s               |            | (υψηλή)           |            |                |      |      |  |
|                    |                    |            | κύκλωμα ψυκτικού  |            |                |      |      |  |
| κύκλωμα νερού      | κύκλωμα συμπυκνωτή |            | κύκλωμα εξατμιστή |            | πίεση ψυκτικού |      |      |  |
| Twco               | Tweo               | Είσοδος T2 | Έξοδος T3         | Είσοδος T4 | Έξοδος T1      | Pmin | Pmax |  |
| 26                 | 10                 | 65         | 22.7              | -9.6       | 7.7            | 2.4  | 16.5 |  |
| 31                 | 6.8                | 71         | 25.7              | -8.6       | 4.9            | 2.4  | 18.5 |  |
| 36.2               | 5.5                | 78.2       | 27.9              | -9         | 3.3            | 2.4  | 20   |  |
| 40.6               | 5.5                | 80         | 33.3              | -8         | 3.5            | 2.4  | 20   |  |
| 42.8               | 6.1                | 85.8       | 29.4              | -10.9      | 1.9            | 2.4  | 20   |  |
| 44.3               | 5.5                | 87.2       | 25.6              | -9         | 0.7            | 2.4  | 20   |  |
| 42.56667           | 5.7                |            | 27.43333          | -9.1833333 | 3.666667       |      |      |  |
|                    | νερό               | ψυκτικό    |                   |            |                |      |      |  |
| Q <sub>H</sub> kW  | 1.0318             | 1.228      |                   |            |                |      |      |  |
| Q <sub>C</sub> kW  | 0.5166             | 0.869      |                   |            |                |      |      |  |
| W kW               |                    | 0.359      |                   |            |                |      |      |  |
| W <sub>el</sub> kW |                    | 0.5578801  |                   |            |                |      |      |  |



Test 3 αντλία νερού/νερού

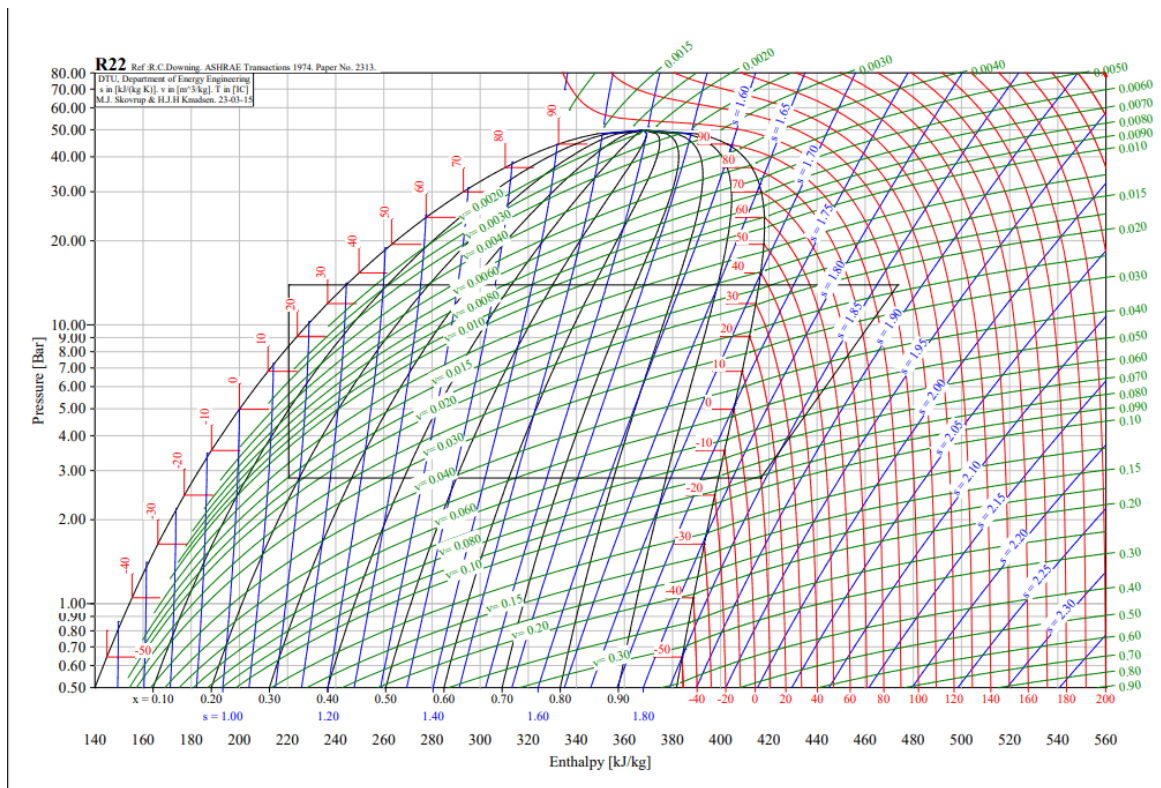
|                    |            |                    |           |            |                   |      |      |                |  |
|--------------------|------------|--------------------|-----------|------------|-------------------|------|------|----------------|--|
| test#3             | freon R-22 |                    |           |            |                   |      |      |                |  |
| KWhi=              | 18.4kWh    | KWhf=              | 18.6kWh   | Δt=        | 16:59,04          |      |      |                |  |
| Twci=              | Twei=      | 18°C               |           |            |                   |      |      |                |  |
| mwc=               | mwe=       | 10g/s              | (μκρή)    |            |                   |      |      |                |  |
| mr=                | 3.5g/s     | (μεσαία)           |           |            |                   |      |      |                |  |
| κύκλωμα ψυκτικού   |            |                    |           |            |                   |      |      |                |  |
| κύκλωμα νερού      |            | κύκλωμα συμπυκνωτή |           |            | κύκλωμα εξατμιστή |      |      | πίεση ψυκτικού |  |
| Twco               | Tweo       | Είσοδος T2         | Έξοδος T3 | Είσοδος T4 | Έξοδος T1         | Pmin | Pmax |                |  |
| 36.7               | 6.4        | 67.2               | 27.4      | -17.6      | 6.2               | 1.6  | 17.5 |                |  |
| 38.4               | 3.1        | 75                 | 27.5      | -15        | 5                 | 1.6  | 17.3 |                |  |
| 38.5               | 6.5        | 77.7               | 24.9      | -16.1      | 4.6               | 1.6  | 17   |                |  |
| 38.5               | 1.1        | 76.3               | 26.4      | -19.3      | 4.2               | 1.6  | 17   |                |  |
| 38.025             | 4.275      | 26.55              |           | -17        | 5                 |      |      |                |  |
|                    | νερό       | ψυκτικό            | subcool   |            |                   |      |      |                |  |
| Q <sub>H</sub> kW  | 0.84105    | 0.54               | 0.661     |            |                   |      |      |                |  |
| Q <sub>C</sub> kW  | 0.57645    | 0.775              | 0.896     |            |                   |      |      |                |  |
| W kW               |            | 0.235              | 0.235     |            |                   |      |      |                |  |
| W <sub>el</sub> kW |            | 0.70671378         |           |            |                   |      |      |                |  |





### Test 4 αντλία νερού/νερού

|                    |            |                    |           |     |                   |           |      |                |  |
|--------------------|------------|--------------------|-----------|-----|-------------------|-----------|------|----------------|--|
| test#4             | freon R-22 |                    |           |     |                   |           |      |                |  |
| KWhi=              | 18.7kWh    | KWhf=              | 18.8kWh   | Δt= | 18:59,28          |           |      |                |  |
| Twci=              | Twei=      | 18°C               |           |     |                   |           |      |                |  |
| mwc=               | mwe=       | 30g/s              | (μεσαία)  |     |                   |           |      |                |  |
| mr=                | 3.5g/s     | (μεσαία)           |           |     |                   |           |      |                |  |
| κύκλωμα ψυκτικού   |            |                    |           |     |                   |           |      |                |  |
| κύκλωμα νερού      |            | κύκλωμα συμπυκνωτή |           |     | κύκλωμα εξατμιστή |           |      | πίεση ψυκτικού |  |
| Twco               | Tweo       | Είσοδος T2         | Έξοδος T3 |     | Είσοδος T4        | Έξοδος T1 | Pmin | Pmax           |  |
| 19                 | 11.3       | 75                 | 19.7      |     | -14               | 10.9      | 1.6  | 13.5           |  |
| 22                 | 10         | 79.1               | 18.8      |     | -15.6             | 9.3       | 1.6  | 13.5           |  |
| 22                 | 9.8        | 82.2               | 18.4      |     | -17.4             | 10        | 1.6  | 13.5           |  |
| 21                 | 9.7        | 81.1               | 18.4      |     | -17.7             | 10.2      | 1.6  | 13.5           |  |
| 21.1               | 9.7        | 81.1               | 19.1      |     | -16.5             | 9.9       | 1.6  | 13.5           |  |
| 21.02              | 10.1       |                    | 18.88     |     | -16.24            | 10.06     |      |                |  |
|                    | νερό       | ψυκτικό            | subcool   |     |                   |           |      |                |  |
| Q <sub>H</sub> kW  | 0.38052    | 0.603              | 0.686     |     |                   |           |      |                |  |
| Q <sub>C</sub> kW  | 0.9954     | 0.802              | 0.886     |     |                   |           |      |                |  |
| W kW               |            | 0.199              | 0.199     |     |                   |           |      |                |  |
| W <sub>el</sub> kW |            | 0.31612223         |           |     |                   |           |      |                |  |







Αντλία Θερμότητας Αέρα-Νερού, Αέρα-Αέρα, Νερού-Νερού, Νερού-Αέρα  
Μετρήσεις Αντλίας Θερμότητας:

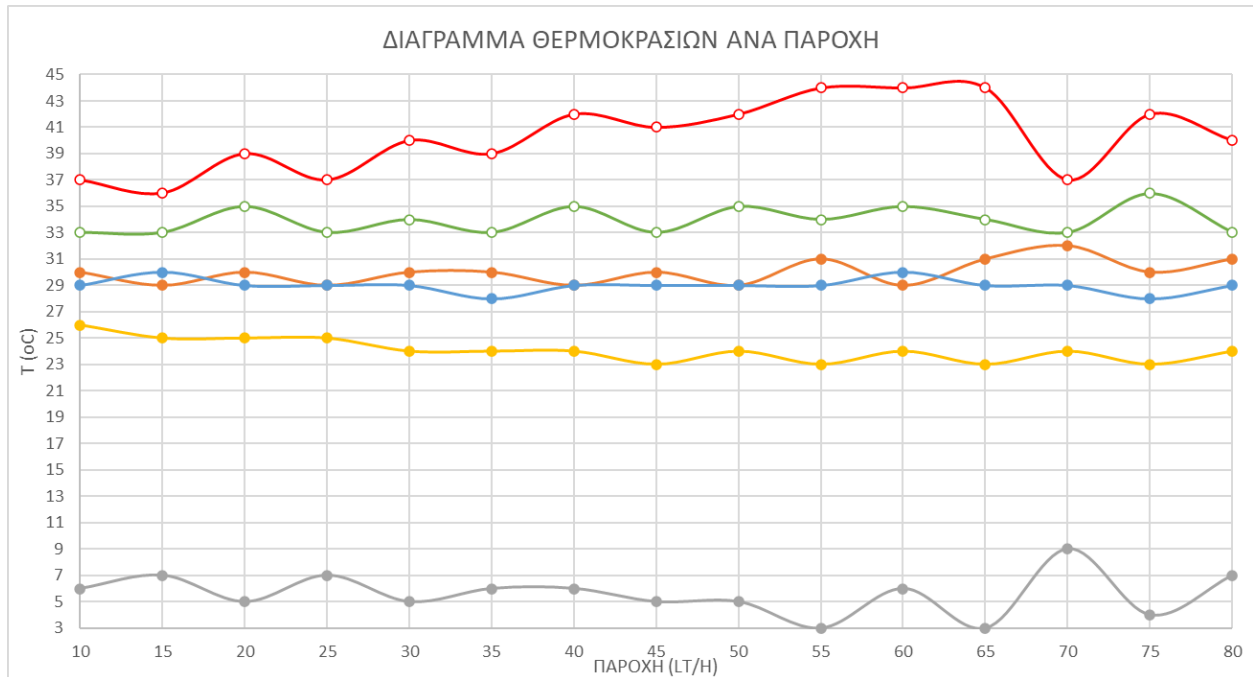


Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν οι υπολογισμοί του COP όπως αυτοί πραγματοποιήθηκαν στο υπολογιστικό φύλλο του Excel.

Μετρήσεις πειραματικής συσκευής 3 (συνδυασμός αέρα/νερού)

| ΠΑΡΟΧΗ | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | Ρχαμ | Ρυψ | COP  |
|--------|----|----|----|----|----|----|------|-----|------|
| 10     | 37 | 30 | 6  | 26 | 29 | 33 | 35   | 65  | 2.17 |
| 15     | 36 | 29 | 7  | 25 | 30 | 33 | 28   | 66  | 1.74 |
| 20     | 39 | 30 | 5  | 25 | 29 | 35 | 32   | 65  | 1.97 |
| 25     | 37 | 29 | 7  | 25 | 29 | 33 | 25   | 66  | 1.61 |
| 30     | 40 | 30 | 5  | 24 | 29 | 34 | 32   | 65  | 1.97 |
| 35     | 39 | 30 | 6  | 24 | 28 | 33 | 25   | 66  | 1.61 |
| 40     | 42 | 29 | 6  | 24 | 29 | 35 | 38   | 62  | 2.58 |
| 45     | 41 | 30 | 5  | 23 | 29 | 33 | 22   | 67  | 1.49 |
| 50     | 42 | 29 | 5  | 24 | 29 | 35 | 34   | 64  | 2.13 |
| 55     | 44 | 31 | 3  | 23 | 29 | 34 | 25   | 66  | 1.61 |
| 60     | 44 | 29 | 6  | 24 | 30 | 35 | 34   | 64  | 2.13 |
| 65     | 44 | 31 | 3  | 23 | 29 | 34 | 20   | 67  | 1.43 |
| 70     | 37 | 32 | 9  | 24 | 29 | 33 | 36   | 61  | 2.44 |
| 75     | 42 | 30 | 4  | 23 | 28 | 36 | 34   | 60  | 2.31 |
| 80     | 40 | 31 | 7  | 24 | 29 | 33 | 18   | 66  | 1.38 |

Εικόνα 13:Υπολογισμός του COP για την αντλία 1



## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. BASIC HEAT PUMP THEORY By: Lloyd A. Mullen By: Lloyd G. Williams Service Department, York Division, Borg-Warner Corporation
2. Heat Pumps for Heating and Cooling A. Bhatia
3. LAPPEENRANTA-LAHTI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY LUT School of Energy Systems
4. IEA (2022), The Future of Heat Pumps, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps>, License: CC BY 4.0
5. ^ IPCC AR6 WG3 Ch11 2022, Sec. 11.3.4.1
6. ^ IPCC SR15 Ch2 2018, p. 142
7. ^ Jump up to:a b "Wärmepumpen mit Prüf- / Effizienznachweis (heat pumps with efficiency validation)" (in German). BAFA (Federal Office for Economic Affairs and Export Control in Germany). Retrieved 2022-02-20.
8. ^ Deetjen, Thomas A; Walsh, Liam; Vaishnav, Parth (2021-07-28). "US residential heat pumps: the private economic potential and its emissions, health, and grid impacts". *Environmental Research Letters*. 16 (8): 084024. Bibcode:2021ERL....16h4024D. doi:10.1088/1748-9326/ac10dc. ISSN 1748-9326. S2CID 236486619.