



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΣΧΟΛΗ
ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Θερμότητας

Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Θερμοδυναμικής

**Συνδυασμένο σύστημα ηλιακών συλλεκτών-γεωθερμικής αντλίας
θερμότητας για θέρμανση θερμοκηπίου**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μονός Δημήτριος

Επιβλέπουσα

Αν. Καθηγήτρια Κορωνάκη Ειρήνη

Αθήνα, Ιούλιος 2018

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την καθηγήτρια Κορωνάκη Ειρήνη για την συνεργασία και την βοήθεια που μου παρείχε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους μου που με βοήθησαν στο προγραμματιστικό κομμάτι.

Πρόλογος

Σκοπός της εργασίας αυτής, είναι η θεωρητική προσέγγιση των ηλιακών συστημάτων και των αντλιών θερμότητας, καθώς και η μοντελοποίηση ενός συνδυασμένου συστήματος (ηλιακών συλλεκτών-γεωθερμικής αντλίας) για τη θέρμανση θερμοκηπίου, με τη βοήθεια του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS.

Αρχικά γίνεται μια αναφορά στα είδη και στη λειτουργία των ηλιακών θερμικών συλλεκτών, καθώς επίσης και στις διατάξεις των ηλιακών θερμικών συστημάτων για την παραγωγή θερμότητας.

Στην συνέχεια γίνεται μια θεωρητική αναφορά στις αντλίες θερμότητας. Σε αυτήν περιγράφονται τα είδη των αντλιών θερμότητας, ο τρόπος λειτουργίας τους, οι επιδόσεις και το κόστος τους.

Έπειτα δίνεται βάση στα θερμοκήπια, στα συστήματα θέρμανσής τους και στον τρόπο με τον οποίο υπολογίζεται το απαραίτητο θερμικό φορτίο.

Τέλος, ακολουθεί το υπολογιστικό μοντέλο με λεπτομερή περιγραφή, ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προκύπτουν από αυτά.

Abstract

This very thesis aims to a theoretical approach of solar panels and heat pumps. It will be also pointed out the model rate of a combined system (solar panels-geothermal heat pump) for the heating of greenhouses based on the help of the computerized program TRNSYS.

At first, there will be a report to the sorts as well as the function of solar thermal collectors/panels. Moreover, some regulations regarding the production of the temperature will be mentioned. In addition, heat pumps will described in detail: their sorts, their function, their performance as well as their cost.

Last but not least, there is an extensive presentation of greenhouses, their heating systems and the way of calculating their necessary thermal load.

To sum up, the whole program will be thoroughly analyzed along with the effects and the conclusions stemming from its use.

Πίνακας Περιεχομένων

1. Ηλιακά θερμικά συστήματα.....	7
1.1. Εισαγωγή.....	7
1.1.1. Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης.....	7
1.1.2. Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με σωλήνες κενού.....	9
1.1.3. Ηλιακός θερμικός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα.....	10
1.1.4. Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	11
1.2. Βαθμός απόδοσης ηλιακού θερμικού συλλέκτη.....	12
1.2.1. Σύγκριση βαθμών απόδοσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών.....	16
1.3. Ηλιακά θερμικά συστήματα για τη παραγωγή ζεστού νερού.....	17
1.3.1 Σύστημα φυσικής ροής η θερμοσιφωνικό.....	17
1.3.2 Σύστημα ηλιακών συλλεκτών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.....	19
2. Αντλίες θερμότητας	20
2.1 Εισαγωγή	20
2.2 Αρχές λειτουργίας	21
2.2.1 Βασικά τμήματα	22
2.2.2 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις 2 λειτουργίες (θέρμανση, ψύξη).....	23
2.3 Ιδανική αντλία... ..	24
2.4 Θεωρητικός και πραγματικός κύκλος της αντλίας θερμότητας.....	25
2.5 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας	26
2.6 Πηγές θερμότητας.....	29
2.6.1 Αέρας.....	29
2.6.2 Νερό.....	30
2.6.3 Έδαφος	30
2.6.4 Ηλιακή ενέργεια... ..	31
2.7 Επιδόσεις λειτουργίας.....	32
2.8 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας	36
2.8.1 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου	36
2.8.2 Αντλία συζευγμένη με κεντρική θέρμανση.....	37
2.9 Στοιχεία κόστους αντλίας θερμότητας.....	37
2.10 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας	39
2.10.1 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εγκατεστημένη ισχύς και προβλέψεις)....	42
3. Θερμοκήπια.....	44
3.1. Εισαγωγή.....	44
3.2. Περιγραφή θερμοκηπίων.....	45
3.3. Υπολογισμός Ισχύος και συστήματα θέρμανσης.....	48
3.4. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σε αγροτικές εφαρμογές.....	56

4.	Υπολογιστικό μοντέλο.....	62
4.1	Εισαγωγή.....	62
4.2	Εισαγωγή στο TRNSYS.....	67
4.2.1	TRNSYS Simulation Studio.....	68
4.2.2	Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης.....	69
4.2.3	Συνδέσεις.....	70
4.2.4	Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.....	71
4.3	Περιγραφή του μοντέλου.....	73
4.4	Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης.....	77
4.5	Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	108
4.6	Συμπεράσματα.....	119
	Βιβλιογραφία.....	121

Κεφάλαιο 1

ΗΛΙΑΚΑ ΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1 Εισαγωγή

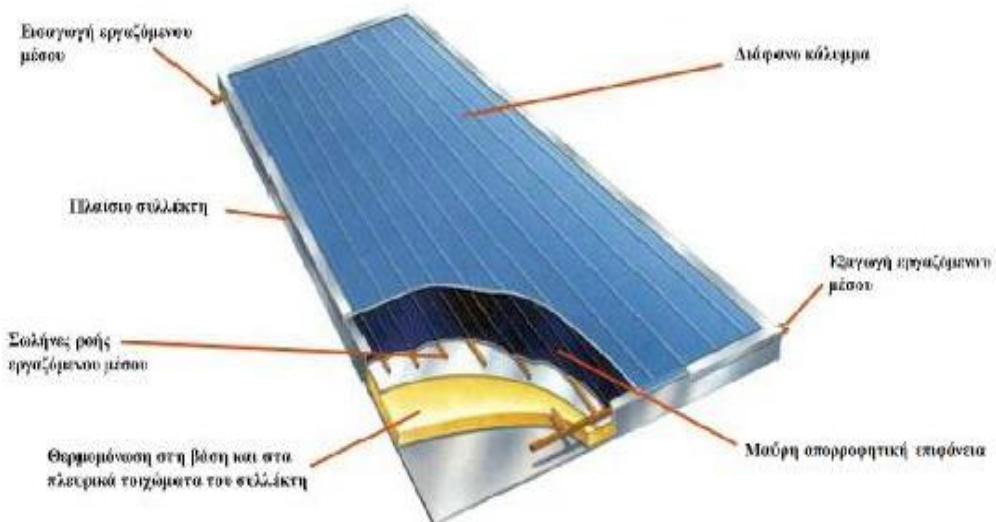
Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας και η μετατροπή της σε χρήσιμη θερμική επιτυγχάνεται κυρίως με τις παρακάτω βασικές διατάξεις ηλιακών συλλεκτών. Αυτές είναι οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες, οι συλλέκτες κενού, οι συλλέκτες χωρίς κάλυμμα και οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.

1.1.1 Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης

Ο επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, καλύπτοντας τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για θέρμανση χώρων. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένας επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης είναι:

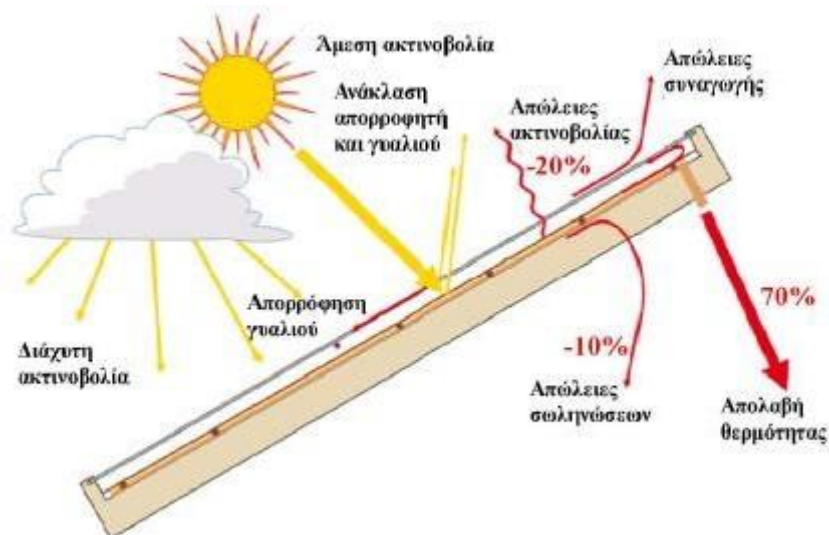
- Η μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Για την μέγιστη δυνατή συλλογή και εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ειδική επιλεκτική επιφάνεια με μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη εκπομπή (5-10%) στα μικρά μήκη κύματος λ της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Το δίκτυο σωληνώσεων στην πίσω πλευρά της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας, όπου εσωτερικά κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο (νερό ή μίγμα νερού και αντιπηκτικού υγρού).
- Το θερμομονωτικό υλικό. Τοποθετείται στη βάση και στα πλευρικά τοιχώματα του συλλέκτη για την μείωση των θερμικών απωλειών. Ένα μικρό ποσοστό θερμικών απωλειών θα εξακολουθεί να υφίσταται λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του απορροφητή και του περιβάλλοντος αέρα.
- Το προστατευτικό διάφανο κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο ελαττώνει τις θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής καθώς και τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας της θερμαινόμενης απορροφητικής επιφάνειας. Επιπλέον, προστατεύει το εσωτερικό τμήμα του συλλέκτη από περιβαλλοντικές συνθήκες και ακαθαρσίες (σκόνη κλπ.), επιμηκύνοντας την διάρκεια ζωής του.

- Το πλαίσιο του συλλέκτη, το οποίο κατασκευάζεται από κράμα αλουμινίου ή από γαλβανισμένο χάλυβα και εξυπηρετεί στην συγκράτηση και προστασία του κυρίως μέρους του συλλέκτη.



Σχήμα 1.1: Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης [29]

Η λειτουργία ενός επίπεδου ηλιακού θερμικού συλλέκτη στηρίζεται στη μετάδοση θερμότητας από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια στις σωληνώσεις και εν συνέχεια στο διερχόμενο εργαζόμενο μέσο με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Ο συλλέκτης θα πρέπει να είναι τοποθετημένος σε κατάλληλη κλίση β από το οριζόντιο επίπεδο και σε κατάλληλο προσανατολισμό έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



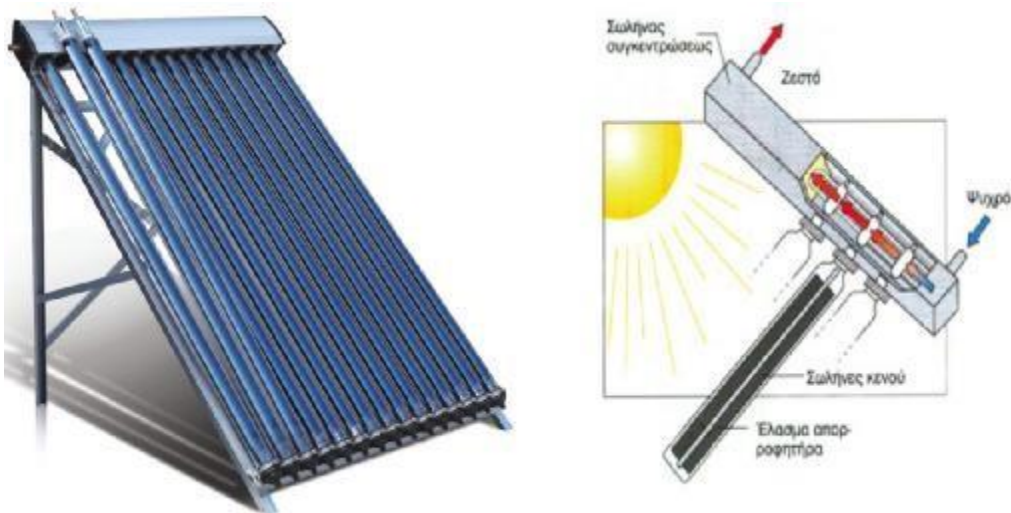
Σχήμα 1.2: Διάγραμμα ροής ενέργειας σε επίπεδο θερμικό συλλέκτη [29]

Οι επίπεδοι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται περισσότερο λόγω της εύκολης κατασκευής τους και του χαμηλού συγκριτικά κόστους αγοράς και συντήρησής τους.

1.1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με σωλήνες κενού

Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού διαφέρουν από τους επίπεδους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες ως προς τον τρόπο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, είναι ευρέως διαδεδομένοι για τη λειτουργία και την απόδοσή τους σε συνθήκες ελαττωμένης ηλιοφάνειας.

Ένας ηλιακός συλλέκτης κενού αποτελείται από συστοιχίες γυάλινων σωλήνων κλειστού τύπου. Εσωτερικά περιέχεται μια μεταλλική επιφάνεια βαμμένη με ειδικό θερμοαπορροφητικό υλικό χαμηλής ανάκλασης, με σκοπό την μέγιστη δυνατή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική. Η θερμότητα που συλλέγεται, μεταφέρεται σε έναν αυλό (heat pipe) που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό, συνήθως αλκοόλη. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, το ρευστό εξατμίζεται και εν συνεχεία κατευθύνεται στην άνω άκρη του γυάλινου σωλήνα. Στο σημείο αυτό σχηματίζεται ένας εναλλάκτης θερμότητας καθώς το πτητικό ρευστό (αέριο) απάγει την θερμότητα του στο διερχόμενο νερό χρήσης με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας του. Έτσι, συμπυκνώνεται και επιστρέφει στο κάτω άκρο του γυάλινου σωλήνα, όπου αναθερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία επαναλαμβάνει την παραπάνω διαδικασία. Για την ορθή λειτουργία του συστήματος, οι γυάλινοι σωλήνες πρέπει να έχουν μία μικρή κλίση ώστε να μπορεί να γίνεται ο κύκλος της εξάτμισης και της συμπύκνωσης εντός του σωλήνα.

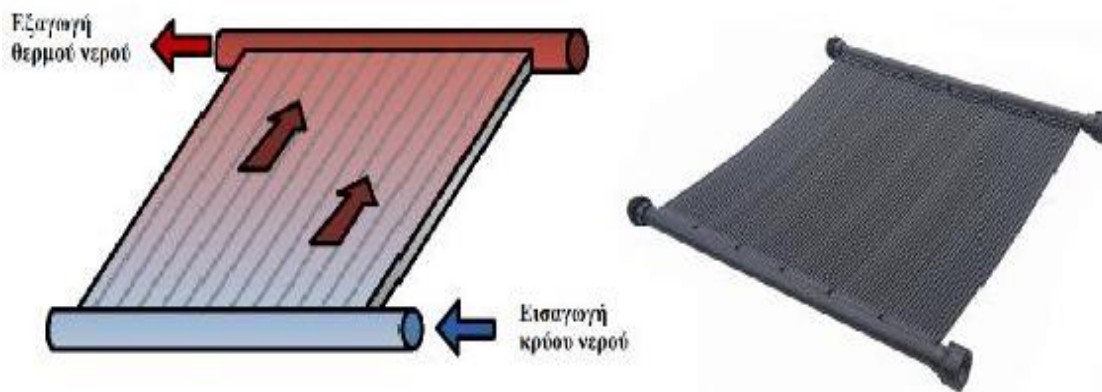


Σχήμα 1.3: Η λειτουργία ενός επίπεδου συλλέκτη κενού [29]

Σημαντικό πλεονεκτήματα ενός ηλιακού συλλέκτη κενού καθίσταται η ύπαρξη κενού αέρος εσωτερικά των σωλήνων. Το κενό αυτό εξασφαλίζει την καλή μόνωση του συστήματος και την ελάττωση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον. Έτσι, επιτυγχάνονται υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, της τάξεως των $100 \div 150^{\circ}\text{C}$, συγκριτικά με άλλα είδη ηλιακών θερμικών συλλεκτών. Επιπρόσθετα, λόγω της κυλινδρικής γεωμετρίας των σωλήνων κενού επιτυγχάνεται κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη εκμετάλλευσή της. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι ο κάθε σωλήνας κενού του ηλιακού συλλέκτη αποτελεί ένα ξεχωριστό κλειστό κύκλωμα. Έτσι, σε περίπτωση δυσλειτουργίας ενός σωλήνα, το νερό χρήσης δεν υφίσταται διαρροές και εξακολουθεί να θερμαίνεται από τους υπόλοιπους σωλήνες της συστοιχίας.

1.1.3 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα

Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα καθιστούν την απλούστερη μορφή ηλιακών συλλεκτών και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή, για παράδειγμα σε κολυμβητικές εγκαταστάσεις και πισίνες. Η βασική διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούνται μόνο από τον απορροφητή, δηλαδή την μαύρη απορροφητική πλαστική επιφάνεια, μέσα στην οποία διέρχεται το νερό της πισίνας. Εκεί θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και διοχετεύεται απευθείας πίσω σε εκείνη.



Σχήμα 1.4: Ηλιακός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα [29]



Σχήμα 1.5: Τομή απορρόφητη [29]

Η εγκατάσταση συλλεκτών χωρίς κάλυμμα έχει μικρό κόστος αγοράς καθώς δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός, όπως δεξαμενή αποθήκευσης ή εναλλάκτης θερμότητας.

1.1.4 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιώντας διαφόρων ειδών οπτικά μέσα, όπως ανακλαστικές επιφάνειες, παραβολικά κάτοπτρα και φακούς εστίασης, συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μικρότερες επιφάνειες. Εκεί η ακτινοβολία απορροφάται και μετατρέπεται σε χρήσιμη θερμική ενέργεια, η οποία παραλαμβάνεται από ένα θερμαινόμενο μέσο που βρίσκεται εσωτερικά του σημείου εστίασης. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας για την αντίστοιχη κίνηση των συλλεκτών στους δύο άξονες.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες ταξινομούνται ανάλογα με το είδος εστίασης που επιτυγχάνουν (συγκεντρωτικοί συλλέκτες σημειακής εστίασης ή συγκεντρωτικοί συλλέκτες γραμμικού τύπου), ανάλογα με το είδος των ανακλαστήρων που χρησιμοποιούνται και τέλος, ανάλογα με τον λόγο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας $C = \frac{A_r}{A_a}$, όπου A_r η ενεργή επιφάνεια ανάκλασης και A_a η ενεργή επιφάνεια απορρόφησης.



Σχήμα 1.6: α) Συγκεντρωτικός συλλέκτης σημειακής εστίασης, β) Συγκεντρωτικός συλλέκτης γραμμικού τύπου με σωλήνα κενού στο κέντρο [29]

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες επιτυγχάνουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες του θερμαινόμενου ρευστού της τάξεως των 200 - 400 °C, γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών. Επιπλέον παρουσιάζουν μειωμένες θερμικές απώλειες της απορροφητικής επιφάνειας λόγω της μικρής επιφάνειας της. Το μειονέκτημα των συλλεκτών αυτών είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης του οπτικού συστήματος.

1.2 Βαθμός απόδοσης ηλιακού θερμικού συλλέκτη

Η θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του (θερμική μόνωση κατασκευής, διαπερατότητα και ανακλαστικότητα της γυάλινης επιφάνειας, απορροφητική επιφάνεια συλλογής κλπ.) αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας του, όπως είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και η μέση θερμοκρασία νερού μέσα στον συλλέκτη.

Ο βαθμός απόδοσης ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} \quad (1)$$

όπου Q_u η ωφέλιμη θερμική ισχύ του συλλέκτη (W), A_c η επιφάνεια του συλλέκτη (m^2) και I_T η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2). Ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u χαρακτηρίζεται η διαφορά μεταξύ της απορροφούμενης ισχύος της ηλιακής ενέργειας και της θερμότητας λόγω απωλειών. Συγκεκριμένα για το Q_u ισχύει ο τύπος:

$$Q_u = Q_{agoq} - Q_{agmh} \quad (2)$$

Η απορροφούμενη ισχύς Q_{agoq} εκφράζει την ενέργεια σε Watt όπου απορροφά η επιφάνεια του συλλέκτη, και υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{agoq} = A_c \cdot [I_T(\tau\alpha)] \quad (3)$$

Επισημαίνεται ότι το $(\tau\alpha)$ ονομάζεται ενεργό γινόμενο και εκφράζει τη μέση τιμή του γινομένου διαπερατότητας “ τ ” της γυάλινης επιφάνειας και της απορροφητικότητας “ α ” της μαύρης επίστρωσης του συλλέκτη.

Η ισχύς απωλειών Q_{agmh} υφίσταται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας της μέσης θερμοκρασίας του συλλέκτη και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος:

$$Q_{agmh} = A_c \cdot [U_L(T_{c,m} - T_a)] \quad (4)$$

όπου U_L ο συντελεστής θερμικών απωλειών σε $\frac{W}{m^2 \cdot K}$, $T_{c,m}$ η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη σε (K) και T_a η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε (K).

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις στην εξίσωση (2) προκύπτει ο τύπος της ωφέλιμης θερμικής ισχύος:

$$Q_u = A_c \cdot [I_T(\tau\alpha) - U_L(T_{c,m} - T_a)] \quad (5)$$

Επειδή όμως δεν είναι εφικτή η μέτρηση της $T_{c,m}$ του συλλέκτη για κάθε χρονική στιγμή, λόγω της εξάρτησης της από τις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας, ο όρος $T_{c,m}$ αντικαθίσταται από την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη $T_{f,i}$. Με την αλλαγή της θερμοκρασίας από $T_{c,m}$ σε $T_{f,i}$ εισάγεται ο διορθωτικός συντελεστής F_R .

Έτσι, η εξίσωση (5) παίρνει την μορφή:

$$Q_u = A_c \cdot [F_R(\tau\alpha)I_T - F_R U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (6)$$

Επισημαίνεται ότι η ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u ταυτίζεται με την μεταφερόμενη ενέργεια του ρευστού στο κύκλωμα του συλλέκτη. Η ενέργεια αυτή εκφράζεται από τον νόμο της Θερμιδομετρίας:

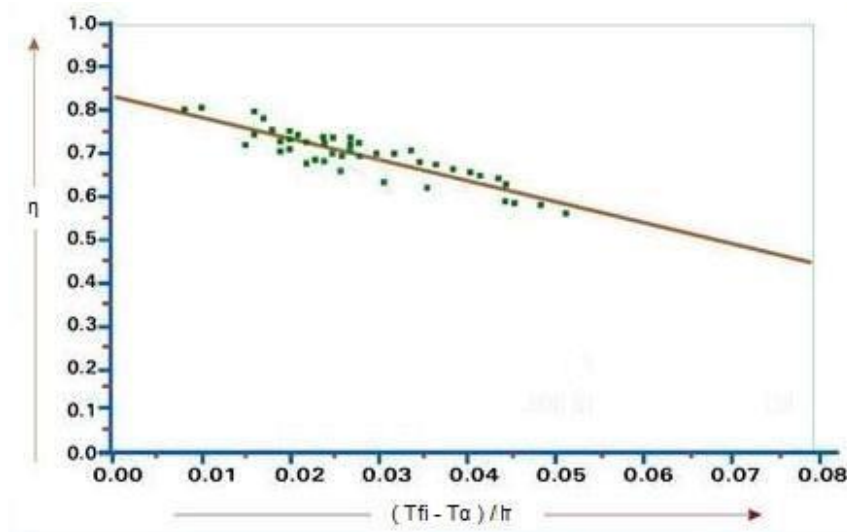
$$Q_u = \dot{m} \cdot C p_{qsvotou} \cdot (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (7)$$

Όπου, \dot{m} η μαζική παροχή του ρευστού σε (kg), $\frac{Cp}{s}$ η ειδική θερμότητα του ρευστού σε ($\frac{J}{kg \cdot K}$), $T_{f,i}$ και $T_{f,o}$ οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού από τον ηλιακό συλλέκτη σε (K).

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης ενός ηλιακού θερμικού συλλέκτη, το σύστημα τίθεται σε λειτουργία, όπου και λαμβάνονται τιμές των θερμοκρασιών $T_{f,i}$, $T_{f,o}$ και τιμή για την μαζική παροχή \dot{m} . Έτσι, υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u από τον νόμο της Θερμιδομετρίας. Έπειτα, καταχωρώντας τις μετρούμενες τιμές για την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη I_T και έχοντας ως δεδομένο τη συλλεκτική επιφάνεια A_c , υπολογίζεται η απόδοση του ηλιακού θερμικού συλλέκτη με βάση στην παρακάτω σχέση:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} = FR(\tau\alpha) - FR U_L \cdot \frac{T_{f,i} - T_a}{I_T} \quad (8)$$

Η εξίσωση (8) παρατηρούμε ότι είναι γραμμικής μορφής ($y = \beta - \alpha x$) και έτσι η γραφική απεικόνιση του βαθμού απόδοσης γίνεται συνάρτηση του πηλίκου $\frac{T_{f,i} - T_a}{I_T}$.



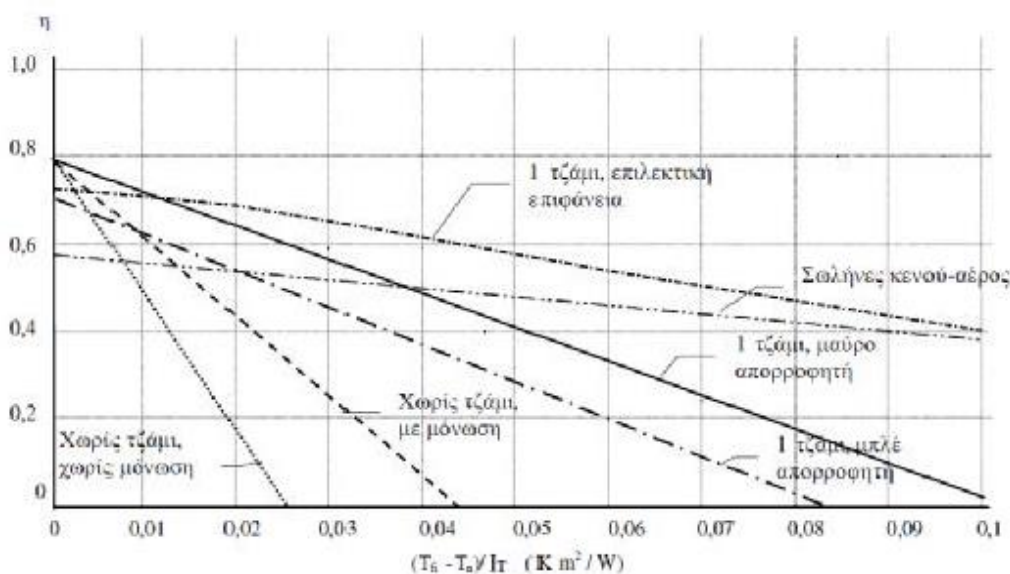
Σχήμα 1.7: Στιγμιαία απόδοση ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει των συνθηκών λειτουργίας [29]

Από τις μαθηματικές εξισώσεις παρατηρείται ότι όσο μικραίνει η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου ρευστού και περιβάλλοντος, τόσο μεγαλώνει η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη.

Αν θεωρήσουμε ότι για έναν ηλιακό συλλέκτη, οι απώλειες του παραμένουν σταθερές τότε η γραφική απεικόνιση της απόδοσής του, ως συνάρτηση του ηλιακού $\frac{T_{f,i} - T_a}{I_T}$ θα μας δώσει ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση. Τα σημεία τομής της ευθείας αυτής με τους άξονες είναι τα $[0, FR(\tau_a)]$ για μέγιστο γινόμενο (να), που αποδίδεται σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη και το σημείο $[FR_{UL}, 0]$, που θα ισχύει για τη μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά $(T_{f,i} - T_a)$.

1.2.1 Σύγκριση βαθμών απόδοσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών θερμικών συλλεκτών μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας. Έτσι, η επιλογή του κατάλληλου είδους ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από την περιοχή εγκατάστασης, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και τις εκάστοτε θερμοκρασιακές απαιτήσεις για τα φορτία που καλείται να καλύψει.



Σχήμα 1.7: Στιγμαία απόδοση ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει των συνθηκών λειτουργίας [29]

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα αποδόσεων, οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης για μικρές θερμοκρασιακές διαφορές του νερού στην είσοδο του συλλέκτη και του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιούνται εκτενώς για την παραγωγή θερμού νερού σε πισίνες. Οι συλλέκτες με γυάλινη επιφάνεια και απορροφητή είναι ευρέως διαδεδομένοι διότι συνδυάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης σε μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές και ικανοποιητικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης.

Τέλος, οι συλλέκτες κενού παρουσιάζουν έναν σταθερό και σχετικό υψηλό βαθμό απόδοσης, λόγω των χαμηλών θερμικών απωλειών και της δυνατότητας τους να εκμεταλλεύονται ημέρες με λιγότερη ηλιοφάνεια και μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές $(T_{f,i} - T_a)$. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινη επιφάνεια και απορροφητή καθώς και οι συλλέκτες κενού χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης για θέρμανση χώρων σε οικιακό και βιομηχανικό επίπεδο.

1.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού

Ηλιακά θερμικά συστήματα καλούνται τα συστήματα των οποίων η χρήση αποσκοπεί στην κάλυψη των αναγκών ενός κτιρίου για ζεστό νερό χρήσης για θέρμανση χώρων με κύρια πηγή ενέργειας την ηλιακή. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από τους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες, το δοχείο αποθήκευσης του θερμού νερού, το σύστημα των ελεγκτών ροής και θερμοκρασίας και κάποια βοηθητική πηγή ενέργειας, η οποία τίθεται σε λειτουργία σε περίπτωση που η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί.

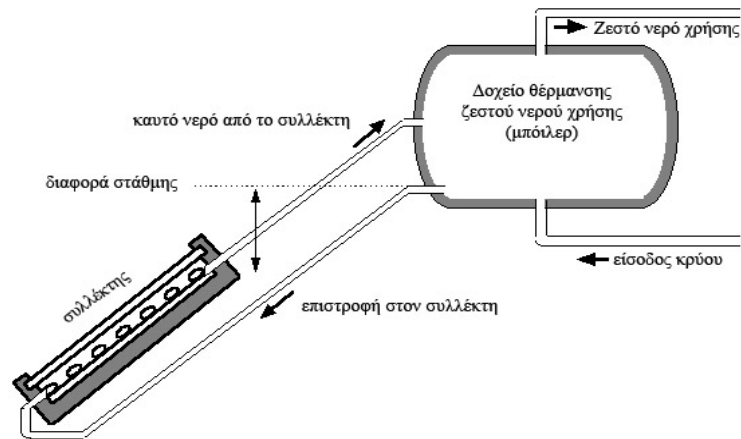
1.3.1 Σύστημα φυσικής ροής ή Θερμοσιφωνικό

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα αποτελούν τα πιο συνήθη συστήματα θέρμανσης νερού στη χώρα μας. Μια τέτοιου είδους εγκατάσταση απαρτίζεται από τον ηλιακό θερμικό συλλέκτη και το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού, το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο σε υψηλότερο σημείο από τον συλλέκτη. Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίσης φυσικής ροής, διότι η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα συλλέκτη – δοχείου αποθήκευσης επιτυγχάνεται χωρίς την παρουσία κυκλοφορητή. Καθώς το νερό θερμαίνεται μέσα στον συλλέκτη γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο, ενώ το ψυχρότερο νερό του δοχείου αποθήκευσης οδηγείται μέσω των σωληνώσεων στα κατώτερα τμήματα του ηλιακού συλλέκτη. Επιπρόσθετα, τα θερμοσιφωνικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόγχου.

Θερμοσιφωνικό σύστημα ανοικτού βρόχου

Τα συστήματα ανοικτού βρόχου δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και αυτό οφείλεται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας τους. Το νερό ρέει μέσα στο συλλέκτη, απορροφώντας ποσά θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία και εν συνεχεία αποθηκεύεται στο δοχείο ζεστού νερού χρήσης (μπόιλερ). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι το ζεστό νερό χρήσης είναι το ίδιο νερό με αυτό που διέρχεται μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη, γεγονός που δημιουργεί τα εξής προβλήματα:

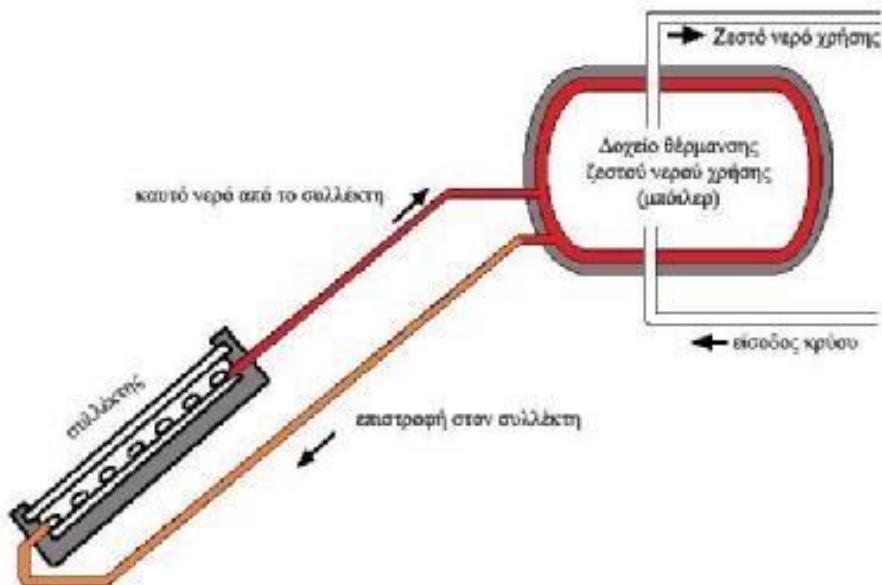
- α) Τη δημιουργία διαβρώσεων εσωτερικά του συλλέκτη, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας αλάτων στο νερό
- β) Το νερό χρήσης καθίσταται ανθυγιεινό για τον άνθρωπο λόγω της συνεχούς επαφής του με τις σωληνώσεις του ηλιακού συλλέκτη.



Σχήμα 1.9: Θερμοσιφωνική διάταξη ανοικτού βρόγχου [29]

Θερμοσιφωνικό σύστημα κλειστού βρόχου

Σε αντίθεση με τα συστήματα ανοικτού βρόχου, τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι ευρέως διαδεδομένα για την παραγωγή ζεστού νερού. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι το ζεστό νερό χρήσης δεν αναμειγνύεται με το νερό το οποίο ρέει μέσα στον ηλιακό συλλέκτη. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα ροής νερού του συλλέκτη, το οποίο ζεσταίνεται με την βοήθεια της ακτινοβολίας του ηλίου και εν συνεχεία, με συναγωγή μεταδίδει την θερμότητα του στο νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης, χωρίς αυτά τα δύο κυκλώματα να έρθουν σε επαφή.

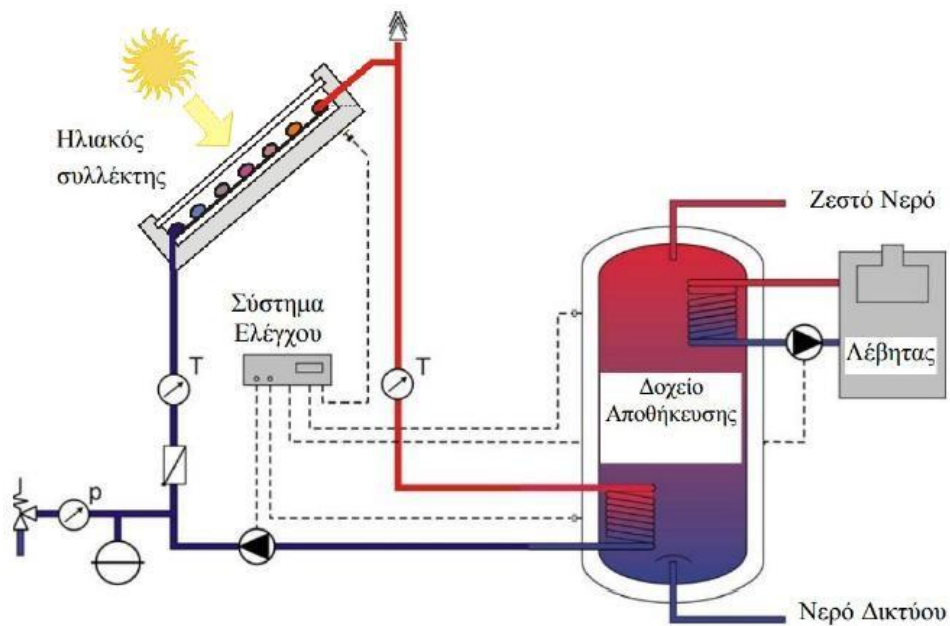


Σχήμα 1.10: Θερμοσιφωνική εγκατάσταση κλειστού βρόγχου [29]

1.3.2 Σύστημα ηλιακών συλλεκτών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας κατέχουν σημαντική θέση στον τομέα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης για θέρμανση χώρων. Η κύρια διαφορά μεταξύ των συστημάτων φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας έγκειται στην παρουσία κυκλοφορητή, ο οποίος παρέχει την απαιτούμενη κινητική ενέργεια στο θερμαινόμενο ρευστό του κλειστού κυκλώματος των συλλεκτών. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται ένα σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας είναι το κεντρικό δοχείο αποθήκευσης, το δίκτυο των αγωγών, διάφορες ρυθμιστικές διατάξεις και τα συστήματα ελέγχου.

Η θερμότητα που προσλαμβάνουν οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες μεταφέρεται από το θερμαινόμενο ρευστό (μίγμα νερού και αντιπηκτικού υγρού) στο κεντρικό δοχείο αποθήκευσης. Εκεί, μέσω ενός εναλλάκτη εμβαπτισμένου εσωτερικά του δοχείου, η θερμότητα μεταφέρεται με συναγωγή στο νερό χρήσης, το οποίο οδηγείται μέσω των αγωγών στα σημεία κατανάλωσης.



Σχήμα 1.11: Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας [29]

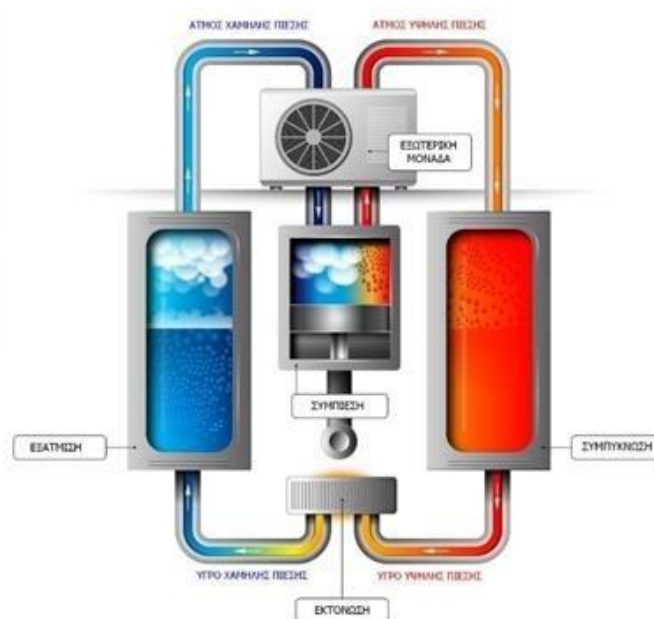
Σε περιόδους όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι επαρκής για την κάλυψη των απαιτούμενων θερμικών φορτίων, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή θέρμανσης (συνήθως λέβητας ή ηλεκτρική αντίσταση), όπου με ξεχωριστό κλειστό κύκλωμα αγωγών και εναλλάκτη θερμαίνει επιπλέον το νερό χρήσης στο δοχείο αποθήκευσης.

Κεφάλαιο 2

ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

2.1 Εισαγωγή

Οι αντλίες θερμότητας (ΑΘ) είναι μηχανές που παράγουν θέρμανση και ψύξη καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια και λειτουργούν σύμφωνα με τον καλούμενο αντίστροφο θερμοδυναμικό κύκλο. Κατά τη διάρκεια του κύκλου το ψυκτικό υγρό της αντλίας προσλαμβάνει θερμότητα από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχρή πηγή). Στη συνέχεια ο συμπιεστής αυξάνει τη θερμοκρασία του και το ρευστό αποδίδει τη θερμότητά του στο χώρο. Οι συνηθέστερες ψυχρές πηγές είναι ο εξωτερικός αέρας και το νερό (πηγαδιού, ποταμού, λίμνης), ενώ τα τελευταία χρόνια αυξάνεται η χρήση του εδάφους και της ηλιακής ενέργειας. Η θερμότητα διατίθεται με τη μορφή θερμού αέρα ή θερμού νερού. [31]

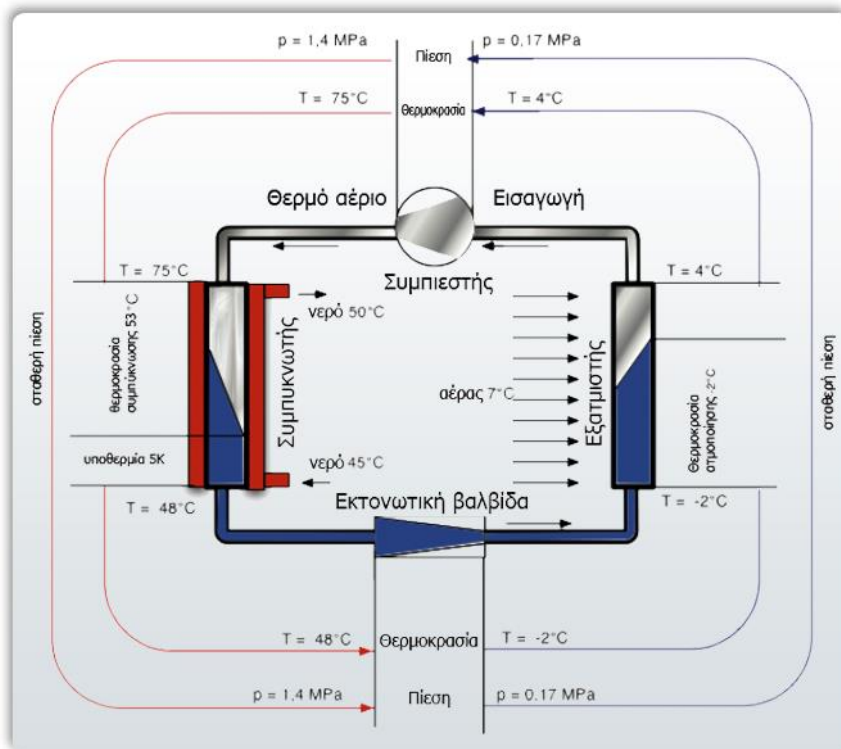


Σχήμα 2.1 Τυπική αντλία θερμότητας [45]

2.2 Αρχές λειτουργίας

Η αντλία θερμότητας είναι συσκευή που έχει τη δυνατότητα αξιοποίησης του κύκλου ψύξης έτσι ώστε να δίνει άλλοτε ζεστό και άλλοτε κρύο αέρα ή νερό, ανάλογα πάντα με τις κλιματικές ανάγκες του χώρου. Όπως είναι γνωστό, η θερμότητα έχει φυσική ροή από καταστάσεις υψηλότερων θερμοκρασιών σε αντίστοιχες χαμηλότερων θερμοκρασιών. Το σύστημα όμως αυτό, έχει την ικανότητα να μεταφέρει τη θερμότητα αντίθετα προς τη φυσική της ροή. Αντλεί δηλαδή θερμότητα από μια χαμηλότερη στάθμη θερμοκρασίας προς μια υψηλότερη. Την ίδια ικανότητα έχει και ένα ψυγείο, μόνο που στην περίπτωση των αντλιών θερμότητας το ενδιαφέρον παρουσιάζεται για τη θερμότητα και όχι για την ψύξη.

Η αρχή λειτουργίας της [32] είναι η ίδια με αυτή που εφαρμόζεται και στα ψυγεία, όπου η θερμότητα μεταφέρεται από τον χώρο του ψυγείου στο χώρο του περιβάλλοντος, ή στις κλιματιστικές συσκευές, με τις οποίες η θερμότητα μεταφέρεται από το δωμάτιο στην ύπαιθρο. Έτσι λοιπόν, αν ο χώρος A είναι το εσωτερικό του κτηρίου και το B το περιβάλλον, η αντλία θερμότητας έχει τη δυνατότητα με κατάλληλο χειρισμό να μεταφέρει θερμότητα από το χώρο A προς το χώρο B (ψύξη του κτηρίου) ή αντίστροφα από το χώρο B προς το χώρο A (θέρμανση του κτηρίου).

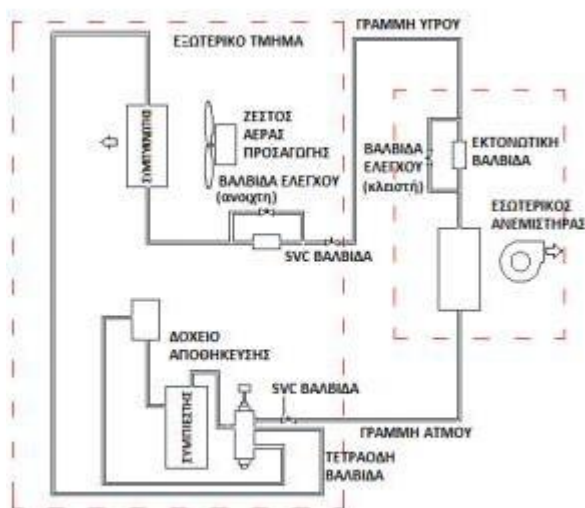


Σχήμα 2.2: Κύκλος αντλίας θερμότητας [45]

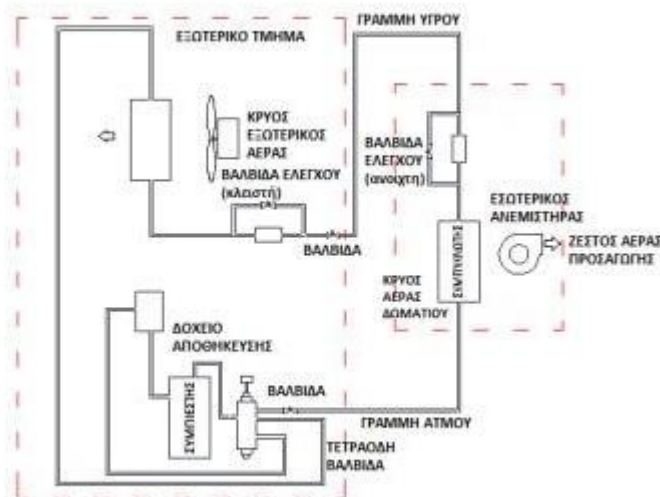
2.2.1 Βασικά τμήματα ΑΘ

Τα βασικά τμήματα [33] από τα οποία αποτελείται μια αντλία θερμότητας :

- Το τμήμα συμπιεστή – συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία απορροφά θερμότητα)
- Το τμήμα ανεμιστήρα – ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο (ή κατά την αντίστροφη λειτουργία προσδίδει θερμότητα)
- Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μια τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε θερμαντικό (κύκλο θέρμανσης) και αντίστροφα
- Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης
- Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοσή του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή. Μερικές φορές το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με αντιστροφή του κύκλου για περιορισμένο χρόνο.



Σχήμα 2.3 Κύκλος αντλίας θερμότητας για θέρμανση [45]



Σχήμα 2.4 Κύκλος αντλίας θερμότητας για ψύξη [45]

2.2.2 Λειτουργία αντλίας θερμότητας στις δύο περιπτώσεις (θέρμανση, ψύξη)

Συχνά αναφέρεται ότι η αντλία θερμότητας αντιστρέφει ή αναστρέφει τον κύκλο του ψυκτικού ρευστού και ανάλογα με την περίπτωση ακολουθεί ψυκτικό κύκλο το καλοκαίρι ή κύκλο θέρμανσης το χειμώνα. Στην πράξη, πρέπει να τονισθεί ότι η αντλία θερμότητας εκτελεί πάντα ψυκτικό κύκλο και ποτέ θερμικό, γιατί τέτοιος κύκλος δεν υφίσταται. Το μόνο που αντιστρέφεται είναι ο ρόλος του συμπυκνωτή με το ρόλο του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι το εσωτερικό στοιχείο λειτουργεί ως ατμοποιητής και είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ το χειμώνα ως συμπυκνωτής και τον θερμαίνει. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής – συμπυκνωτής από το δωμάτιο στο περιβάλλον, η αντλία θερμότητας με τη χρήση της τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει τη ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά του μηχανικού έργου.

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας [34] βασίζεται στον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ατμού. Η μελέτη του κύκλου για ψύξη εκτελείται ξεκινώντας από οποιοδήποτε σημείο του συστήματος. Αρχίζοντας π.χ. από τη στιγμή που το ψυκτικό υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή.

1. Η είσοδος του ψυκτικού υγρού στον ατμοποιητή ελέγχεται από την άεργη εκτονωτική – στραγγαλιστική βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή ελαττώνει την πίεση του υγρού, το οποίο ατμοποιείται σε χαμηλή θερμοκρασία. Κατά την ατμοποίηση, ποσά θερμότητας προσδίδονται στον αέρα και ύστερα το υγρό μέσω του συμπιεστή αποκτά υψηλή πίεση και θερμοκρασία.

2. Το συμπιεσμένο αέριο φθάνει στο συμπυκνωτή και προσδίδει ποσά θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Καθώς ο ατμός ψυκτικού υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας διέρχεται από το συμπυκνωτή, υγροποιείται και εξέρχεται ως ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Με την υγροποίηση του ατμού αφαιρείται θερμότητα από αυτόν.
3. Το ψυκτικό υγρό οδηγείται στην εκτονωτική βαλβίδα. Κατά τη φάση της εκτόνωσης το συμπυκνωμένο ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης περνάει μέσα από μια εκτονωτική διάταξη, όπου μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία του και μετατρέπεται σε ένα μίγμα από υγρό και ατμό χαμηλής πίεσης και θερμοκρασίας και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ο κύκλος θέρμανσης περιλαμβάνει τα ίδια στάδια με τον κύκλο ψύξης. Μόνο που στην περίπτωση αυτή το στοιχείο που εκτελούσε ατμοποίηση εκτελεί συμπύκνωση και το αντίστροφο.

Για να μπορεί να λειτουργήσει μια αντλία θερμότητας σε θέρμανση και ψύξη θα πρέπει να γίνεται εναλλαγή ρόλων μεταξύ του ατμοποιητή και του συμπυκνωτή, κάτι που ονομάζεται αναστροφή του ψυκτικού κύκλου. Η μετατροπή του ψυκτικού κύκλου σε κύκλο θέρμανσης, γίνεται με τη βοήθεια τετράοδης βαλβίδας, που οδηγεί το ψυκτικό ρευστό μετά την έξοδό του από το συμπιεστή και την εκτονωτική διάταξη στους εναλλάκτες θερμότητας ψυκτικού μέσου – αέρα (ή νερού), ανάλογα με την επιλογή των απαιτήσεων που γίνεται μέσω διακόπτη.

2.3 Η ιδανική αντλία θερμότητας

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στην αρχή της αντιστρεπτής θερμικής μηχανής του Carnot όταν λειτουργήσει αντίστροφα [35]. Οι αντιστρεπτές μηχανές χρησιμοποιούνται ως πρότυπες μηχανές για την αξιολόγηση της απόδοσης των πραγματικών μηχανών. Η αντίστροφη μηχανή Carnot μπορεί να λειτουργεί, είτε ως αντλία θερμότητας, είτε ως ψυκτική μηχανή. Στην κατάσταση θέρμανσης η αντλία θερμότητας αντλεί από το ψυχρό περιβάλλον ποσότητα θερμότητας Q_1 , προστίθεται μηχανικό έργο W στο συμπιεστή και αποδίδει ποσό θερμότητας Q_2 στο χώρο.

Όταν η αντλία λειτουργεί σε κατάσταση θέρμανσης, το θερμό είναι ο χώρος, το ψυχρό το περιβάλλον και το ζητούμενο είναι το Q_2 . Σε λειτουργία ψύξης [36] είναι το αντίστροφο. Η απόδοση της αντλίας θερμότητας χαρακτηρίζεται από το συντελεστή λειτουργίας $COP(=T_2/(T_2-T_1))$. Ο συντελεστής εξαρτάται μόνο από τις θερμοκρασίες T_1 , T_2 των δεξαμενών θερμικής ενέργειας και είναι πάντοτε μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά T_2-T_1 ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία T_2 . Επίσης, όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά T_2-T_1 μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP. Οι παρατηρήσεις αυτές έχουν ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα λόγω των ειδικών κλιματολογικών συνθηκών:

- Ήπιος καιρός το χειμώνα με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες εξωτερικού χώρου
- Δυνατότητα χρησιμοποίησης της ηλιακής ενέργειας βοηθητικά στην αντλία θερμότητας, κατά την περίοδο του χειμώνα
- Δυνατότητα (σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποίησης της γεωθερμικής ενέργειας βοηθητικά στην αντλία θερμότητας).

Μια αντλία θερμότητας με συντελεστή COP ίσο με 4, μεταφέρει 4kw ενέργειας καταναλώνοντας 1kW ηλεκτρισμού, ή αλλιώς, η μεταφορά ενέργειας κοστίζει 25% με τη συγκεκριμένη αντλία. Ο συντελεστής COP εξαρτάται από τις θερμοκρασίες ψυχρού και θερμού χώρου και δεν είναι σταθερός. Οι συντελεστές που δίνουν τα φυλλάδια των κατασκευαστών, είναι μετρημένοι συντελεστές επίδοσης, σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες, τυποποιημένες σύμφωνα με το πρότυπο Eurovent. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι για τη θέρμανση (θερμοκρασία ξηρού βολβού) : θερμοκρασία εσωτερικού χώρου 20 °C και θερμοκρασία εισόδου εξωτερικού αέρα 7 °C.

Όταν η αντλία θερμότητας λειτουργεί ως ψυκτική μηχανή για να καλύψει τις ανάγκες ψύξης το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι το ποσό θερμότητας Q1. Η απόδοση μιας αντλίας θερμότητας όταν λειτουργεί ως ψυκτική μηχανή χαρακτηρίζεται από το συντελεστή λειτουργίας $\beta_{\lambda/\theta} = 1/((Q2/Q1)-1)$ ή EER (Energy Efficiency Ratio) .

2.4 Θεωρητικός και πραγματικός κύκλος της ΑΘ

Οι μεταβολές του κύκλου πάνω στο διάγραμμα ln-p-h, είναι : συμπίεση, συμπύκνωση, στραγγαλισμός και ατμοποίηση των ατμών του χρησιμοποιούμενο ψυκτικού μέσου. Στην πράξη όμως, όπως είναι γνωστό, πρέπει να γίνουν ορισμένες τροποποιήσεις [38]. Οι αναγκαίες τροποποιήσεις του θεωρητικού κύκλου είναι οι εξής :

1. Λόγω κινδύνου σχηματισμού σταγόνων υγρού μέσα στο συμπιεστή, ο ατμός οδηγείται προς αυτόν υπέρθερμος.
2. Επειδή ο συμπιεστής δεν έχει την δυνατότητα να εκτελέσει ισεντροπική συμπίεση, απαιτείται περισσότερο μηχανικό έργο. Το επιπλέον έργο W γίνεται θερμότητα, που οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού.
3. Στους εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτή – ατμοποιητή), οι μεταβολές είναι θεωρητικά ισοβαρείς και ισόθερμες. Στην πράξη όμως, λόγω της ταχύτητας που διατηρείται αρκετά μεγάλη, παρουσιάζεται πτώση πίεσης.
4. Λόγω κινδύνου σχηματισμού ατμού πριν την εκτονωτική βαλβίδα (από απρόβλεπτη θέρμανση ή πτώση πίεσης), γίνεται υπόψυξη του υγρού, με τη βοήθεια ενδιάμεσου ψύκτη.

2.5 Κατηγορίες αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται ακολούθως :

1. Ανάλογα με το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο όπου αποβάλλεται η θερμότητα, έχουμε τις εξής κατηγορίες :

- Αέρα-Αέρα (A-A)
- Αέρα-Νερού (A-N)
- Νερού-Νερού (N-N)
- Νερού-Αέρα (N-A)
- Εδάφους-Αέρα (E-A)
- Εδάφους-Νερού (E-N)



Σχήμα 2.5 Κατηγορίες ΑΘ και κόστος [45]

Οι πρώτες αντλούν θερμότητα από την ατμόσφαιρα και αποδίδουν θερμό αέρα ενώ οι δευτέρες αντλούν θερμότητα από την ατμόσφαιρα και ζεσταίνουν νερό [39]. Οι πιο διαδεδομένες εμπορικές λύσεις είναι οι αντλίες θερμότητας αέρα/αέρα και οι αέρα/νερού. Αυτές κατασκευάζονται πλέον αποκλειστικά ως αναστρέψιμα μοντέλα και μπορούν να λειτουργήσουν με κύκλο θέρμανσης και κύκλο ψύξης. Ένα συνηθισμένο κλιματιστικό είναι μια αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, ενώ μια αντλία αέρα-νερού αντλεί θερμότητα από την ατμόσφαιρα και ζεσταίνει νερό, το οποίο μπορεί μετά να κυκλοφορεί σε ένα σύστημα θέρμανσης για να ζεστάνει κάποια θερμαντικά σώματα.

Υπάρχουν αντλίες θερμότητας που λειτουργούν μόνο για θέρμανση και άλλες που παρέχουν και θέρμανση και ψύξη. Εκτός από αυτά τα είδη, αναπτύσσονται και αντλίες θερμότητας νερού – νερού, οι οποίες αντλούν θερμότητα από νερό και την αποδίδουν σε νερό εσωτερικού δικτύου, καθώς και αντλίες θερμότητας νερού – αέρα, οι οποίες αντλούν θερμότητα από νερό και την αποδίδουν σε εσωτερικό δίκτυο με αεραγωγούς. Κατά την περίοδο του χειμώνα αντλείται θερμότητα (ή αντίστοιχα κατά την περίοδο του θέρους απορρίπτεται), ενώ το νερό μπορεί να είναι νερό από πύργο ψύξης, ποτάμι, θάλασσα ή ακόμη και νερό από γεώτρηση ή πηγάδι. Στην περίπτωση αυτή τοποθετούνται και κάποιες από τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Επίσης, αναπτύσσονται και αντλίες θερμότητας εδάφους – αέρα και εδάφους – νερού όπου η άντληση και η απόδοση θερμότητας κατά το χειμώνα γίνεται στο έδαφος, δηλαδή ο ατμοποιητής ή συμπυκνωτής αντίστοιχα είναι τοποθετημένος εντός του εδάφους. Στην περίπτωση αυτή, τα εσωτερικά δίκτυα είναι είτε δίκτυα νερού είτε δίκτυα αέρα.

2. Ανάλογα με το είδος την κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες :

- Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές
- Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός αέριο, κλπ.)
- Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

Οι πιο διαδεδομένοι συμπιεστές είναι οι ηλεκτροκίνητοι και τούτο διότι η μεγαλύτερη ανάπτυξη και χρήση αντλιών θερμότητας γίνεται στον τομέα κτηρίων και ειδικότερα σε κτήρια γραφείων, εμπορικά και κατοικιών. Σε άλλες εφαρμογές όπως, βιομηχανίες, πλοία και μεταφορικά μέσα γενικότερα έχουν αναπτυχθεί και συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης ή συνδεδεμένες σε μηχανές εσωτερικής καύσης με μηχανικό τρόπο.

Η περίπτωση των συμπιεστών απορρόφησης [40] και προσρόφησης είναι μια ειδική περίπτωση και ειδική τεχνολογία όπου δεν υφίσταται η έννοια της συμπίεσης αλλά της αύξησης της πίεσης σε υγρό και η επωνυμία των συμπιεστών δεν αντιστοιχεί στην πραγματικότητα. Στην περίπτωση αυτή, εφαρμόζεται μια άλλη τεχνική όπου η μεταβολή της πίεσης προέρχεται από διαχωρισμό μέσων και άντληση υγρών.

3. Ανάλογα με το είδος την κινητήριας μηχανής, οι αντλίες θερμότητας κατατάσσονται σε 3 κατηγορίες :

- Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές
- Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός αέριο, κλπ.)
- Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).

4. Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών της αντλίας θερμότητας διακρίνονται δύο κατηγορίες :

- Ενιαίες ή αυτόνομες (Compact). Σε αυτές όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
- Διμερούς τύπου (Split units). Εδώ ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος.

Οι πιο διαδεδομένες σήμερα αντλίες θερμότητας σε μικρές μονάδες είναι οι διμερούς τύπου. Αντίθετα κατά την ανάπτυξη των συστημάτων είχαν εφαρμοσθεί αρχικά οι αυτόνομες ή ενιαίες μονάδες αλλά λόγω προβλημάτων κυρίως θορύβου με το χρόνο αποσύρθηκαν (ως τεχνολογία).

5. Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας τους οι αντλίες θερμότητας διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.
- Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Η αναστροφή της ροής του ψυκτικού μέσου γίνεται με χρήση τετράοδης βαλβίδας.

Στην περίπτωση των μικρών και μεσαίου μεγέθους μονάδων, οι πλέον διαδεδομένες είναι οι μονάδες μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου. Σε μεγαλύτερες μονάδες και σε ειδικές εφαρμογές έχουν χρησιμοποιηθεί και αντλίες θερμότητας σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου, με αντιστροφή στην περιοχή του μέσου προσαγωγής – απαγωγής θερμότητας (κυρίως σε εγκαταστάσεις νερού).

2.6 Πηγές θερμότητας

Υπάρχουν αρκετές πηγές για την άντληση θερμότητας, όπως : ο αέρας, το νερό, το έδαφος, η ηλιακή ενέργεια.

2.6.1 Αέρας

Ο εξωτερικός αέρας αποτελεί ένα μέσο που χρησιμοποιείται παγκοσμίως ως ψυχρή πηγή για τις αντλίες θερμότητας. Για να μεταφερθεί θερμότητα ανάμεσα στον αέρα και το ψυκτικό χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας (μονάδες θερμικής συναλλαγής) μεγάλης επιφάνειας με βεβιασμένη κυκλοφορία αέρα (τεχνητό ρεύμα). Γενικά στις μονάδες αέρα – αέρα, αυτές οι επιφάνειες είναι κατά 50-100% μεγαλύτερες από εκείνες της εσωτερικής μονάδας. Η παροχή του εξωτερικού αέρα που διασχίζει τη μονάδα είναι συνήθως μεγαλύτερη από εκείνη του εσωτερικού αέρα κατά το ίδιο περίπου ποσοστό.

Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στον εξωτερικό αέρα και στο ψυκτικό μέσο που ατμοποιείται μέσα στη μονάδα κατά τη λειτουργία θέρμανσης κυμαίνεται συνήθως ανάμεσα σε -12°C και -4°C . Όταν πρέπει να γίνει επιλογή αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιεί εξωτερικό αέρα ως ψυχρή πηγή, πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο παράγοντες : η τοπική μεταβολή της θερμοκρασίας και ο σχηματισμός πάχνης στη μονάδα. Με την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας μειώνεται η ισχύς θέρμανσης της αντλίας θερμότητας.

Κατά την θέρμανση [41], η επιλογή της συσκευής για ορισμένη θερμοκρασία μελέτης είναι πιο κρίσιμη από ότι σε ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης. Συνεπώς, πρέπει να δοθούν στη συσκευή οι διαστάσεις για ένα σημείο ισορροπίας που είναι, στην πράξη, όσο το δυνατόν πιο χαμηλό για τη θέρμανση, ώστε να μη καταλήγουμε σε ισχύ ψύξης μεγαλύτερη από το σημείο σχεδιασμού της μελέτης.

Το πλεονέκτημα της πηγής αυτής είναι ότι βρίσκεται σε αφθονία στη φύση. Παρουσιάζει όμως πρόβλημα όταν η εξωτερική θερμοκρασία το χειμώνα είναι πολύ χαμηλή και η αντλία δεν έχει τη δυνατότητα να αντλήσει θερμότητα από τον αέρα. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται εφεδρικό συμβατικό σύστημα για την κάλυψη των φορτίων αιχμής. Το εφεδρικό σύστημα μπορεί να είναι λέβητας πετρελαίου ή αερίου, νυχτερινή ή ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κλπ.

Σημαντικό πρόβλημα είναι το πάγωμα του ατμοποιητή όταν η θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα είναι μικρότερη από $0 - 2^{\circ}\text{C}$ οπότε επέρχεται στερεοποίηση της υγρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα. Όσο αυξάνει η ποσότητα του δημιουργούμενου πάγου, τόσο μειώνεται η παροχή του αέρα που διέρχεται από τον ατμοποιητή. Αρχικά το πρόβλημα αυτό επιλύθηκε με ηλεκτρικές αντιστάσεις με τις οποίες έλιωνε ο πάγος. Σήμερα όμως η πιο γνωστή μέθοδος είναι η αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου (ή παράκαμψη θερμού αερίου προς τον ατμοποιητή από την έξοδο του συμπιεστή μέσω ειδικού παρακαμπτήριου αγωγού). Με τον τρόπο αυτό, όταν απαιτείται απόψυξη, η τετράοδη βαλβίδα ενεργοποιείται και μπαίνει σε λειτουργία ο ψυκτικός κύκλος, οπότε το ζεστό αέριο οδηγείται στον ατμοποιητή και λιώνει τον πάγο (σύστημα απόψυξης). Κατά την απόψυξη, ο εξωτερικός ανεμιστήρας σταματά να παρέχει κρύο αέρα, με αποτέλεσμα ο συμπιεστής να αντιμετωπίζει μόνο τα φορτία του πάγου.

2.6.2 Νερό

Το νερό σε πολλές περιπτώσεις αντιπροσωπεύει την ιδανική ψυχρή πηγή. Δυστυχώς η χρήση του είναι περιορισμένη λόγω προβλημάτων διαθεσιμότητας. Ιδιαίτερα, το νερό πηγαδιού έχει μεγάλο ενδιαφέρον λόγω της σχετικά υψηλής θερμοκρασίας του η οποία είναι σχεδόν σταθερή. Παρ' όλα αυτά, αυτή η πηγή γίνεται όλο και πιο σπάνια και η χρήση της σε εγκαταστάσεις είναι περιορισμένη. Σε πολλές περιπτώσεις τα πηγάδια προσφέρουν ικανοποιητική διαθεσιμότητα νερού, συχνά όμως οι συνθήκες του νερού είναι τέτοιες που προκαλούν διάβρωση στους εναλλάκτες θερμότητας ή ευνοούν το σχηματισμό αλάτων.

Άλλες επισημάνσεις γίνονται για το κόστος της γεώτρησης της εγκατάστασης των σωληνώσεων, της άντλησης και των μέσων για τη διάθεση του χρησιμοποιούμενου νερού.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό λιμνών ή ποταμών, αλλά σε περίπτωση χαμηλών χειμερινών θερμοκρασιών, η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην είσοδο και στην έξοδο πρέπει να είναι ελάχιστη, για να αποτραπεί το πάγωμα του εναλλάκτη. Σε ορισμένες βιομηχανικές εφαρμογές, το νερό που εκκενώνεται από διάφορες διαδικασίες, για παράδειγμα από πλυντήρια ή από συμπυκνωτές, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θερμική πηγή σε ειδική εγκατάσταση αντλίας.

Λόγω του υψηλού κόστους χρήσης νερού από το δημόσιο δίκτυο, συχνά προτιμάται νερό από ιδιωτικές αντλήσεις. Σε αυτή την περίπτωση, προκύπτουν αρκετές δαπάνες λειτουργίας, όπως είναι η συντήρηση των αντλιών των φρεάτων, οι αποχετεύσεις του απορριπτόμενου νερού κλπ.

Επίσης, είναι δυνατή η χρησιμοποίηση νερού λίμνης, ποταμού ή ακόμα και θάλασσας (έχει ήδη εφαρμοσθεί σε παραθαλάσσια ξενοδοχεία). Στην τελευταία περίπτωση, πρέπει να μελετηθεί με ιδιαίτερη προσοχή ο τρόπος της υδροληψίας, γιατί αφενός μεν οι θαλάσσιοι οργανισμοί κλείνουν συχνά τις εισόδους των σωλήνων, αφετέρου δε η αναρρόφηση της άμμου μαζί με το νερό, προκαλεί προβλήματα φθοράς στις αντλίες και στους εναλλάκτες του συστήματος.

2.6.3 Έδαφος

Το έδαφος χρησιμοποιείται σπάνια ως ψυχρή πηγή με εναλλάκτες θερμότητας τοποθετημένους εντός του υπεδάφους (θαμμένες σερπαντίνες). Αυτό οφείλεται στα μεγάλα έξοδα εγκατάστασης, στην αναγκαιότητα διάθεσης κάποιας επιφάνειας και στην αβεβαιότητα των προβλέψεων για τις επιδόσεις.

Η σύνθεση του εδάφους είναι μεταβλητή, αφού μπορεί να ποικίλει από υγρό άργιλο μέχρι άμμο. Αυτό έχει μεγάλη επιρροή στις θερμικές ιδιότητες και συνεπώς στις γενικές επιδόσεις. Οι μέσες θερμοκρασίες του εδάφους ακολουθούν περίπου τη μέση ετήσια θερμοκρασία κλίματος. Γενικά, οι σερπαντίνες στο έδαφος αποκτούν περίπου τη μέση ετήσια εξωτερική θερμοκρασία. Γενικά, οι σερπαντίνες στο έδαφος απέχουν οριζόντια 1-2 μέτρα μεταξύ τους και θάβονται σε βάθος 1-2 μέτρων.

Η πηγή αυτή παρουσιάζει δύο βασικά προβλήματα. Το πρώτο είναι η συντήρηση του στοιχείου και η αντιμετώπιση της διάβρωσης και των διαρροών και το δεύτερο η απαίτηση για μεγάλη έκταση για την παραλαβή και απόρριψη της θερμότητας στο έδαφος.

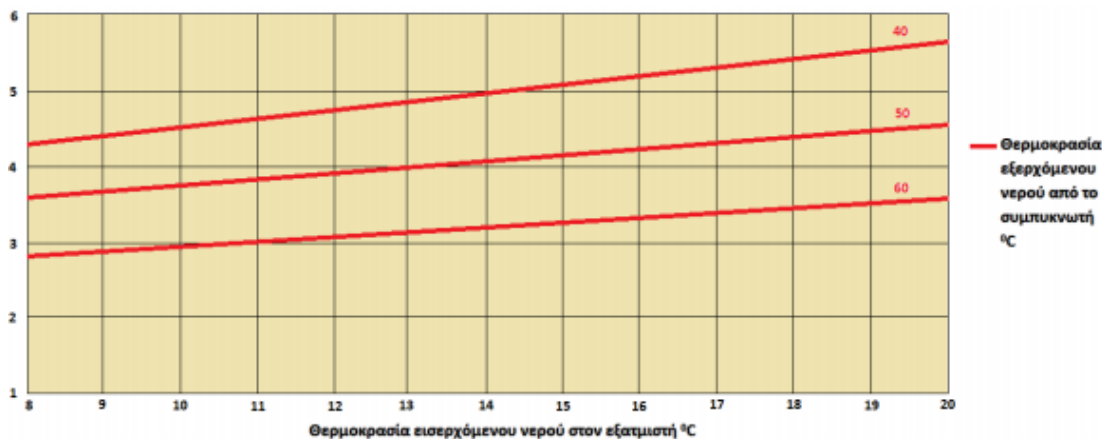
Τελευταία, ερευνητές έχουν αξιοποιήσει τη μεγάλη θερμοχωρητικότητα που παρουσιάζει το έδαφος και γενικότερα ο υπεδαφικός χώρος, ο οποίος λειτουργεί παράλληλα και ως φυσικός αποθηκευτικός χώρος θερμικής ενέργειας (κυρίως ηλιακής προέλευσης). Αυτό δύναται να δημιουργήσει σημαντική βελτίωση των συντελεστών λειτουργίας EER και COP μιας αντλίας θερμότητας. Σε συνδυασμό με την ανάγκη για μείωση των ενεργειακών καταναλώσεων, τη μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος και την παράλληλη εξέλιξη της τεχνολογίας για την αντιμετώπιση των διαβρώσεων και της έκτασης των συστημάτων, εφαρμόζονται παγκοσμίως μέθοδοι εκμετάλλευσης της υπόγειας ενέργειας τόσο για τη θέρμανση κτηρίων και του υπογείου χώρου αλλά και για την αποθήκευση θερμότητας από τα κτήρια κατά την περίοδο του θέρους. Σήμερα, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των πλαστικών, το πρόβλημα των διαβρώσεων έχει επιλυθεί, με αποτέλεσμα η γη να αποτελεί μια σημαντική λύση στη χρήση της κανονικής γεωθερμίας.

2.6.4 Ηλιακή ενέργεια

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας ως πηγή θερμότητας, προκαλεί μεγάλο ενδιαφέρον. Το κύριο πλεονέκτημα της ως θερμική πηγή είναι ότι μπορεί να παρέχει θερμότητα σε υψηλότερη θερμοκρασία από εκείνη των άλλων φυσικών πηγών. Η έρευνα και η ανάπτυξη των ηλιακών αντλιών θερμότητας οδήγησαν σε δύο βασικά συστήματα : το άμεσο και το έμμεσο. Στο άμεσο σύστημα, οι σωλήνες του ατμοποιητή είναι ενσωματωμένοι σε έναν συνήθως επίπεδο ηλιακό συλλέκτη. Ανακαλύφθηκε ότι, όταν ο συλλέκτης δεν έχει γυάλινο κάλυμμα, η ίδια επιφάνεια μπορεί να χρησιμεύσει για να αφαιρεθεί θερμότητα από τον εξωτερικό αέρα. Η ίδια επιφάνεια μπορεί ακόμη να χρησιμοποιηθεί ως συμπυκνωτής, χρησιμοποιώντας τον εξωτερικό αέρα για τη διάθεση της θερμότητας που αφαιρείται κατά τον κύκλο ψύξης. Το σύστημα του έμμεσου τύπου χρησιμοποιεί ενδιάμεσο ρευστό, νερό ή αέρα, που κυκλοφορεί μέσα στον ηλιακό συλλέκτη μέχρι τον εναλλάκτη θερμότητας με το ψυκτικό. Σε όλα τα συστήματα αντλίας θερμότητας στα οποία η ηλιακή ενέργεια αποτελεί τη μοναδική ψυχρή πηγή, κατά τη διάρκεια των εποχών με ανεπαρκή ακτινοβολία απαιτείται ένα εναλλακτικό σύστημα θέρμανσης ή μια συσσώρευση θερμότητας.

2.7 Επιδόσεις λειτουργίας

Στη συνήθη λειτουργία οι αντλίες θερμότητας νερού-νερού προσφέρουν σταθερότητα επιδόσεων που είναι συνάρτηση της σταθερότητας της θερμοκρασίας της ψυχρής πηγής. Στην περίπτωση νερού γεώτρησης ή πηγαδιού, η παραγωγή θερμικής ισχύος διατηρείται σχεδόν σταθερή ακόμη και κάτω από αισθητές μεταβολές των εξωτερικών συνθηκών. Η χαρακτηριστική πορεία του COP, σε φάση θέρμανσης, για διάφορες συνθήκες παρουσιάζεται στο σχήμα.



Σχήμα 2.6 Χαρακτηριστική πορεία COP σε αντλία θερμότητας νερού-νερού [45]

Συνήθως διατηρείται διαφορά θερμοκρασίας 5K στο ψυχρό νερό που τροφοδοτεί την αντλία θερμότητας και στο θερμό νερό που παράγεται.

Οι επιδόσεις λειτουργίας των αντλιών θερμότητας αέρα-νερού επηρεάζονται άμεσα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας ξηρού βολβού του εξωτερικού αέρα. Η θερμική ισχύς που παράγεται (και η ψυκτική στη φάση θερινού κλιματισμού) είναι για το λόγο αυτό μεταβλητή κατά τη διάρκεια της ημέρας και ανάλογη με την εποχή λειτουργίας. Γενικά, η πορεία παραγωγής της θερμικής ισχύος είναι αντίθετη με την πορεία της ζήτησης. Στις πιο χαμηλές εξωτερικές θερμοκρασίες, όταν η ζήτηση θέρμανσης είναι μεγαλύτερη, η συσκευή παράγει ανεπαρκή θερμική ισχύ, χαμηλότερη από την τιμή μελέτης. Κατά την επιλογή του μηχανήματος δε μπορεί να παραβλέπεται αυτή η χαρακτηριστική συμπεριφορά.

Η επιλογή με βάση το χειμερινό θερμικό φορτίο της μελέτης μπορεί να γίνει αντιοικονομική, από πλευράς κόστους επένδυσης καθώς και κόστους λειτουργίας λόγω της υπερβολικής κατανάλωσης ενέργειας αφού θα προέκυπτε συσκευή υπερβολικών διαστάσεων, ως προς τη συνήθη ζήτηση. Έτσι η αντλία θα ήταν αναγκασμένη για αυτό να λειτουργεί με αντιοικονομικές συνθήκες ρύθμισης. Για αυτό μπορεί να είναι, αντίθετα, δικαιολογημένη η δημιουργία βοηθητικού συστήματος θέρμανσης, αφήνοντας τη θέση του στην αντλία θερμότητας στις υψηλότερες θερμοκρασίες.

Στα μοντέρνα και καλά μονωμένα κτήρια γραφείων στα εμπορικά κέντρα και σε άλλες εφαρμογές του τριτογενούς τομέα οι απαιτήσεις θέρμανσης τείνουν συνεχώς να μειωθούν εξαιτίας των θερμικών φορτίων εσωτερικής προέλευσης και σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να διευκολύνει την επιλογή της αντλίας θερμότητας χωρίς συμπληρωματικές πηγές θερμότητας.

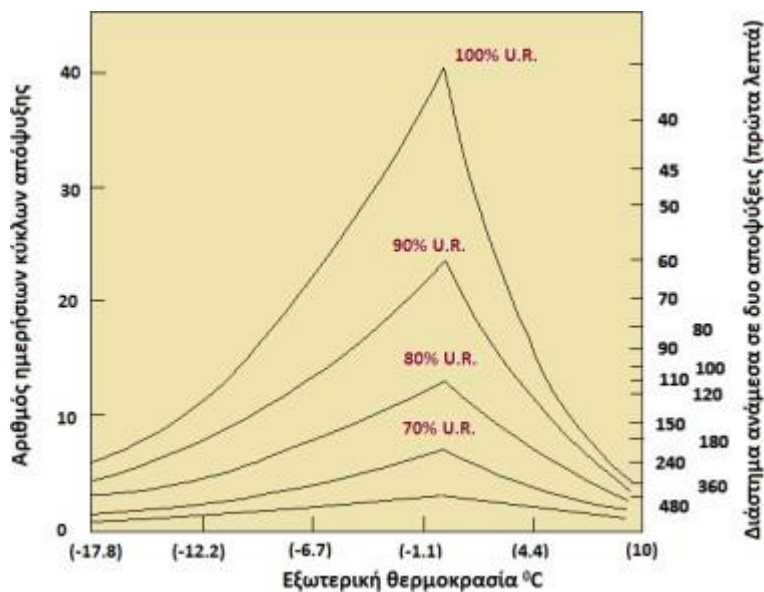
Η χρήση των αντλιών θερμότητας αέρα-νερού είναι γενικά πιο δαπανηρή από εκείνη των αντλιών θερμότητας νερού-νερού. Πέρα από τις περισσότερες δυσχερείς συνθήκες λειτουργίας, λόγω των χαμηλότερων θερμοκρασιών εξάτμισης το χειμώνα, πρέπει να συνυπολογιστεί η απαιτούμενη από τους εξωτερικούς ανεμιστήρες ενέργεια καθώς και η ενέργεια που καταναλώνεται για την απόψυξη, διότι κατά τη φάση της ατμοποίησης του ψυκτικού, η εξωτερική μονάδα τείνει να καλυφθεί με πάχνη για θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα που κυμαίνονται από +5 έως 0°C. Σε αυτές τις θερμοκρασίες το περιεχόμενο υγρασίας του αέρα δημιουργεί αποθέματα πάχνης σε επαφή με την πιο ψυχρή επιφάνεια της μονάδας. Η δημιουργία πάχνης μειώνει την επιφάνεια διέλευσης του αέρα από τη μονάδα και αναγκάζει τη συσκευή να λειτουργεί με όλο και χαμηλότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης που επιταχύνουν, με τη σειρά τους, τη διαδικασία σχηματισμού πάχνης. Ταυτόχρονα, με τον ίδιο ρυθμό μειώνεται η θερμική ισχύς που παράγεται, ενώ αντίθετα, αυξάνεται η κατανάλωση ενέργειας.

Η πραγματική πορεία του COP των αντλιών θερμότητας που χρησιμοποιούν εξωτερικό αέρα ως ψυχρή πηγή παρουσιάζει μια έντονη πτώση σε αυτό το πεδίο θερμοκρασιών. Το συνηθέστερο σύστημα για την απόψυξη της εξωτερικής μονάδας συνίσταται σε μια στιγμιαία αντιστροφή του ψυκτικού κύκλου κατά την οποία το υπέρθερμο αέριο του συμπιεστή εισέρχεται στη μονάδα και προκαλεί το λιώσιμο της πάχνης.

Αυτό το σύστημα ενεργοποιείται στις προαναφερθείσες κρίσιμες θερμοκρασίες του εξωτερικού αέρα, επαναλαμβάνεται σε σταθερά διαστήματα που επιλέγονται ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες του τόπου και έχει διάρκεια λίγων λεπτών. Ταυτόχρονα, οι εξωτερικοί ανεμιστήρες σταματούν.

Στις αντλίες θερμότητας αέρα-αέρα ο εσωτερικός ανεμιστήρας συνήθως παραμένει σε λειτουργία ενεργοποιώντας μια ηλεκτρική συμπληρωματική μονάδα για να προληφθεί η διανομή του ψυχρού αέρα στο περιβάλλον.

Ο αριθμός των κύκλων απόψυξης εξαρτάται κυρίως από το κλίμα του τόπου και από τις ώρες λειτουργίας. Αντιπροσωπεύει μια επιπλέον κατανάλωση ενέργειας που κυμαίνεται από 5 έως 10% της συνολικής κατανάλωσης της αντλίας θερμότητας. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο αριθμός των ημερήσιων κύκλων απόψυξης που μπορεί να χρειαστούν ανάλογα με τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και τη σχετική υγρασία.



Σχήμα 2.7 Αριθμός ημερήσιων κύκλων απόψυξης ανάλογα με θερμοκρασία και υγρασία [45]

Επειδή ο συντελεστής απόδοσης μιας αντλίας θερμότητας εξαρτάται κατά σημαντικό ποσοστό από τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας, δηλαδή του περιβάλλοντα αέρα ή της διαθέσιμης λιθογραφικής μάζας, η τιμή των συντελεστών λειτουργίας για ψύξη και θέρμανση (EER/COP) δεν είναι σταθερή.

Επίσης, επισημαίνεται ότι όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας στο διάστημα 0 έως 30°C και όσο περισσότερο αυτή πλησιάζει τη θερμοκρασία χρήσης, τόσο υψηλότερος είναι και ο συντελεστής EER/COP. Συνεπώς, σε μια αντλία θερμότητας διακρίνονται :

- Ο παράγοντας EER/COP, που εκφράζει την απόδοση της αντλίας θερμότητας σε καθορισμένες θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος και λειτουργίας. Από τον κατασκευαστή της αντλίας θερμότητας δίνεται η θεωρητική τιμή του EER/COP.
- Ο ετήσιος ή εποχιακός συντελεστής SCOP, που δίνεται από το λόγο της θερμικής ενέργειας, που παρήγαγε η αντλία θερμότητας, προς την ενέργεια που κατανάλωσε μέσα σε ένα έτος ή σε μια εποχή λειτουργίας θέρμανσης ή ψύξης. Όταν διατίθενται μετρήσεις ορισμένων ετών λειτουργίας, προσδιορίζεται ο μέσος ετήσιος συντελεστής συμπεριφοράς SCOP της αντλίας θερμότητας.

Ο μέσος (αναγόμενος) εποχικός συντελεστής επίδοσης SCOP για τις περισσότερες περιοχές της χώρας είναι μεγαλύτερος από τον ονομαστικό COP, επειδή η μέση θερμοκρασία κατά τη χειμερινή περίοδο είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία αέρα ονομαστικής λειτουργίας που είναι 7°C. Για μεγαλύτερη ακρίβεια στους υπολογισμούς της ενεργειακής απόδοσης κτηρίου συνίσταται η χρήση του μέσου εποχικού συντελεστή επίδοσης των αντλιών θερμότητας.

- Ο μέσος εποχιακός συντελεστής συμπεριφοράς (SEER), όταν διατίθενται μετρήσεις ορισμένων μηνών λειτουργίας. Ο SEER είναι ο συνολικός συντελεστής απόδοσης της συσκευής, που ορίζεται ως ο λόγος της ετήσιας ανάγκης για ψύξη προς τη συνολική ετήσια ενέργεια που καταναλώνεται για την ψύξη. Ο μέσος εποχικός δείκτης ενεργειακής αποδοτικότητας SEER είναι χαμηλότερος από τον ονομαστικό EER όταν η μέση θερμοκρασία στη διάρκεια της ημέρας κατά τη θερινή περίοδο είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία αέρα ονομαστικής λειτουργίας που είναι 35°C.
- Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης SPF αναφέρεται στην απόδοση της αντλίας θερμότητας σε μια ολόκληρη εποχή. Η ισχύς εισόδου και εξόδου συσσωρεύονται για την εποχή. Τότε η συνολική ενέργεια εξόδου διαιρείται με τη συνολική ενέργεια εισόδου, για να δώσει το SPF δηλαδή : Συνολική ισχύς εξόδου (kWh) / Σύνολο εισροών ενέργειας (kWh) = SPF

Το SPF είναι μια καλή μέθοδος σύγκρισης της απόδοσης αντλιών θερμότητας, καθώς το ποσό αυτό δίνει μια πιο ακριβή εκτίμηση του κόστους λειτουργίας σε μια ολόκληρη περίοδο.

Ένας άλλος παράγοντας οικονομικής απόδοσης της αντλίας θερμότητας είναι η συνολική ποσότητα ενέργειας, που μπορεί να παραχθεί κατά τη διάρκεια ενός έτους. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από :

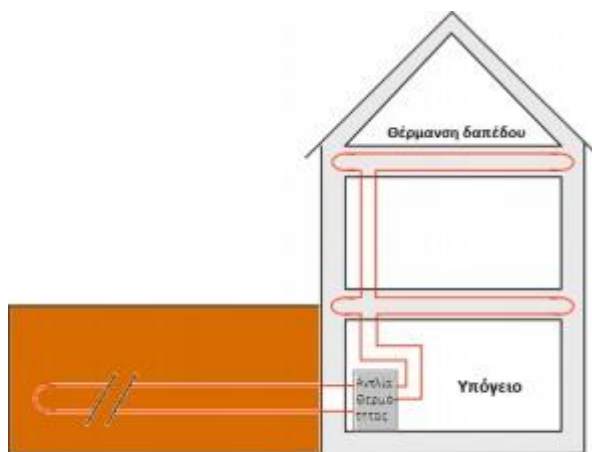
- Το ενεργειακό δυναμικό της πηγής, δηλαδή της διατιθέμενης αέριας, υδάτινης ή λιθογραφικής μάζας
- Το ύψος και το είδος των θερμικών αναγκών του κτηρίου.

Οι δύο αυτοί παράγοντες είναι ευνοϊκότεροι στην Ελλάδα, σε σχέση με τις χώρες της δυτικής και βόρειας Ευρώπης. Συνεπώς, τα κίνητρα για να αναπτυχθεί η χρήση αντλιών θερμότητας στην Ελλάδα είναι ισχυρότερα. Οι υπεδαφικές θερμοκρασίες του Ελληνικού χώρου μπορούν να γίνουν γνωστές τόσο από τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες του αέρα, όσο και από άμεσες μετρήσεις, οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί σε υπόγεια νερά.

2.8 Εφαρμογές αντλιών θερμότητας

2.8.1 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου

Η αντλία θερμότητας αντλεί θερμότητα από το έδαφος και θερμαίνει νερό (πχ σε 40°C) το οποίο στη συνέχεια κυκλοφορεί μέσα σε ενδοδαπέδιο σύστημα, που διαχέει τη θερμότητα εύκολα προς το θερμαινόμενο χώρο. Η ενδοδαπέδια θέρμανση, λειτουργεί με νερό χαμηλής θερμοκρασίας, από 30°C έως 45°C, που κυκλοφορεί σε σωλήνες εγκιβωτισμένους στο δάπεδο. Το ζεστό νερό μεταφέρει θερμότητα στο θερμομπετόν που περιβάλλει τους πλαστικούς σωλήνες και στη συνέχεια το δάπεδο ακτινοβολεί θερμότητα. Το έδαφος, σαν πηγή θερμότητας, έχει το πλεονέκτημα να διατηρεί ετησίως περίπου σταθερή θερμοκρασία.

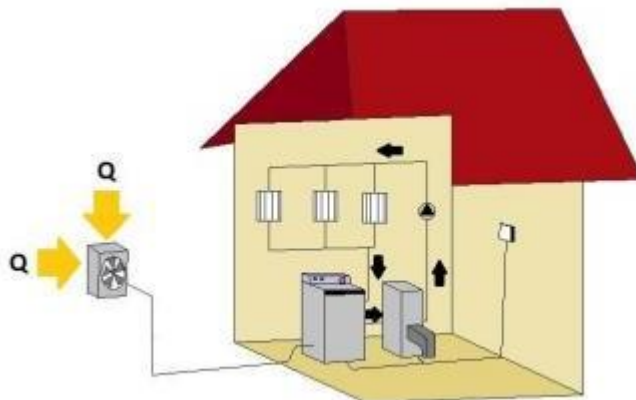


Σχήμα 2.8 Αντλία θερμότητας με θέρμανση δαπέδου [45]

2.8.2 Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση

Σε υπάρχουσες κατοικίες που έχουν ήδη εγκατασταθεί λέβητες αερίου ή πετρελαίου, η αντλία θερμότητας, μπορεί να συνδυαστεί με το υπάρχον σύστημα θέρμανσης και να καλύψει τις ανάγκες θέρμανσης, σε όλη τη διάρκεια του έτους. Έτσι ο λέβητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε μόνο ως ενισχυτική - δευτερεύουσα πηγή κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών του χειμώνα, είτε μπορεί να αποξηλωθεί. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.8 η αντλία θερμότητας έχει συνδεθεί σε σειρά με κεντρική θέρμανση, με σκοπό τη θέρμανση της κατοικίας.

Η αντλία θερμότητας που είναι τύπου αέρα/νερού, λειτουργεί ως φορτίο βάσης, χωρίς η κεντρική θέρμανση να λειτουργεί. Όταν εμφανίζεται φορτίο αιχμής (πχ πολύ ψυχρή χειμερινή περίοδος), τότε η κεντρική θέρμανση μπαίνει σε λειτουργία για την κάλυψη του φορτίου αιχμής.



Σχήμα 2.9 Αντλία θερμότητας συζευγμένη με κεντρική θέρμανση [45]

2.9 Στοιχεία κόστους αντλίας θερμότητας

Η αντλία θερμότητας [42], εκμεταλλεύομενη ποσά θερμότητας του φυσικού περιβάλλοντος, δίνει την οικονομικότερη λύση για τον κλιματισμό μεμονωμένων χώρων ή μικρών κτηρίων. Ειδικότερα, στη θέρμανση η αντλία θερμότητας είναι φθηνότερη από τη θερμοσυσσώρευση και ανταγωνίζεται τις μικρές εγκαταστάσεις του κλασσικού συστήματος θέρμανσης (καλοριφέρ). Ο έντονος ανταγωνισμός μεγάλων κατασκευαστών έχει ήδη υψηλούς βαθμούς απόδοσης στις αντλίες θερμότητας.

Συνοπτικά, μπορούν να καταγραφούν τα ακόλουθα :

- Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης μιας αντλίας θερμότητας, είναι μεγαλύτερο από αυτό των συμβατικών εγκαταστάσεων θέρμανσης.
- Το κόστος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό είναι αισθητά χαμηλότερο από το σημερινό κόστος λειτουργίας και συντήρησης μιας μικρής εγκατάστασης θέρμανσης, με αποτέλεσμα να ισοσκελίζεται σύντομα το μικτό κόστος (λειτουργίας και αρχικής εγκατάστασης) προς το αντίστοιχο των συμβατικών εγκαταστάσεων θέρμανσης σε πολλές περιπτώσεις.
- Δε συμβάλλει στη ρύπανση του περιβάλλοντος. Ο βαθμός απόδοσης των αντλιών θερμότητας σε κάθε περίοδο είναι κατά πολύ υψηλότερος από αυτό των εγκαταστάσεων λεβήτων με αποτέλεσμα τη μειωμένη ρύπανση περιβάλλοντος.
- Η εγκατάσταση δεν απαιτεί μεγάλους χώρους.
- Η εγκατάσταση έχει την ικανότητα να ψύχει ή να θερμαίνει ένα χώρο, ανάλογα με τις απαιτήσεις του καταναλωτή, πράγμα που δεν προσφέρουν οι κοινές εγκαταστάσεις θέρμανσης.
- Για ήπια κλίματα, σαν αυτό της Ελλάδας, η αντλία θερμότητας παρουσιάζει υψηλό συντελεστή επίδοσης COP και EER
- Σε μεγάλες εγκαταστάσεις αντλιών θερμότητας, η κίνηση δίνεται από μία μηχανή λ.χ. πετρελαιοκινητήρας. Στην περίπτωση αυτή, ο βαθμός απόδοσης μεταξύ της καύσης του πετρελαίου και της θερμικής απόδοσης της αντλίας, είναι σημαντικά υψηλότερος από αυτόν που περιλαμβάνει τις σοβαρές απώλειες παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας της ηλεκτροκινούμενης αντλίας θερμότητας.
- Τα μεγάλα πλεονεκτήματα της αντλίας θερμότητας, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι εκμεταλλεύεται πάρα πολύ χαμηλές θερμοκρασίες του περιβάλλοντος, δείχνουν πως θα αποτελέσει ένα σοβαρό αντίπαλο, για οποιοδήποτε άλλο σύστημα θερμάνσεων στο μέλλον.

2.10 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας

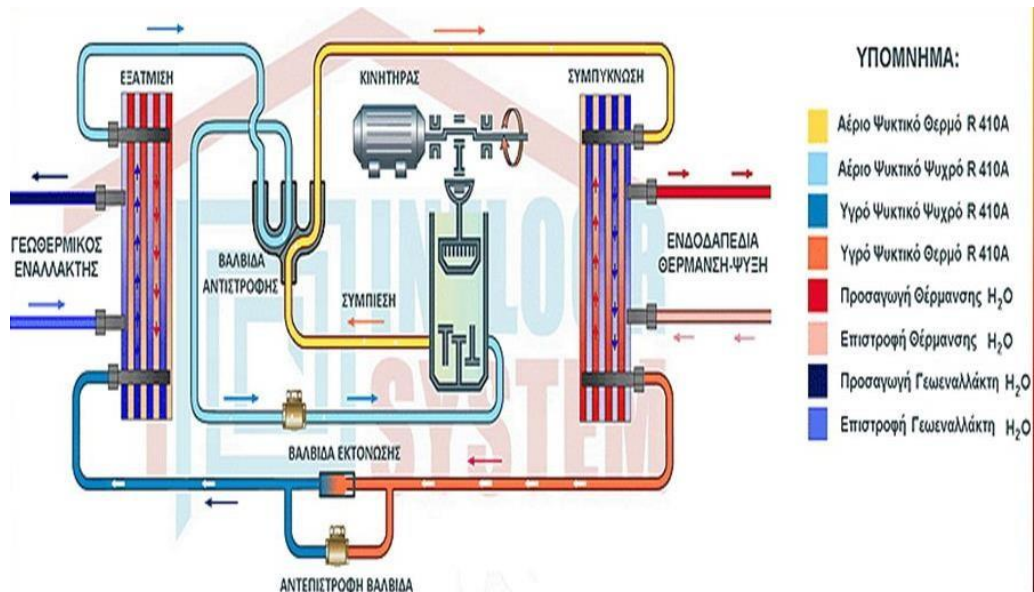
Η γεωθερμική αντλία θερμότητας (Ground Source Heat Pump, GSHP) ορίζεται ως η αντλία θερμότητας η οποία εκμεταλλεύεται ως πηγή θερμότητας γεωλογικούς σχηματισμούς και επιφανειακά ή υπόγεια νερά που δεν χαρακτηρίζονται ως γεωθερμικό δυναμικό, με σκοπό τη θέρμανση ή την ψύξη χώρων και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Χρησιμοποιούν ψυκτικό μέσο, το οποίο είναι πιστοποιημένο για τη φιλικότητα που παρουσιάζει προς το περιβάλλον.

Τα συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ), τα οποία χρησιμοποιούνται για θέρμανση /ψύξη και παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), αποτελούνται από το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους (εναλλάκτης εδάφους ή υδρογεώτρηση), τη γεωθερμική αντλία θερμότητας και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης χαμηλής θερμοκρασίας εντός κτηρίου. Τα συστήματα ΓΑΘ αξιοποιούν την πρακτικά σταθερή θερμοκρασία του εδάφους οπότε επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ηλεκτρικής και πρωτογενούς ενέργειας και μείωση των αερίων του θερμοκηπίου, με αποτέλεσμα σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη από τη χρήση τους.

Με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας αξιοποιείται η καλούμενη περιβαλλοντική θερμική ενέργεια, δηλαδή αυτή που περιέχεται στις μάζες του άμεσου περιβάλλοντος του κτηρίου, δηλαδή στις αέριες, στις υδάτινες και στις εδαφικές-υπεδαφικές (λιθογραφικές). Η αξιοποίηση της κανονικής γεωθερμικής ενέργειας αποτελεί μεταξύ άλλων αποδοτική εφαρμογή σε συστήματα κλιματισμού κτηρίων (θέρμανση-δροσισμός), σε παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, σε εφαρμογές στη γεωργία, στην ιχθυοκαλλιέργεια και σε οικονομικά ελκυστικά συστήματα αφαλάτωσης νερού. Η εφαρμογή συστημάτων θέρμανσης-ψύξης χώρων με χρήση της θερμότητας των πετρωμάτων και του υπογείου νερού, παρουσιάζει το μεγάλο πλεονέκτημα της χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης, σε αντίθεση με τα συμβατικά συστήματα, τα οποία είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα.

Ένα γεωθερμικό σύστημα αξιοποιεί την εντός του εδάφους υπάρχουσα σταθερή θερμοκρασία. Έτσι το χειμώνα, ένα ρευστό που κυκλοφορεί στον γεωθερμικό εναλλάκτη απορροφά τη θερμότητα του εδάφους και μέσω της αντλίας θερμότητας την αποδίδει στο κτήριο. Το καλοκαίρι λειτουργώντας αντίστροφα, απάγει τη θερμότητα από το κτήριο και μέσω του γεωθερμικού εναλλάκτη την αποδίδει στο πιο δροσερό έδαφος.

Με δεδομένο το σταθερό ενεργειακό δυναμικό που παρουσιάζεται, τόσο στα πετρώματα μικρού βάθους, όσο και στα νερά του υδροφόρου ορίζοντα, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση τέτοιων συστημάτων εξασφαλίζει οικονομικότερη λειτουργία, έως και 60%, ανάλογα με το αν πρόκειται για θέρμανση ή ψύξη αντίστοιχα.



Σχήμα 2.10 Γεωθερμική αντλία θερμότητας [45]

Ένα σύστημα ΓΑΘ αποτελείται από :

- Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός του εδάφους, το οποίο είναι είτε γεωεναλλάκτης θερμότητας είτε υδρογεώτρηση.
- Γεωθερμική αντλία θερμότητας.
- Σύστημα θέρμανσης/ψύξης χαμηλών θερμοκρασιών εντός του κτηρίου.

Το σύστημα εναλλαγής θερμότητας εντός εδάφους μπορεί να είναι κλειστό είτε ανοικτό. Στο κλειστό κύκλωμα, οι γεωεναλλάκτες θερμότητας είναι είτε οριζόντιοι, δηλαδή σωλήνες εντός του εδάφους σε οριζόντια διάταξη μέσα σε τάφρους, σε βάθος 1,2-2,0 m ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες, είτε κατακόρυφοι (Borehole Heat Exchangers – BHEs), δηλαδή σωλήνες εντός του εδάφους σε κατακόρυφη διάταξη μέσα σε γεωτρήσεις (boreholes). Στο ανοικτό κύκλωμα το νερό αντλείται από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα από την γεώτρηση παραγωγής και επανεισάγεται στη γεώτρηση επανεισαγωγής.

Οι ΓΑΘ [43] είναι αντλίες θερμότητας κυρίως νερού-νερού και χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και την ψύξη κτηρίων, όπως επίσης και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Τα βασικά εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια ΓΑΘ είναι ο συμπιεστής, ο συμπυκνωτής, ο ατμοποιητής, η βαλβίδα εκτόνωσης. Τις περισσότερες φορές η ΓΑΘ είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε το ίδιο το μηχάνημα να μπορεί να λειτουργήσει και σε συνθήκες θέρμανσης αλλά και σε συνθήκες ψύξης. Βασικό χαρακτηριστικό για την ορθή λειτουργία μιας ΓΑΘ είναι η επιλογή του ψυκτικού μέσου το οποίου εξαρτάται από τη θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας του μηχανήματος.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι : να μην είναι τοξικό, εύφλεκτο και να είναι σταθερό στις θερμοκρασίες της εφαρμογής. Ψυκτικά ρευστά τα οποία συγκεντρώνουν τα παραπάνω χαρακτηριστικά και χρησιμοποιούνται είναι μεταξύ άλλων τα R134a,R407c,R410 και R410a.

Οι συμπιεστές που χρησιμοποιούνται στις ΓΑΘ είναι συνήθως σπειροειδείς (scroll) με ρύθμιση on-off ή συμπιεστές μεταβλητής ισχύος και ως ψυκτικά υγρά χρησιμοποιούνται τα R407c ή R134a με την τάση να αντικατασταθούν από το R410a, το οποίο έχει καλύτερες ιδιότητες μετάδοσης θερμότητας και καλύτερη απόδοση σε αναστρέψιμα συστήματα για λειτουργία θέρμανσης/ψύξης, Ήδη έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται και συμπιεστές μεταβλητής ισχύος. Αυτό βεβαίως δεν επιφέρει σημαντική βελτίωση στην απόδοση λόγω της ελάχιστης (περίπου μηδενικής) επίδρασης των συνθηκών του περιβάλλοντος στην απόδοσή τους. Η βελτίωση σχετίζεται κυρίως με τον τρόπο χρήσης των εγκαταστάσεων (συνολικής ή μερικής).

Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ ενισχύεται όταν η θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος ψύξης οδηγεί σε καλύτερη ενεργειακή απόδοση. Τα συστήματα χαμηλών θερμοκρασιών είναι το ενδοδαπέδιο σύστημα, το ενδοτοίχιο σύστημα, τα fan-coils, οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες και τα συστήματα οροφής.

Σημαντικό ρόλο στην απόδοση ενός συστήματος έχει και η κλιματική ζώνη όπου είναι εγκατεστημένο. Στην Ελλάδα, για ήπιες κλιματικά περιοχές, όπως είναι αυτές που ανήκουν στην κλιματική Ζώνη Α, η απόδοση των συστημάτων ΓΑΘ είναι μεγαλύτερη κατά την περίοδο θέρμανσης, όμως σε αυτές τις περιοχές η περίοδος θέρμανσης έχει μικρή διάρκεια. Αντιθέτως, στις ψυχρότερες περιοχές (Κλιματικές Ζώνες Γ και Δ) τα συστήματα έχουν μικρότερο COP για την ίδια ισχύ συστήματος ΓΑΘ, ενώ η περίοδος θέρμανσης είναι σαφώς μεγαλύτερη. Στις παραπάνω περιπτώσεις τα συστήματα ΓΑΘ με υψηλή απόδοση έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη χώρων, αλλά και τη μείωση των εκπομπών αέριων ρύπων σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα. Ο συντελεστής COP των ΓΑΘ ορίζεται ως ο λόγος της αποδιδόμενης ενέργειας προς την ηλεκτρική κατανάλωση και αφορά σε μια συγκεκριμένη στιγμή, ή συνθήκες. Ο εποχιακός συντελεστής απόδοσης SPF είναι το ολοκλήρωμα του COP κατά την περίοδο θέρμανσης και ψύξης. Τυπικές τιμές των COP για συνδυασμό της αντλίας θερμότητας με γεωεναλλάκτη θερμότητας και ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης είναι μεταξύ 3,5 και 5,0. Στην περίπτωση που η αντλία θερμότητας συνδέεται με ανοικτό σύστημα δηλαδή με υδρογεώτρηση, οι τυπικές τιμές των COP είναι μεταξύ 4,0 και 6,5.

2.10.1 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (εγκατεστημένη ισχύς και προβλέψεις)

Το σύστημα μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (ΓΑΘ) [44] περιλαμβάνει τρία κύρια υποσυστήματα: το υποσύστημα σύνδεσης υπεδάφους, γνωστό και ως γεωεναλλάκτης, το υποσύστημα αντλίας θερμότητας που είναι μηχανολογικός εξοπλισμός και το υποσύστημα διανομής θερμικής ενέργειας στις κτιριακές εγκαταστάσεις.

Η πρώτη εμφάνιση των ΓΑΘ ήταν τη 10ετία του 1980, όμως τα τελευταία 20 έτη η εξέλιξή τους ήταν ραγδαία. Η εξοικονόμηση ενέργειας με τις ΓΑΘ κυμαίνεται 50-60% σε σχέση με τη χρήση πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Σύμφωνα με τα στοιχεία της International Geothermal Association (2010) η εγκατεστημένη ισχύς των ΓΑΘ παγκοσμίως το 2000 ήταν 5.000MW, ενώ το 2010 ανήλθε στα 35.000MW (7πλάσια). Στην Ε.Ε. περίπου το 40% της ενέργειας που καταναλώνεται αφορά τη θέρμανση/ψύξη των κτηριακών εγκαταστάσεων, ενώ στην Ελλάδα αφορά το 33% που για αρκετά έτη καλύπτεται από τα συμβατικά καύσιμα.

Στην Ε.Ε το 1995 ήταν 1.000MW, ενώ το 2010 ανήλθε στα 12.000MW (άνω του 30% παγκοσμίως) με περίπου 1.000.000 μονάδες εφαρμογής ΓΑΘ. (Σουηδία 33%, Γερμανία 19%, Αυστρία, Ελβετία, κλπ), ενώ οι χώρες της Ν. Ευρώπης (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία, Γαλλία) υπολείπονται αισθητά καλύπτοντας μόλις το 18%.

Στην Ελλάδα η εγκατεστημένη ισχύς των ΓΑΘ το 2010 ήταν της τάξης των 70MW με περίπου 360 μονάδες εφαρμογής ΓΑΘ. Μια πιθανή εκτίμηση της ΕΗΡΑ αναφέρει ότι, εάν 70 εκατομμύρια νέα συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας εγκατασταθούν στην Ευρώπη μέχρι το 2020, θα συνεισφέρουν πέραν του 20% του στόχου εξοικονόμησης ενέργειας της ΕΕ από τις ανανεώσιμες πηγές και κατά 20% μείωση των εκπομπών CO₂.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας είναι σήμερα η ταχύτερα μακροπρόθεσμα αναπτυσσόμενη εφαρμογή άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας σε σχέση με τις άλλες μορφές της (τηλεθέρμανση, αγροτική, βιομηχανική, κλπ.), όπου η αύξηση είναι σχετική, με περίπου 3.000.000 ΓΑΘ να έχουν εγκατασταθεί στις αρχές του 2010 παγκοσμίως. Μακροπρόθεσμα από το 2010 έως το 2100 οι ΓΑΘ θα αυξηθούν ενδεικτικά κατά 45πλάσιο (από 35GWth στα 1600GWth), ενώ οι άλλες μορφές άμεσης χρήσης αθροιστικά θα αυξηθούν μόνο κατά το 10πλάσιο (από 16GWth στα 150GWth)

Το 2010 στις εφαρμογές της άμεσης χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας κυριαρχούν, αφού η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς τους ανήλθε σε 35.236MWth (70% του συνόλου της άμεσης χρήσης 50.583MWth), ενώ η ετήσια παραγωγή θερμικής ενέργειας ανήλθε σε 214.872TJ/έτος (49% του συνόλου της άμεσης χρήσης 438.071TJ/έτος) μειωμένη λόγω του μικρότερου συντελεστή ικανότητας 0,19.

Ο ρυθμός αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος των ΓΑΘ κατά τη 15ετία 1995-2010 θα μπορούσε να χαρακτηριστεί 'εκθετικός', αφού αυξήθηκε στο 18πλάσιο.

Για την εγκατάσταση ΓΑΘ με ένα μέσο συντελεστή απόδοσης COP=3,5 το ελάχιστο μέγεθος ισχύος είναι 5,5KW για μικρές οικίες ενώ το όριο χαρακτηρισμού μιας μονάδας μικρής ή μεγάλης είναι το θερμικό φορτίο των 30KW. Ο μέσος αριθμός των ωρών λειτουργίας πλήρους φορτίου που χρησιμοποιείται διεθνώς είναι 2.200 ώρες ετησίως με ένα μέσο συντελεστή ικανότητας 0,25. Όμως αυτός ποικίλει έντονα ανάλογα τη γεωγραφική θέση, όπως στις Σκανδιναβικές χώρες (6.000 ώρες με αρκετά μεγάλο συντελεστή ικανότητας 0,68). Στην Ελλάδα κυμαίνεται από 1.000 έως 2.000 ώρες (συντελεστής ικανότητας 0,12- 0,23) ανάλογα τη γεωγραφική θέση (Β. Ελλάδα, Αττική, Ν. Ελλάδα, κλπ.), όπου υπάρχει αυξομείωση στο χρόνο θερμικής και ψυκτικής χρήσης.

Οι μεγαλύτερες αυξητικές τάσεις εφαρμογής ΓΑΘ εμφανίζονται στις ΗΠΑ και στην Βόρεια Ευρώπη (Σουηδία, Νορβηγία, Γερμανία, Ισλανδία, Ολλανδία, Ελβετία, Αυστρία, Φιλανδία, κλπ.). Η ευρωπαϊκή αγορά των ΓΑΘ αναμένεται να βιώσει ισχυρή ανάπτυξη, κάτι που οφείλεται στη ποικιλία της ενεργειακής απόδοσης, στους στόχους της προστασίας του κλίματος και στις πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των οργανώσεων και των ενδιαφερόμενων μερών. Η Ελβετία διαθέτει πάνω από 30.000 μονάδες ΓΑΘ, όπως και η Σουηδία και οι ΗΠΑ (ΕΕΡΕ,2009).

Κεφάλαιο 3

ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑ

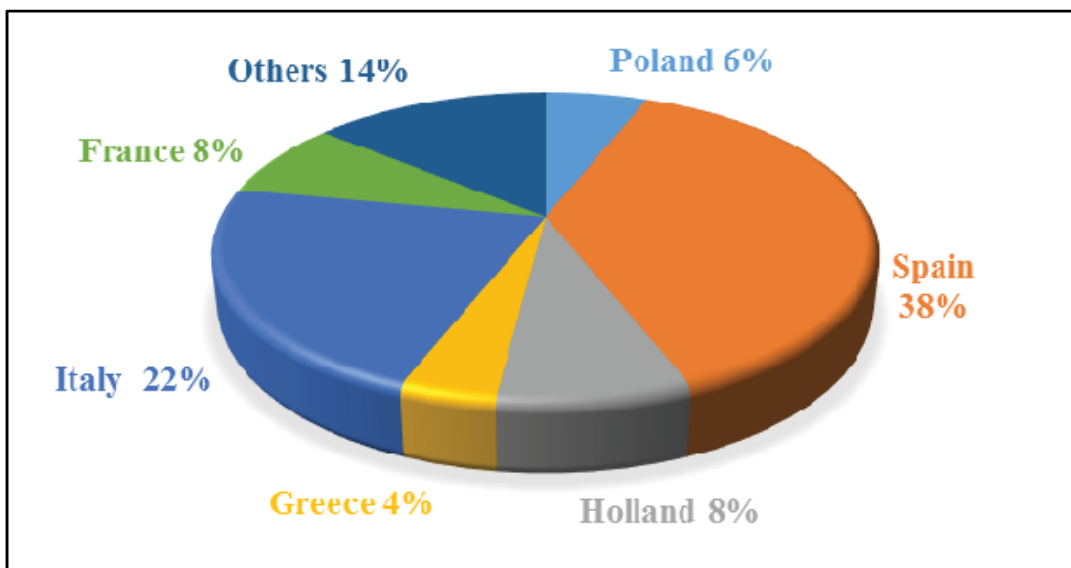
3.1 Εισαγωγή

Τα θερμοκήπια χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό για να καλύψουν τις ανάγκες των σύγχρονων κοινωνιών για φρέσκα τρόφιμα. Η ποικιλία, η ποσότητα και η ποιότητα των προϊόντων ενός θερμοκηπίου είναι καθοριστικοί παράγοντες. Ανάλογα με τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες ένα σύγχρονο θερμοκήπιο παρέχει ένα βέλτιστο περιβάλλον για την ανάπτυξη των φυτών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται συσκευές θέρμανσης / ψύξης καθώς και μετρητές υγρασίας, φωτός και διοξειδίου του άνθρακα.

Εδώ και πολύ καιρό έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες μορφές ως μέσο προστασίας των φυτών από ακραίες καιρικές συνθήκες, επιτρέποντας για παράδειγμα τη καλλιέργεια εξωτικών τροπικών ειδών που καλλιεργούνται σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Διατηρώντας μια υψηλότερη εσωτερική θερμοκρασία σε σχέση με την εξωτερική, επιτυγχάνεται η δημιουργία καλύτερων συνθηκών ανάπτυξης. Επιπλέον, τα θερμοκήπια επιτρέπουν στους παραγωγούς να καλλιεργούν φυτά όπως οι ντομάτες κατά τη διάρκεια των εποχών που δεν θα ήταν δυνατόν εξαιτίας του καιρού. Ο βασικός σκοπός ενός θερμοκηπίου είναι να διατηρεί ένα περιβάλλον που προάγει τη βέλτιστη παραγωγή. Η παραγωγή φυτών θερμοκηπίου είναι ένα από τα πιο εντατικά τμήματα της γεωργικής παραγωγής. Εξετάζεται και κατηγοριοποιείται με βάση την απόδοση (παραγωγικότητα), τη συνολική παραγωγή του έτους, αλλά και με βάση την ενέργεια, τη κατανάλωση και το κόστος.

Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και της κατανάλωσης ενέργειας έχει κατευθύνει τους ερευνητές και τους επιστήμονες στην ανάπτυξη εναλλακτικών πηγών για παροχή επαρκούς ποσότητας τροφίμων και ενέργειας. Επιπλέον, οι κλιματικές αλλαγές και η έλλειψη υδατικών πόρων έχουν αναδείξει τη προστατευόμενη καλλιέργεια σε 493 θερμοκήπια ως τον ευνοϊκότερο τρόπο για την ανάπτυξη του γεωργικού τομέα. Στο θερμοκήπιο η παραγωγή πραγματοποιείται εκμεταλλευόμενη το ευνοϊκό κλίμα (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία και φωτισμό) συνυπολογίζοντας παράλληλα το λειτουργικό κόστος.

Σε όλο το κόσμο, η κάλυψη των θερμοκηπίων υπολογίζεται για το 2002 σε 280000 εκτάρια (χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η Κίνα όπου η καλυμμένη έκταση υπολογίζεται σε 1.250.000 εκτάρια). Στην Ευρώπη η συνολική έκταση των θερμοκηπίων το 2005 εκτιμάται σε 126.000 εκτάρια. Η Ισπανία είναι στη πρώτη θέση με 38% των συνολικών εγκαταστάσεων της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθούμενη από την Ιταλία με 22% ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στην 6^η θέση με μόλις 4%. Στο σχήμα 1 φαίνεται η κατανομή των θερμοκηπίων ανά χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Σχήμα 3.1: Κατανομή θερμοκηπίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση [47]

Όσον αφορά την Ελλάδα, η παραγωγή από τα θερμοκήπια αντιπροσωπεύει έναν από τους σημαντικότερους τομείς της γεωργίας. Η ντομάτα αποτελεί το 18% της συνολικής παραγωγής και τα θερμοκήπια ντομάτας καλύπτουν το 11% της συνολικής έκτασης που χρησιμοποιείται για τη καλλιέργεια του κηπευτικού και το 0,3% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης σύμφωνα με τα στοιχεία του 2012.

3.2 Περιγραφή Θερμοκηπίων

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία θερμοκηπίων όσον αφορά το σχήμα, τις διαστάσεις και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για το πλαίσιο και τη κάλυψη. Τα πιο συνηθισμένα υλικά για το πλαίσιο του θερμοκηπίου είναι το ξύλο, το αλουμίνιο και ο χάλυβας, ενώ για κάλυψη είναι το πολυαιθυλένιο και το γυαλί. Το είδος του θερμοκηπίου που χρησιμοποιείται εξαρτάται εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή/ χώρα, την τεχνολογική της ανάπτυξη, τα χαρακτηριστικά της οικονομίας της και τη φύση των παραγόμενων προϊόντων. Στις βορειοευρωπαϊκές χώρες, όπως στην Ολλανδία τα θερμοκήπια είναι ως επί το πλείστον από γυαλί, ενώ στις μεσογειακές χώρες στη πλειονότητα των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται πλαστική κάλυψη.

Η προσαρμογή καθεμιάς από τις μεταβλητές που επηρεάζουν την εσωτερική θερμοκρασία ενός θερμοκηπίου είναι μια δυναμική διαδικασία. Η δυναμική συμπεριφορά του κλίματος ενός θερμοκηπίου είναι ένας συνδυασμός φυσικών διεργασιών που περιλαμβάνει τη μεταφορά ενέργειας και μάζας (ροές υδρατμών και συγκέντρωση CO₂) που πραγματοποιείται εντός του θερμοκηπίου, καθώς και μεταξύ του θερμοκηπίου και του εξωτερικού του περιβάλλοντος.

Αυτές οι διαδικασίες εξαρτώνται από τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, την δομή του θερμοκηπίου, τον τύπο και την φάση ανάπτυξης του φυτού. Για τη μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας, της υγρασίας και των συγκεντρώσεων CO₂ μπορεί να χρησιμοποιηθεί αερισμός και θέρμανση ενώ για τη βελτίωση των συνθηκών ακτινοβολίας των φυτών βοηθάει η σκίαση και το τεχνητό φως.

Μη θερμαινόμενα θερμοκήπια

Στα περισσότερα θερμοκήπια της Νοτίου Ελλάδος δεν χρησιμοποιείται κανένα είδος τεχνητής θέρμανσης. Οι καλλιεργητές μέσω του θερμοκηπίου αποβλέπουν στην προστασία των φυτών από αντίξοες καιρικές συνθήκες, όπως ισχυρούς ανέμους και υπερβολικές βροχοπτώσεις, καθώς και στην εκμετάλλευση της υψηλότερης ημερήσιας θερμοκρασίας που δημιουργείται κατά κανόνα στο χώρο του θερμοκηπίου. Η τιμή της θερμοκρασίας μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου εξαρτάται από την ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που δέχεται στο εσωτερικό του, καθώς και από την τιμή της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, τις ηλιόλουστες ημέρες, το θερμοκήπιο παγιδεύει θερμότητα από τον ήλιο κι έτσι η θερμοκρασία ημέρας στο χώρο του, χωρίς καμιά θέρμανση, είναι υψηλότερη από την εξωτερική. Αυτό όμως δεν συμβαίνει όταν επικρατεί πολύ πυκνή συννεφιά, όπως και κατά τη διάρκεια της νύχτας. Γι' αυτό και στα μη θερμαινόμενα θερμοκήπια μερικές φορές το χειμώνα η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους μπορεί να πέσει σε πολύ χαμηλά επίπεδα, ακόμη και σε αρνητικές θερμοκρασίες, με δυσμενή αποτελέσματα για τα φυτά που καλλιεργούνται μέσα.

Οι κύριοι παράγοντες που προσδιορίζουν την επιτυχή παραγωγή προϊόντων σε μη θερμαινόμενα θερμοκήπια είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, το μήκος της ημέρας και οι νυχτερινές θερμοκρασίες που επικρατούν. Η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμοκρασία μεταβάλλονται από ημέρα σε ημέρα αλλά και από χρόνο σε χρόνο.

Τα θερμοκήπια αυτά σε σχέση με τα χαμηλά σκέπαστρα, προσφέρουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Επιτρέπουν την καλλιέργεια φυτών υψηλού σχήματος, όπως είναι η τριανταφυλλιά, η αγγουριά, η τομάτα κλπ.,
- Ο μεγαλύτερος όγκος του αέρα που είναι εγκλωβισμένος στο θερμοκήπιο υπόκειται σε λιγότερο απότομες μεταβολές κι έτσι δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες ανάπτυξης των φυτών.
- Επιτρέπουν την εργασία των καλλιεργητών μέσα σ' αυτά, προστατεύοντάς τους συγχρόνως και από τις αντίξοες καιρικές συνθήκες. Αυτό έχει αποτέλεσμα και ο εργαζόμενος να αισθάνεται καλύτερα και η απόδοση της εργασίας να είναι μεγαλύτερη.

Ελαφρώς θερμαινόμενα θερμοκήπια

Στα θερμοκήπια αυτά η τεχνητή θέρμανση χρησιμοποιείται συνήθως για να προστατεύσει την καλλιέργεια από τον παγετό, χρησιμοποιείται όμως και για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του χώρου σε ένα επίπεδο που να περιορίζει τη συμπύκνωση της υγρασίας πάνω στα φυτά (ώστε να μειωθούν οι αρρώστιες των φυτών), ή γενικότερα για να θερμάνει το θερμοκήπιο σε κάποιο επίπεδο θερμοκρασίας που όμως είναι αρκετά κάτω από το επίπεδο της άριστης θερμοκρασίας των φυτών. Τα θερμοκήπια αυτά δεν εξοπλίζονται με πολυσύνθετο και ακριβό σύστημα θέρμανσης.

- Ένα απλό αερόθερμο σχετικά μικρής ισχύος συνήθως είναι αρκετό και αυξάνει τις δυνατότητες
- Επιτρέπει την καλλιέργεια σ' όλη τη διάρκεια του χειμώνα, ακόμα και σε περιοχές με πιθανότητα παγετού.
- Επιτυγχάνεται προτιμότερη παραγωγή στις χειμερινές καλλιέργειες, επειδή τα φυτά αναπτύσσονται γρηγορότερα απ' ό,τι στο μη θερμαινόμενο θερμοκήπιο.
- Μειώνεται ο κίνδυνος απωλειών που οφείλονται σε μυκητολογικές ασθένειες, οι οποίες αναπτύσσονται σε συνθήκες υπερβολικής υγρασίας, όπως π.χ. ο βοτρυτής.

Πλήρως θερμαινόμενα θερμοκήπια

Αυτά τα θερμοκήπια έχουν πιο σύνθετο και περισσότερο ακριβό σύστημα θέρμανσης, που επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου στο άριστο επίπεδο. Η κύρια πηγή ενέργειας για τη θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι η ηλιακή ακτινοβολία, όταν όμως είναι περιορισμένη και η θερμοκρασία του χώρου πέσει κάτω από τα επιθυμητά επίπεδα, χρησιμοποιείται το σύστημα θέρμανσης. Κατά τη διάρκεια της νύχτας όλη η απαιτούμενη ενέργεια για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά επίπεδα προέρχεται από το σύστημα θέρμανσης. Συνήθως χρησιμοποιείται κεντρική θέρμανση με ζεστό νερό ή ατμό, ή αερόθερμα κατάλληλης ισχύος που, συνήθως συμπληρώνονται με αεραγωγό για ομοιόμορφη κατανομή του ζεστού αέρα στο χώρο

Τα πλεονεκτήματα των πλήρως θερμαινόμενων θερμοκηπίων είναι:

- Παρέχουν τη δυνατότητα καλλιέργειας περισσότερων ειδών φυτών.
- Παρέχουν τη δυνατότητα προγραμματισμού της παραγωγής καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Μειώνεται σημαντικά ο κίνδυνος απωλειών που οφείλονται σε μυκητολογικές ή βακτηριολογικές ασθένειες, οι οποίες αναπτύσσονται υπό συνθήκες υπερβολικής υγρασίας και χαμηλών θερμοκρασιών.
- Αυξάνεται η ποσότητα και βελτιώνεται η ποιότητα των παραγομένων προϊόντων.

3.3 Υπολογισμός Ισχύος και συστήματα θέρμανσης

Για τον υπολογισμό των στοιχείων ενός συστήματος θέρμανσης που πρέπει να εγκατασταθεί σε ένα θερμοκήπιο ώστε να παρέχει τη δυνατότητα ικανοποιητικής ρύθμισης της θερμοκρασίας του, είναι απαραίτητο να βρούμε πρώτα τις μέγιστες απώλειες σε θερμότητα στη μονάδα του χρόνου του συγκεκριμένου θερμοκηπίου. Οι μέγιστες απώλειες συνήθως συμβαίνουν τη νύχτα, όταν η εξωτερική θερμοκρασία φθάνει στην ελάχιστη τιμή της. Το σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να καλύπτει πλήρως αυτές τις απώλειες.

Απώλειες θερμότητας

Οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο συμβαίνουν:

1. Με μεταφορά από το κάλυμμά του. Το μέγεθος της θερμικής μεταφοράς διαφέρει, με τα διάφορα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κάλυψη των θερμοκηπίων.

Το λεπτό φύλλο πολυαιθυλενίου π.χ. έχει μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα από το γυαλί. Κατά συνέπεια, ένα γυάλινο θερμοκήπιο έχει μικρότερες απώλειες από το πλαστικό, ενώ το διπλής κάλυψης θερμοκήπιο πολυαιθυλενίου, που παρουσιάζει πολύ μικρότερη θερμική μεταφορά, έχει λιγότερες απώλειες από τα δύο προηγούμενα.

Οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο συμβαίνουν:

2. Με την είσοδο και έξοδο του αέρα μέσα από τις ενώσεις στις πόρτες, τα παράθυρα και τις συνδέσεις του υλικού κάλυψης. Οι απώλειες αυτές μειώνονται, όσο οι διαφυγές του αέρα ελαττώνονται.

3. Με αγωγιμότητα από το έδαφος του θερμοκηπίου

Οι μεγαλύτερες απώλειες θερμότητας στο θερμοκήπιο συμβαίνουν:

4. Με την υπέρυθρη ακτινοβολία του εδάφους και των φυτών. Το γυαλί, το fiberglass, και το νερό είναι αδιαπέραστα σώματα στην υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ το πολυαιθυλένιο είναι περατό. Η συμπύκνωση των υδρατμών, όμως, που γίνεται στο πολυαιθυλένιο τη νύχτα, περιορίζει σημαντικά την πραότητα ή τη μηδενίζει πρακτικά

Ισχύς συστήματος θέρμανσης

Ένας πολύ απλός τρόπος για την εκτίμηση της απαιτούμενης θερμότητας είναι αυτός που χρησιμοποιεί μία μόνο σχέση και αφορά το σύνολο των απωλειών του θερμοκηπίου σε ενέργεια:

$$q = A_s U_{\theta} (I_i - T_o)$$

όπου:

q Είναι η μεγίστη απαίτηση θερμότητας [W]

U_{θ} ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας [$Wm^{-2} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$]

A η επιφάνεια του καλύμματος [m^2]

I_i η επιθυμητή θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο [$^{\circ}C$]

T_o η μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία του δυσμενέστερου μηνός [$^{\circ}C$]

Η απαιτούμενη θερμότητα ανά τετραγωνικό μέτρο θερμοκηπίου θα είναι:

$$Q = \frac{A_s}{A_f} \cdot U (T_i - T_o)$$

όπου: A_f η επιφάνεια του καλυμμένου εδάφους [m^2]

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U εξαρτάται κυρίως από το υλικό κάλυψης του θερμοκηπίου, τη στεγανότητα του θερμοκηπίου στον αέρα, την ταχύτητα του αέρα έξω από το θερμοκήπιο, το ποσοστό κάλυψης του ουρανού με σύννεφα, την ύπαρξη βροχής και από το σύστημα θέρμανσης.

Ένας άλλος τρόπος για την εκτίμηση της απαιτούμενης θερμότητας είναι:

$$q = (U \cdot A_s \cdot \Delta T + 0,36 \cdot V \cdot N \cdot \Delta T) \cdot 1,2$$

U: ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του καλύμματος σε $W/m^2\text{°C}$ (από πίνακα)

A_s : επιφάνεια του καλύμματος σε m^2

ΔT : διαφορά θερμοκρασίας μέσα - έξω σε $^{\circ}\text{C}$. (Εσωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η επιθυμητή νυχτερινή θερμοκρασία για την υπόψη καλλιέργεια. Εξωτερική θερμοκρασία λαμβάνεται η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του ψυχρότερου μήνα που εμφανίζεται στην περιοχή με συχνότητα τριετίας).

V: όγκος του θερμοκηπίου.

N: αριθμός αλλαγών του αέρα από διαφυγές με κλειστά παράθυρα ανά ώρα (από πίνακα).

Η πραγματική ισχύς του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη απαιτούμενη θερμότητα στη μονάδα του χρόνου.

Επομένως η ονομαστική ισχύς του συστήματος θέρμανσης θα πρέπει να είναι αυξημένη κατά ένα ποσοστό που είναι αντιστρόφως ανάλογο με το βαθμό απόδοσης του συστήματος:

$$I = Q/a$$

Συστήματα θέρμανσης

Με γνώμονα τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας, τα διάφορα συστήματα θέρμανσης του θερμοκηπίου μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω ομάδες:

1. Συστήματα που αποδίδουν στο χώρο του θερμοκηπίου το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με συναγωγή (επαγωγή). Περιλαμβάνονται όλα τα συστήματα στα οποία ο αέρας του θερμοκηπίου οδηγείται στο θερμαντικό σώμα, θερμαίνεται και μετά κατανέμεται στο χώρο του θερμοκηπίου, π.χ. αερόθερμα.

Η μεταφορά θερμότητας στον αέρα και από τον αέρα του θερμοκηπίου, γίνεται με βεβιασμένη συναγωγή. Ένα πολύ μικρό μέρος της ενέργειας αποδίδεται με ακτινοβολία από την θερμή επιφάνεια των αερόθερμων.

2. Συστήματα τα οποία αποδίδουν το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας με συνδυασμό ακτινοβολίας και φυσικής συναγωγής. Περιλαμβάνονται όλα τα συστήματα στα οποία η κατανομή θερμότητας στο χώρο γίνεται με εναέριους σωλήνες ζεστού νερού ή ατμού. Η σχέση μεταξύ της ποσότητας της θερμότητας που αποδίδεται με ακτινοβολία και συναγωγή εξαρτάται από τη θερμοκρασία του ρευστού και τη διάμετρο του σωλήνα. Στις συνήθεις περιπτώσεις ζεστού νερού 85°C , η αποδιδόμενη ενέργεια με συναγωγή είναι περίπου ίση με την ακτινοβολούμενη.

3. Συστήματα, όπου το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας αποδίδεται με αγωγιμότητα. Περιλαμβάνονται τα συστήματα θέρμανσης δαπέδου ή τραπεζιών καλλιέργειας, όπου η θερμότητα με αγωγή θερμαίνει το δάπεδο και με αγωγή από το δάπεδο θερμαίνονται οι γλάστρες και η ρίζα των φυτών. Οποσδήποτε όμως τα φυτά δέχονται και αρκετή ενέργεια από ακτινοβολία και συναγωγή από τις ακάλυπτες περιοχές.

4. Συστήματα, τα οποία αποδίδουν θερμότητα με συνδυασμό αγωγιμότητας, συναγωγής και ακτινοβολίας. Περιλαμβάνονται συστήματα θέρμανσης με χαμηλή θερμοκρασία νερού, που κυκλοφορεί σε μεγάλης επιφάνειας σωλήνες, συνήθως πλαστικούς, οι οποίοι τοποθετούνται στο δάπεδο του θερμοκηπίου. Η θερμότητα μεταφέρεται με φυσική συναγωγή στον αέρα, με θερμική ακτινοβολία στα φύλλα των φυτών και με αγωγιμότητα στο έδαφος

Η θερμότητα στο χώρο του θερμοκηπίου μπορεί να δοθεί με τους παρακάτω τρόπους:

Τοπικά συστήματα θέρμανσης

- α) Θερμάστρες παραφίνης
- β) Θερμάστρες συναγωγής
- γ) Συσκευές υπέρυθρης ακτινοβολίας
- δ) Αερόθερμα (ηλεκτρικά, υγραερίου, καυσίμων) πετρελαίου, στερεών

Κεντρικά συστήματα θέρμανσης

- α) Λέβητες παραγωγής θερμού αέρα, μακριά από το χώρο θέρμανσης.
- β) Λέβητες παραγωγής θερμού νερού.
- γ) Λέβητες παραγωγής ατμού

Τοπικά συστήματα

Θερμάστρες παραφίνης

Οι θερμάστρες αυτές χρησιμοποιούνται μόνο για να κρατήσουν τη θερμοκρασία του χώρου λίγο πάνω από 0°C (αντιπαγετική προστασία). Όταν υπάρχει κίνδυνος παγετού, ανάβονται από τον καλλιεργητή πολλές τέτοιες θερμάστρες στο χώρο του θερμοκηπίου. Η ακριβής ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου δεν είναι δυνατή. Επίσης, εάν η παραφίνη δεν είναι καθαρή, επειδή τα αέρια της καύσης παραμένουν μέσα στο θερμοκήπιο, υπάρχει ο κίνδυνος δημιουργίας τοξικών αερίων που βλάπτουν τα φυτά. Εντελώς σπάνια συναντάται σήμερα αυτό το μέσον θέρμανσης, έστω και σε πολύ απλά θερμοκήπια.

Θέρμανση με υπέρυθρη ακτινοβολία

Στα συστήματα αυτά η θερμότητα στέλνεται απ' ευθείας από την πηγή με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικών (υπέρυθρη ακτινοβολία) κυμάτων που μεταδίδονται σε ευθεία γραμμή στο δέκτη, που στην περίπτωσή μας είναι τα φυτά και το έδαφος. Ο αέρας δεν θερμαίνεται απ' ευθείας από την ακτινοβολία, αλλά με συναγωγή λόγω της επαφής του με τα φυτά, το έδαφος και τα υπόλοιπα αντικείμενα που θερμαίνονται άμεσα.

Η ένταση της ακτινοβολίας που εκπέμπεται, όπως είναι γνωστό, είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας (σε βαθμούς Kelvin) της επιφάνειας του ακτινοβολούντος σώματος στην τέταρτη δύναμη.

Η ποσότητα ακτινοβολίας που δέχεται μια επιφάνεια δέκτης μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης της επιφάνειας από το ακτινοβολούν σώμα ($1/d^2$)

Η πηγή υπέρυθρης ακτινοβολίας, που συμφέρει να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση των θερμοκηπίων, είναι σωλήνες που τοποθετούνται ψηλά κατά μήκος του θερμοκηπίου, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί κάποιο ρευστό υψηλής θερμοκρασίας, για να ακτινοβολεί μεγάλο ποσό θερμότητας.

Κατά κανόνα, με τη λειτουργία αυτών των συστημάτων, η θερμοκρασία των φύλλων είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του αέρα.

Το έδαφος έχει συνήθως υψηλότερη θερμοκρασία από τη συνήθη αν δεν σκιάζεται από την κόμη των φυτών, αν σκιάζεται η θερμοκρασία του μπορεί να είναι σημαντικά κάτω από την επιθυμητή.

Όλα τα αντικείμενα που δέχονται στην επιφάνειά τους αυτή την ακτινοβολία θερμαίνονται. Είναι αυτονόητο ότι οι πηγές ακτινοβολίας δεν πρέπει να είναι κοντά στα φυτά, διότι δημιουργούν προβλήματα υπερθέρμανσής τους.

Η θερμοκρασία του αέρα κρατιέται γύρω στους 4°C χαμηλότερα απ' ό,τι σε ένα θερμοκήπιο με συνηθισμένη θέρμανση. Η χαμηλότερη θερμοκρασία του αέρα στο χώρο του θερμοκηπίου έχει ως αποτέλεσμα μειωμένες απώλειες θερμότητας που συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας.

Οι σωλήνες για υπέρυθρη ακτινοβολία που χρησιμοποιούνται συνήθως στα θερμοκήπια σήμερα είναι των 17.000 Watt ή 11.000 kcal/h.

Οι μεγάλης διαμέτρου σωλήνες (4") τοποθετούνται κατά μήκος του θερμοκηπίου, ψηλά, σε μεταξύ τους απόσταση 7-10 m. Στο επάνω μέρος τους υπάρχει μεταλλικός ανακλαστήρας 16", ώστε όλη η ακτινοβολία να κατευθύνεται προς τα κάτω.

Αερόθερμα

Η θέρμανση με αερόθερμα χρησιμοποιείται πολύ στο θερμοκήπιο, διότι η αρχική εγκατάσταση στοιχίζει φθηνότερα απ' ό,τι στη θέρμανση με ζεστό νερό.

Έχει υψηλή αποδοτικότητα, αυτοματοποιείται εύκολα και δεν παρουσιάζει αδράνεια στην αύξηση της θερμοκρασίας χώρου.

Σε πολύ μικρό χρόνο από τότε που ο θερμοστάτης θα δώσει την εντολή στο αερόθερμο να λειτουργήσει θερμαίνεται ο αέρας του θερμοκηπίου. Το ίδιο γρήγορα ψύχεται όταν σταματήσει η λειτουργία του. Η χρονική αυτή διάρκεια στα κεντρικά συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν ζεστό νερό για τη μεταφορά της θερμότητας, είναι αρκετά μεγάλη.

Μειονέκτημα των συστημάτων θέρμανσης με αερόθερμα είναι ότι σε ψυχρά κλίματα ψύχεται γρήγορα το θερμοκήπιο σε περίπτωση βλάβης του συστήματος και ότι δεν θερμαίνεται ικανοποιητικά το έδαφος.

Με γνώμονα την πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται, τα αερόθερμα μπορούν να ταξινομηθούν στις παρακάτω ομάδες:

- Ηλεκτρικά αερόθερμα
- Αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού
- Αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερεών καυσίμων

Ηλεκτρικά Αερόθερμα

Αποτελούνται από έναν ηλεκτρικό ανεμιστήρα και ηλεκτρικές αντιστάσεις. Ο ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει από τις ηλεκτρικές αντιστάσεις, θερμαίνεται και επανέρχεται στο θερμοκήπιο.

Επειδή το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας είναι αρκετά υψηλό, ο τρόπος αυτός θέρμανσης θερμοκηπίων κοστίζει ακριβά. Χρησιμοποιείται όμως στα πειραματικά και ερασιτεχνικά θερμοκήπια, διότι δεν υπάρχουν καυσαέρια, αυτοματοποιείται πολύ εύκολα και ρυθμίζει με ακρίβεια τη θερμοκρασία του χώρου. Ο ανεμιστήρας μπορεί να εργάζεται συνεχώς για να κυκλοφορεί τον αέρα του θερμοκηπίου, ώστε να δημιουργεί ομοιόμορφες συνθήκες σ' όλο το χώρο του, ανεξάρτητα αν λειτουργούν οι αντιστάσεις ή όχι.

Η λειτουργία των αερόθερμων ρυθμίζεται από θερμοστάτη χώρου.

Αερόθερμα ατμού ή ζεστού νερού

Ο ατμός ή το ζεστό νερό προέρχονται από ένα λέβητα παραγωγής ατμού ή ζεστού νερού. Ο ατμός ή το ζεστό νερό κυκλοφορεί σε ένα σύστημα σωλήνων μεγάλης επιφάνειας, στους οποίους ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας ωθεί τον αέρα του θερμοκηπίου να περάσει μεταξύ τους και να θερμανθεί. Τα αερόθερμα αυτά χρησιμοποιούνται συνήθως ως συμπληρωματική θέρμανση σε συστήματα κεντρικής θέρμανσης με σωλήνες θερμού νερού. Τοποθετούνται ψηλά στο χώρο του θερμοκηπίου, για βελτίωση της κίνησης του αέρα μέσα στο θερμοκήπιο.

Αερόθερμα αερίου, πετρελαίου ή στερ. καυσίμων

Τα αερόθερμα αερίων καυσίμων διαθέτουν ενσωματωμένο καυστήρα ο οποίος μπορεί να έχει, είτε ανοιχτό θάλαμο καύση (με φλόγιστρα), είτε κλειστό.

Στη περίπτωση του ανοιχτού θαλάμου καύσης, που συναντάται σε σχετικά μικρές μονάδες, ο αναγκαίος για την καύση του καυσίμου αέρας προέρχεται από τον αέρα του θερμοκηπίου και τα καυσαέρια απελευθερώνονται πάλι μέσα στο χώρο του θερμοκηπίου.

Κατά τη διάρκεια της ημέρας που λειτουργεί η φωτοσύνθεση, όταν τα αερόθερμα λειτουργούν και εφόσον το καύσιμο είναι καθαρό, τα φυτά επωφελούνται από το διοξείδιο του άνθρακος που απελευθερώνεται στο χώρο.

Η μείωση όμως της συγκέντρωσης του οξυγόνου όταν το θερμοκήπιο είναι κλειστό, έχει σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα της καύσης και την καθαρότητα του αέρα στο χώρο του.

Αποτελούνται από τρία κύρια λειτουργικά μέρη:

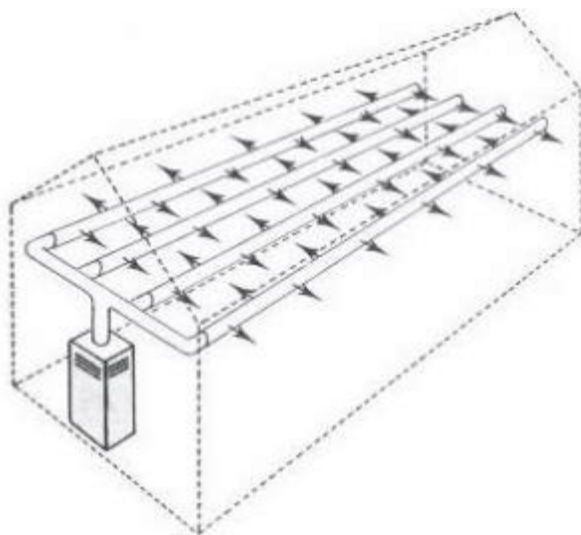
Το δοχείο καύσης, το μεταλλάκτη θερμότητας και τον ανεμιστήρα κυκλοφορίας του αέρα του θερμοκηπίου. Το καύσιμο καίγεται στο δοχείο καύσης για να παραχθεί η θερμότητα, η οποία περιέχεται αρχικά στα αέρια της καύσης που ανεβαίνουν από ένα σύστημα πολλών σωλήνων με λεπτά τοιχώματα (που αποτελεί το μεταλλάκτη του αερόθερμου), οι οποίοι καταλήγουν στην καπνοδόχο.

Ένας ηλεκτροκίνητος ανεμιστήρας στο πίσω μέρος του αερόθερμου κινεί τον αέρα του θερμοκηπίου στο μεταλλάκτη, ώστε να πάρει τη θερμότητα και να επιστρέψει στο χώρο του θερμοκηπίου. Η λειτουργία του ανεμιστήρα αυτού γίνεται με υστέρηση περίπου 3 λεπτών σε σχέση με τη λειτουργία του καυστήρα, έτσι ώστε να θερμανθεί πρώτα ο μεταλλάκτης και μετά να κυκλοφορήσει ο αέρας του θερμοκηπίου. Μετά το σταμάτημα της λειτουργίας του καυστήρα, ο ανεμιστήρας καθυστερεί να σταματήσει ανάλογο χρονικό διάστημα, ώστε να κρυώσει ο μεταλλάκτης, προστατεύοντας τον από τη διάβρωση.

Κεντρικά συστήματα

Τα κεντρικά συστήματα θέρμανσης χρησιμοποιούνται μόνα τους ή σε συνδυασμό, ανάλογα με την συγκεκριμένη εγκατάσταση θερμοκηπίου και μπορεί να είναι:

- Εναλλάκτης θερμότητας που έχει ταφεί στο έδαφος των φυτών.
- Εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στο έδαφος.
- Δίκτυο σωλήνων ζεστού νερού κοντά στο έδαφος.
- Σύστημα θέρμανσης σωλήνων οροφής.



Σχήμα 3.2: Δίκτυο σωληνώσεων ζεστού νερού κοντά στο σύστημα θέρμανσης σωλήνων εδάφους και οροφής [47]

Μια ποικιλία θερμοκηπίων λειτουργεί όλο το χρόνο για τη καλλιέργεια φυτών, όπως ντομάτες, αγγούρι, μαρούλι, πιπεριές ή ακόμα και λουλούδια. Σε τέτοιες περιπτώσεις, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι θερμοκρασίες του ατμοσφαιρικού αέρα μπορεί να είναι πολύ υψηλές, φθάνοντας ή ακόμα και υπερβαίνοντας τους 40 °C. Επομένως χρησιμοποιούνται συστήματα ψύξης προκειμένου να μειωθεί η εσωτερική θερμοκρασία κάτω από τον ατμοσφαιρικό αέρα σε κατάλληλα επίπεδα για τα φυτά. Το πιο συνηθισμένο σύστημα είναι ο εξαερισμός, φυσικός ή εξαναγκασμένος. Ο φυσικός (παθητικός) αερισμός χρειάζεται πολύ χαμηλή ενέργεια εξωτερική ενέργεια. Βασίζεται σε διαφορές πίεσης μεταξύ του θερμοκηπίου και του εξωτερικού περιβάλλοντος, που δημιουργούνται από τον εξωτερικό άνεμο ή την υψηλή θερμοκρασία του θερμοκηπίου. Κανονικά, είναι εξοπλισμένα με ανοίγματα εξαερισμού, κοντά στο έδαφος και την οροφή, και ο εσωτερικός θερμός αέρας αντικαθίσταται από εξωτερικό ψύκτη αέρα με φυσικό εξαερισμό. Προκειμένου να αυξηθεί ο αριθμός των εναλλαγών αέρα εντός του θερμοκηπίου καθώς και ο ρυθμός αλλαγής του αέρα, όποτε χρειάζεται, μπορούν να χρησιμοποιηθούν απλά και ανθεκτικά συστήματα όπως ανεμιστήρας εξάτμισης.

Η είσοδος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας μέσω των καλυμμάτων στο περίβλημα του θερμοκηπίου είναι η κύρια πηγή μέγιστης απόδοσης θερμότητας. Οι σκιές και οι ανακλαστήρες αποτελούν τον πιο συνηθισμένο τρόπο για τον έλεγχο της εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας. Η σκίαση μπορεί να επιτευχθεί με βαφή, εξωτερικά πανιά ή ράφια με τη χρήση διχτύων διαφόρων χρωμάτων, μερικώς αντανάκλαστικές οθόνες σκίασης, νερό φιλμ πάνω από τη οροφή και υγρούς αφρούς μεταξύ των τοίχων του θερμοκηπίου.

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της υγρασίας μέσα σε ένα θερμοκηπίου είναι η ψύξη με εξάτμιση. Τα συστήματα εξάτμισης βασίζονται στη μετατροπή της αισθητής θερμότητας σε λανθάνουσα θερμότητα εξατμισμένου νερού, με το νερό να τροφοδοτείται μηχανικά. Επί του παρόντος οι μέθοδοι εξατμιστικής ψύξης που χρησιμοποιούνται είναι οι ανεμιστήρες, το σύστημα ομίχλης και η ψύξη με εξάτμιση στην οροφή.

Τα τελευταία χρόνια, η έρευνα για τη χρήση των ΑΠΕ στις εφαρμογές θερμοκηπίου επεκτείνεται. Τα ηλιακά συστήματα με εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας αποδείχθηκαν καλύτερα σε επιδόσεις σε σύγκριση με τα κοινά συστήματα θέρμανσης με αντλία θερμότητας. Συστήματα αντλιών θερμότητας εδάφους-πηγής χρησιμοποιούνται για θέρμανση, ψύξη και αφύγρανση των θερμοκηπίων. Σύνθετα συστήματα εξετάζονται προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για τη θέρμανση του θερμοκηπίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα και την ψύξη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Έρευνα γίνεται επίσης για ηλιακούς θερμοσίφωνες, για φωτοβολταϊκή-γεωθερμική αντλία θερμότητας (PV-GHP), ηλιακό θερμοσίφωνα με αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας κλπ.

3.4 Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σε αγροτικές εφαρμογές

Μεταξύ των περίπου 400 καταγεγραμμένων εφαρμογών με χρήση ΓΑΘ στην Ελλάδα, μόλις δύο αφορούν στη γεωργία και μία στην επεξεργασία τροφίμων, παρά το γεγονός ότι μία από τις βασικότερες παραμέτρους προστιθέμενης αξίας των αγροτικών προϊόντων είναι η πρώιμη παραγωγή τους. Όπως ήδη λέχθηκε οι ΓΑΘ αποτελούν μια καινοτόμο ενεργειακή εφαρμογή, άγνωστη ακόμη στους ανθρώπους που δραστηριοποιούνται στον πρωτογενή τομέα. Άλλες αιτίες της περιορισμένης εξάπλωσης της συγκεκριμένης τεχνολογίας στον αγροτικό χώρο είναι το υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης, η αναγκαιότητα για μεγάλη εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς, ο υψηλός ΦΠΑ (23%) σε αντίθεση με τις εφαρμογές φυσικού αερίου (ΦΠΑ = 10%) και η απουσία ουσιαστικής οικονομικής υποστήριξης με συγκεκριμένες πολιτικές επιχορήγησης.



Σχήμα 3.3: Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας νερού-νερού

Έως σήμερα στον ελλαδικό χώρο, μόνο το Ινστιτούτο Εγγείων Βελτιώσεων του ΕΘΙΑΓΕ σε συνεργασία με την εταιρία Φερσίδου-Λαδά & ΣΙΑ ΕΕ., ‘FRIGOLAND’, μελέτησε, σχεδίασε, εγκατέστησε και παρακολουθεί συστηματικά τη λειτουργία συστημάτων ΓΑΘ σε δύο φυτείες λευκού σπαραγγιού έκτασης 10 στρ. η καθεμία, στην περιοχή Χρυσούπολης Καβάλας.

Για πρώτη φορά επιχειρείται μια ουσιαστική οικονομοτεχνική προσέγγιση, όχι σε πειραματικό αλλά και σε καθαρά παραγωγικό επίπεδο που αναδεικνύει την οικονομικότητα και τη βιωσιμότητα ενός ενεργειακού εγχειρήματος τόσο εξειδικευμένου, το οποίο γίνεται ακόμα πιο σύνθετο όταν απευθύνεται σε εφαρμογές του πρωτογενούς τομέα και μάλιστα εκτατικού τύπου όπως αυτή της καλλιέργειας σπαραγγιών. Οι δύο αυτές εφαρμογές που ξεκίνησαν το 2006, έχουν αποσβεστεί από το δεύτερο κίολας έτος λειτουργίας τους και συνεχίζουν να αποδίδουν εντατικά έως σήμερα.

Ήδη έχει ξεκινήσει και υλοποιείται η μεγαλύτερη στο είδος της εγκατάσταση ΓΑΘ στην περιοχή Χρυσούπολης Καβάλας και αφορά στη θέρμανση φυτείας σπαραγγιού έκτασης 40 στρ. Πρόκειται για ένα φιλόδοξο εγχείρημα και μελετημένο το ΙΕΒ συνολικής θερμικής ισχύος 550 KW_{th} περίπου, το οποίο βασίζεται σε σύστημα δύο ΓΑΘ νερού-νερού τοποθετημένων σε σειρά με αναμενόμενο (συνολικό) συντελεστή απόδοσης 1:5,5. Η πηγή άντλησης θερμικού φορτίου είναι υδρογεώτρηση, που κατασκευάστηκε σε βάθος 100μ. και παρέχει 50 m³/h νερού με θερμοκρασία 19,5 ° C. Η θερμοκρασία αυτή θα υποβιβάζεται σε δύο στάδια συνολικά κατά 8-9 ° C, έτσι ώστε να προσλαμβάνονται από την αντλία 400.000-450.000 Kcal/h (465-520 KW_{th}). Η απορροφούμενη από τις 2 ΓΑΘ ηλεκτρική ισχύς προδιαγράφεται να είναι ίση με 90-100 KW_e, η οποία μετατρέπόμενη σε θερμική προστίθεται στο σύστημα με αποτέλεσμα η συνολική αποδιδόμενη θερμική ισχύς στο σπαραγγιών να προσεγγίζει τα 550-600 KW_{th}.

Θέρμανση φυτειών σπαραγγιού

Σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα του ΙΕΒ, η εφαρμογή των ΓΑΘ στην πρωίμιση καλλιέργειών υπό χαμηλή κάλυψη (low tunnels) είναι μια ιδιαίτερα αποδοτική και ενδιαφέρουσα εφαρμογή. Αποδεικνύεται στη πράξη ότι, για μετεωρολογικές συνθήκες αντίστοιχες μ' αυτές της περιοχής Χρυσούπολης Καβάλας, αρκούν 10-11.000 Kcal/h/στρ. ή 11,5-13,0 KW_{th}/ στρ. περίπου για να πρωιμίσει μια φυτεία λευκού σπαραγγιού κατά 20-25 ημέρες, σε σχέση με μια μη θερμαινόμενη φυτεία.

Το γεγονός αυτό καθιστά ακόμη πιο ανταγωνιστική μια ήδη δυναμική καλλιέργεια, όπως αυτή του σπαραγγιού. Χωρίς να έχει καταγραφεί καμία δυσμενής επίπτωση στη στρεμματική απόδοση των θερμαινόμενων φυτειών σπαραγγιού (800-900 κιλά/στρ./έτος), οι δύο θερμαινόμενες φυτείες των 10 στρεμμάτων η καθεμία στην περιοχή της Χρυσούπολης, αποδίδουν συστηματικά τα τελευταία πέντε χρόνια έως και 1000-1200 €/στρ. επιπλέον έσοδα σε σχέση με παρακείμενες μη θερμαινόμενες φυτείες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και ως μέτρο σύγκρισης.

Μετά από πέντε συνεχή έτη παραγωγικής διαδικασίας καταδεικνύεται ότι μια 'νοικοκυρεμένη' θερμαινόμενη φυτεία σπαραγγιού μπορεί να έχει έξτρα-αποδόσεις της τάξης των 12.000 € ανά 10 στρ. Με μέσο κόστος εγκατάστασης περί τις 2.500 €/στρ. και ετήσιο λειτουργικό κόστος περί τα 250-300€/στρ. (αφορά κύρια στην κατανάλωση ρεύματος), απαιτούνται περί τα δύο παραγωγικά έτη για να αποσβεστεί κατά 100% η επένδυση. Το τελευταίο χωρίς καμία επιχορήγηση αν και τέτοιου είδους καινοτομικά έργα εντάσσονται εύκολα στα σχέδια βελτίωσης με ποσοστά επιχορήγησης της τάξης του 35-40%.

Η παραπάνω τεχνογνωσία μπορεί πολύ εύκολα να εφαρμοστεί στη θέρμανση και στη πρώιμη παραγωγή αγροτικών προϊόντων με αντίστοιχες θερμικές απαιτήσεις μ' αυτές του σπαραγγιού όπως: το μαρούλι, το μπρόκολο, η φράουλα, το φασολάκι και το καρπούζι. Υπό χαμηλή κάλυψη έχουν δοκιμαστεί ήδη με επιτυχία στο γεωθερμικό πεδίο Νέου Ερασμίου Ξάνθης.

Θέρμανση θερμοκηπίων

Οι θερμοκηπιακές καλλιέργειες αποτελούν το πιο εξελιγμένο, το πιο ελεγχόμενο και από τα πιο δυναμικά τμήματα της αγροτικής παραγωγικής διαδικασίας. Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες εντατικοποίησης και ελέγχου της παραγωγής σε μια θερμοκηπιακή μονάδα είναι η θέρμανση, το κόστος της οποίας αποτελεί το 25-30% του συνολικού λειτουργικού κόστους. Το ποσοστό αυτό εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής, το είδος του θερμοκηπίου και το είδος της καλλιέργειας. Είναι προφανές ότι η ελαχιστοποίηση του κόστους θέρμανσης αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα ενός θερμοκηπίου. Η θέρμανση θερμοκηπίων μονάδων έως 4-5 στρεμμάτων με χρήση ΓΑΘ ανοικτού κυκλώματος με παράλληλη αξιοποίηση του επιφανειακού υδροφόρου ορίζοντα μπορεί να αποτελέσει, υπό προϋπόθεση, μια ενδιαφέρουσα και οικονομικά βιώσιμη ενεργειακή πρόταση.

Δt°C (αέρας θερμοκηπίου-αέρας περιβάλλοντος)	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ισχύς απωλειών (KW) για θερμοκήπιο 4 στρμ.	568	604	640	680	720	752	792	832	868
Βαθμοημέρες θέρμανσης (T ορισμού=16°C)	600	723	872	1028	1206	1390	1581	1777	1977
Ετήσια απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης (MWh)	341	437	558	699	868	1045	1252	1478	1716

Στον πίνακα παρουσιάζονται ενεργειακά δεδομένα που αφορούν σε μια τυπική θερμοκηπιακή μονάδα έκτασης τεσσάρων στρεμμάτων υπό κλιματικές συνθήκες αντίστοιχες με αυτές των περιοχών της Θράκης. Παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση στις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις, η οποία έχει να κάνει με τις ανάγκες θέρμανσης επιλεγμένης καλλιέργειας, αλλά και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Οι οριακές συνθήκες του φορτίου αιχμής προσδιορίζονται με $T_{εξ} = -7^{\circ} C$ και $T_{εσωτ} = +16^{\circ} C$ στα 868 KW_{th}. Προκειμένου να καλυφθεί μέρος της ισχύος αυτής με χρήση ΓΑΘ θα πρέπει, εκ των πραγμάτων, να τεθούν ορισμένοι περιορισμοί, ως εξής:

- Η χρήση κλειστού κυκλώματος με κατακόρυφο γεωεναλλάκτη είναι απαγορευτική λόγω υψηλού κατασκευαστικού κόστους, αλλά και των υψηλών ενεργειακών απαιτήσεων. Με μέγιστη θερμική απόδοση μια γεώτρησης στα 100 W/m και προκειμένου να καλυφθεί περίπου το 70% του φορτίου αιχμής, θα απαιτούνταν γεωτρήσεις συνολικού βάθους 6.000 μ.
- Με μέσο συντελεστή απόδοσης της ΓΑΘ 1:5,5 η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς για κάλυψη του 70% του φορτίου αιχμής θα ήταν της τάξης των 120-130 KWe. Θα πρέπει ως εκ τούτου η θέση της θερμοκηπιακής μονάδας να επιλέγεται όσο πιο κοντά σε δίκτυα της ΔΕΗ και αν είναι δυνατόν να εντάσσεται στα προγράμματα αγροτικού εξηλεκτρισμού.
- Πριν την εγκατάσταση ΓΑΘ θα πρέπει να εξασφαλίζονται ικανές ποσότητες υπόγειου νερού, είτε με την αξιοποίηση υπαρχουσών υδρογεωτρήσεων (ελαχιστοποίηση αρχικού κόστους), είτε με την ανόρυξη νέων. Παράλληλα θα πρέπει να εξασφαλίζονται τεχνικές λύσεις για την ολική ή μερική επιστροφή του νερού στον αρχικό υδροφορέα.
- Το βάθος των νέων γεωτρήσεων δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 150-200 μ και μόνο όταν είμαστε βέβαιοι ότι θα συναντήσουμε υδροφορίες με ασφαλείς παροχές >40m³/h και θερμοκρασίες 19° C < T < 25° C

Αν η αρχική θερμοκρασία του νερού μιας γεώτρησης είναι μεγαλύτερη από 19° C, τότε μεγιστοποιείται το ενεργειακό όφελος καθώς αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της ΓΑΘ. Επιπλέον, με τη χρήση δύο ΓΑΘ σε σειρά, μπορεί η αρχική θερμοκρασία του νερού να μειωθεί κατά το διπλάσιο, ήτοι κατά 9-10° C με υψηλό συντελεστή απόδοσης (COP>5), σε σχέση με το νερό μιας γεώτρησης με αρχική θερμοκρασία της τάξης των 15° C, όπου η αντίστοιχη διαδικασία αποβολής ενέργειας σε δύο στάδια θα πραγματοποιούνταν με μειωμένο συντελεστή απόδοσης. Η τεχνική αυτή των δύο ΓΑΘ σε σειρά καθιστά πιο ορθολογική τη χρήση του νερού, αφού για δεδομένη παροχή μιας γεώτρησης διπλασιάζεται η παραλαμβανόμενη θερμική ενέργεια. Το τελευταίο αναπαρίσταται ευκρινώς στο διάγραμμα κάλυψης των ετήσιων ενεργειακών αναγκών ενός θερμοκηπίου 4 στρμ.

Μια γεώτρηση με εκμεταλλεύσιμες παροχές μεταξύ 40 και 50 m³/h, μπορεί να καλυφθεί με φορτία αιχμής σε ποσοστά μεταξύ 65% και 81%, με αντίστοιχη κάλυψη των ετήσιων ενεργειακών αναγκών μιας θερμοκηπιακής μονάδας 4 στρ., σε ποσοστό που μπορεί να φθάσει και το 93%. Στο πλαίσιο λοιπόν του εξορθολογισμού της επένδυσης και της μείωσης του κόστους αρχικής εγκατάστασης, δεν είναι απαραίτητο να εγκαθίσταται σύστημα θέρμανσης με ΓΑΘ προδιαγεγραμμένο να καλύπτει το 100% του φορτίου αιχμής. Ποσοστό κάλυψης του φορτίου αιχμής κατά 70% περίπου επιφέρει σημαντικά μεγάλη εξοικονόμηση τόσο στην αρχική εγκατάσταση όσο και στην απαιτούμενη ενέργεια σε ετήσια βάση. Η εξοικονόμηση αυτή είναι ικανή να αποσβέσει το κόστος της αρχικής επένδυσης σε 1-2 χρόνια για συστήματα θέρμανσης καλλιεργειών υπό χαμηλή κάλυψη και για συστήματα θέρμανσης θερμοκηπιακών μονάδων.

Οικονομική προσέγγιση

Προκύπτει ότι ακόμη και στις περιπτώσεις μικρής έκτασης αγροτικών εγχειρημάτων, όπως π.χ. η θέρμανση καλλιέργειών υπό χαμηλή κάλυψη, απαιτούνται σημαντικές ποσότητες θερμικών φορτίων, τα οποία δεν είναι εφικτό να καλυφθούν από συστήματα γεωεναλλακτών σε κλειστά κυκλώματα, κατακόρυφα ή οριζόντια. Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης είναι πολύ υψηλό αν σκεφτεί κανείς ότι για να θερμανθεί ικανοποιητικά μια φυτεία σπαραγγιού έκτασης 10 σταρ., ή αντίστοιχα μια θερμοκήπια μονάδα ενός στρέμματος, απαιτείται εγκατεστημένη θερμική ισχύς της τάξης των 110-120 Ka_{tha} και κόστος επένδυσης που προσεγγίζει τις 80.000,00 €. Το τελευταίο αναδεικνύει την αντί-οικονομικότητα του εγχειρήματος αφού το κόστος επένδυσης για κάθε αποδιδόμενο Ka_{tha} θα προσεγγίσει τα 800-900 €.

Το κόστος αυτό μειώνεται κατά 50%-60% στην περίπτωση ανοικτού κυκλώματος και χρήσης νερού από υδρογεώτρηση. Και στην περίπτωση αυτή η οικονομικότητα του εγχειρήματος διαφοροποιείται σημαντικά εάν υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής συστήματος θέρμανσης με μία ή δύο ΓΑΘ.

Αν θεωρήσουμε μια θερμοκηπιακή μονάδα 4 στρεμμάτων στη Βόρεια Ελλάδα, η ισχύς των θερμικών απωλειών για μέγιστο $\Delta t = 23^\circ C$ θα προσεγγίσει τα 868 KW_{th} και οι ετήσιες απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια, με βάση 1980 βαθμοήμερες θέρμανσης ($T_{ορισμού} = 16^\circ C$), θα προσεγγίζουν τις 1.716 MWh. Προκειμένου να καλυφθούν τα ετήσια αυτά ενεργειακά φορτία θα απαιτούνται περί τα 170.000 κιλά πετρελαίου.

Ένα ποσοστό από τα παραπάνω ενεργειακά φορτία θα μπορούσε να αντικατασταθεί από σύστημα ΓΑΘ. Αν θεωρήσουμε υδρογεώτρηση σε βάθος 150 μ. με εκμεταλλεύσιμη παροχή 50 m^3/h και θερμοκρασία $20^\circ C$, ένα σύστημα δύο ΓΑΘ νερού-νερού με μέσο COP 1:5,5 θα μπορεί να παραλαμβάνει από το νερό 450.000-500.00 Kcal/h ή 520-580 KW_{th} , καταναλώνοντας ταυτόχρονα 110-130 KW_e και αποδίδοντας συνολικά στη θερμοκηπιακή μονάδα 650-700 KW_{th} . Σύμφωνα με τα δεδομένα αυτά καλύπτεται το 75-80% του φορτίου αιχμής και αποδίδονται, με βάση τις 1980 βαθμοήμερες θέρμανσης, 1300-1400 MW_{th} ήτοι το 76-82% των ετήσιων ενεργειακών αναγκών του θερμοκηπίου.

Τα παραπάνω ενεργειακά φορτία θα αποδοθούν στη θερμοκηπιακή μονάδα με συνολική κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος ίσου με 250-300.000 KWh, το κόστος του οποίου θα προσεγγίζει τις 10-12.000 € (κόστος αγροτικού ρεύματος 0,04141 €/ KW_e) ετησίως.

Στην περίπτωση που τα ενεργειακά φορτία των 1300-1400 MWh ετησίως αντικαταστήσουν συμβατικά καύσιμα, τότε η εξοικονόμηση σε ετήσια βάση για μια θερμοκηπιακή μονάδα 4 στρεμμάτων θα πλησιάσει τις 120.000,00 €, αποσβένοντας έτσι σε μόλις ένα χρόνο το 100% του κόστους της αρχικής επένδυσης που αφορά σ' ένα πλήρες σύστημα θέρμανσης με δύο ΓΑΘ νερού-νερού σε ένα ανοικτό κύκλωμα. Το τελευταίο αναδεικνύει την ενεργειακή σπουδαιότητα των ΓΑΘ, αφού με ετήσιο λειτουργικό κόστος της τάξης των 2500-3000€/ στρέμμα θα καλύπτεται σχεδόν το 80-85% των ετήσιων ενεργειακών απαιτήσεων για τη θέρμανση μια θερμοκηπιακής μονάδας 4 στρεμμάτων.

Συμπεράσματα

Στην Ελλάδα σήμερα υπάρχει η τεχνικό-επιστημονική δυνατότητα αλλά και η αναγκαιότητα να αξιοποιηθεί, παράλληλα με τα γνωστά γεωθερμικά πεδία και η αβαθής γεωθερμική ενέργεια, δηλαδή η θερμότητα υπόγειων πετρωμάτων και ρευστών με θερμοκρασία μικρότερη από τους 25° C. Η αξιοποίηση αυτή δε θα πρέπει να αφορά μόνο στη θέρμανση-ψύξη κατοικιών, η οποία ούτως ή άλλως βρίσκεται σε έξαρση και αναμένεται να έχει υψηλούς ρυθμούς εγκατάστασης νέων μονάδων για τα επόμενα 10-15 χρόνια, αλλά και σε επιλεγμένες γεωργικές και κτηνοτροφικές χρήσεις. Στις μεγάλες ιζηματογενείς λεκάνες της χώρας εντοπίζονται σημαντικοί υπόγειοι υδροφορείς των οποίων τα νερά έχουν θερμοκρασία τέτοιες ($15 < T^{\circ} C < 25$), που να επιτρέπουν κατά τρόπο οικονομικό την άντληση σημαντικών ποσοτήτων θερμικής ενέργειας και την απόδοσή τους σε ποικίλες παραγωγικές εφαρμογές με μικρό κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις πεδινές κυρίως ζώνες με έντονη οικονομική δραστηριότητα και οικιστική ανάπτυξη, σύγχρονη γεωργία και κτηνοτροφία σταβλισμένων ζώων, πτηνοτροφεία, θερμοκηπιακές δραστηριότητες, μικρές βιοτεχνικές μονάδες και δημόσια κτήρια είναι εύκολη η εξοικονόμηση (σε ποσοστό έως και 70%) σημαντικών ποσοτήτων ενέργειας με την εφαρμογή της τεχνολογίας των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, η αξιοποίηση της οποίας αναβαθμίζει την προσπάθεια για την ανάπτυξη, την προστασία του περιβάλλοντος και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Κεφάλαιο 4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

4.1 Εισαγωγή

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούνται ευρέως σε θερμοκήπια λόγω του χαμηλότερου λειτουργικού κόστους και του υψηλότερου συντελεστή απόδοσης σε σύγκριση με τις συμβατικές αντλίες θερμότητας [1]. Στο [2] εφαρμόζεται ένα σύστημα αντλίας θερμότητας κινητήρα αερίου για την ζήρανση των τροφίμων. Η πρώτη λεπτομερής εξευγενιστική αξιολόγηση ενός συστήματος γεωθερμικής αντλίας (GSHP) έγινε από τους Hepbasli και Akdemir [3].

Σε εφαρμογές που αφορούν έδαφος, υπόγεια ύδατα και επιφανειακά ύδατα, οι αντλίες θερμότητας εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θερμότητας και ως νεροχύτης. Οι αντλίες θερμότητας με γείωση (GCHP), υπόγεια ύδατα (GWHP) και επιφανειακά ύδατα (SWHP) είναι από αυτούς τους τύπους αντλιών [4-8]. Η χρήση των γεωθερμικών αντλιών σε κτίρια κατοικιών έχει χρησιμοποιηθεί εδώ και χρόνια στις ανεπτυγμένες χώρες και είναι πολύ διαδεδομένη στην Τουρκία [4].

Από την άλλη πλευρά, οι γεωθερμικές αντλίες υποστηριζόμενες από ηλιακά (SAHPS) μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη κτιρίων στις περισσότερες περιοχές της Τουρκίας [5].

Ο Hwang et al. [6] ανέπτυξε τη μέθοδο εκτίμησης των ιδιοτήτων του εδάφους για το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας.

Ο AL-Sarkhi et al. [7] διερεύνησε την αξιολόγηση της απόδοσης της ορθής στήλης για ενδεχόμενη εφαρμογή σε αντλίας θερμότητας εδάφους στη Ιορδανία.

Η χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας από μόνη της έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως η μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους γύρω από τους εναλλάκτες θερμότητας κάτι που μπορεί να προκαλέσει μείωση της απόδοσης της αντλίας θερμότητας κατά τη διάρκεια των ετών λειτουργίας και όταν απαιτείται υψηλότερο φορτίο θέρμανσης από το κανονικό. Άλλα μειονεκτήματα είναι το υψηλό αρχικό κόστος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και η μικρή αξιοπιστία χρήσης ενός μόνο συστήματος ανανεώσιμης ενέργειας. Πολλά από αυτά τα προβλήματα μπορούν να λυθούν με τη σύνδεση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες.

Το σύστημα της γεωθερμικής αντλίας χρησιμοποιείται για θέρμανση η ψύξη χώρου όλο και περισσότερο [9-12]. Ο Ozgener et al. [9] μελέτησε την απόδοση μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας υποβοηθούμενη από ηλιακή ενέργεια για θέρμανση θερμοκηπίου.

Ο Yumrutas et al. [10] διερεύνησε ηλιακά ενισχυμένα συστήματα αντλιών θερμότητας με εποχιακή αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε επιφανειακές δεξαμενές.

Ο Badescu [11] αξιολόγησε ενεργειακά και εξεργειακά μια συσκευής αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ενσωματωμένη σε ένα SAHPS για θέρμανση χώρου. Διαπίστωσε ότι τόσο ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας όσο και η απόδοση εξέργειας μειώθηκαν με την αύξηση του μήκους του δοχείου αποθήκευσης θερμικής ενέργειας.

Ο Bi et al. [12] μελέτησε ένα σύστημα GCHP υποβοηθούμενο από ηλιακά. Ο τρόπος θέρμανσης του συστήματος μπορεί να αλλάζει μεταξύ ηλιακής αντλίας θερμότητας και γεωθερμικής. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εφαρμογή ενός ηλιακού συστήματος GCHP είναι λογική. Έχουν γίνει πολλές μελέτες σχετικά με τη σύζευξη γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και θερμικών ηλιακών συλλεκτών.

Ο Kjellson [13] πρότεινε ένα μοντέλο στο οποίο το θερμαινόμενο υγρό από τον συλλέκτη θα κατευθυνθεί στις γεωτρήσεις αφού περάσει από τον εξατμιστήρα της αντλίας θερμότητας. Η επαναφόρτιση των κοιλοτήτων οδηγεί σε υψηλότερη θερμοκρασία του εδάφους και μικρότερο μήκος σωλήνων. Η θερμότητα που διέρχεται από τον εξατμιστή θα αυξήσει το συντελεστή απόδοσης της αντλίας θερμότητας και θα μειώσει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας του συμπιεστή και τις περιόδους λειτουργίας του.

Ο Trillat [14] παρουσίασε διαφορετικούς συνδυασμούς ηλιακών συλλεκτών και γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και επέλεξε το καλύτερο μοντέλο από οικονομική και τεχνική άποψη με αριθμητικές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το λογισμικό TRNSYS. Η χρήση του συνδυασμού ηλιακών συλλεκτών και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας συμβάλλει στη μείωση του λειτουργικού κόστους σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα.

Ο Jun [15] παρουσίασε ένα μαθηματικό μοντέλο λαμβάνοντας υπόψη επί τόπου τα αποτελέσματα ενός συνδυασμένου συστήματος ηλιακών συλλεκτών – γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και μετά την επίλυση της εξίσωσης που εξετάζει οικονομικούς και τεχνικούς περιορισμούς, βελτιστοποίησε το μήκος των γεωτρήσεων και τη συνολική επιφάνεια των συλλεκτών.

Ο Fang [16] χρησιμοποίησε 3d δυναμική και αριθμητική προσομοίωση του γεωεναλλάκτη θερμότητας και του εδάφους σε ένα συνδυασμένο σύστημα ηλιακού συλλέκτη-γεωθερμικής αντλίας θερμότητας και βελτιστοποίησε το μοντέλο μετά από εξέταση της θερμοκρασιακής μεταβολής και της ανάκτησης θερμότητας από το εδάφος. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η ανάκτηση θερμότητας του εδάφους θα αυξήσει την αξιοπιστία του συστήματος και θα μας βοηθήσει επίσης να το βελτιώσουμε οικονομικά. Η θερμοκρασία του εδάφους θα αυξηθεί κατά 3 ° μετά από ένα χρόνο λειτουργίας του συστήματος.

Ο Zhai [17] συνέκρινε διάφορα συστήματα που μπορούν να εγκατασταθούν με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας σε ένα συνδυασμένο σύστημα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο συντελεστής απόδοσης των διαφόρων συνδυασμών θα ήταν μεταξύ 3 και 5 και το σύστημα που συνδυάζει τη γεωθερμική αντλία θερμότητας με θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες είναι το καταλληλότερο για θέρμανση.

Ο Xi [18] μελέτησε μια γεωθερμική αντλία θερμότητας συζευγμένη με μοντέλο ηλιακού συλλέκτη που χρησιμοποιείται μαζί με ένα σύστημα αποθήκευσης θερμότητας για την παροχή θερμικού φορτίου και ζεστού νερού οικιακής χρήσης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η μέση ετήσια απόδοση για θέρμανση του περιβάλλοντος θα αυξηθεί έως και 26%, επειδή οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται για την αύξηση της θερμότητας που αποθηκεύεται στο έδαφος, μέσω της οποίας επιτυγχάνεται η θέρμανση του περιβάλλοντος.

Ο Eslami-nejad [19] μελέτησε τη σταθερή μεταφορά θερμότητας σε εναλλάκτες με σχήμα U, με δύο ανεξάρτητα κυκλώματα, από τα οποία το ένα συνδέεται με την αντλία θερμότητας για θέρμανση και το άλλο με ηλιακούς συλλέκτες για ανάκτηση θερμότητας. Η ανάκτηση θερμότητας του εδάφους θα μειώσει την εξαγωγή θερμότητας από τις γεωτρήσεις, το μήκος της γεωτρήσεως έως 18% και την κατανάλωση ενέργειας στην αντλία θερμότητας έως και 3,5% σε σύγκριση με το σύστημα χωρίς ανάκτηση θερμότητας. Η χρήση συστήματος με δύο ανεξάρτητα κυκλώματα θα μειώσει επίσης το μήκος της γεώτρησης κατά 33% και την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας έως και 6,5% σε σύγκριση με ένα σύστημα χωρίς ανάκτηση θερμότητας.

Ο Bakirci [20] μελέτησε το COP ενός συνδυασμένου συστήματος ηλιακών συλλεκτών-γεωθερμικής αντλίας θερμότητας εγκατεστημένο στο Erzurum, μια πόλη της Τουρκίας, σε διαφορετικές ώρες της ημέρας. Το συμπέρασμα που προέκυψε είναι ότι το COP του συνολικού συστήματος είναι κατά 10% χαμηλότερο από αυτό της αντλίας θερμότητας στο μοντέλο που μελετήθηκε και λαμβάνοντας υπόψη το πλεονέκτημα του συνδυασμένου συστήματος, είναι καταλληλότερο τόσο από οικονομικής όσο και από τεχνικής απόψεως και μπορεί να χρησιμοποιηθεί έναντι των συμβατικών συστημάτων.

Ο Wang [21] παρουσίασε ένα συνδυασμένο σύστημα ηλιακού συλλέκτη-γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με εποχιακή αποθήκευση. Η αποθήκευση πραγματοποιείται σε περιόδους που δεν υπάρχει ανάγκη για θέρμανση και το καλοκαίρι το έδαφος χρησιμοποιείται ως πηγή για την εξαγωγή θερμότητας από το κτίριο. Το χειμώνα δίνεται προτεραιότητα στους ηλιακούς συλλέκτες έναντι της αντλίας θερμότητας και το κτίριο θερμαίνεται μέσω του συνδυασμένου συστήματος. Η σχέση μεταξύ της θερμότητας που εξάγεται από το έδαφος και της θερμότητας που αποθηκεύεται σε αυτό θα είναι περίπου 75,5% για ένα χρόνο λειτουργίας, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του εδάφους να αυξηθεί και το COP της αντλίας θερμότητας να είναι περίπου 4,29.

Στην αξιολόγηση [22] παρουσιάστηκαν διάφορες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη θέρμανση ενός θερμοκηπίου. Αυτές οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι το βιοαέριο, η ηλιακή ενέργεια και η αντλία θερμότητας εδάφους με τον οριζόντιο εναλλάκτη θερμότητας στο έδαφος. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι αυτό το BSGSHPGHS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση θερμοκηπίου στις ανατολικές και νοτιοανατολικές περιοχές της Τουρκίας όπου η ζωική παραγωγή είναι σχετικά υψηλή. Μπορούμε να δούμε ότι κατά τη διάρκεια των πειραματικών μελετών η καταγραφεί σα μείωση της θερμοκρασίας εδάφους δεν ξεπέρασε τους 1°C γύρω από τον εναλλάκτη θερμότητας τύπου slinky και είναι εφικτή για τη θέρμανση του θερμοκηπίου. Το GHSP, το σύστημα βιοαερίου και ο συνδυασμός τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αυτόνομο σύστημα θέρμανσης.

Ο Balbay [23] ανέπτυξε ένα τρισδιάστατο μοντέλο φινιρισμένου στοιχείου για την προσομοίωση της κατανομής θερμοκρασίας της πλάκας γεφυρών (BS) και της πλάκας πεζοδρομίου (PS). Φάνηκε ότι οι θερμικές ιδιότητες που σχετίζονται με τη δομή του εδάφους είναι πολύ σημαντικές παράμετροι στο σχεδιασμό κάθετων συστημάτων GSHP. Η ανώτερη επιφάνεια των BS και PS είναι συνήθως εκτεθειμένη σε μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας από τις επιφάνειες του πυθμένα.

Στο [24] ο Balbay περιγράφει μια εναλλακτική μέθοδο για το λιώσιμο του χιονιού / πάγου στο πεζοδρόμιο και στις γέφυρες στην Τουρκία. Ο πάγος και το χιόνι στη γέφυρα (BS) και στην πλάκα πεζοδρομίου (PS) θερμάνθηκε και έπειτα λειώθηκε από ένα σύστημα κατακόρυφης αντλίας θερμότητας (GSHP). Ως αποτέλεσμα, οι τιμές του COP της GSHP που χρησιμοποιήθηκαν για την τήξη του χιονιού ήταν 1,99, 2,66 και 3,05 για βάθος 30, 60 και 90 m, αντίστοιχα. Θα χρειαστεί να εκτελεστεί μια ανάλυση πριν από το σχεδιασμό για να καθοριστούν οι βέλτιστοι παράμετροι του συστήματος που θα διασφαλίζουν την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας και το ευνοϊκότερο κόστος. Εάν το κόστος γεώτρησης μειωθεί και η αντλία θερμότητας μπορεί να παραχθεί πλήρως από την εθνική τεχνολογία, αυτά τα συστήματα θα προσφέρουν σημαντικά οφέλη στη χώρα μας.

Στο [25] μελετάται μια τεχνικοοικονομική σύγκριση μεταξύ μιας αντλίας θερμότητας συζευγμένης έδαφος (GCHP) και μιας αντλίας θερμότητας συζευγμένης με αέρα. Οι μέσοι συντελεστές απόδοσης ψύξης (COP_{sys}) του συστήματος GCHP για τον οριζόντιο εναλλάκτη θερμότητας εδάφους σε διαφορετικές τάφρους με βάθη 1 και 2 m, λήφθηκαν να είναι 3,85 και 4,26 και τα COP_{sys} του συστήματος ACHP καθορίστηκαν να είναι 3,17. Τα αποτελέσματα των δοκιμών δείχνουν ότι οι παράμετροι του συστήματος μπορούν να έχουν σημαντική επίπτωση στην απόδοση και ότι τα συστήματα GCHP είναι οικονομικότερα από τα συστήματα ACHP για ψύξη χώρων.

Η αριθμητική και η πειραματική ανάλυση ενός οριζόντιου συστήματος αντλίας θερμότητας με γείωση συγκρίθηκε στο [26]. Πειραματικά αποτελέσματα λαμβάνονται από τεστ και μια προσέγγιση της τελικής διαφοράς χρησιμοποιείται για αριθμητική ανάλυση. Αξιολογείται ο συντελεστής απόδοσης (COP_{sys}) του συστήματος της γεωθερμικής αντλίας. Παρατηρείται ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα συμφωνούν με τα πειραματικά και η κατανομή της θερμοκρασίας στο υπέδαφος και οι σχετικές ιδιότητες εδάφους πρέπει να μετρηθούν και να ελεγχθούν με ακρίβεια.

Ερευνήθηκαν οι ενεργειακές και εξεργειακές επιδόσεις των συστημάτων αντλίας θερμότητας εδάφους (GCHP) ως συνάρτηση του βάθους των τάφρων για περίοδο θέρμανσης [27]. Οι οριζόντιοι εναλλάκτες θερμότητας εδάφους (HGHE) χρησιμοποιήθηκαν και θάφτηκαν μέσα σε 1m (HGHE1) και 2m (HGHE2) βάθους τάφρου. Η ενεργειακή απόδοση των συστημάτων GCHP επιτυγχάνεται σε 2,5 και 2,8, αντίστοιχα, ενώ οι εξεργειακές επιδόσεις των συνολικών συστημάτων ανέρχονται σε 53,1% και 56,3%, αντίστοιχα, για τα HGHE1 και HGHE2. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι ενεργειακές και εξεργειακές επιδόσεις του συστήματος αυξάνονται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας (έδαφος).

Πειράματα έγιναν για να διαπιστωθεί πώς επηρεάστηκε η θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη δύο φάσεων από τη χρήση διαφορετικών ψυκτικών μέσων [28]. Τρία πανομοιότυπα μικρής κλίμακας ηλιακά συστήματα θέρμανσης με τη χρήση ψυκτικών μέσων R-134a, R407C και R410A, κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν δίπλα-δίπλα σε διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος και φορτίου. Η απόδοση του συστήματος υπό συνθήκες καθαρού ουρανού έχει διερευνηθεί με και χωρίς φορτίο νερού. Οι λεπτομερείς κατανομές της θερμοκρασίας και οι σωρευτικές επιδόσεις συλλογής προσδιορίστηκαν και παρουσιάστηκαν.

Τα πειραματικά αποτελέσματα συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία και έδειξαν καλή συμφωνία. Σε αυτή τη μελέτη, το συνδυασμένο σύστημα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε οι ηλιακοί συλλέκτες και η γεωθερμική αντλία θερμότητας να μπορούν να λειτουργούν μαζί ή ανεξάρτητα και η ηλιακή θερμότητα να κατευθύνεται για την προθέρμανση του εξατμιστή της αντλίας θερμότητας μέχρι μια θερμοκρασία καθορισμένου σημείου ή να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση θερμότητας του εδάφους που θα οριστεί μετά από ανάλυση διαγράμματος στο περιβάλλον του TRNSYS.

Έχει δοθεί προσπάθεια να βρεθεί μια λύση στην οποία το έδαφος μπορεί να ανακτηθεί το χειμώνα, κάτι που θα αποτρέψει τη μείωση του COP του συστήματος ως αποτέλεσμα της υψηλότερης εξαγωγής θερμότητας από αυτό όταν το απαιτούμενο θερμικό φορτίο είναι μέγιστο. Αυτό θα οδηγήσει στην απόσβεση του συστήματος, κάτι που επιτυγχάνεται και μέσω της διακοπτόμενης λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

4.2 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό πακέτο λογισμικού προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση, την ανάλυση και την αξιολόγηση συστημάτων με χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά. Χρησιμοποιείται κυρίως από μηχανικούς και ερευνητές με σκοπό τη μελέτη νέων ενεργειακών συστημάτων ή τη βελτίωση των ήδη υπάρχοντων ενεργειακών εγκαταστάσεων.

Ο παράγοντας που καθιστά το TRNSYS ένα σημαντικό ερευνητικό εργαλείο προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος, ο οποίος είναι βασισμένος σε αρχεία DLL, παρέχεται στο χρήστη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να τροποποιήσει τον κώδικα και να τον προσαρμόσει στις εκάστοτε απαιτήσεις και εφαρμογές ή να εισάγει νέα μοντέλα κατασκευασμένα σε κοινές γλώσσες προγραμματισμού όπως Fortran, C, C++, Pascal κλπ. Οι όροι “component” και “type” χρησιμοποιούνται ως συνώνυμα και περιγράφουν τμήματα του εξοπλισμού προσομοίωσης ή περιεχόμενα της βιβλιοθήκης (είτε μιλάμε για στοιχεία hardware είτε για software) Επιπρόσθετα, το TRNSYS έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί εύκολα με πολλά άλλα υπολογιστικά προγράμματα για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab κ.α.).

Στο πακέτο του συγκεκριμένου λογισμικού προγράμματος περιλαμβάνονται εφαρμογές ηλιακών συστημάτων (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά), συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και συστήματα Συμπαραγωγής, Κυψέλες καυσίμου καθώς και οποιοδήποτε άλλο σύστημα που απαιτεί δυναμική προσομοίωση.



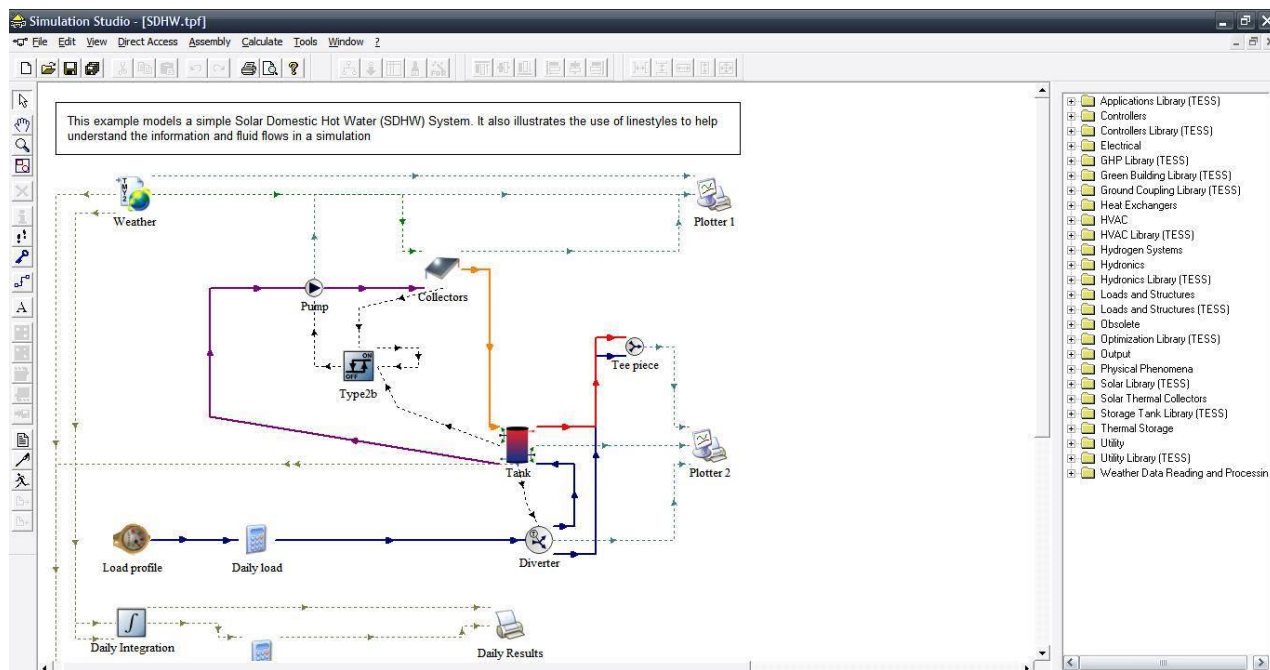
Σχήμα 4.1: Λογότυπο TRNSYS

Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το TRNSYS Simulation Studio και το εκτελέσιμο αρχείο του TRNExe.exe, το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων TRNBuild.exe, και τον επεξεργαστή TRNEdit.exe με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα. Το πρόβλημα προσομοίωσης περιορίζεται σ' ένα πρόβλημα αναγνώρισης των μηχανικών τμημάτων που απαρτίζουν ένα σύστημα και τέλος, επεξεργασίας και διευθέτησης των διαφόρων εντολών (μαθηματική ανάλυση) μέσω των διαφόρων στοιχείων software που έχουν τοποθετηθεί στο υπό προσομοίωση σύστημα.

Επισημαίνεται βεβαίως ότι το TRNSYS είναι ένα πρόγραμμα του οποίου το λογισμικό μεταλλάσσεται συνεχώς αφού δίνει στους χρήστες, τη δυνατότητα να επέμβουν στην βιβλιοθήκη του, εμπλουτίζοντάς τη με καινούργια στοιχεία ή διορθώνοντας παλαιότερα.

4.2.1 TRNSYS Simulation Studio

Το στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS είναι το κεντρικό του γραφικό περιβάλλον. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης, σέρνοντας με το ποντίκι τα εκάστοτε μοντέλα στο παράθυρο εργασίας, συνδέοντάς τα μαζί και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Όταν ο χρήστης σύρει κάποιο μοντέλο στην επιφάνεια εργασίας, αυτό αναπαρίσταται με το δικό του μοναδικό εικονίδιο.



Σχήμα 4.2: Το στούντιο προσομοίωσης TRNSYS

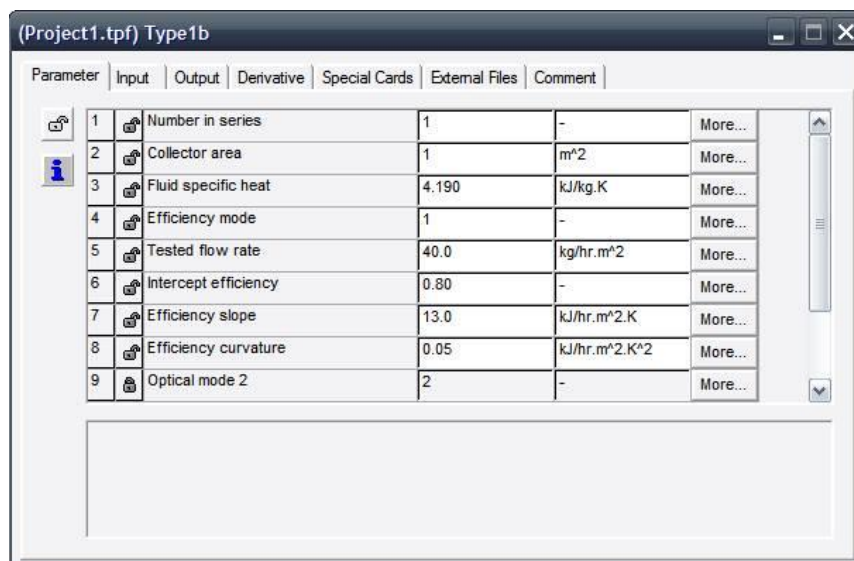
Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί ένα αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη, μορφής *.trf. Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου (input file), το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης. Η δημιουργία ενός project ξεκινά με την επιλογή από το “File/New menu” του “New Empty Project”. Τα διάφορα στοιχεία επιλέγονται είτε από το Direct Access menu είτε μέσω του «δέντρου», στα δεξιά της οθόνης εργασίας και τοποθετούνται στην κύρια οθόνη εργασίας με τη βοήθεια του ποντικιού. Με την τοποθέτησή τους ξεκινάει η σύνδεση τους.

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης καθορίζει ποιες μεταβλητές ενσωματώνονται, ποιες εκτυπώνονται και ποιες θα χρησιμοποιηθούν σε διαγράμματα. Ακόμη, συγκαταλέγει έναν διαχειριστή σφαλμάτων, ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Τέλος, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές επιπρόσθετες διεργασίες, όπως να δημιουργήσει νέα υπολογιστικά μοντέλα προκειμένου να τα εισάγει στο TRNSYS με την επιλογή 'Fortran Wizard' ,αλλά και να προβάλλει ή/και επεξεργαστεί τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους ενός ήδη υπάρχοντος μοντέλου.

4.2.2 Ρύθμιση των επιλεγμένων μοντέλων της προσομοίωσης:

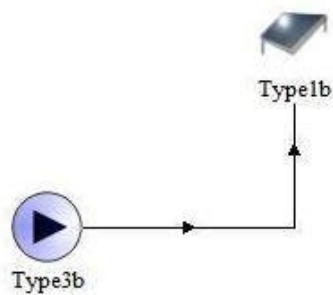
Η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου. Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παράμετροι, εισοδοί, έξοδοι, παράγωγοι, ειδικές κάρτες, εξωτερικά αρχεία και σχόλια. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραλείπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο.



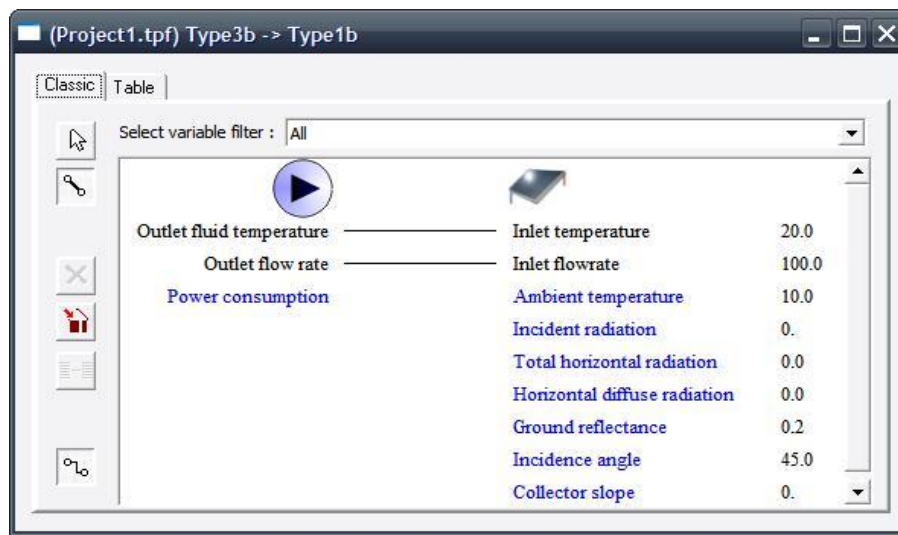
Σχήμα 4.3: Παράθυρο ενός μοντέλου

4.2.3 Συνδέσεις:

Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να συνδέσουμε. Η φορά της γραμμής ή καλωδίου που ενώνει δύο components είναι πολύ σημαντική γιατί μας δείχνει τη φορά ροής των δεδομένων. Από το component που ξεκινά μια γραμμή σύνδεσης χρησιμοποιούνται τα outputs ή εξόδοι ενώ στο component που καταλήγει, χρησιμοποιούνται τα inputs ή εισόδοι. Με διπλό κλικ στη γραμμή σύνδεσης δυο στοιχείων, μπορούμε να επιλέξουμε τις εξόδους του ενός που θα ενώνονται με τις εισόδους του άλλου. Το TRNSYS είναι ήδη ρυθμισμένο να μην δέχεται τη διασύνδεση μεταβλητών διαφορετικών διαστάσεων.



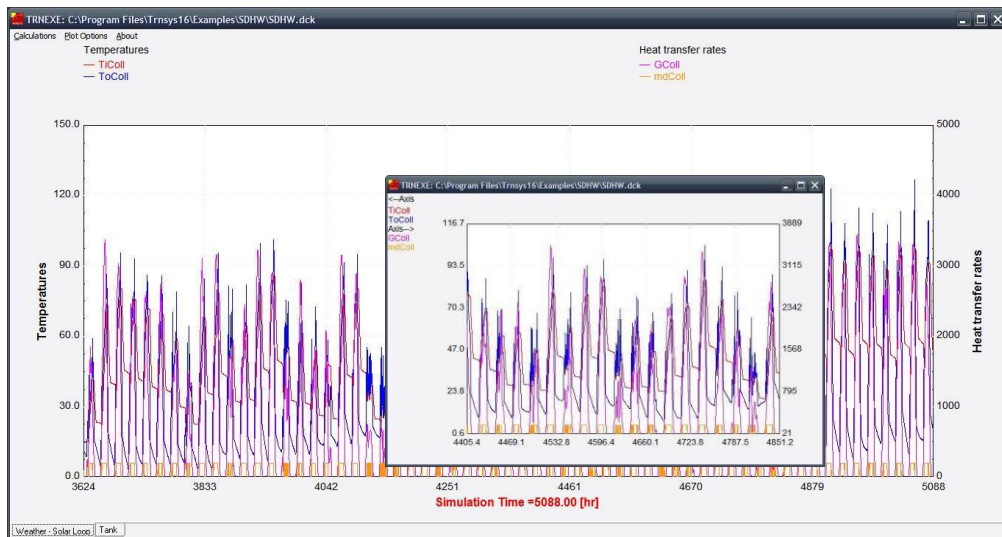
Σχήμα 4.4: Σύνδεση μεταξύ των μοντέλων



Σχήμα 4.5: Παράθυρο συνδέσεων

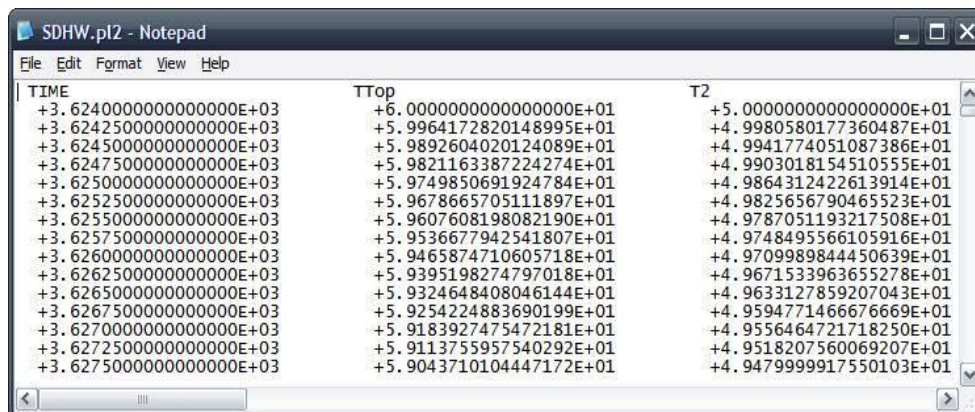
4.2.4 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων:

Η προσομοίωση εκτελείται πληκτρολογώντας “F8” ή κάνοντας κλικ στην συντόμευση “Calculate/Run” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Εάν στο πρόγραμμα της προσομοίωσης έχει προστεθεί τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται ένα διάγραμμα κατά τη διάρκεια των υπολογισμών της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.



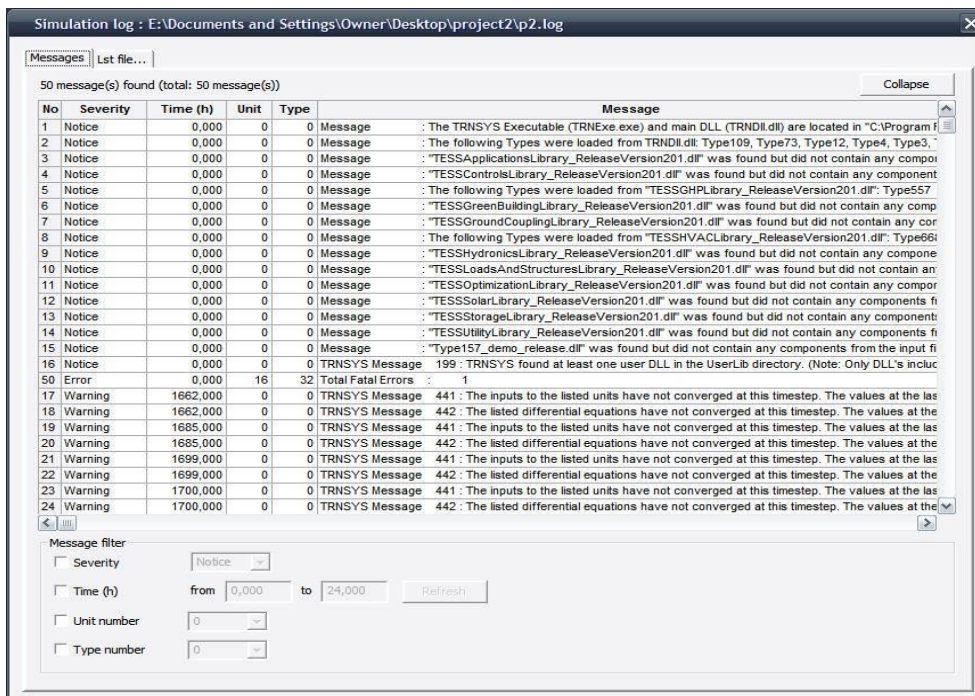
Σχήμα 4.6: Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί μέσω του στούντιο προσομοίωσης κάνοντας κλικ στο "Calculate/ Open/ External Files" στο επάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.



Σχήμα 4.7: Εκτύπωση σε αρχείο εξόδου

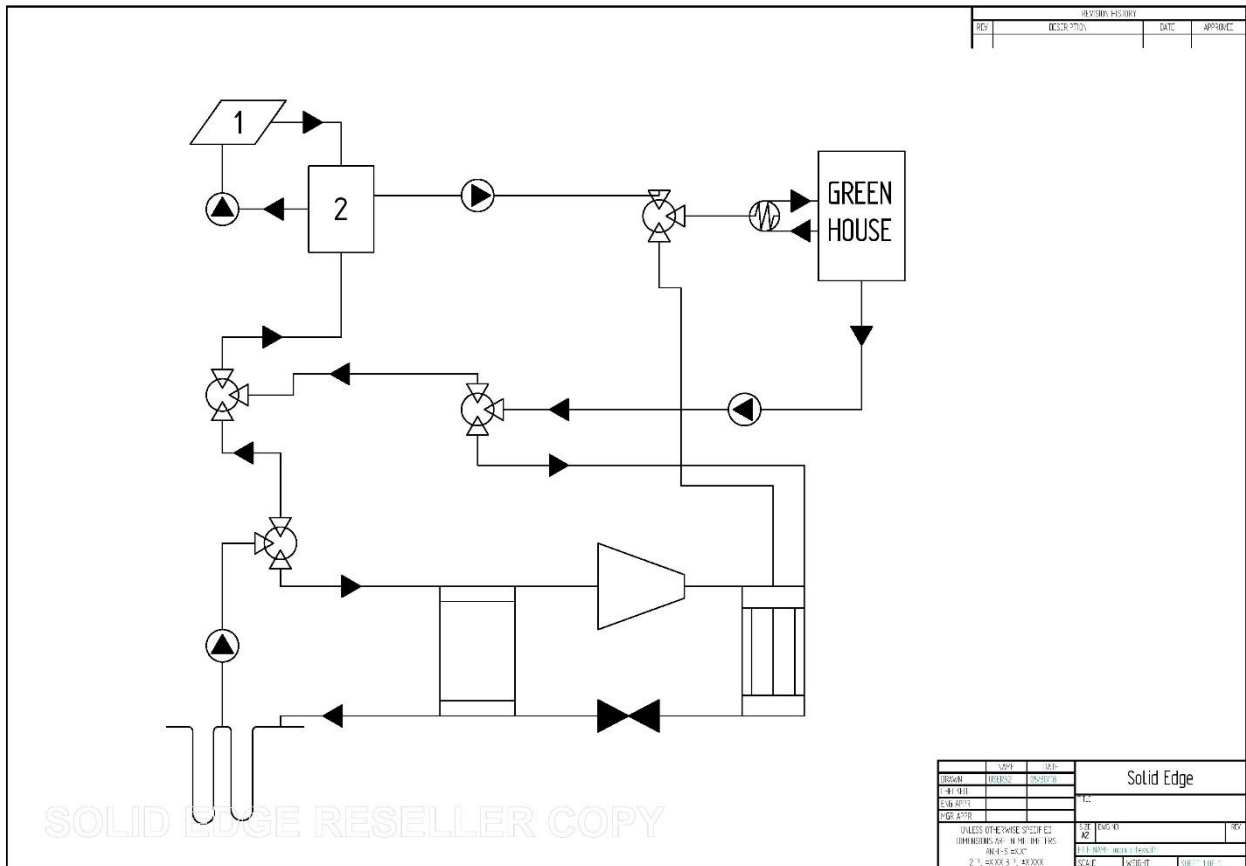
Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης δημιουργείται αρχείο καταγραφής γεγονότων στο οποίο καταγράφονται εκτός των άλλων και τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων. Το παράθυρο του διαχειριστή σφαλμάτων εμφανίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “LST” στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Στο παράθυρο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Επίσης μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο “Listing file”, το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους.



Σχήμα 4.8: Μήνυμα λάθους κατά τη προσομοίωση

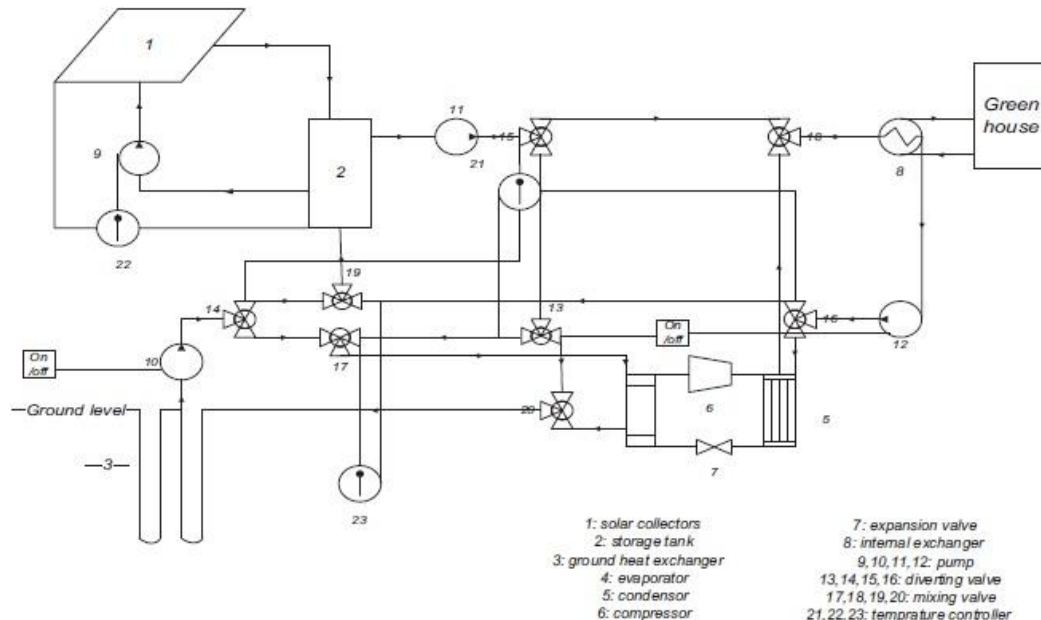
4.3 Περιγραφή του κύκλου

Το πρώτο μοντέλο αποτελεί μια γεωθερμική αντλία θερμότητας τύπου νερού-νερού συζευγμένη με ηλιακούς συλλέκτες για θέρμανση ενός θερμοκηπίου κατά τους χειμερινούς μήνες. Το παραγόμενο θερμό ρευστό από τους συλλέκτες αποθηκεύεται σε δοχείο αποθήκευσης. Μέσω μιας αντλίας κατευθύνεται σε μια βαλβίδα εκτροπής όπου αναμειγνύεται με το παραγόμενο θερμό ρευστό από την γεωθερμική αντλία και καταλήγει στον εναλλάκτη θερμότητας του θερμοκηπίου. Οι αντλίες της γεωθερμίας και του εσωτερικού εναλλάκτη του θερμοκηπίου ρυθμίζονται να λειτουργούν μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες ενώ η αντλία των συλλεκτών ρυθμίζεται από ένα διαφορικό ελεγκτή που λειτουργεί με βάση τη θερμοκρασιακή διαφορά του ρεύματος εξόδου από τα ηλιακά και του ρεύματος εξόδου από το δοχείο αποθήκευσης.



Σχήμα 4.9: Διάταξη πρώτης μονάδας

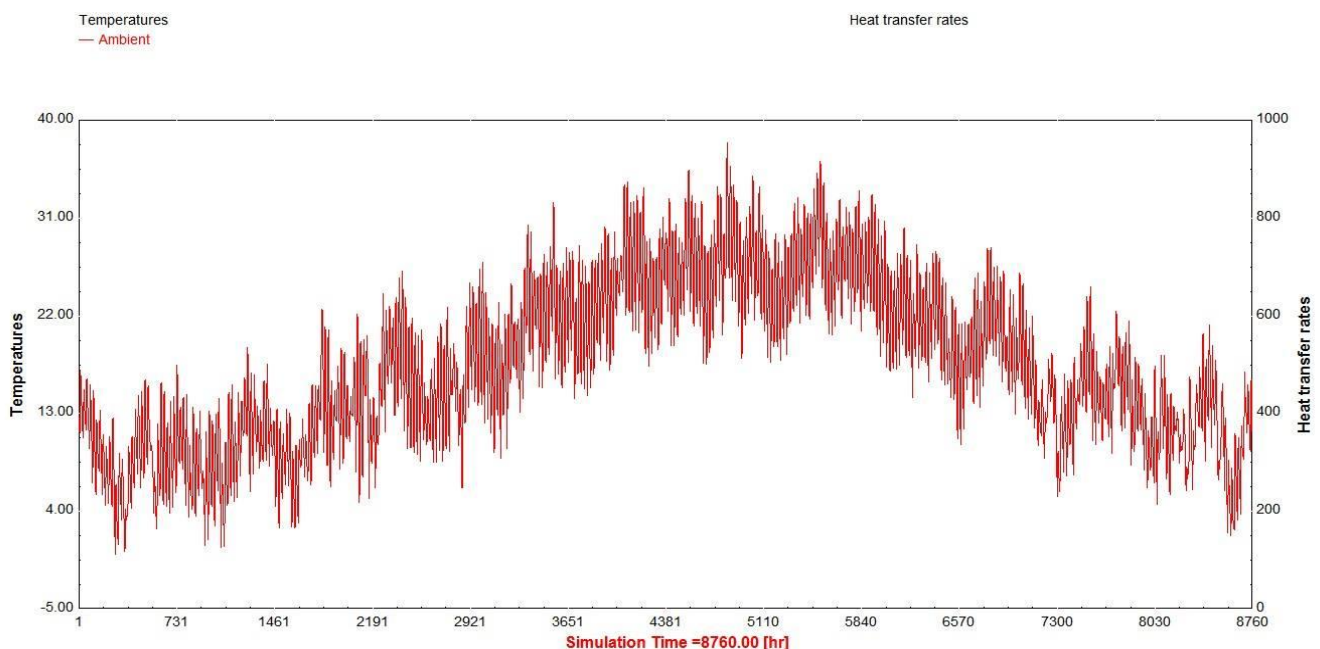
Το δεύτερο μοντέλο επιλέγεται έτσι ώστε η ανάκτηση θερμότητας του εδάφους και η προθέρμανση του ρευστού που εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας μέχρι μία καθορισμένη θερμοκρασία να γίνεται κατά τη διάρκεια των εποχών θέρμανσης για να αυξηθεί το COP και να αποφευχθεί η μείωσή του όταν η εξαγωγή θερμότητας από το έδαφος είναι υψηλότερη από τη κανονική. Η ανάκτηση πραγματοποιείται επίσης κατά τη διάρκεια περιόδων μη θέρμανσης για να αποφευχθεί η μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους κατά τη διάρκεια των ετών λειτουργίας λόγω της εξαγωγής θερμότητας από το έδαφος. Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας παρουσιάζεται στο σχήμα 1. Όπως φαίνεται στο σχήμα 1, το θερμό ρευστό από τη δεξαμενή μεταφέρεται στην βαλβίδα εκτροπής 15. Από εκεί το ρευστό μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για τη θέρμανση του θερμοκηπίου είτε να εισέλθει στη βαλβίδα εκτροπής 13 στον συνδυασμό και των δύο. Σε αυτή τη βαλβίδα το θερμό ρευστό χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του υγρού που εισέρχεται στον εξατμιστή της αντλίας θερμότητας μέχρι τους 12 C σε περιόδους θέρμανσης είτε για την ανάκτηση θερμότητας του εδάφους γύρω από τον εναλλάκτη θερμότητας σε εποχές μη θέρμανσης. Σημαντικό στοιχείο είναι η γενική λειτουργία των βαλβίδων που καθορίζεται από controller θερμοκρασίας . Ο controller 23 καθορίζει την απόδοση της βαλβίδας εκτροπής 15, λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τη βαλβίδα μίξης 17. Από την άλλη πλευρά, η γενική απόδοση της βαλβίδας εκτροπής 13 και των αντλιών 10 και 12 είναι οι ίδιες και μπορούν να οριστούν με διακόπτη on / off. Τέλος η λειτουργία των βαλβίδων εκτροπής 14 και 16 είναι ακριβώς ίδια όπως της βαλβίδας 15. Υπάρχει κάποιος επιπλέον στρατηγικός έλεγχος που θα εξηγηθεί μετά το σχεδιασμό του μοντέλου στο περιβάλλον του TRNSYS.



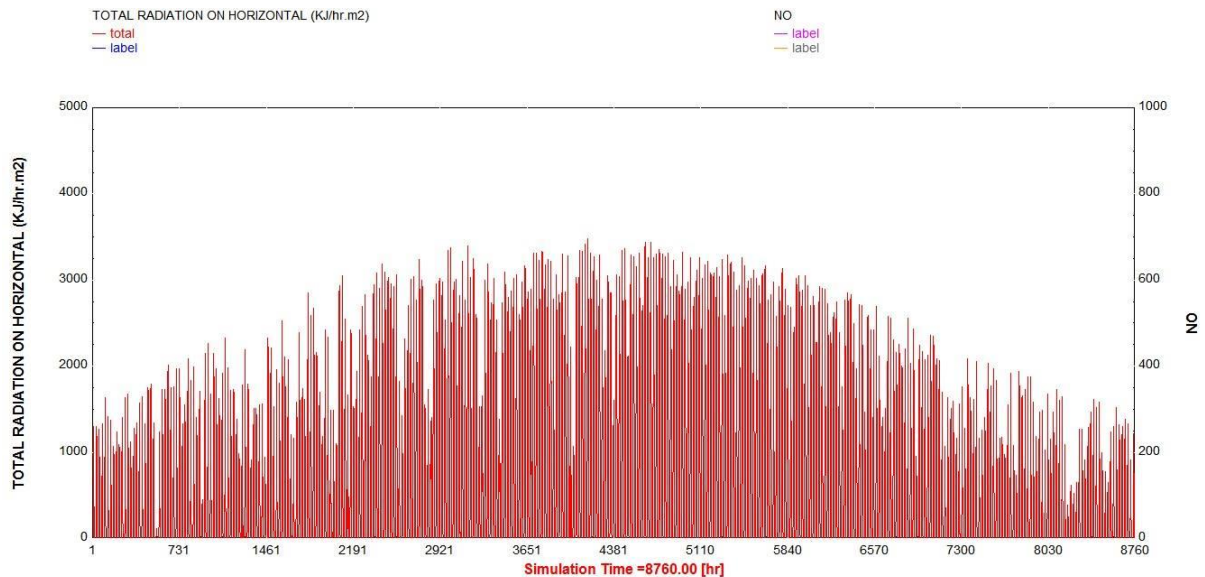
Σχήμα 4.10: Διάταξη δεύτερης μονάδας

Βασικές πληροφορίες

Το θερμοκήπιο του δείγματος που χρησιμοποιείται σε αυτό το μοντέλο είναι 130 m^2 και είναι κατασκευασμένο από πολυαιθυλένιο διπλής στρώσης. Εγκαθίσταται στην Αθήνα. Τα διαγράμματα θερμοκρασίας περιβάλλοντος και ηλιακής ακτινοβολίας της Αθήνας φαίνονται στα Σχ. 2 και 3, αντίστοιχα. Το όριο θερμοκρασίας που είναι ασφαλές για την καλύτερη ανάπτυξη φυτών κυμαίνεται μεταξύ 12°C και 29°C , γι' αυτό επιλέγουμε 18°C ως θερμοκρασία σχεδιασμού που είναι κατάλληλη για τα περισσότερα φυτά. Έτσι, το απαιτούμενο μέγιστο θερμικό φορτίο μπορεί να υπολογιστεί με βάση τη χαμηλότερη θερμοκρασία το χειμώνα και είναι περίπου 10 kW . Σε αυτή την έρευνα, μέρος του φορτίου που τροφοδοτείται από ηλιακούς συλλέκτες θεωρείται 20% ως βασικό σχέδιο. Επιπλέον, η ενέργεια που υποστηρίζεται από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι περίπου 520 kW h ανά m^2 συλλέκτη στην Αθήνα κατά τη διάρκεια των χειμερινών εποχών, από την άλλη πλευρά, κατά κανόνα η ενέργεια που εξάγεται από τις γεωτρήσεις είναι 1 kW ανά 20 m εναλλάκτη θερμότητας. Το υλικό που χρησιμοποιείται για καλύτερη μεταφορά θερμότητας του εναλλάκτη θερμότητας είναι το πολυαιθυλένιο με διάμετρο $32\text{-}40 \text{ mm}$ και πάχος $2\text{-}3,7 \text{ mm}$. Το ρευστό που επιλέγεται ώστε να είναι κατάλληλο και για τα δύο συστήματα είναι ένα μίγμα νερού-αιθανόλης (70% αιθανόλη) με ειδική θερμοχωρητικότητα $3.32 \text{ kJ/Kg}\cdot\text{K}$ και πυκνότητα 1106 kg/m^3 . Άλλα δεδομένα και τύποι που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση αναφέρονται στη συνέχεια.

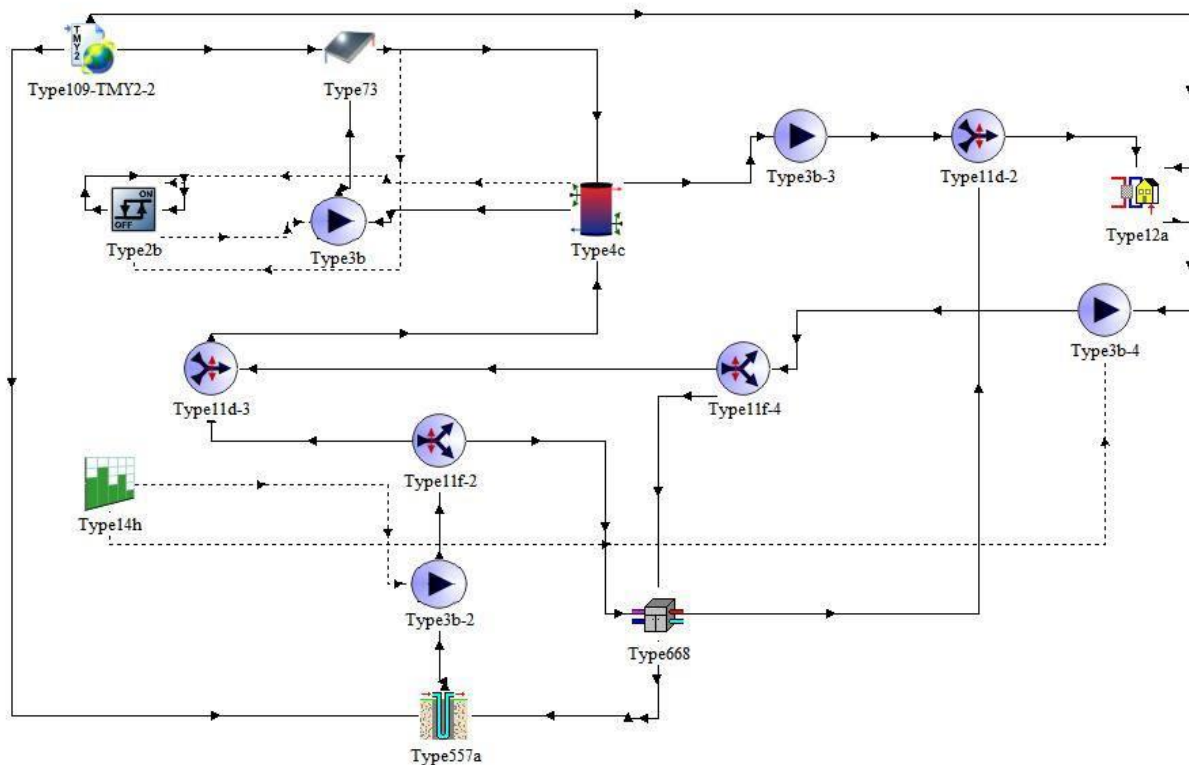


Σχήμα 4.11: Εξωτερική θερμοκρασία

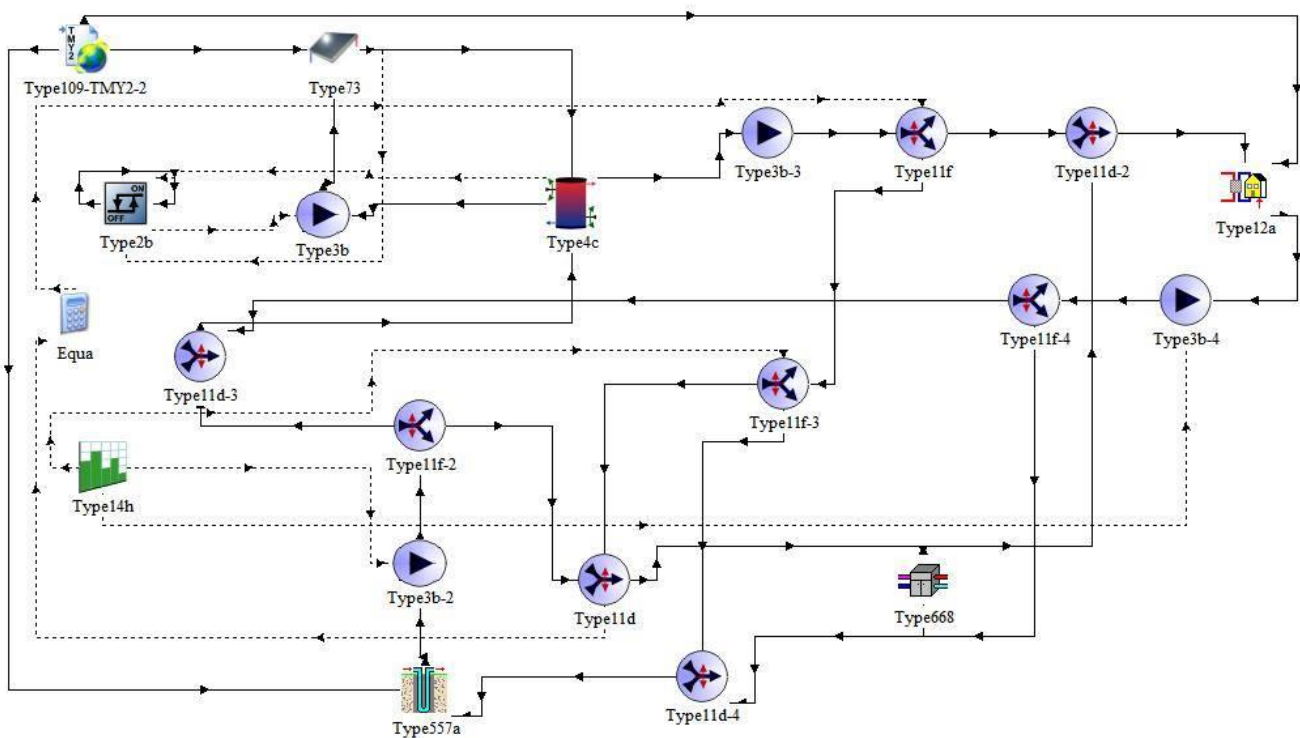


Σχήμα 4.12: Ολική ακτινοβολία στο οριζόντιο δάπεδο

Η διαδικασία ξεκινά με τη σύνδεση των κύριων συστατικών του ηλιακού συστήματος και της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ξεχωριστά και στη συνέχεια συνδυάζοντας αυτά τα δύο συστήματα μαζί. Το υγρό από τη δεξαμενή μπορεί να κατευθύνεται στο component που θέλουμε, χρησιμοποιώντας βαλβίδες εκτροπής και μίξης. Η σχέση μεταξύ των διαφόρων τμημάτων των 2 συστημάτων φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 4.13: Σχηματική απεικόνιση του πρώτου συστήματος στο στούντιο προσομοίωσης



Σχήμα 4.14: Σχηματική απεικόνιση του δεύτερου συστήματος στο στούντιο προσομοίωσης

4.4 Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης

I. Περιβαντολογικά δεδομένα-Type109-TMY2: Data reader and Radiation Processor



Αυτό το component εξυπηρετεί το σκοπό της ανάγνωσης των καιρικών δεδομένων ανα χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο, τη μετατροπή του σε ένα επιθυμητό σύστημα μονάδων και την επεξεργασία των δεδομένων της ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να εξασφαλίζεται ακτινοβολία κεκλιμένης επιφάνειας και γωνία πρόσπτωσης για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις, πάρθηκαν από τη βιβλιοθήκη του TRNSYS για την περιοχή της Αθήνας με γεωγραφικό πλάτος 37°'97' και γεωγραφικό μήκος 23°'72'. Επιλέχθηκε αζιμούθιο επιφάνειας 0 και κλίση συλλεκτών 30° ως βέλτιστη για τους χειμερινούς μήνες.

II. Ηλιακός συλλέκτης-Type 73:Theoretical Flat Plate collector



Αυτό το component μοντελοποιεί ένα θεωρητικό συλλέκτη επίπεδης πλάκας και υπολογίζει τη θερμική του απόδοση. Η συνολική επιφάνεια του συλλέκτη μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά και παράλληλα. Η θερμική απόδοση της συνολικής συστοιχίας συλλεκτών καθορίζεται από τον αριθμό των μονάδων σε σειρά και τα χαρακτηριστικά κάθε στοιχείου. Αυτό το μοντέλο παρέχει τις θεωρητικές αναλύσεις μιας επίπεδης πλάκας. Το μοντέλο σταθερής κατάστασης Hottel-Whillier χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της θερμικής απόδοσης.

Ορολογία

A	[m ²]	Ολικό εμβαδόν συστοιχίας συλλεκτών ή ακαθάριστο εμβαδόν (σύμφωνα με τα FR (τα), FRUL, FRUL / T και Gtest)
A _a	[m ²]	Περιοχή διαφράγματος μίας μονάδας συλλέκτη
A _r	[m ²]	Απορροφητική περιοχή μιας μονάδας συλλέκτη
a ₀	[-]	Ανίχνευση (μέγιστη) αποδοτικότητας συλλέκτη
a ₁	[kJ/h-m ² -K]	Αρνητικός συντελεστής πρώτης τάξης στην εξίσωση αποδοτικότητας συλλέκτη
a ₂	[kJ/h-m ² -K ²]	Αρνητικός συντελεστής δεύτερης τάξης στην εξίσωση αποδοτικότητας συλλέκτη
b ₀	[-]	Αρνητικός συντελεστής πρώτης τάξης στην καμπύλη μεταβολής της γωνίας προσβολής
b ₁	[-]	Αρνητικός συντελεστής 2ης τάξης στην εξίσωση προσαρμογής της καμπύλης IAM
C _{pf}	[kJ/kg-K]	Ειδική θερμότητα υγρού συλλέκτη
C _{min}	[kJ/h-K]	Ελάχιστος ρυθμός χωρητικότητας (χρόνοι ροής μάζας ειδικής θερμότητας) των ρευμάτων ροής του εναλλάκτη
FR	[-]	Συνολικός συντελεστής απόδοσης απομάκρυνσης θερμότητας συλλέκτη

F_{av} όχι T_i	[-]	Τροποποιημένη τιμή του FR όταν η απόδοση δίνεται σε όρους T_{av} ,
F_o όχι T_i	[-]	Τροποποιημένη τιμή του FR όταν η απόδοση δίνεται με όρους T_o ,
I	[kJ/h-m ²]	Συνολική (ολική) οριζόντια ακτινοβολία
I_d	[kJ/h-m ²]	Διάχυτη οριζόντια ακτινοβολία
I_T (κεκλιμένη επιφάνεια)	[kJ/h-m ²]	Παγκόσμια επίδραση ακτινοβολίας στον ηλιακό συλλέκτη
$I_b T$	[kJ/h-m ²]	Η ακτινοβολία δέσμης που προσπίπτει στον ηλιακό συλλέκτη
$m\&$	[kg/h]	Ροή κατά τη χρήση
$m\& test$	[kg/h]	Ροή σε συνθήκες δοκιμής
NS	[-]	Αριθμός ταυτόσημων συλλεκτών σε σειρά
$Q_u \&$	[kJ/h]	Χρήσιμο κέρδος ενέργειας
T_a	[°C]	Εξωτερική θερμοκρασία αέρα
T_{av}	[°C]	Μέση θερμοκρασία υγρού συλλέκτη
T_i	[°C]	Θερμοκρασία εισόδου του υγρού στον συλλέκτη
T_o	[°C]	Θερμοκρασία εξόδου υγρού από τον συλλέκτη
UL μονάδα επιφάνειας	[kJ/h-m ² -K]	Συνολικός συντελεστής θερμικής απώλειας του συλλέκτη ανά μονάδα επιφάνειας
UL/T	[kJ/h-m ² -K ²]	Εξάρτηση του συντελεστή θερμικής απώλειας από την T
α	[-]	Απομάκρυνση βραχέων κυμάτων της πλάκας απορρόφησης
β	[°]	κλίση του συλλέκτη πάνω από το οριζόντιο επίπεδο
θ	[°]	Γωνία πρόσπτωσης για την ακτινοβολία δέσμης
ρ_g	[-]	Ανάκλαση εδάφους
τ συλλέκτη	[-]	Διαπερατότητα βραχέων κυμάτων του καλύμματος του συλλέκτη

(τα)	[-]	Προϊόν της διαπερατότητας του καλύμματος και της απορροφητικότητας του απορροφητή
(τα)b	[-]	(τα) για ακτινοβολία δέσμης (εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης θ)
(τα)n	[-]	(τα) σε κανονική επίπτωση
(τα)s	[-]	(τα) για την διάχυτη ακτινοβολία του ουρανού
(τα)g	[-]	(τα) για ακτινοβολία ανακλώμενη στο έδαφος

Μαθηματική αναφορά

Η ενέργεια που απορροφά κάθε συλλέκτης σε παράταξη σειράς συστοιχιών N_s διαμορφώνεται σύμφωνα με την εξίσωση Hottel-Whillier (j ο αριθμός του συλλέκτη):

$$Q_u = \frac{A}{N_s} \cdot \sum_{j=1}^{N_s} F_{R,j} \cdot \left(I_T \cdot (\tau\alpha) - U_{L,j} (T_{L,j} - T_a) \right) \quad (1)$$

όπου:

$$F_{R,j} = \frac{N_s \cdot m_c \cdot c_{pc}}{A \cdot U_{L,j}} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{F' \cdot U_{L,j} \cdot A}{N_s \cdot m_c \cdot c_{pc}} \right)} \right) \quad (2)$$

Ο συνολικός συντελεστής απώλειας είναι μια περίπλοκη εξίσωση των κατασκευαστικών στοιχείων του συλλέκτη και των συνθηκών λειτουργίας του. Η ακόλουθη εξίσωση, που αναπτύχθηκε από τον Klein το 1975, χρησιμοποιείται για την προσέγγιση των $U_{L,j}$ σε μονάδες $\text{kJ} / \text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$:

$$U_{L,j} = \frac{3.6}{N_G} + \frac{3.6 \cdot \sigma (T_{av,j}^2 + T_a^2) \cdot (T_{av,j} + T_a)}{1 + \frac{2N_G + f - a}{\varepsilon_p + 0.05 \cdot N_G (1 - \varepsilon_p)} + \frac{N_G}{\varepsilon_g}} + U_{be} \quad (3)$$

$$\frac{C}{T_{p,j} \left[\frac{T_{av,j} - T_a}{N_G + f} \right]^{0.33}} + \frac{1}{h_w}$$

όπου:

$$h_w = 5.7 + 3.8 W \left(\frac{W}{m^2} \cdot K \right) \quad (4)$$

$$f = (1 - 0.04 \cdot h_w + 0.0005 \cdot h_w^2) \cdot (1 + 0.091 \cdot N_G) \quad (5)$$

$$c = 365.9 \cdot (1 - 0.00883 \cdot \beta + 0.0001298 \cdot \beta^2) \quad (6)$$

Ο συντελεστής συνολικής απορρόφησης-διαπερατότητας προσδιορίζεται ως:

$$(\tau\alpha) = \frac{I_{bT} \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \cdot (\tau\alpha)_s + \rho I \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \cdot (\tau\alpha)_g}{I_T} \quad (7)$$

Οι συντελεστές απορρόφησης και διαπερατότητας για ακτινοβολία δέσμης, διάχυτη ουρανού και διάχυτη ακτινοβολία εδάφους προσδιορίζονται με την εξίσωση ρουτίνας TALF. Οι γωνίες πρόσπτωσης για ακτινοβολίες διάχυτου ουρανού και ανακλώμενου εδάφους ορίζονται στην περιγραφή του μοντέλου του συλλέκτη. Η θερμοκρασία εξόδου μιας μονάδας συλλέκτη χρησιμοποιείται ως είσοδος στην επόμενη και δίνεται από την εξίσωση:

$$T_{o,j} = \frac{AF_{R,j} \cdot (I_T(\tau\alpha) - U_{L,j} \cdot (T_{i,j} - T_a))}{N_s \cdot m_c \cdot C_{pc}} + T_i \quad (8)$$

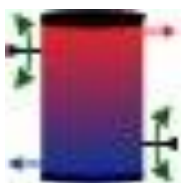
Εάν η ροή στο συλλέκτη είναι μηδέν, η θερμοκρασία στασιμότητας του συλλέκτη είναι:

$$T_p = \frac{I_T(\tau\alpha)}{U_L} + T_a \quad (9)$$

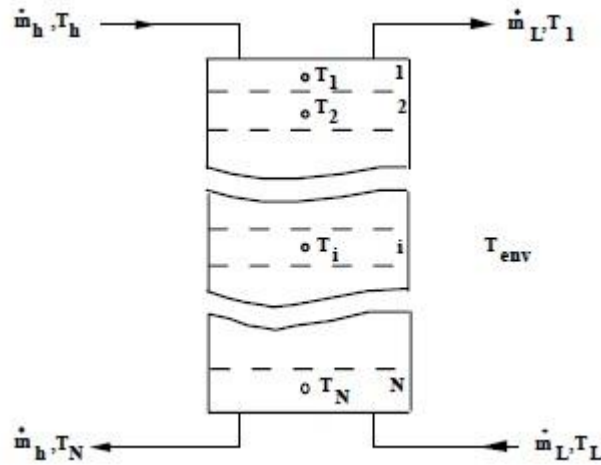
Παράμετροι:

Στοιχεία σε σειρά	4	
Συνολική επιφάνεια συλλεκτών	10	m ²
Ειδική θερμοχωρητικότητα ρευστού	3,32	kJ/Kg.K
Συντελεστής αποτελεσματικότητας πτερυγίου συλλέκτη	0,7	
Συντελεστής πλευρικών απωλειών και πυθμένα	10	kJ/hr.m ² .K
Εκπομπή πλάκας απορρόφησης	0,11	
Απορροφητικότητα πλάκας απορρόφησης	0,9	
Αριθμός καλυμμάτων	1	
Δείκτης διάθλασης του καλύμματος	1,526	
Συντελεστής εξάλειψης πάχους υλικού	0,0026	

III. Δοχείο αποθήκευσης-Type4c:Storage tank; Variable inlets, Uniform loses



Η θερμική απόδοση μιας δεξαμενής αποθήκευσης ενέργειας με θερμική διαστρωμάτωση μπορεί να μοντελοποιηθεί με την υπόθεση ότι η δεξαμενή αποτελείται από N ($N \leq 15$) πλήρως αναμειγμένα τμήματα ίσου όγκου, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ο βαθμός στρωματοποίησης καθορίζεται από τη τιμή του N . Αν το N είναι ίσο με 1, η δεξαμενή αποθήκευσης διαμορφώνεται ως δεξαμενή πλήρης ανάμειξης και δεν είναι δυνατή η διαστρωμάτωση. Είναι διαθέσιμες οι επιλογές σταθερών ή μεταβλητών εισόδων, κόμβων άνισου μεγέθους και ύπαρξης βοηθητικών θερμοαντήρων που λειτουργούν με θερμοστάτες.



Σχήμα 4.15: Τμήματα δεξαμενής και ροές [48]

Ορολογία

A_i Εμβαδόν επιφανείας της δεξαμενής

C_{pf} Ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού της δεξαμενής

H_i Ύψος του τμήματος i

i Τμήματα δεξαμενής με το πιο θερμό να ξεκινά με $i = 1$

$I1$ ο αριθμός του τμήματος δεξαμενής στον οποίο βρίσκεται ο πρώτος θερμαντήρας $1 \leq I1 \leq N$

$I2$ ο αριθμός του τμήματος δεξαμενής στο οποίο βρίσκεται ο δεύτερος θερμαντήρας $1 \leq I2 \leq N$

$IN1$ θέση κόμβου εισαγωγής ροής από την πηγή θερμότητας $1 \leq IN1 \leq N$

$IN2$ θέση κόμβου επιστροφής της ροής από το φορτίο $1 \leq IN2 \leq N$

$IT, 1$ ο αριθμός του τμήματος της δεξαμενής στον οποίο βρίσκεται ο θερμοστάτης του πρώτου θερμαντήρα $1 \leq IT, 1 \leq N$

$IT, 2$ ο αριθμός του τμήματος δεξαμενής στον οποίο βρίσκεται ο δεύτερος θερμοστάτης θερμαντήρα $1 \leq IT, 2 \leq N$

M_i μάζα του υγρού στο i -τμήμα

m_L παροχή ρευστού απο ή προς το φορτίο

m_h παροχή ρευστού στη δεξαμενή από την πηγή θερμότητας

N αριθμός (ομοιόμορφης θερμοκρασίας) τμημάτων δεξαμενών ($N \leq 15$)

Q_{aux} συνολική παροχή ενέργειας από τον θερμαντήρα

- $Q_{aux, 1}$ παροχή ενέργειας από τον πρώτο βοηθητικό θερμαντήρα
- $Q_{aux, 2}$ παροχή ενέργειας από το δεύτερο βοηθητικό θερμαντήρα
- Q_{env} ρυθμός απώλειας ενέργειας από τη δεξαμενή προς το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων των αποτελεσμάτων βρασμού, εάν υπάρχουν
- $Q_{HE, 1}$ μέγιστη παροχή ενέργειας από τον πρώτο θερμαντήρα
- $Q_{HE, 2}$ μέγιστη παροχή ενέργειας από τον δεύτερο θερμαντήρα
- Q_i ρυθμός παροχής ενέργειας από το στοιχείο θέρμανσης στο i τμήμα
- Q_{in} ρυθμός παροχής ενέργειας στη δεξαμενή από ρεύμα θερμού ρευστού
- Q_{req} ρυθμός παροχής ενέργειας από τον θερμαντήρα που είναι απαραίτητος για όλα τα τμήματα $i \leq l$ ώστε να αποκτήσουν τη καθορισμένη θερμοκρασία της δεξαμενής.
- Q_s ποσοστό της αισθητής ενέργειας που μεταφέρεται από τη δεξαμενή προς το φορτίο
- Sh αριθμός του τμήματος δεξαμενής στο οποίο εισέρχεται το ρευστό από την πηγή θερμότητας $1 \leq Sh \leq N$
- SL ο αριθμός του τμήματος δεξαμενής στο οποίο εισέρχεται το ρευστό που αντικαθιστά εκείνο που εξάγεται για την παροχή του φορτίου $1 \leq SL \leq N$
- t χρόνος
- T μέση θερμοκρασία δοχείου
- T_{env} θερμοκρασία του περιβάλλοντος που περιβάλλει τη δεξαμενή
- T_i θερμοκρασία του τμήματος της δεξαμενής i
- T_f μέση θερμοκρασία καυσαερίων όταν ο θερμαντήρας δεν λειτουργεί
- T_h θερμοκρασία του ρευστού που εισέρχεται στη δεξαμενή αποθήκευσης από την πηγή θερμότητας
- TL θερμοκρασία του ρευστού που αντικαθιστά εκείνο που εξάγεται για την παροχή του φορτίου
- $T_{set, 1}$ ρυθμισμένη θερμοκρασία του θερμοστάτη του πρώτου θερμαντήρα
- $T_{set, 2}$ ρυθμισμένη θερμοκρασία του θερμοστάτη του δεύτερου θερμαντήρα
- U_t Συντελεστής απωλειών μεταξύ της δεξαμενής και του περιβάλλοντος της (ανά μονάδα επιφάνειας)

ΔU_i συντελεστής πρόσθετης απώλειας μεταξύ του κόμβου της δεξαμενής i και του περιβάλλοντος (ανά μονάδα επιφάνειας)

(UA) f συνολική αγωγιμότητα για απώλεια θερμότητας από τον καυστήρα αερίου όταν δεν λειτουργεί ο βοηθητικός θερμαντήρας

(UA) f, i αγωγιμότητα για την απώλεια θερμότητας από τον καπναγωγό αερίου για τον κόμβο i

V_t όγκος δεξαμενής

ΔE εσωτερική αλλαγή ενέργειας της δεξαμενής

$\Delta T_{db, 1}$ νεκρή ζώνη θερμοκρασίας πρώτου θερμοστάτη. Ο θερμαντήρας ανάβει όταν $TIT1 = (T_{set, 1} - \Delta T_{db, 1})$ και παραμένει ενεργός μέχρι $TIT1 = T_{set, 1}$

$\Delta T_{db, 2}$ νεκρή ζώνη θερμοκρασίας δεύτερου θερμοστάτη. Ο θερμαντήρας ανάβει όταν $TIT2 = (T_{set, 2} - \Delta T_{db, 2})$ και παραμένει ενεργός έως ότου $TIT2 = T_{set, 2}$

α_i μια συνάρτηση ελέγχου που ορίζεται από $\alpha_i = 1$ αν $i = Sh$: 0 αλλιώς

β_i μια συνάρτηση ελέγχου που ορίζεται από $\beta_i = 1$ αν $i = SL$: 0 αλλιώς

γ_i μια συνάρτηση ελέγχου που ορίζεται από την εξίσωση:
$$\gamma_i = m_h \sum_{j=1}^{i-1} \alpha_j - m_L \sum_{j=i+1}^N \beta_j$$

γ_f μια λειτουργία ελέγχου που καθορίζει εάν η βοηθητική θέρμανση είναι απενεργοποιημένη ή ενεργοποιημένη. 1 είναι απενεργοποιημένη, 0 είναι ενεργοποιημένη

γ_{htr} μια προαιρετική λειτουργία ελέγχου (0 ή 1) που απενεργοποιεί ή ενεργοποιεί τον εσωτερικό βοηθητικό θερμαντήρα

ρ_f πυκνότητα υγρού

Μαθηματική αναφορά

Λειτουργία

Στη λειτουργία 3 (Type 4c), ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τους κόμβους που περιέχουν τις θέσεις εισόδου της ροής από τη πηγή θερμότητας και από το φορτίο. Ακόμα μπορεί να καθορίσει το ύψος κάθε κόμβου χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους 6 έως $5 + N$. Προαιρετικά, μπορούν να καθοριστούν κόμβοι ίσου μεγέθους απλώς θέτοντας αρνητικό αριθμό στη παράμετρο 6. Με αυτό το τρόπο το συνολικό ύψος της δεξαμενής είναι η απόλυτη τιμή της παραμέτρου 6. Σε αυτήν την περίπτωση, δεν απαιτούνται επιπλέον προδιαγραφές για το μέγεθος των κόμβων.

Εσωτερικοί Θερμαντήρες

Το μοντέλο περιλαμβάνει προαιρετικά δύο θερμαντικά στοιχεία ηλεκτρικής αντίστασης, που ελέγχονται με βάση τη θερμοκρασία και / ή το χρόνο. Η επιλογή ελέγχου επιτρέπει την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στη δεξαμενή κατά τη διάρκεια επιλεγμένων περιόδων κάθε ημέρας (π.χ. ώρες μη αιχμής). Οι θερμαντήρες ηλεκτρικής αντίστασης μπορούν να λειτουργούν με δύο τρόπους. Στη πρώτη λειτουργία, μέσω μια σχέσης master-slave, το θερμαντικό στοιχείο του πυθμένα ενεργοποιείται μόνο όταν ικανοποιείται το θερμαντικό στοιχείο της κορυφής. Σε αυτή τη λειτουργία ελέγχου, είναι αδύνατο και για τους δύο θερμαντήρες να λειτουργούν ταυτόχρονα. Ωστόσο, είναι δυνατόν και οι δύο θερμαντήρες να είναι αναμμένοι κατά το ίδιο χρονικό βήμα (ο θερμαντήρας κορυφής μπορεί να είναι αναμμένος κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του χρονικού βήματος και ο θερμαντήρας πυθμένα μπορεί να είναι αναμμένος κατά τη διάρκεια του δεύτερου μισού του χρονικού βήματος). Η πρώτη λειτουργία είναι συνήθης στις περισσότερες εφαρμογές παροχής οικιακού ζεστού νερού. Στη λειτουργία 2, και οι δύο θερμαντήρες μπορεί να είναι ενεργοποιημένοι ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει τη πιο γρήγορη θέρμανση του ρευστού της δεξαμενής αποθήκευσης, αλλά αυξάνει σημαντικά την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Εάν ο χρήστης δεν επιθυμεί ηλεκτρικούς θερμαντήρες στη δεξαμενή που πρόκειται να διαμορφωθεί, ορίζει τη μέγιστη ροή θέρμανσης στο μηδέν (δεν ορίζει τις θέσεις των κόμβων στο μηδέν).

Οι βοηθητικοί θερμαντήρες λειτουργούν με βάση μια νεκρή ζώνη θερμοκρασίας. Ο θερμαντήρας ενεργοποιείται όταν η θερμοκρασία του κόμβου που περιέχει τον θερμοστάτη είναι μικρότερη από $(T_{set} - \Delta T_{db})$ ή αν ήταν ενεργοποιημένος το προηγούμενο διάστημα και η θερμοκρασία του θερμοστάτη είναι μικρότερη από την τιμή ορισμού T_{set} . Αν ο κατώτερος θερμαντήρας πληροί αυτά τα κριτήρια, πριν ενεργοποιηθεί, μέσω μιας σχέσης master / slave θα γίνει έλεγχος για να διαπιστωθεί εάν το άνω ηλεκτρικό στοιχείο είναι ενεργοποιημένο.

Θερμικές απώλειες

Σε πολλές περιπτώσεις, η δεξαμενή μπορεί να μην είναι ομοιόμορφα μονωμένη ή οι χρήστες να θέλουν να ορίσουν εισόδους σωλήνων. Με τον καθορισμό πρόσθετων παραμέτρων δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες να μονώσουν ορισμένους κόμβους των στρωματοποιημένων δεξαμενών αποθήκευσης. Για να χρησιμοποιηθούν οι συντελεστές αυξητικής απώλειας, οι χρήστες πρέπει να ορίσουν την πέμπτη παράμετρο μικρότερη από μηδέν και να καθορίσουν τους συντελεστές επιπρόσθετης απώλειας. Ο συντελεστής απώλειας για τον i -κόμβο είναι τότε:

$$U_i = |PAR5| + \Delta U_i \quad (1)$$

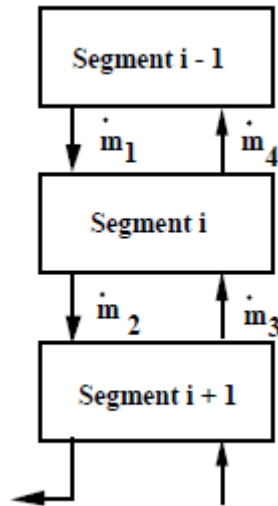
Για την αντιμετώπιση των αποτελεσμάτων βρασμού έχει προστεθεί στη δεξαμενή μια βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης. Η θερμοκρασία βρασμού του ρευστού ορίζεται από το χρήστη. Μέσω εξαερισμού θα απελευθερωθεί επαρκής ενέργεια για να κρατηθεί η δεξαμενή στη θερμοκρασία βρασμού. Η απώλεια μάζας λόγω εξαερισμού έχει παραμεληθεί. Το μοντέλο επιτρέπει απώλειες στον καπναγωγό καυσαερίων ενός βοηθητικού θερμοαντήρα αερίου μέσα στη δεξαμενή. Η συνολική απώλεια από οποιονδήποτε κόμβο πάνω από το βοηθητικό θερμοαντήρα, συμπεριλαμβανομένου και αυτού, λαμβάνει χώρα στο εξωτερικό και το εσωτερικό της Δεξαμενής. Ο χρήστης με βάση την θερμοκρασία περιβάλλοντος T_{env} καθορίζει τη συνολική αγωγιμότητα $(UA)_f$ για απώλεια θερμότητας στο ρευστό όταν ο θερμοαντήρας δεν είναι σε λειτουργία. Αυτή η αγωγιμότητα είναι διαιρεμένη μεταξύ των παραπάνω κόμβων συμπεριλαμβανομένου και του θερμοαντήρα.

Ροές ρευμάτων

Σε αυτό το μοντέλο, υποθέτουμε ότι τα ρεύματα που ρέουν προς τα πάνω και προς τα κάτω από κάθε κόμβο αναμειγνύονται πλήρως πριν εισέλθουν σε κάθε τμήμα. Από το σχήμα, το m_1 προστίθεται στο m_4 , το m_2 προστίθεται στο m_3 και έτσι προσδιορίζεται η προκύπτουσα ροή, είτε προς τα πάνω είτε προς τα κάτω. Το ενεργειακό ισοζύγιο στο i -τμήμα (παραμένουσες απώλειες) είναι:

$$M_i \cdot C_{pf} \cdot \frac{dT_i}{dt} = \begin{cases} (m_1 - m_3) \cdot C_{pf} \cdot (T_{i-1} - T_i), & m_1 \geq m_3 \\ (m_3 - m_1) \cdot C_{pf} \cdot (T_{i+1} - T_i), & m_1 < m_3 \end{cases} \quad (2)$$

Έχει διαπιστωθεί ότι με αυτή τη τελευταία υπόθεση γενικά επιτυγχάνεται υψηλότερος βαθμός διαστρωμάτωσης από την πρώτη και τα αποτελέσματα συμφωνούν καλά με τις πειραματικές μετρήσεις.



Σχήμα 4.16: Ροές μεταξύ των τμημάτων [48]

Ο βοηθητικός θερμαντήρας είναι απενεργοποιημένος αν $g_{hr} = 0$ ή εάν προηγουμένως ήταν εκτός λειτουργίας και $T_{IT} \geq (T_{set} - \Delta T_{db})$ ή εάν $T_{IT} \geq T_{set}$. Διαφορετικά, ο ρυθμός ενέργειας που παραδίδεται στη δεξαμενή από τον θερμαντήρα είναι $Q_{aux} = \min(Q_{req}, Q_{max})$. Εάν ορίζεται μια σχέση master / slave μεταξύ των των δύο βοηθητικών θερμαντήρων, ο κάτω βοηθητικός θερμαντήρας είναι επίσης απενεργοποιημένος εάν είναι ενεργοποιημένος ο πρώτος βοηθητικός θερμαντήρας. Το μοντέλο υποθέτει ότι η ενέργεια που προσφέρεται στη δεξαμενή από τον θερμαντήρα παρέχεται στο τμήμα δεξαμενής που τον περιέχει, έως ότου η θερμοκρασία αυτού του τμήματος να γίνει ίση με εκείνη του άνω τμήματος. Τότε, ενέργεια προστίθεται εξίσου και στα δύο τμήματα έως ότου φθάσουν στη θερμοκρασία του τμήματος πάνω από αυτά, κ.λπ. Εάν επιτρέπεται η ταυτόχρονη ενεργοποίηση και των δύο θερμαντικών στοιχείων, υπολογίζονται πρώτα τα αποτελέσματα του άνω στοιχείου και στη συνέχεια του κάτω.

Ο ενεργειακός ισολογισμός για το i -τμήμα της δεξαμενής είναι:

$$M_i \cdot C_{pf} \cdot \frac{dT_i}{dt} = a_i \cdot m_h \cdot C_{pf} \cdot (T_h - T_i) + \beta_i \cdot m_L \cdot C_{pf} \cdot (T_L - T_i) + UA_i \cdot (T_{env} - T_i) \quad (3)$$

$$+\gamma_i(T_{i-1} - T_i) \cdot C_{pf} \quad \text{if } g_i > 0$$

$$+\gamma_i(T_i - T_{i+1}) \cdot C_{pf} \quad \text{if } g_i < 0$$

$$+Q_i \quad \text{for } i = 1, N$$

Οι θερμοκρασίες καθενός από τα N τμήματα της δεξαμενής καθορίζονται από την ολοκλήρωση των χρονικών παραγώγων που εκφράζονται στην παραπάνω εξίσωση. Στο τέλος κάθε χρονικού διαστήματος, οι θερμοκρασιακές αναστροφές εξαλείφονται με ανάμειξη κατάλληλων γειτονικών κόμβων.

Οι ροές ενέργειας και η αλλαγή στην εσωτερική ενέργεια υπολογίζονται ως εξής:

$$\dot{Q}_{env} = \sum_{i=1}^N UA_i \cdot (T_i - T_{env}) + \gamma_f \cdot \sum_{i=1}^N (UA)_{f,i} \cdot (T_i - T_f) \quad (4)$$

$$\dot{Q}_s = \dot{m}_L \cdot C_{pf} \cdot (T_1 - T_L) \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_h \cdot C_{pf} \cdot (T_h - T_N) \quad (6)$$

$$\Delta E = \frac{V_{\rho f} \cdot C_{pf} \cdot [\sum_{i=1}^N T_i - T_i |_{t=TIME_0}]}{N} \quad (7)$$

Παράμετροι:

Μεταβλητές θέσεις εισόδου		-
Όγκος δεξαμενής	1	m ³
Ειδική θερμότητα ρευστού	3,32	kJ/kg.K
Πυκνότητα ρευστού	1106	Kg/m ³
Συντελεστής απωλειών	1,2	kJ/hr.m ² .K
Ύψος κόμβου-1	0,5326	m
Ύψος κόμβου-2	0,5326	m
Ύψος κόμβου-3	0,5326	m
Λειτουργία βοηθητικού θερμαντήρα	1	-
Κόμβος βοηθητικού θερμαντήρα 1	1	-
Κόμβος θερμοστάτη 1	1	-
Θερμοκρασία αναφοράς για το πρώτο στοιχείο	60	C
Νεκρή ζώνη θερμοκρασίας για το πρώτο θερμαντικό στοιχείο	5	deltaC
Μέγιστη ροή θέρμανσης του πρώτου στοιχείου	0	kJ/hr
Κόμβος βοηθητικού θερμαντήρα 2	1	-
Κόμβος θερμοστάτη 2	1	-
Θερμοκρασία αναφοράς για το δεύτερο στοιχείο	60	C
Νεκρή ζώνη θερμοκρασίας για το δεύτερο θερμαντικό στοιχείο	5	deltaC

Μέγιστη ροή θέρμανσης του δευτέρου στοιχείου	0	kJ/hr
Σημείο βρασμού	85	C

IV. Διακόπτης – type 2b: ON/OFF Differential Controller; Old Control Strategy



Ο διαφορικός ελεγκτής on/off χρησιμοποιεί μια λειτουργία ελέγχου που μπορεί να έχει τιμή 1 ή 0. Η τιμή του σήματος ελέγχου επιλέγεται ως συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ των ανώτερων και κατώτερων θερμοκρασιών T_h και T_l , σε σύγκριση με δύο νεκρές ζώνες διαφοράς θερμοκρασίας DTI και DTI . Η νέα τιμή της λειτουργίας ελέγχου εξαρτάται από την τιμή της συνάρτησης ελέγχου εισόδου κατά το προηγούμενο χρονικό διάστημα. Ο ελεγκτής χρησιμοποιείται συνήθως με το σήμα ελέγχου εισόδου συνδεδεμένο στο σήμα ελέγχου εξόδου, παρέχοντας ένα αποτέλεσμα υστέρησης. Ωστόσο τα σήματα ελέγχου από διαφορετικά εξαρτήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως σήμα ελέγχου εισόδου για αυτό το εξάρτημα αν είναι επιθυμητή μια πιο λεπτομερής μορφή της υστέρησης.

Για λόγους ασφαλείας, σε αυτόν τον ελεγκτή περιλαμβάνεται ένα υψηλό όριο αποκοπής. Ανεξάρτητα από τις συνθήκες της νεκρής ζώνης, η λειτουργία ελέγχου θα οριστεί στο μηδέν εάν ξεπεραστεί η κατάσταση υψηλού ορίου. Αυτός ο ελεγκτής δεν περιορίζεται στις θερμοκρασίες ανίχνευσης, παρόλο που χρησιμοποιείται εναλλαγή θερμοκρασίας. Για να μπορέσει να χρησιμοποιηθεί ως ένας θερμοστατικός διαφορικός ελεγκτής οι παράμετροι του περιγράφονται σε μονάδες degC. Ο ελεγκτής Type2 προορίζεται για χρήση με το πρότυπο TRNSYS SOLVER 0 (διαδοχική υποκατάσταση).

Μαθηματική αναφορά

Αν ο διακόπτης ήταν προηγουμένως ανοικτός:

$$\text{If } \gamma_i = 1 \text{ and } \Delta T_L \leq (T_H - T_L), \gamma_0 = 1 \quad (1)$$

$$\text{If } \gamma_i = 1 \text{ and } \Delta T_L > (T_H - T_L), \gamma_0 = 0 \quad (2)$$

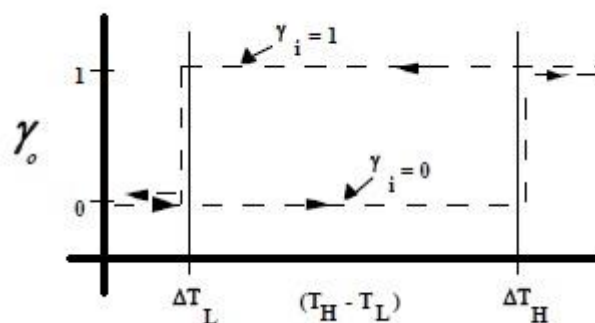
Αν ο διακόπτης ήταν προηγουμένως κλειστός:

$$\text{If } \gamma_i = 0 \text{ and } \Delta T_H \leq (T_H - T_L), \gamma_0 = 1 \quad (3)$$

$$\text{If } \gamma_i = 0 \text{ and } \Delta T_H > (T_H - T_L), \gamma_0 = 0 \quad (4)$$

Ωστόσο, η λειτουργία ελέγχου τίθεται στο μηδέν, ανεξάρτητα από τις συνθήκες υψηλής και χαμηλής νεκρής ζώνης θερμοκρασίας, εάν $T_{in} > T_{max}$. Αυτή η κατάσταση αντιμετωπίζεται συχνά στα συστήματα χρήσης ζεστού νερού όπου η αντλία δεν επιτρέπεται να λειτουργεί εάν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι πάνω από κάποιο προκαθορισμένο όριο.

Η λειτουργία του ελεγκτή εμφανίζεται γραφικά ως εξής:



Σχήμα 4.17: Διάγραμμα λειτουργίας ελεγκτή [48]

Παράμετροι:

Αριθμός ταλαντώσεων	5	-
Άνω όριο αποκοπής	85	C

V. Γεωθερμικός εναλλάκτης-Type 557a; Vertical U-Tube Ground Heat Exchanger



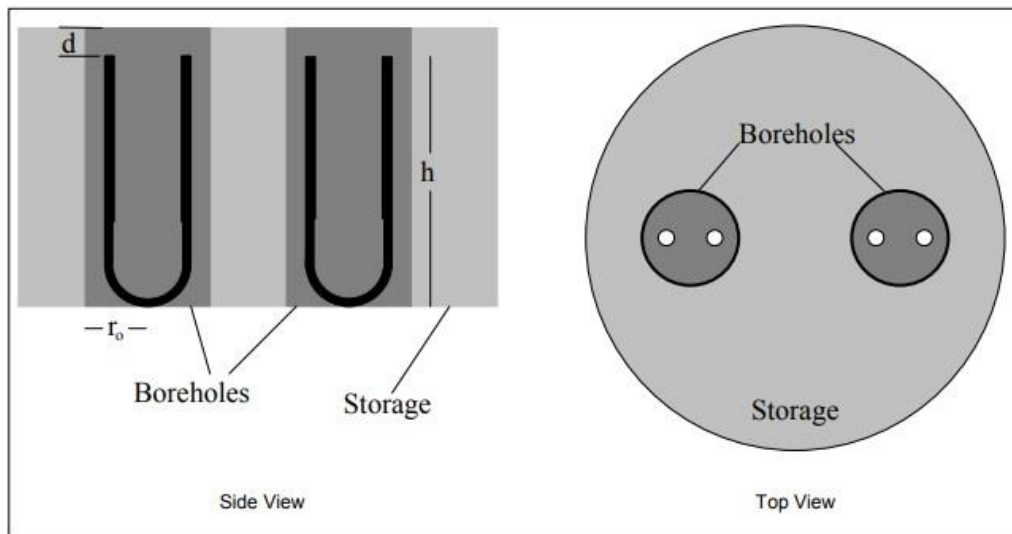
Αυτό το component μοντελοποιεί έναν κατακόρυφο εναλλάκτη θερμότητας που αλληλοεπιδρά θερμικά με τη γη. Το μοντέλο του γεωθερμικού εναλλάκτη χρησιμοποιείται πιο συχνά σε εφαρμογές αντλίας θερμότητας εδάφους. Αυτή η υπορουτίνα μοντελοποιεί είτε έναν εναλλακτή θερμότητας εδάφους με σωλήνες τύπου U είτε έναν εναλλάκτη θερμότητας εδάφους ομοκεντρικού σωλήνα. Ένα ρευστό που μεταφέρει θερμότητα κυκλοφορεί μέσω του γεωεναλλάκτη και είτε απορρίπτει, είτε απορροφά θερμότητα προς και από το έδαφος αντίστοιχα. Η διαδικασία αυτή εκτελείται ανάλογα με τις θερμοκρασίες του ρευστού και της γης.

Στις τυπικές εφαρμογές γεωεναλλάκτη θερμότητας με σωλήνες U, γίνεται διάτρηση μιας κάθετης γεώτρησης στο έδαφος. Εν συνεχεία ο εναλλάκτης σωλήνα τύπου U ωθείται μέσα στην γεώτρηση. Η κορυφή των σωλήνων είναι συνήθως μερικά πόδια κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Τέλος, η γεώτρηση γεμίζεται με υλικό πλήρωσης που είναι είτε παρθένα εδάφη είτε ενέματα κάποιου τύπου.

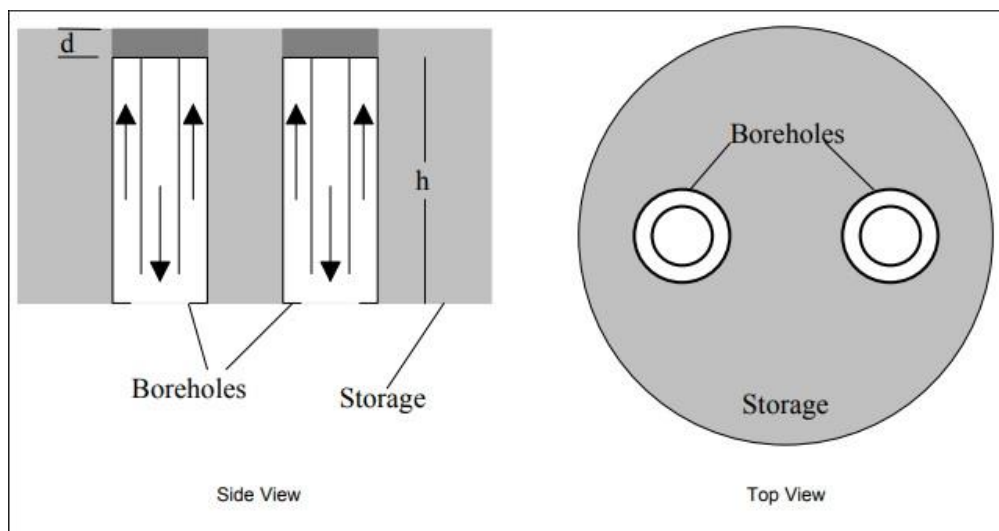
Στην τυπική εφαρμογή εναλλάκτη θερμότητας ομόκεντρου σωλήνα, η διάτρηση είναι λίγο μεγαλύτερη από τον εξωτερικό σωλήνα του γεωεναλλάκτη, αλλά ισχύει η ίδια διαδικασία. Η γεώτρηση τρυπιέται μέσα στο έδαφος και ο εναλλάκτης θερμότητας ωθείται μέσα σε αυτήν.

Οι δύο τύποι εναλλακτών θερμότητας εδάφους που είναι διαθέσιμοι σε αυτήν την υπορουτίνα φαίνονται στα παρακάτω σχήματα. Το πρώτο σχήμα παρουσιάζει ένα μοντέλο ενός σωλήνα U ανά διάτρηση, αν και αυτή η υπορουτίνα επιτρέπει στον χρήστη να έχει έως και 10 σωλήνες τύπου U ανά γεώτρηση.

Το πρόγραμμα προϋποθέτει ότι οι γεωτρήσεις τοποθετούνται ομοίμορφα σε κυλινδρικό όγκο εδάφους. Υπάρχει μεταφορά θερμότητας εντός των σωλήνων και μεταφορά αγωγίμης θερμότητας στον όγκο αποθήκευσης. Η θερμοκρασία στο έδαφος υπολογίζεται από τρία μέρη. Μια σφαιρική θερμοκρασία, μια τοπική λύση και μια λύση σταθερής ροής. Τα σφαιρικά και τοπικά προβλήματα επιλύονται με τη χρήση μιας σαφούς μεθόδου πεπερασμένων διαφορών. Το σταθερό διάλυμα ροής λαμβάνεται αναλυτικά. Η θερμοκρασία τότε υπολογίζεται με μεθόδους υπέρθεσης.



Σχήμα 4.18: γεωεναλλάκτης θερμότητας τύπου U [48]



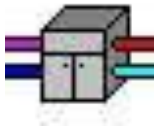
Σχήμα 4.19: ομόκεντρος γεωεναλλάκτης θερμότητας [48]

Παράμετροι:

Όγκος αποθήκευσης	3246	m ³
Βάθος γεώτρησης	75	m
Βάθος επι κεφαλής	1	m
Αριθμός γεωτρήσεων	2	-
Ακτίνα γεώτρησης	0.075	m
Αριθμός γεωτρήσεων σε σειρά	2	-
Αριθμός ακτινικών περιοχών	1	-
Αριθμός κάθετων περιοχών	10	-
Θερμική αγωγιμότητα χώρου	1.8	W/m.K
Θερμοχωρητικότητα χώρου	2200	kJ/m ³ /K
Αρνητικό των σωλήνων	-1	-

Εξωτερική ακτίνα του σωλήνα	0.016	m
Εσωτερική ακτίνα του σωλήνα	0.0145	m
Απόσταση κέντρων	0.0375	m
Θερμική αγωγιμότητα πλήρωσης	1.69	W/m.K
Θερμική αγωγιμότητα σωλήνα	1.5122	kJ/hr.m.K
Θερμική αγωγιμότητα κενού	5.040	kJ/hr.m.K
Πάχος κενού	0.0	m
Ρυθμός ροής αναφοράς γεώτρησης	800	Kg/h
Θερμοκρασία αναφοράς	10	C
Μεταφορά θερμότητας από σωλήνα σε σωλήνα	-1	-
Ειδική θερμότητα ρευστού	3.32	kJ/kg.K
Πυκνότητα ρευστού	1106	Kg/m ³
Δείκτης μόνωσης	0	-
Κλάσμα ύψους μόνωσης	0.5	-
Πάχος μόνωσης	0.0254	m
Θερμική αγωγιμότητα μόνωσης	1	kJ/hr.m.K
Αριθμός χρόνων προσομοίωσης	1	-
Μέγιστη θερμοκρασία χώρου	85	C
Αρχική θερμοκρασία επιφάνειας	20	C
Αρχική θερμική κλίση	0	any
Αριθμός χρόνων προθέρμανσης	0	-
Μέγιστη θερμοκρασία προθέρμανσης	30	C
Ελάχιστη θερμοκρασία προθέρμανσης	10	C
Καθυστέρηση φάσης προθέρμανσης	109	day
Μέση θερμοκρασία αέρα	22	C
Εύρος θερμοκρασία αέρα	20	deltaC
Καθυστέρηση φάσης θερμοκρασία αέρα	259	day
Αριθμός μονωτών εδάφους	1	-
Θερμική αγωγιμότητα μονωτή	1.8	W/m.K
Θερμοχωρητικότητα μονωτή	2200	any
Πάχος μονωτή	75	m

VI. Αντλία νερού νερού – type 668; Water to Water Heat pump



Αυτό το component μοντελοποιεί μια αντλία θερμότητας ενός σταδίου. Η αντλία θερμότητας ρυθμίζει μία ροή υγρού απορρίπτοντας ενέργεια σε (λειτουργία ψύξης) ή απορροφώντας ενέργεια από (λειτουργία θέρμανσης) ένα δεύτερο. Αυτό το μοντέλο βασίζεται σε αρχεία δεδομένων που παρέχονται από τον χρήστη και περιέχουν δεδομένα καταλόγου για τη θερμική χωρητικότητα και την ισχύ, με βάση τις εισερχόμενες θερμοκρασίες φορτίου και πηγής. Το Type668 λειτουργεί σε επίπεδο ελέγχου θερμοκρασίας σαν μια πραγματική αντλία θερμότητας. Όταν το σήμα ελέγχου που καθορίζεται από το χρήστη υποδεικνύει ότι η μονάδα πρέπει να είναι ενεργοποιημένη είτε σε λειτουργία θέρμανσης είτε σε λειτουργία ψύξης, λειτουργεί στο επίπεδο της θερμικής χωρητικότητάς του έως ότου αλλάξουν οι τιμές του σήματος ελέγχου.

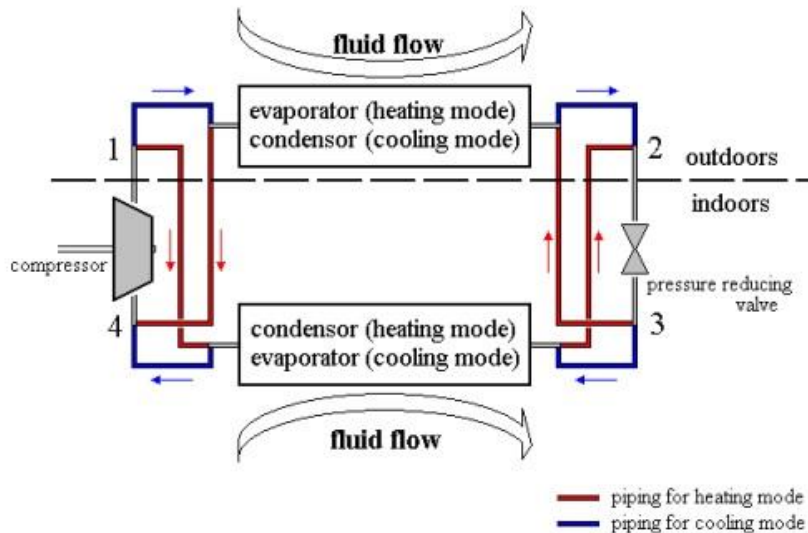
Ορολογία:

COP	[-]	Συντελεστής απόδοσης της αντλίας σε λειτουργία ψύξης ή θέρμανσης
$C_{p,heating}$	[kJ/h]	Θερμική ικανότητα της αντλίας στις τρέχουσες συνθήκες
$C_{p,cooling}$	[kJ/h]	Ψυκτική ικανότητα της αντλίας στις τρέχουσες συνθήκες
$P_{heating}$	[kJ/h]	Ισχύς της αντλίας σε λειτουργία θέρμανσης
$P_{cooling}$	[kJ/h]	Ισχύς της αντλίας σε λειτουργία ψύξης
$Q_{absorbed}$	[kJ/h]	Ενέργεια που απορροφάτε από την αντλία σε λειτουργία θέρμανσης
$Q_{rejected}$	[kJ/h]	Ενέργεια που αποβάλλεται από την αντλία σε λειτουργία ψύξης
$T_{source,in}$ αντλίας	[C]	Θερμοκρασία του ρευστού που εισέρχεται στον ατμοποιητή της αντλίας
$T_{source,out}$ αντλίας	[C]	Θερμοκρασία του ρευστού που εξέρχεται από τον ατμοποιητή της αντλίας
$T_{load,in}$ αντλίας	[C]	Θερμοκρασία του ρευστού που εισέρχεται στον συμπυκνωτή της αντλίας
$T_{load,out}$ αντλίας	[C]	Θερμοκρασία του ρευστού που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή της αντλίας
m_{source}	[kg/h]	Ροή μάζας του ρευστού από και προς τον ατμοποιητή
$C_{p,source}$	[kJ/kg.K]	Ειδική θερμότητα του ρευστού από και προς τον ατμοποιητή
m_{load}	[kg/h]	Ροή μάζας του ρευστού από και προς τον συμπυκνωτή
$C_{p,load}$	[kJ/kg.K]	Ειδική θερμότητα του ρευστού από και προς τον συμπυκνωτή

Αναλυτική περιγραφή

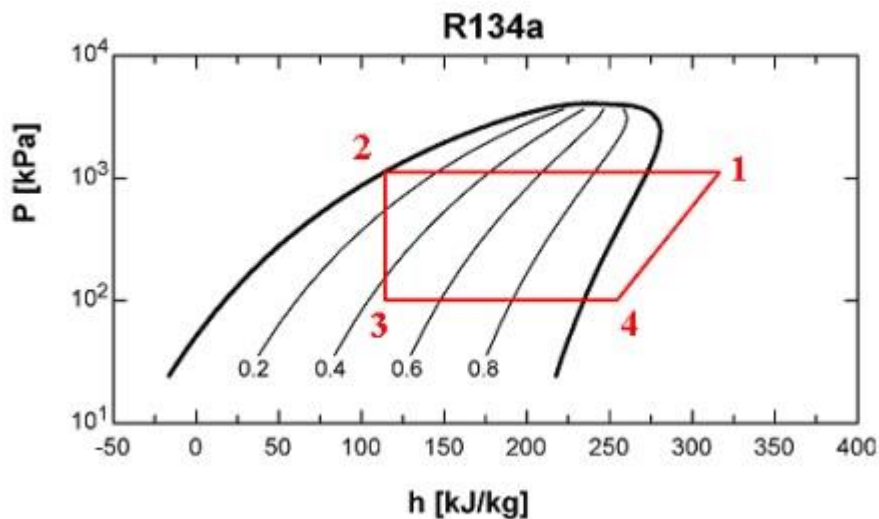
Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που μεταφέρει ενέργεια από μία πηγή χαμηλής θερμοκρασίας σε ένα νεροχύτη υψηλότερης θερμοκρασίας. Διαφέρει από έναν καθαρό κύκλο ψύξης κατά το ότι το σύστημα δουλεύει είτε για θέρμανση είτε για ψύξη ανάλογα με την κατεύθυνση του ψυκτικού μέσου στο σύστημα.

Το σχήμα δείχνει ένα σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος αντλίας θερμότητας



Σχήμα 4.20: Σχηματική απεικόνιση αντλίας θερμότητας [48]

Τα αριθμημένα σημεία στο κάτω διάγραμμα αντιστοιχούν στις καταστάσεις του ψυκτικού που παρουσιάζονται στο ψυχομετρικό διάγραμμα.



Σχήμα 4.21: Γενικός κύκλος αντλίας θερμότητας [48]

Απόδοση αντλίας θερμότητας

Η αντλία θερμότητας Type668 είναι εξοπλισμένη με δύο σήματα ελέγχου, ένα για θέρμανση και ένα για ψύξη. Το μοντέλο δεν προειδοποιεί εάν ο χρήστης θέσει και τα δύο σήματα ελέγχου στο 1. Ωστόσο, η λειτουργία θέρμανσης έχει προτεραιότητα έναντι της λειτουργίας ψύξης. Εάν τα σήματα ελέγχου θέρμανσης και ψύξης είναι και τα δύο ανοικτά, το μοντέλο θα αγνοήσει το σήμα ελέγχου ψύξης και θα λειτουργήσει σε λειτουργία θέρμανσης. Εάν η αντλία έχει ρυθμιστεί να είναι ON σε λειτουργία θέρμανσης (INPUT 6 σε 1), το Type668 καλεί την υπορουτίνα δεδομένων TRNSYS με το εισερχόμενο ρευστό πηγής και φορτίου. Η ρουτίνα δεδομένων αποκτά πρόσβαση στο αρχείο δεδομένων θέρμανσης (καθορίζεται από τον χρήστη) και υπολογίζει την ικανότητα θέρμανσης και την ισχύ της μηχανής.

Το COP της αντλίας θερμότητας σε λειτουργία θέρμανσης δίνεται από την εξίσωση:

$$COP = \frac{Cap_{heating}}{P_{heating}} \quad (1)$$

Η ποσότητα ενέργειας που απορροφάτε από το ρεύμα ρευστού πηγής κατά τη θέρμανση δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_{absorbed} = Cap_{heating} - P_{heating} \quad (2)$$

Οι θερμοκρασίες εξόδου των δύο υγρών ρευμάτων μπορούν στη συνέχεια να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις:

$$T_{source,out} = T_{source,in} - \frac{Q_{absorbed}}{m_{source} \cdot Cp_{source}} \quad (3)$$

$$T_{load,out} = T_{load,in} - \frac{Cap_{heating}}{m_{load} \cdot Cp_{load}} \quad (4)$$

Το COP της αντλίας θερμότητας στην ψύξη δίνεται από την εξίσωση:

$$COP = \frac{Cap_{cooling}}{P_{cooling}} \quad (5)$$

Η ποσότητα ενέργειας που απορρίπτεται από το ρεύμα υγρού πηγής στην ψύξη δίνεται από την εξίσωση:

$$Q_{rejected} = Cap_{cooling} + \dot{P}_{cooling} \quad (6)$$

Οι θερμοκρασίες εξόδου των δύο υγρών ρευμάτων μπορούν στη συνέχεια να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις:

$$T_{source,out} = T_{source,in} + \frac{Q_{rejected}}{m_{source} \cdot Cp_{source}} \quad (7)$$

$$T_{load,out} = T_{load,in} + \frac{Cap_{cooling}}{m_{load} \cdot Cp_{load}} \quad (8)$$

Χάρτης απόδοσης της αντλίας:

Inlet source temperature (°C)	Inlet load temperature (°C)	Heat pump heating capacity (kW)	Heat pump input power (kW)
-10	25	4.398	1.328
-10	35	4.370	1.690
-10	45	4.402	2.143
-10	55	4.488	2.702
-5	25	5.222	1.336
-5	35	5.110	1.688
-5	45	5.046	2.123
-5	55	5.019	2.659
0	25	6.176	1.350
0	35	5.977	1.696
0	45	5.808	2.116
0	55	5.657	2.632
5	25	7.255	1.375
5	35	6.974	1.718
5	45	6.697	2.125
5	55	6.412	2.623
10	25	8.460	1.399
10	35	8.098	1.757
10	45	7.713	2.157
10	55	7.288	2.636
15	25	9.783	1.406
15	35	9.353	1.798
15	45	8.857	2.205
15	55	8.283	2.673

VII. Θερμική-Type 12: Energy/(Degree Day) Space Heating or Cooling Load



Η έννοια της ενέργειας / (βαθμό-ημέρα) έχει αποδειχθεί από το ASHRAE να είναι χρήσιμη για την εκτίμηση του μηνιαίο φορτίο θέρμανσης ενός κτηρίου. Σε αυτό το μοντέλο φορτίου θέρμανσης χώρου, η ενέργεια (βαθμοημέρα), ή πιο κατάλληλα η έννοια της ενέργειας (βαθμό-ώρα), επεκτείνεται για να εκτιμηθεί το ανά ώρα φορτίο θέρμανσης ενός κτηρίου. Αναγνωρίζεται γενικά ότι το φορτίο θέρμανσης χώρου ανά ώρα που εκτιμάται με αυτόν τον τρόπο μπορεί να έχει σημαντικά σφάλματα. Το μοντέλο όμως αυτό παρέχει μια εκτίμηση του φορτίου με ελάχιστη υπολογιστική προσπάθεια.

Υπάρχουν τέσσερις λειτουργίες του type12, οι οποίες παρέχουν ευελιξία στον έλεγχο και στη βοηθητική στρατηγική. Οι λειτουργίες 1, 2 και 3 είναι συμβατές με τον έλεγχο του ρυθμού ενέργεια. Οι λειτουργίες 1 και 2 μοντελοποιούν ένα κτήριο μηδενικής χωρητικότητας διατηρούμενο σε μία σταθερή ρυθμισμένη θερμοκρασία για θέρμανση. Η λειτουργία 3 επιτρέπει τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του χώρου μεταξύ καθορισμένων τιμών (T_{min} και T_{max}) για θέρμανση και ψύξη. Μία μεμονωμένη χωρητικότητα χρησιμοποιείται σε αυτή την ανάλυση. Αν η θερμοκρασία του δωματίου αυξηθεί πάνω από την T_{max} ή πέσει κάτω από το T_{min} , τότε η ενέργεια που απαιτείται για να διατηρηθεί κάθε όριο εξάγεται ως απαίτηση για ψύξη ή θέρμανση. Το Mode 4 μοντελοποιεί μια μονοκατοικία μεμονωμένης χωρητικότητας συμβατή με τον έλεγχο της θερμοκρασίας. Συνήθως σε συνδυασμό με αυτή τη λειτουργία χρησιμοποιείται εξοπλισμός θέρμανσης ή ψύξης και ελεγκτής.

Ορολογία

CAP Η θερμική χωρητικότητα. Για την αξιοπιστία των υπολογισμών, αυτός ο αριθμός πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε η μέγιστη εναλλαγή της θερμοκρασίας του χώρου σε ένα χρονικό διάστημα να βρίσκεται στα όρια των νεκρών ζωνών του κοντρόλερ.

C_{min} Ελάχιστος ρυθμός χωρητικότητας του ρευστού του εναλλάκτη θερμότητας. Εάν ο εναλλάκτης θερμότητας του φορτίου δεν χρειάζεται (σε συστήματα αέρα), το ε πρέπει να είναι 1 και το C_{min} πρέπει να είναι $m_1 C_p$. Σε ένα σύστημα νερού, το C_{min} είναι γενικά ο ρυθμός χωρητικότητας του αέρα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας διαμπερούς ροής αέρα-νερού.

C_p Ειδική θερμότητα του ρεύματος ροής

LHR Λόγος του λανθάνων φορτίου προς το ολικό φορτίο

m_h Ο ρυθμός ροής μάζας του ρεύματος πηγής του θερμικού εναλλάκτη

m_i Ο ρυθμός ροής μάζας του εισερχόμενου ρευστού

m_o Ο ρυθμός ροής μάζας του εξερχόμενου ρευστού

Q_{aux} Η στιγμιαία βοηθητική ενέργεια

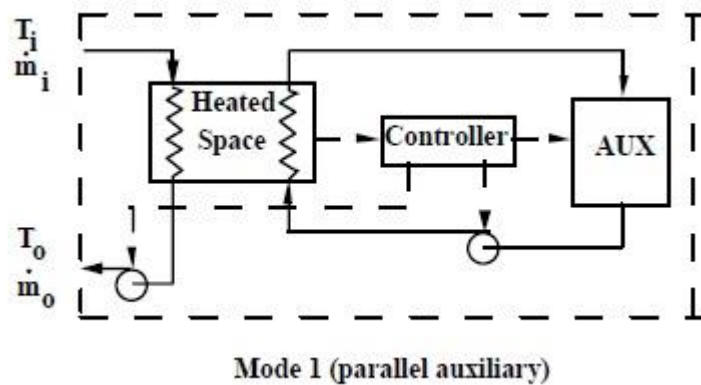
Q_{cool} Ρυθμός ψύξης απο το κλιματιστικό

Q_{gain}	Τα συνεχή οφέλη από τις εναλλαγές θερμότητας εντός της δεξαμενής αποθήκευσης του κτηρίου
Q_L	Η στιγμιαία απώλεια θερμότητας από τη δομή μείον τα εσωτερικά κέρδη
Q_{lat}	Ποσοστό στο οποίο η ψύξη εισόδου χρησιμοποιείται για τη μείωση της υγρασίας του δωματίου
Q_{sens}	Ποσοστό στο οποίο η ψύξη εισόδου χρησιμοποιείται για τη μείωση της θερμοκρασίας του δωματίου
Q_T	Ποσοστό στο οποίο η ενέργεια μεταφέρεται μέσα στο χώρο διά μέσου του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας
T_a	Η θερμοκρασία περιβάλλοντος εκτός του κτηρίου
T_i	Η θερμοκρασία του εισερχόμενου ρεύματος ρευστού
T_{min}	Η θερμοκρασία ορισμού για θέρμανση
T_{max}	Η θερμοκρασία ορισμού για ψύξη
T_o	Η θερμοκρασία του ρεύματος πηγής καθώς αφήνει το φορτίο
T_R	Η θερμοκρασία δωματίου της κατοικίας
\bar{T}_R	Η μέση θερμοκρασία δωματίου κατά το χρονικό βήμα
\bar{T}_{RC}	Η μέση θερμοκρασία δωματίου κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος εντός της ζώνης άνεσης
T_{RF}	Η θερμοκρασία στο τέλος του χρονικού βήματος
T_{RI}	Η αρχική θερμοκρασία δωματίου
T_{RL}	Η θερμοκρασία στην αρχή του χρονικού βήματος
UA	Μια σταθερά που έχει μονάδες ενέργειας / (βαθμό-ώρα) που χαρακτηρίζει τις απαιτήσεις θέρμανσης ενός συγκεκριμένου κτηρίου
ϵ	Η αποδοτικότητα του φορτίου του εναλλάκτη θερμότητας
Δt	Χρονικό βήμα προσομοίωσης
Δt_c	Περίοδος του χρόνου κατά το χρονικό βήμα όπου η θερμοκρασία δωματίου βρίσκεται στα επιτρεπτά όρια

Μαθηματική αναφορά

Αυτό το component παρέχει στον χρήστη δύο τρόπους παροχής βοηθητικής ενέργειας στο κτήριο. Ο πρώτος τρόπος είναι η παράλληλη βοηθητική λειτουργία και ο δεύτερος είναι η βοηθητική λειτουργία σειράς ή "παράκαμψη". Και οι δυο από αυτούς τους τρόπους πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο για προσομοίωση της θέρμανσης. Οι τρόποι 3 ή 4 μπορούν να χρησιμοποιηθούν καθορίζοντας τις ενεργειακές απαιτήσεις είτε για θέρμανση είτε για ψύξη. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση χρησιμοποιείται ο πρώτος τρόπος.

MODE 1: PARALLEL AUXILIARY (0 NODE)



Σχήμα 4.22: Παράλληλη θέρμανση [48]

$$\dot{m}_o = \begin{cases} \dot{m}_h & \text{if } \dot{Q}_L > 0 \\ 0 & \text{if } \dot{Q}_L < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\dot{Q}_L = \begin{cases} [UA(T_R - T_a) - \dot{Q}_{gain}] & \text{if } > 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{aux} = \dot{Q}_L - \dot{Q}_T \quad (3)$$

$$T_o = T_i - \dot{Q}_T / \dot{m}_h \cdot \dot{C}_p \quad (4)$$

Παράμετροι:

Τρόπος βοηθητικής θέρμανσης	1	-
Συνολική αγωγιμότητα του σπιτιού	516.7	W/K
Θερμοκρασία ορισμού του σπιτιού	18	C
Παροχή ροής όταν η αντλία λειτουργεί	800	Kg/hr
Ειδική θερμότητα του ρευστού της πηγής	3.32	kJ/kg.K
Αποτελεσματικότητα-Cmin product	602	W/K

VIII. Αντλία-Type 3b; Variable Speed Pump or Fan without Humidity Effects



Αυτό το μοντέλο αντλίας υπολογίζει μια παροχή μάζας χρησιμοποιώντας μια μεταβλητή λειτουργίας ελέγχου, η οποία πρέπει να είναι μεταξύ 0 και 1 και μια σταθερή (καθοριζόμενη από τον χρήστη) μέγιστη ικανότητα ροής. Η κατανάλωση ισχύος της αντλίας μπορεί επίσης να υπολογιστεί είτε ως γραμμική συνάρτηση του ρυθμού ροής μάζας είτε μέσω μιας καθοριζόμενης από το χρήστη σχέσης μεταξύ της παροχής μάζας και της κατανάλωσης ενέργειας. Σε πολλά συστήματα, δεν υπάρχει διαμόρφωση συνεχούς ροής και η λειτουργία ελέγχου είναι 0 ή 1. Σε αυτή την περίπτωση, ο ρυθμός ροής εξόδου και η ισχύς του ρευστού i είναι είτε μηδέν είτε λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους. Η ταχύτητα ροής του ρευστού εισόδου εισάγεται στην ρουτίνα του type 3μόνο για έλεγχο σύγκλισης.

Ορολογία

- C_i συντελεστής πολωνύμου που συνδέει το λόγο P/P_{max} με το λόγο m/m_{max}
- C_p Ειδική θερμότητα του ρευστού
- F_{par} Κλάσμα της ισχύος της αντλίας που μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια του ρευστού
- m Ρυθμός ροής μάζας της αντλίας
- m_{max} Μέγιστη ροή (όταν $\gamma=1$)
- P Κατανάλωση ισχύος της αντλίας
- P_{max} Μέγιστη κατανάλωση ισχύος (όταν $\gamma=1$)
- T_i Θερμοκρασία εισερχόμενου ρευστού
- T_o Θερμοκρασία εξερχόμενου ρευστού
- γ Συνάρτηση ελέγχου ($0 \leq \gamma \leq 1$)

Μαθηματική αναφορά

Η θερμοκρασία εξόδου υπολογίζεται ως:

$$T_0 = T_l + \frac{P \cdot f_{par}}{\dot{m} \cdot C_p} \quad (1)$$

Η ροή μάζας εξόδου είναι:

$$\dot{m}_o = \gamma \cdot \dot{m}_{max} \quad (2)$$

Αν είναι γνωστοί μόνο οι απαραίτητοι παράμετροι, παρέχεται μια γραμμική σχέση μεταξύ της ροής και της κατανάλωσης ισχύος:

$$P = \gamma \cdot P_{max} \quad (3)$$

Αν είναι γνωστοί περισσότεροι από τέσσερις παράμετροι, οι επιπλέον παράμετροι χρησιμοποιούνται σε συντελεστές σε μια πολυωνυμική σχέση που συνδέει τη κατανάλωση ισχύος με τη ροή.

$$P = 0, \quad T_o = T_{in} \quad \text{if } \dot{m} = 0$$

ή

$$P = P_{max} \cdot [c_0 + c_1 \cdot \gamma + c_2 \cdot \gamma^2 + \dots + c_i \cdot \gamma^i] \quad \text{if } \dot{m} > 0$$

where $c_0, c_1, c_2, \dots, c_i$ are entered as optional PARAMETERS 5,6,7,....i+5.

Παράμετροι:

Type-3b	1	2	3	4	-
Μέγιστη ροή	600	800	400	800	Kg/hr
Ειδική θερμότητα του ρευστού	3.32	3.32	3.32	3.32	kJ/kg.K
Μέγιστη ισχύς	60	60	60	60	W
Συντελεστής μετατροπής	0.05	0.05	0.05	0.05	-
Συντελεστής ισχύς	0.5	0.5	0.5	0.5	-

IX. Βαλβίδες εκτροπής και μίξης-Type 11f, Type 11d; Controlled flow diverter and mixer

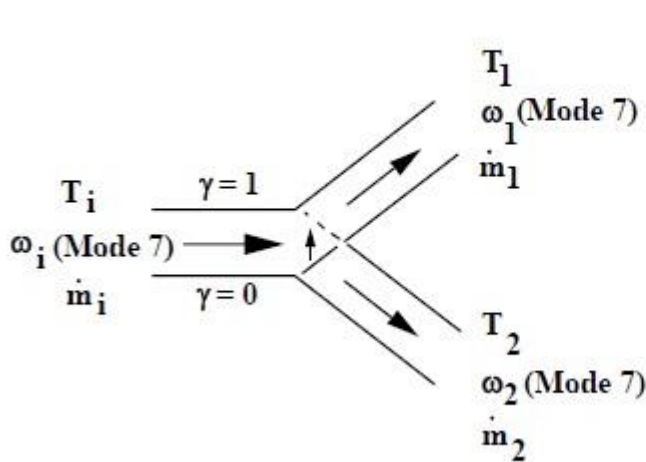


Ορολογία

- m_i ροή μάζας του εισερχόμενου ρευστού
- m_o ροή μάζας του εξερχόμενου ρευστού
- m_1 ροή μάζας στη θέση 1
- m_2 ροή μάζας στη θέση 2
- T_h Θερμοκρασία ρευστού πηγής θερμότητας
- T_i Θερμοκρασία εισερχόμενου ρευστού
- T_o Θερμοκρασία εξερχόμενου ρευστού
- T_{set} Μέγιστη θερμοκρασία του ρευστού που καλύπτει το φορτίο
- T_1 Θερμοκρασία στη θέση 1
- T_2 Θερμοκρασία στη θέση 2
- γ Εξίσωση ελέγχου που παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1
- ω_1 Ποσοστό υγρασίας στη θέση 1

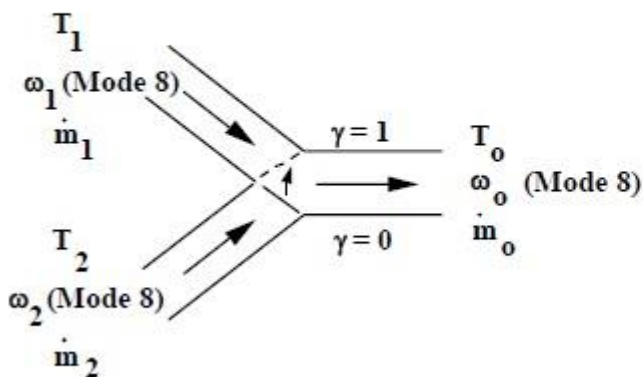
- ω_2 Ποσοστό υγρασίας στη θέση 2
- ω_i Ποσοστό υγρασίας εισερχόμενου ρευστού
- ω_o Ποσοστό υγρασίας εξερχόμενου ρευστού

Μαθηματική αναφορά



$$\begin{aligned}
 T_1 &= T_i \\
 \omega_1 &= \omega_i \text{ (Mode 7)} \\
 \dot{m}_1 &= \dot{m}_i (1-\gamma) \\
 T_2 &= T_i \\
 \omega_2 &= \omega_i \text{ (Mode 7)} \\
 \dot{m}_2 &= \dot{m}_i \gamma
 \end{aligned}$$

Σχήμα 4.23: Βαλβίδα εκτροπής [48]



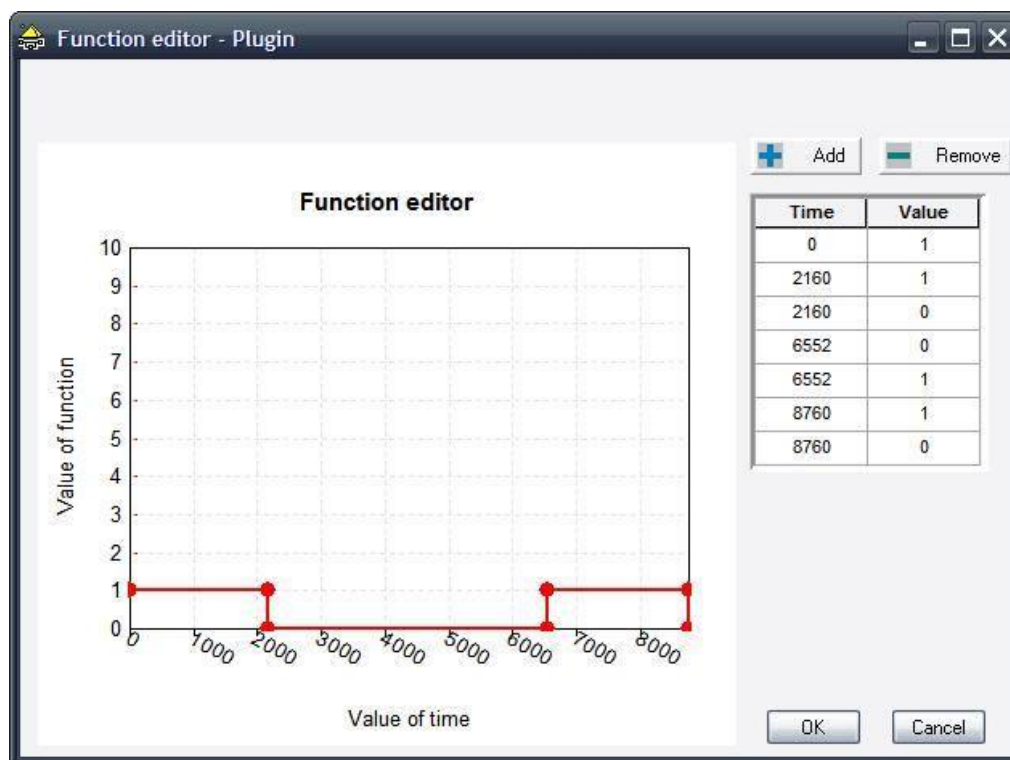
$$\begin{aligned}
 T_o &= \frac{\dot{m}_1 T_1 (1-\gamma) + \dot{m}_2 T_2 \gamma}{\dot{m}_1 (1-\gamma) + \dot{m}_2 \gamma} \\
 \omega_o &= \frac{\dot{m}_1 \omega_1 (1-\gamma) + \dot{m}_2 \omega_2 \gamma}{\dot{m}_1 (1-\gamma) + \dot{m}_2 \gamma} \text{ (Mode 8)} \\
 \dot{m}_o &= \dot{m}_1 (1-\gamma) + \dot{m}_2 \gamma
 \end{aligned}$$

Σχήμα 4.24: Βαλβίδα μίξης [48]

X. Type 14h – Time Dependent |Forcing Function

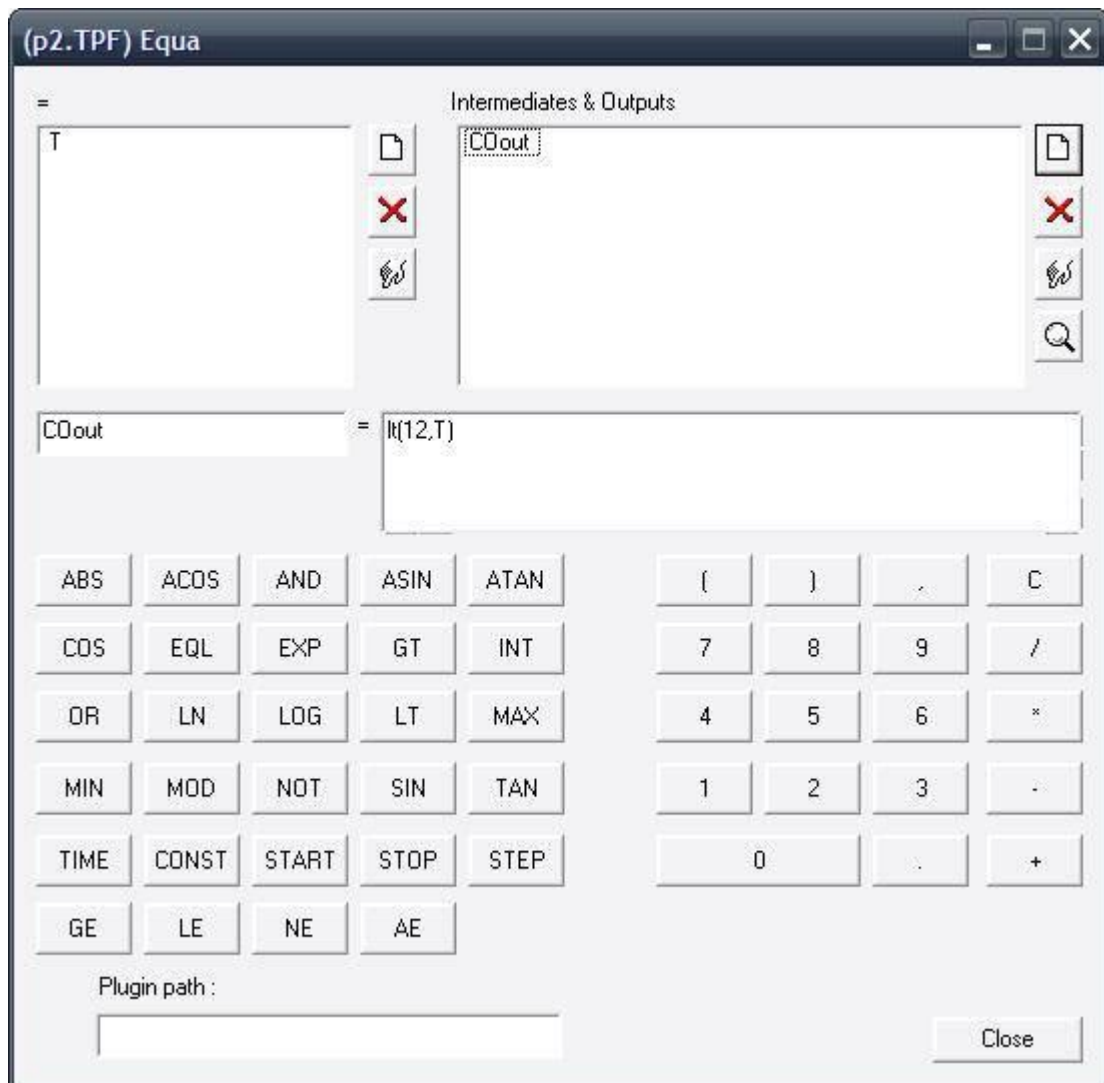


Σε μια παροδική προσομοίωση, είναι μερικές φορές βολικό να χρησιμοποιείται μια λειτουργία εξαρτώμενη από το χρόνο, η οποία ακολουθεί μια συμπεριφορά που χαρακτηρίζεται από ένα επαναλαμβανόμενο σχέδιο. Το πρότυπο της λειτουργίας ελέγχου καθορίζεται από ένα σύνολο από διακριτά σημεία δεδομένων που υποδεικνύουν την τιμή της λειτουργίας σε διάφορους χρόνους κατά τη διάρκεια ενός κύκλου. Προβλέπεται γραμμική παρεμβολή προκειμένου να δημιουργηθεί μια συνεχής λειτουργία εξαναγκασμού από διακριτά δεδομένα. Ο κύκλος θα επαναληφθεί κάθε N ώρες, όπου N η τελευταία καθορισμένη ώρα. Ενώ ο κώδικας του Type14 είναι εντελώς αόριστος, αυτή η έκδοση του στοιχείου χρησιμοποιεί μη διαστασοποιημένες μονάδες έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και με πολύ γενικό τρόπο.



Σχήμα 4.25: Σήμα ελέγχου της αντλίας

XI. Εξίσωση-p2.TPF; Equation



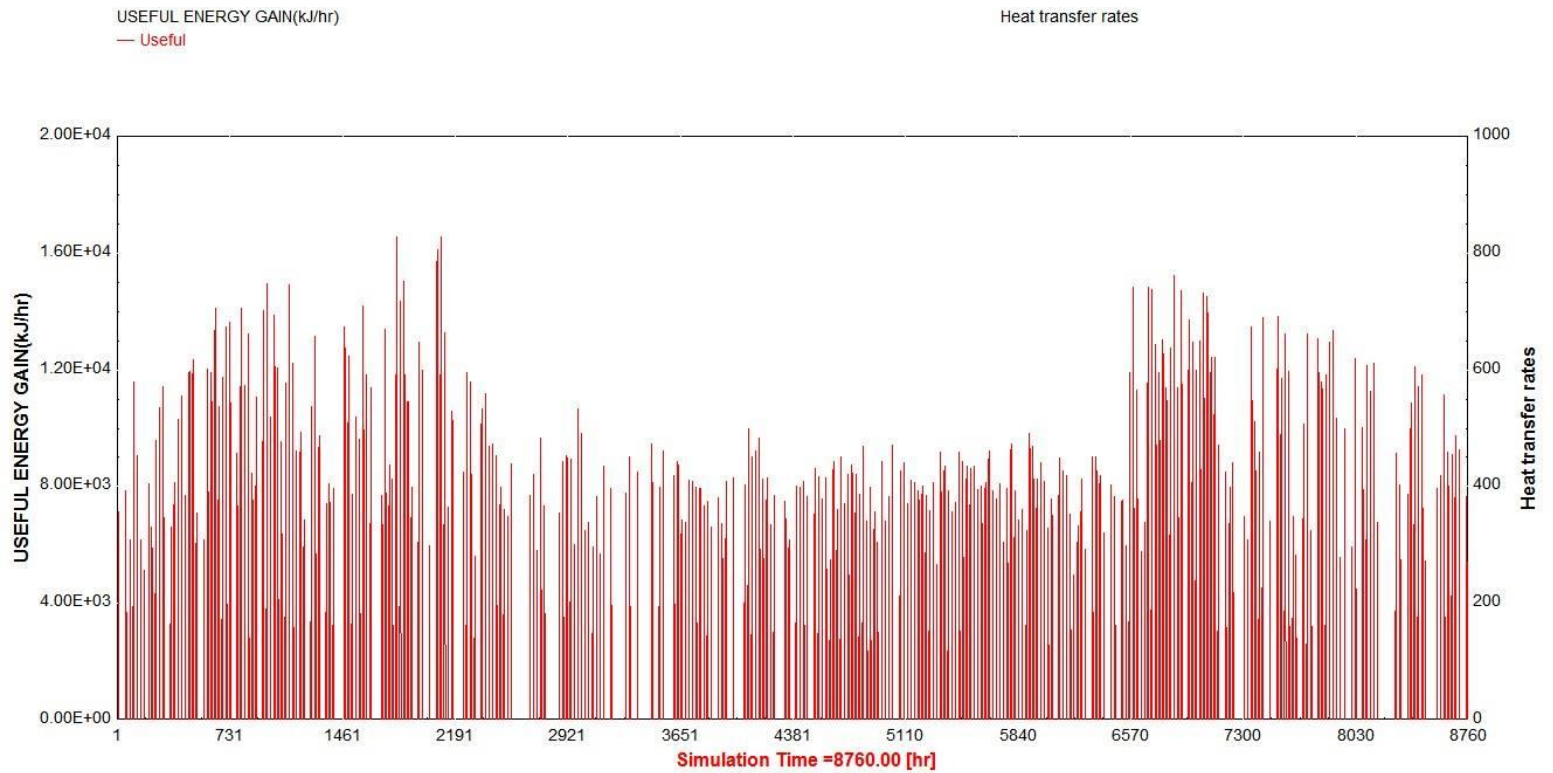
Σχήμα 4.26: Παράθυρο εξίσωσης

Το νόημα αυτής της εξίσωσης είναι ότι όταν η θερμοκρασία εξόδου της βαλβίδας type11d είναι μικρότερη από 12 βαθμούς τότε το σήμα ελέγχου της βαλβίδας type11f γίνεται ένα και θερμό ρευστό κατευθύνεται προς τη βαλβίδα type 11f-3.

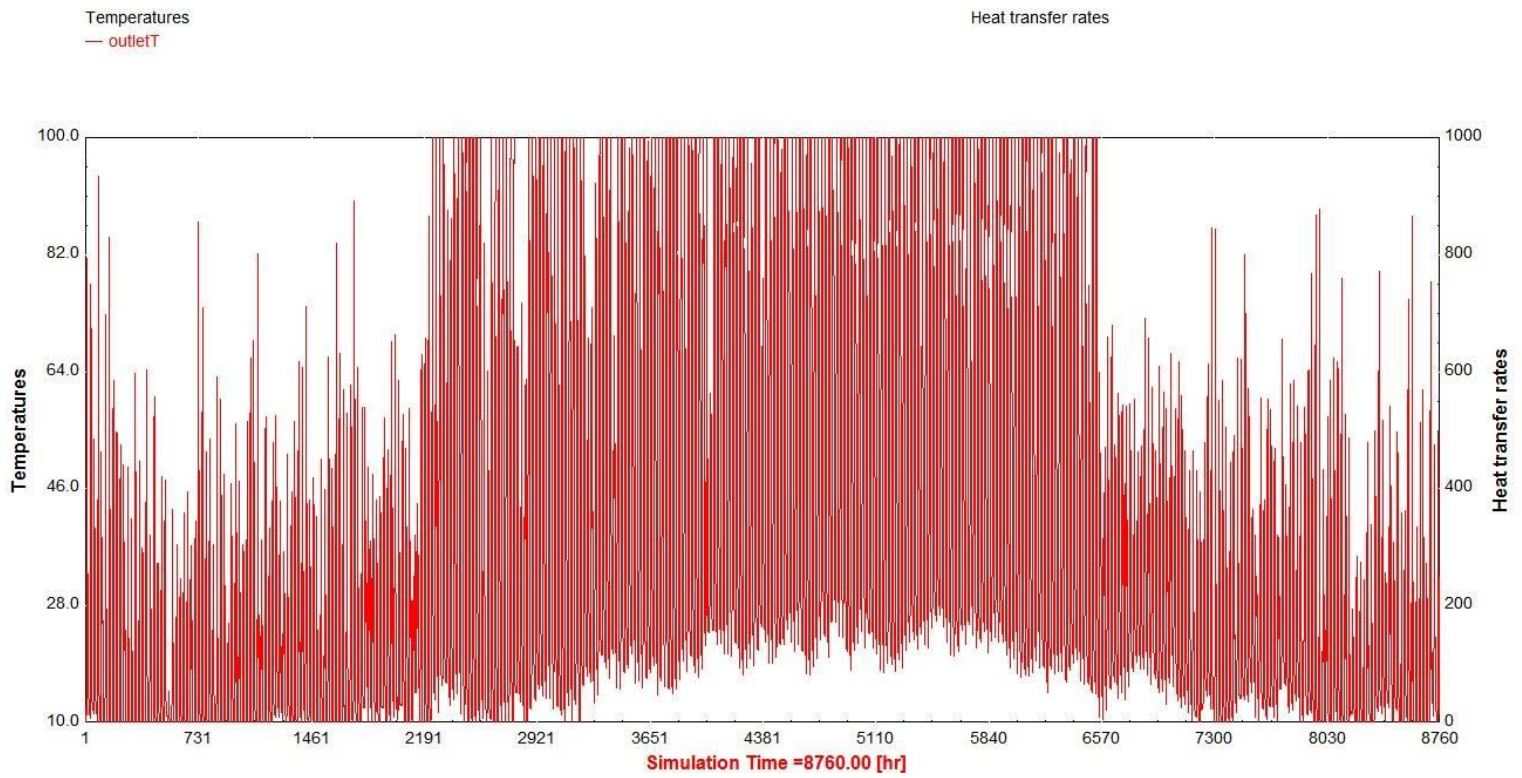
4.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης

1^ο Μοντέλο (χωρίς προθέρμανση ρευστού εισόδου στον ατμοποιητή)

Ηλιακοί συλλέκτες:

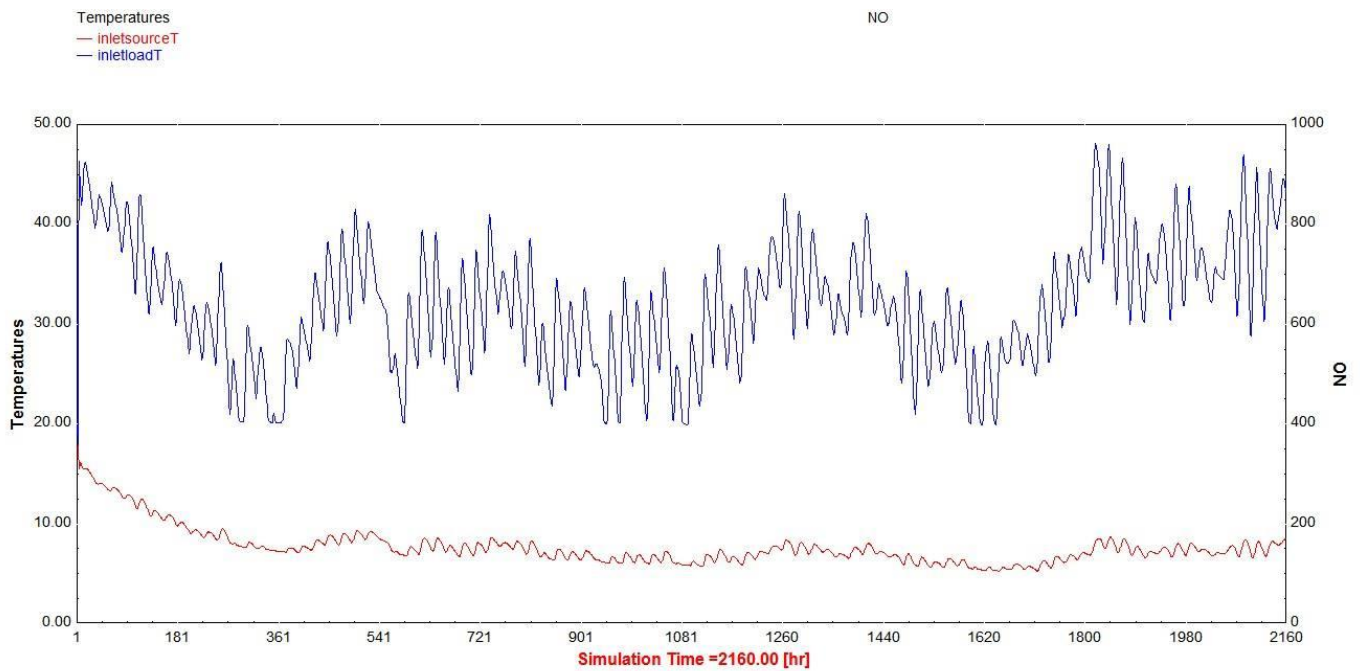


Σχήμα 4.27: Χρήσιμο ενεργειακό κέρδος συλλέκτων

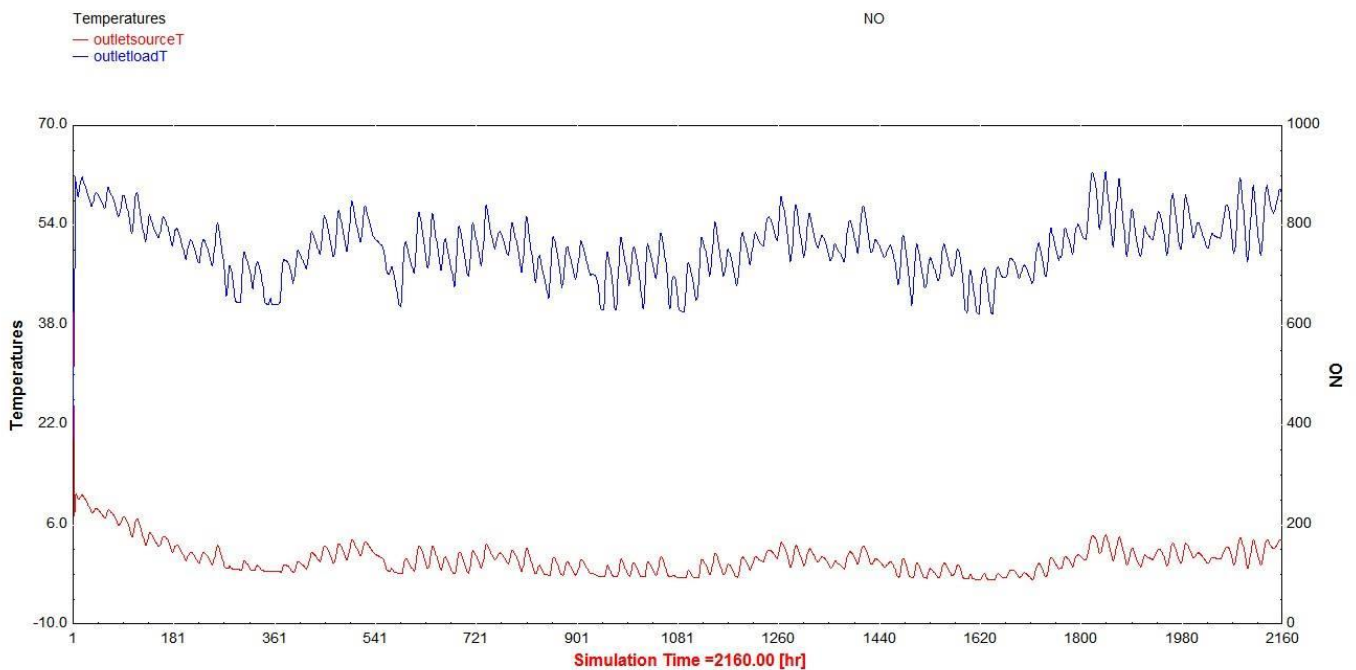


Σχήμα 4.28: Θερμοκρασία εξόδου από τους συλλέκτες

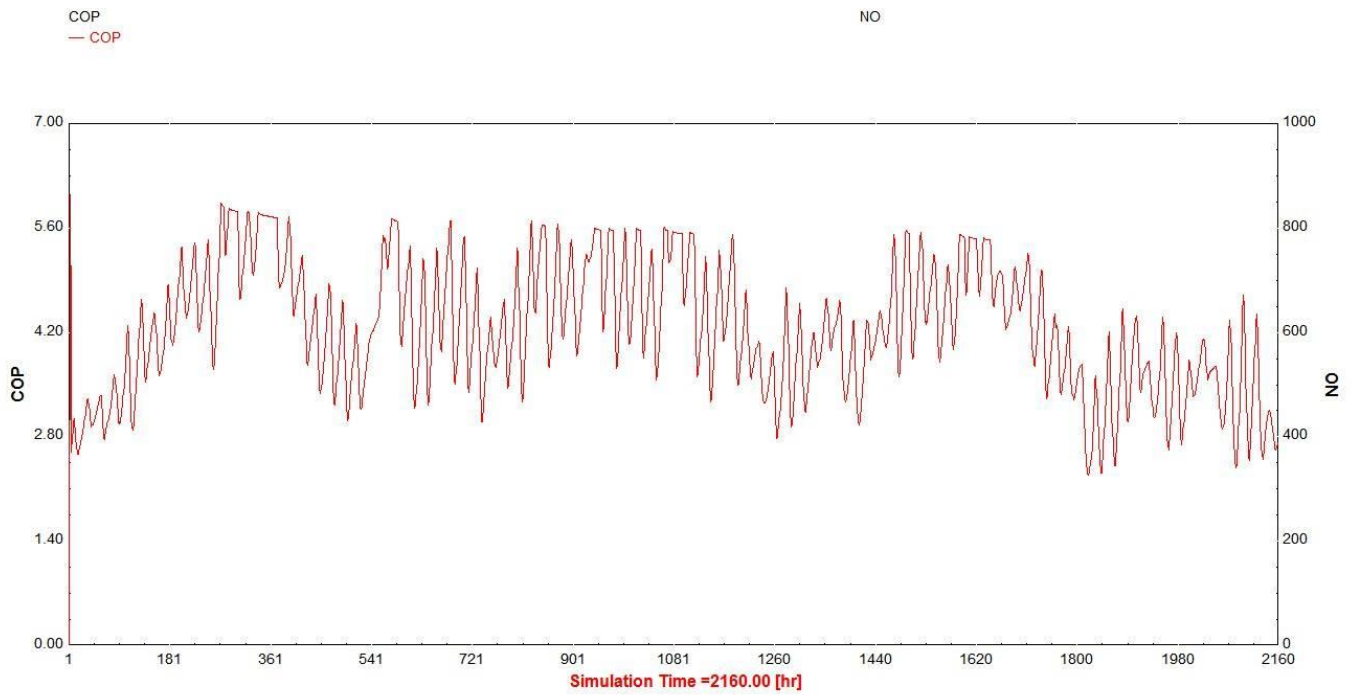
Αντλία θερμότητας νερού-νερού:



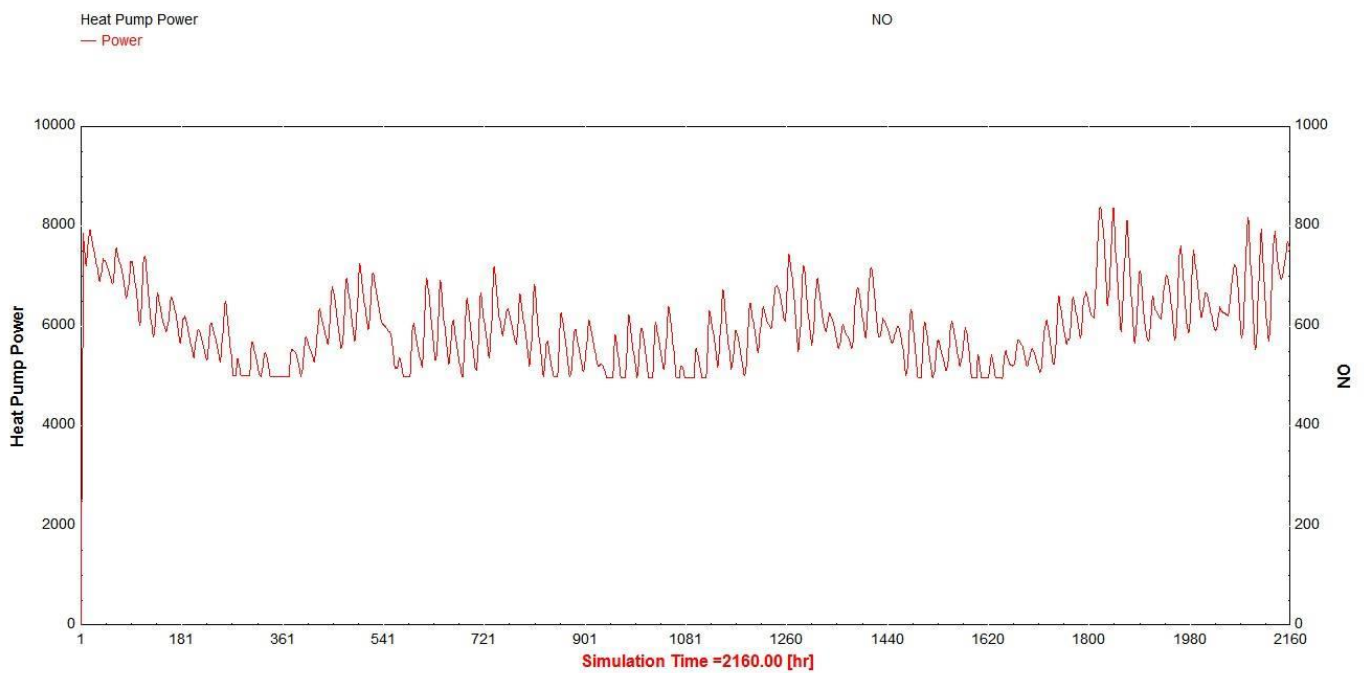
Σχήμα 4.29: Θερμοκρασίες εισόδου σε ατμοποιητή και συμπυκνωτή



Σχήμα 4.30: Θερμοκρασίες εξόδου απο ατμοποιητή και συμπυκνωτή



Σχήμα 4.31: Συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς αντλίας

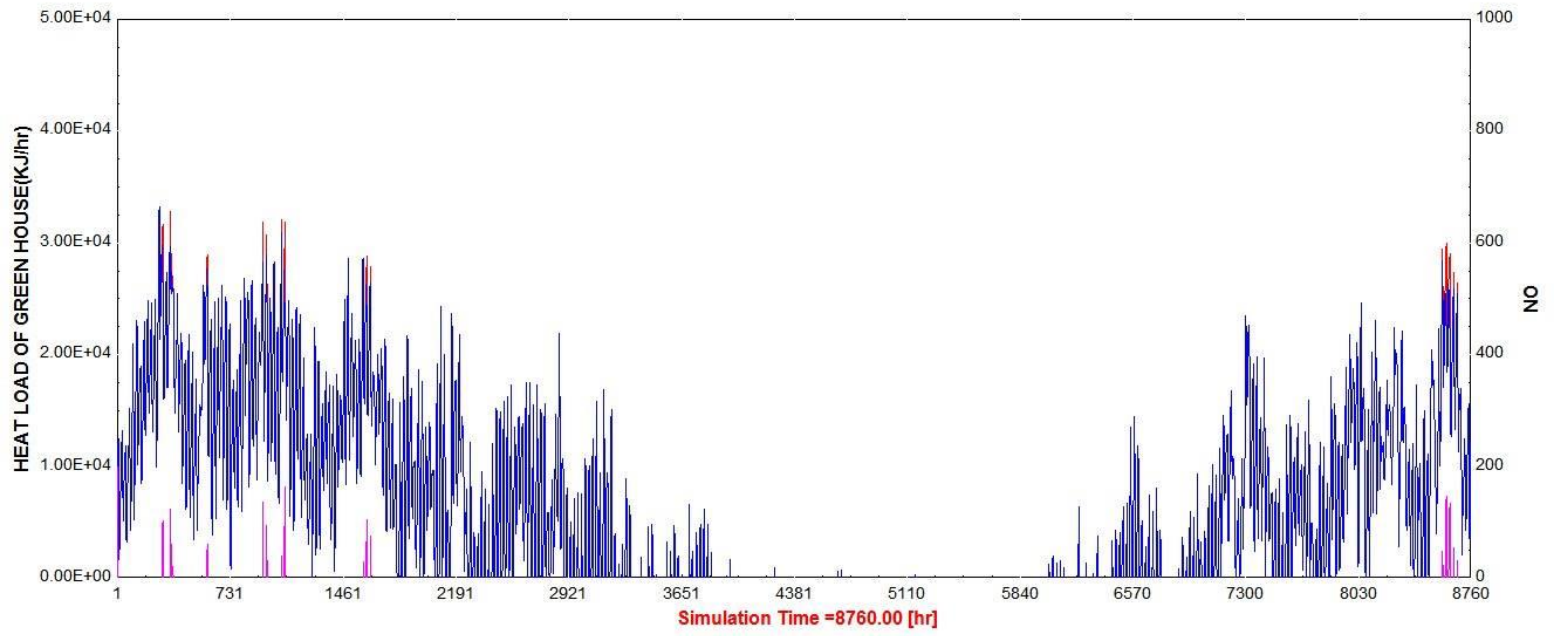


Σχήμα 4.32: Κατανάλωση ισχύος αντλίας

Θερμοκήπιο:

HEAT LOAD OF GREEN HOUSE(KJ/hr)
— load
— exchanger
— auxiliary

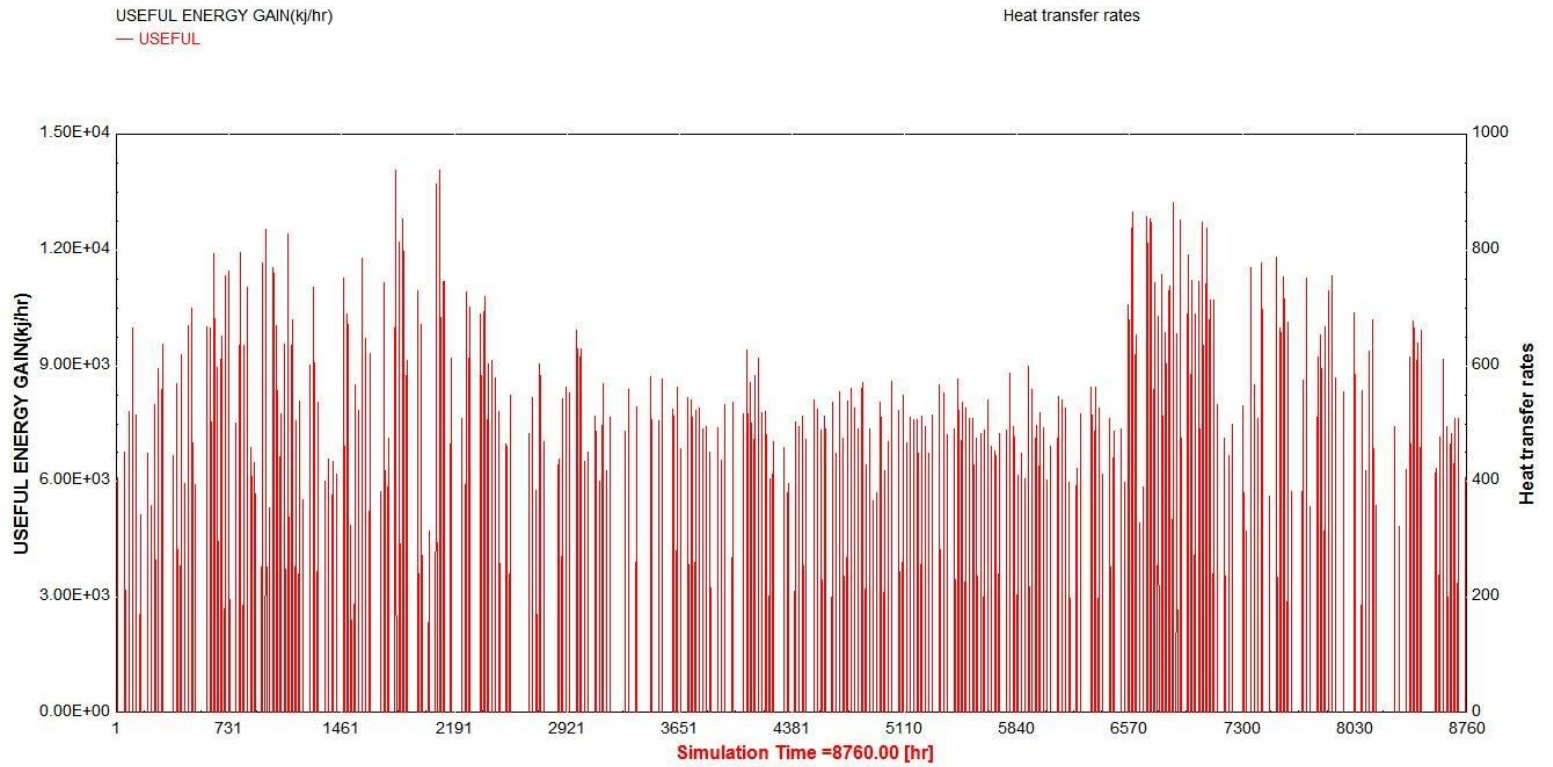
NO



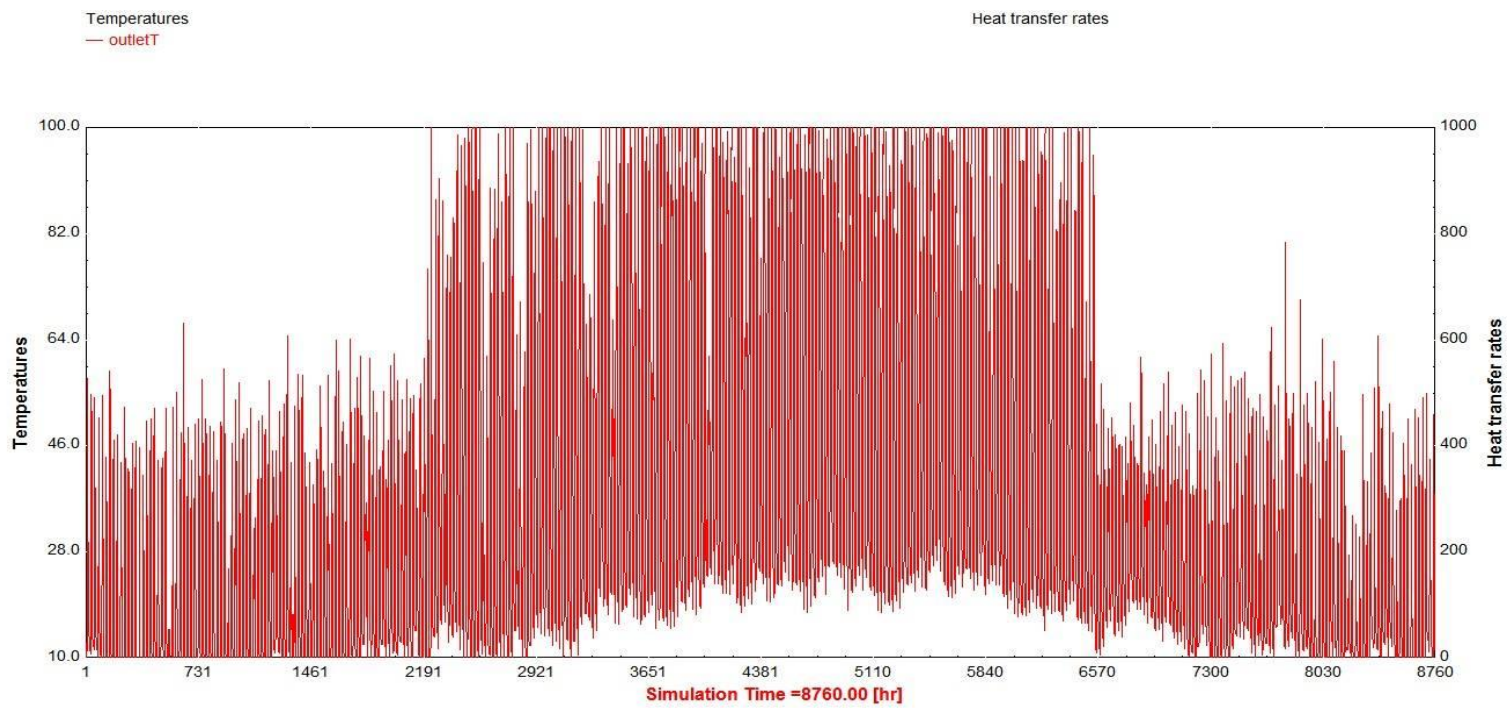
Σχήμα 4.33: Θερμικό φορτίο θερμοκηπίου

2° Μοντέλο (με προθέρμανση ρευστού εισόδου στον ατμοποιητή)

Ηλιακοί συλλέκτες:

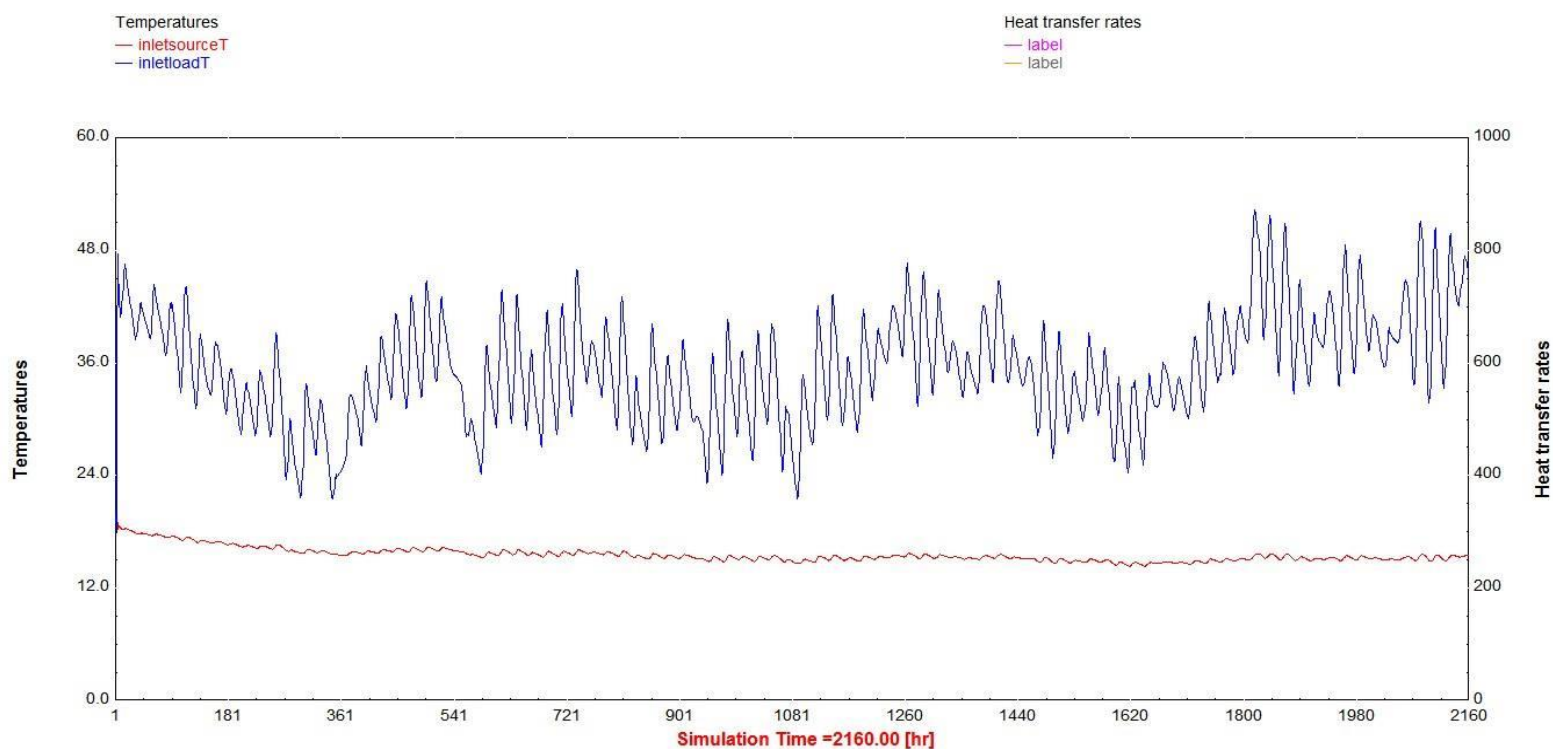


Σχήμα 4.34: Χρήσιμο ενεργειακό κέρδος συλλεκτών

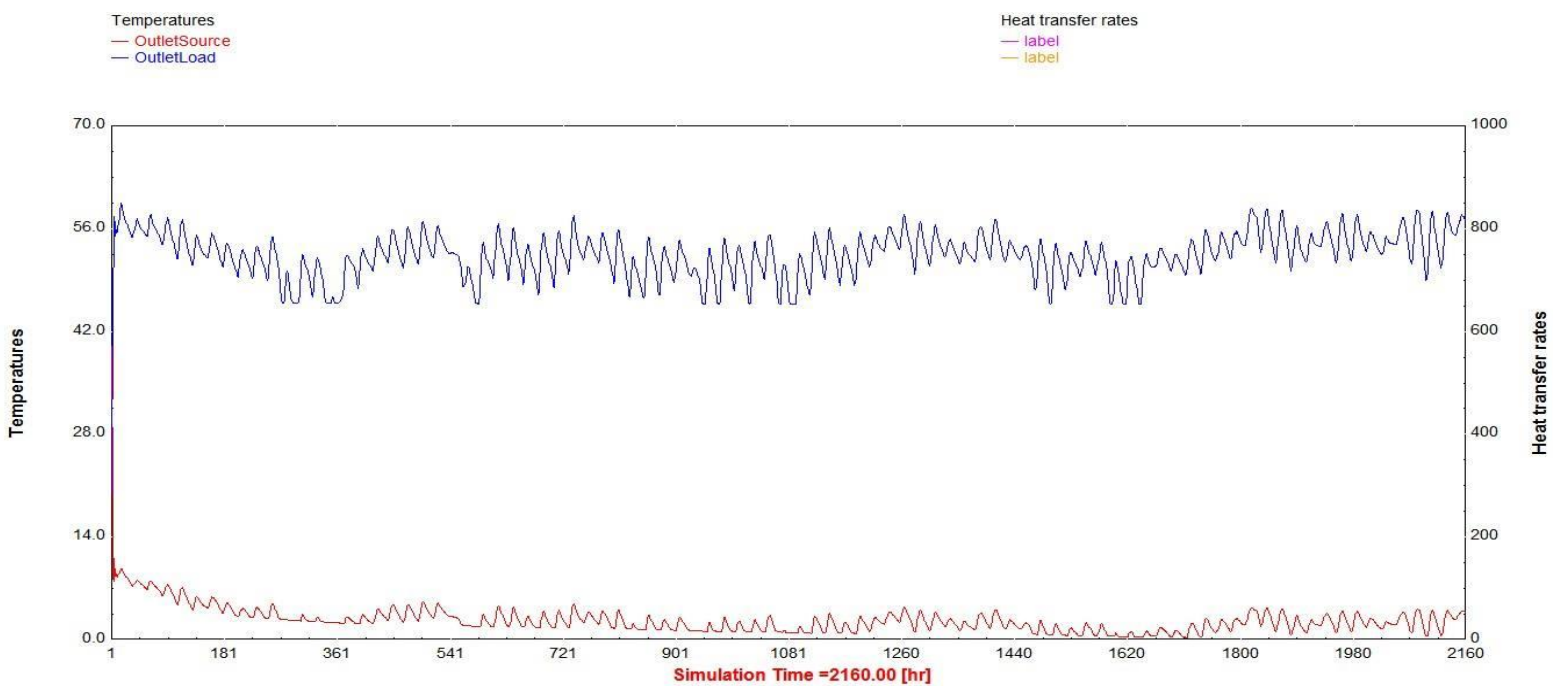


Σχήμα 4.35: Θερμοκράσια εξόδου από τους συλλέκτες

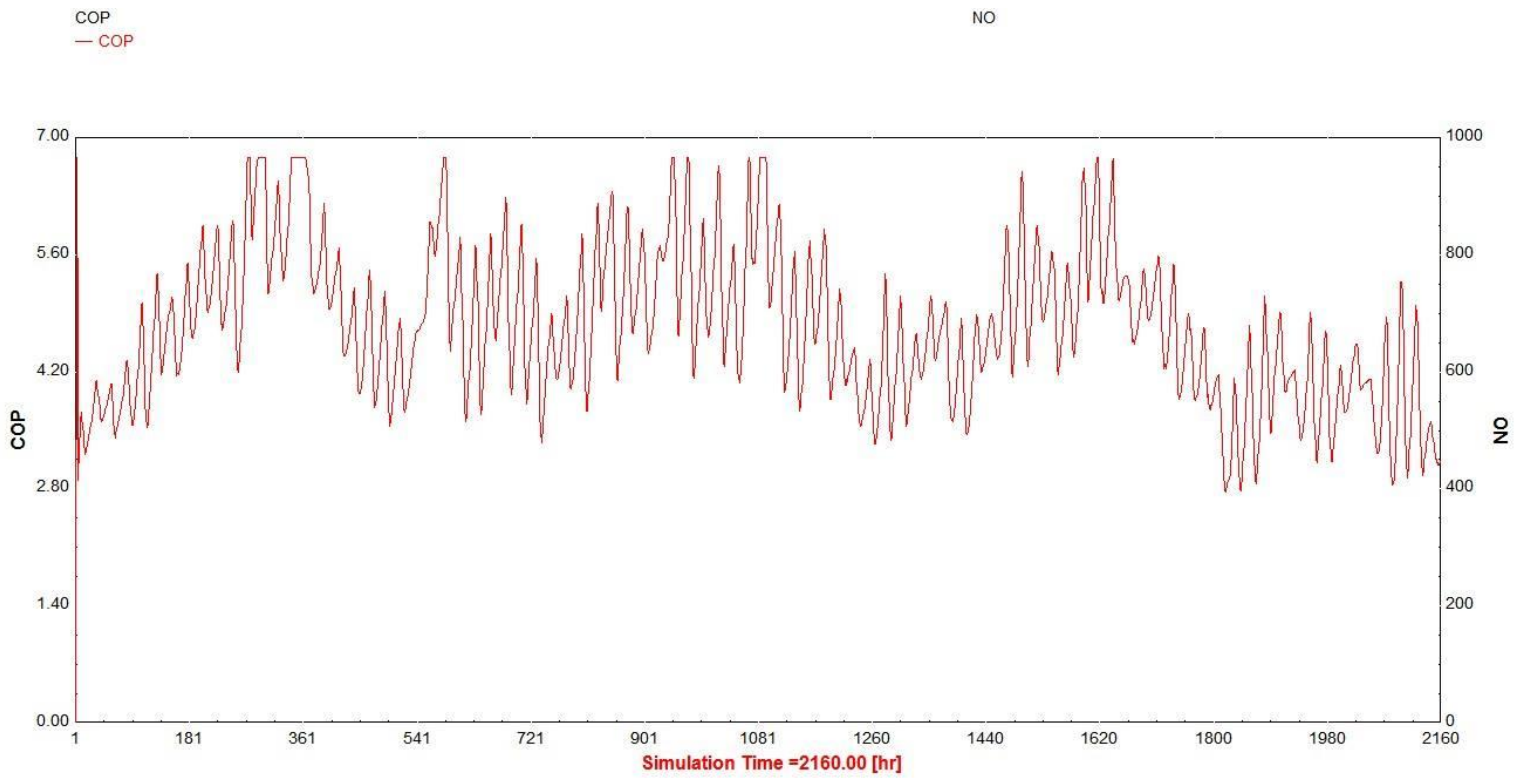
Αντλία θερμότητας νερού νερού:



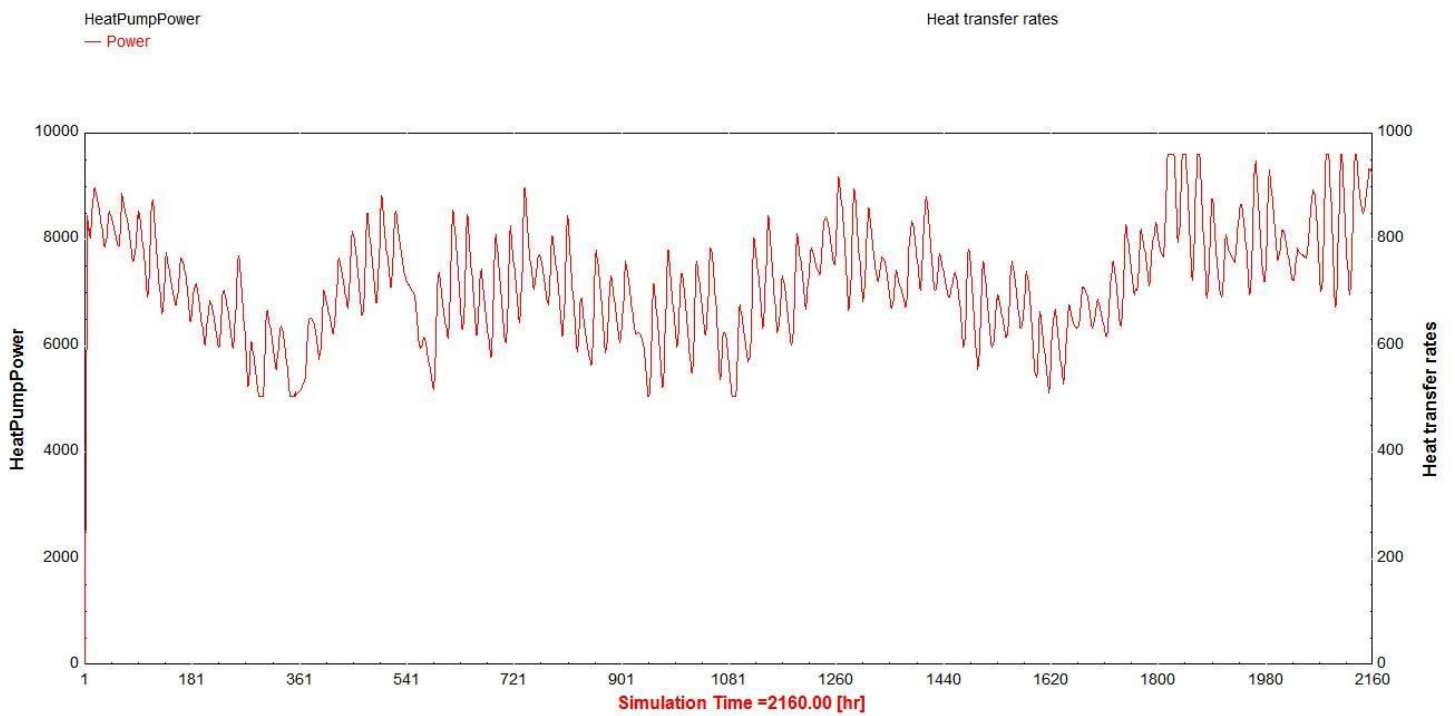
Σχήμα 4.36: Θερμοκρασίες εισόδου σε ατμοποιητή και συμπυκνωτή



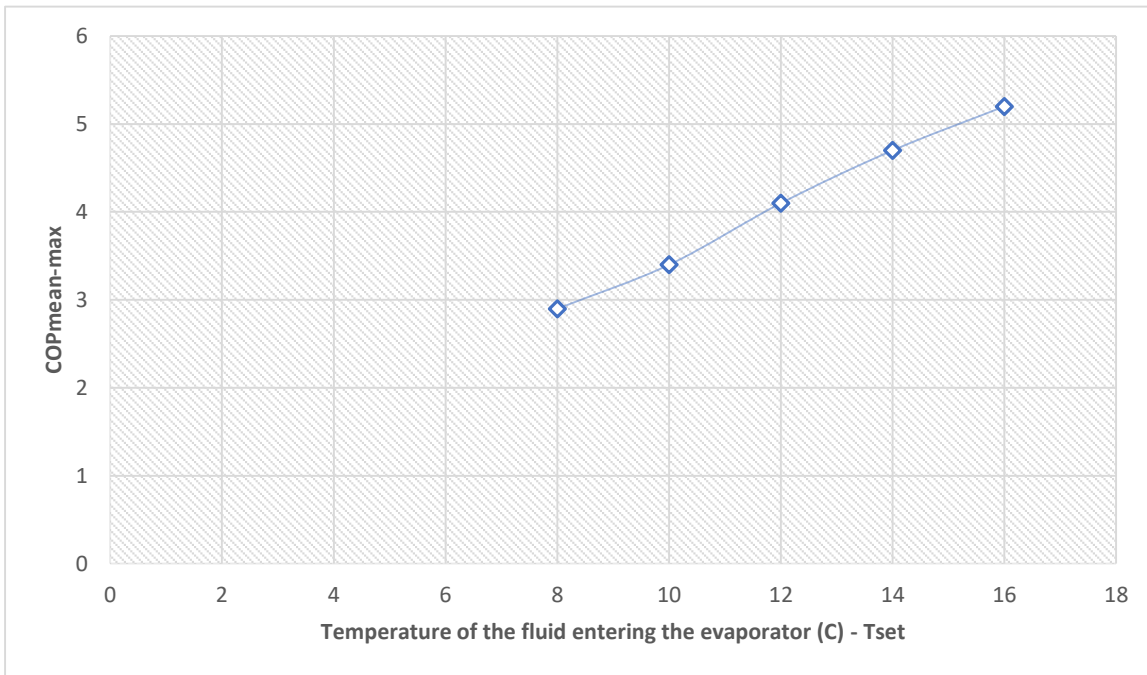
Σχήμα 4.37: Θερμοκρασίες εξόδου απο ατμοποιητή και συμπυκνωτή



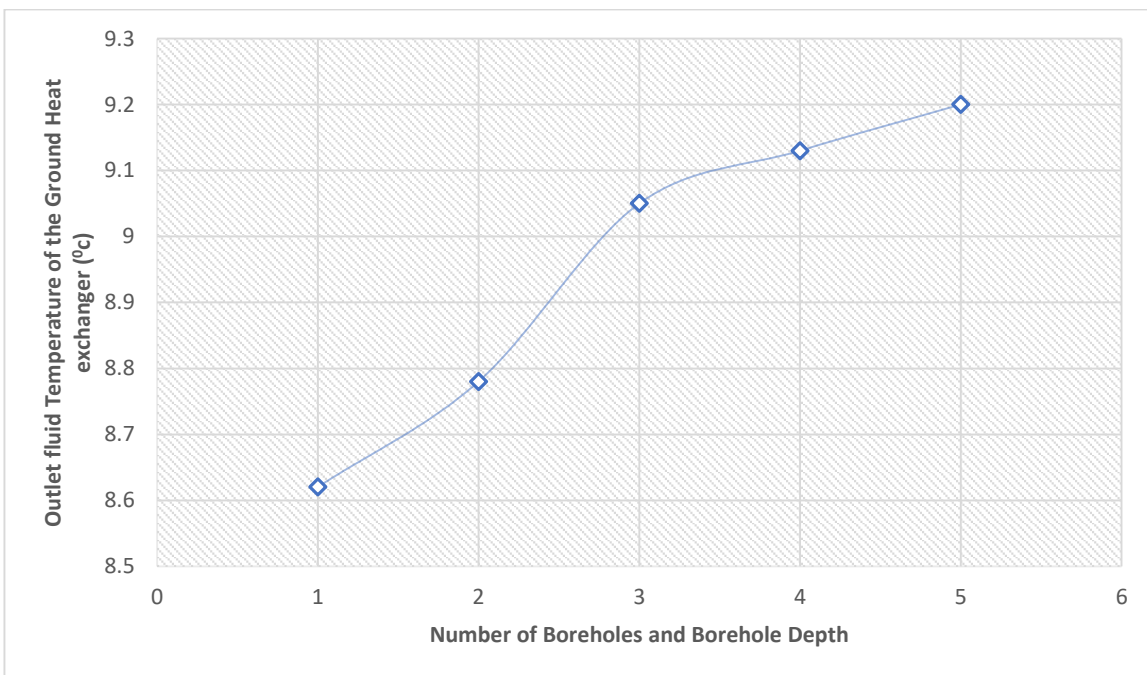
Σχήμα 4.38: Συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς αντλίας θερμότητας



Σχήμα 4.39: Κατανάλωση ισχύος αντλίας θερμότητας



Σχήμα 4.40: Μεταβολή του μέσου COP συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου στον ατμοποιητή



1: N=1, L=150 m , 2: N=2, L=75 m, 3: N=3, L=50 m, 4: N=4, L=37.5 m, 5: N=5, L=30 m

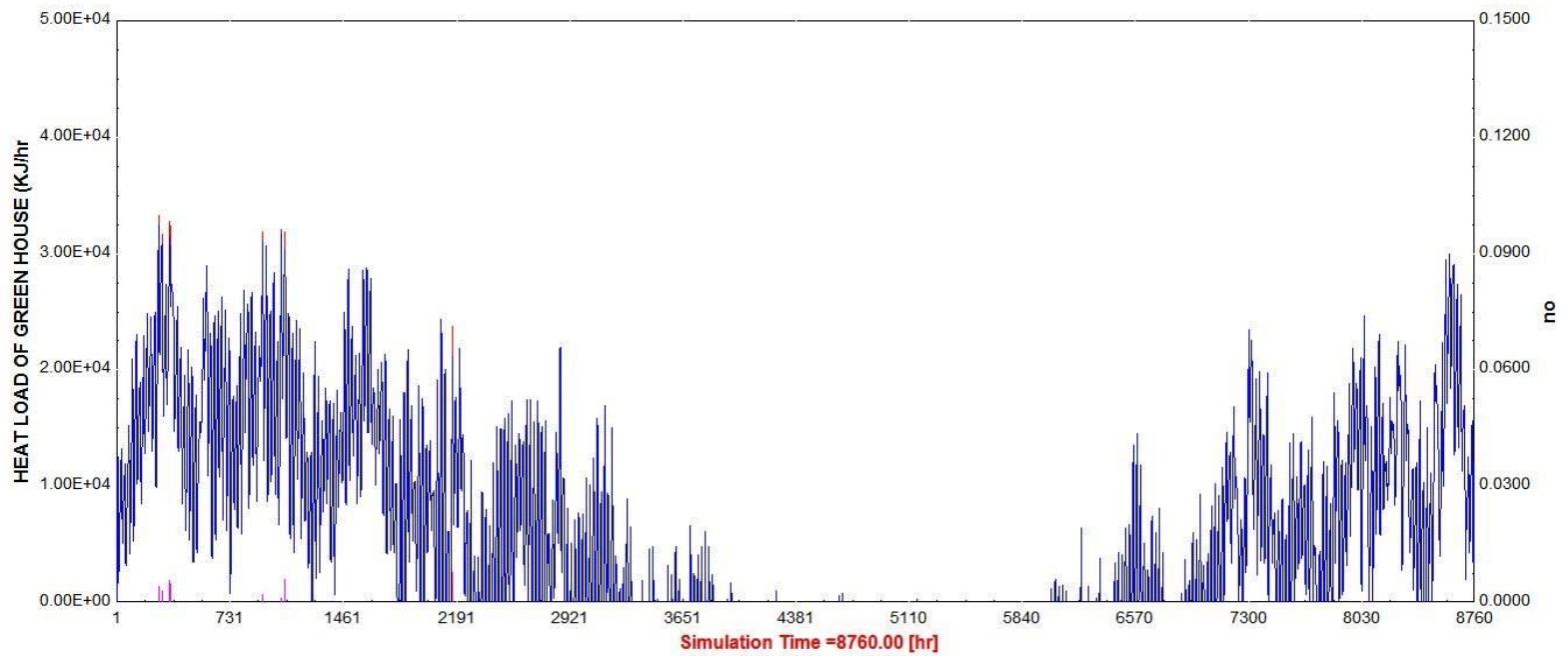
Σχήμα 4.41: Σύγκριση διαφορετικών συστημάτων γεωεναλλάκτη

Θερμοκήπιο:

HEAT LOAD OF GREEN HOUSE (KJ/hr)

- load
- exchanger
- auxiliary

no
— NO



Σχήμα 4.40: Θερμικό φορτίο θερμοκηπίου

4.6 Συμπεράσματα

Αρχικά επιλέγονται 3 ηλιακοί συλλέκτες με επιφάνεια $3,14 \text{ m}^2$ ο καθένας. Η θερμική ικανότητα της αντλίας που είναι απαραίτητη για να καλύψει το ολικό θερμικό φορτίο του θερμοκηπίου το χειμώνα, όταν η συνολική επιφάνεια των συλλεκτών είναι $9,42 \text{ m}^2$ είναι περίπου 8 kW. Με βάση τις εμπορικές αντλίες νερού νερού που είναι διαθέσιμες στην αγορά επιλέγεται μια θερμικής ικανότητας 7,7 kW και το υπόλοιπο φορτίο καλύπτεται από συμβατικά συστήματα θέρμανσης, όπως περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3. (πχ. θερμάστρες παραφίνης)

Μελετώντας τα αποτελέσματα και τα διαγράμματα που προέκυψαν από την παραμετρική ανάλυση των δύο διατάξεων του συνδυασμένου κύκλου γεωθερμικής αντλίας θερμότητας – ηλιακών συλλεκτών μπορεί κανείς να διαπιστώσει ότι καταρχήν ο βαθμός απόδοσης της αντλίας νερού νερού αυξάνεται αισθητά με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του ρευστού στον ατμοποιητή της εγκατάστασης. Στη πρώτη διάταξη, που το σύστημα λειτουργεί χωρίς προθέρμανση, ο μέσος συντελεστής ψυκτικής συμπεριφοράς της αντλίας COP κυμαίνεται κοντά στο 3,9 ενώ στο δεύτερο μοντέλο, που θερμό ρευστό από το δοχείο αποθήκευσης χρησιμοποιείται για τη προθέρμανση του ατμοποιητή, υπολογίζεται κοντά στο 5,1.

Στο δεύτερο μοντέλο μέσω εξίσωσης μπορούμε να μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον ατμοποιητή (set temperature). Για τιμές από 8 έως 16 °C παρατηρείται σταδιακή αύξηση του COP. Η αύξηση του βαθμού απόδοσης της αντλίας και στις δύο περιπτώσεις έχει ως επακόλουθο να καλύπτεται περισσότερο από το απαιτούμενο θερμικό φορτίο για τη θέρμανση του θερμοκηπίου και να μειώνεται η απαίτηση για βοηθητική ενέργεια. Αυτό συμφέρει οικονομικά καθώς μειώνεται ο αριθμός των θερμαντήρων που θα καλύπτουν αυτή την ενέργεια θέρμανσης. Παράλληλα όμως, όπως φαίνεται στα διαγράμματα, όσο αυξάνεται η απόδοση της αντλίας τόσο αυξάνεται και η κατανάλωση ισχύος της σε kWh, κάτι που αυξάνει το κόστος της εγκατάστασης. Η συμφέρουσα εγκατάσταση θα επιλεγεί συνυπολογίζοντας το κόστος των θερμαντήρων και τη τιμή της kWh στην Ελλάδα.

Το συνολικό βάθος των γεωτρήσεων επιλέγεται 150 m. Μεταβάλλοντας των αριθμό των γεωτρήσεων από 1 μέχρι 5 αυξάνεται και η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον γεωεναλλάκτη από 8,5 μέχρι 9,2 °C. Επιπλέον με την αύξηση της ροής στον εναλλάκτη του θερμοκηπίου αυξάνεται και το προσδιδόμενο θερμικό φορτίο σε αυτό με αποτέλεσμα τη μείωση της απαιτούμενης εξωτερικής ενέργειας θέρμανσης.

Οι ηλιακοί συλλέκτες προσδίδουν μεγαλύτερο ενεργειακό κέρδος στο πρώτο μοντέλο προσομοίωσης. Παρατηρούμε όμως ότι το σύστημα δε καλύπτει επαρκώς το απαιτούμενο θερμικό φορτίο για τη διατήρηση του θερμοκηπίου στους 18° C όλο το χρόνο. Επομένως θα χρειαστούν θερμάστρες για τη παροχή βοηθητικής ενέργειας, γεγονός που αυξάνει και πάλι το κόστος της εγκατάστασης.

Η θερμοκρασία του ρευστού που εισέρχεται και εξέρχεται από τον γεωεναλλάκτη θερμότητας θα αυξηθεί από 0,5 μέχρι 1 °C, κάτι που βοηθάει στην ανάκτηση θερμότητας του εδάφους γύρω από τον εναλλάκτη στις χειμερινές περιόδους και στην απότρεψη μείωσης του COP της αντλίας εξαιτίας της υψηλότερης απώλειας θερμότητας από το έδαφος όταν απαιτείται μέγιστο φορτίο θέρμανσης. Αυτό το πλεονέκτημα αποτρέπει τη διακοπόμενη λειτουργία της αντλίας που γίνεται για τον ίδιο σκοπό.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του ρευστού στο κύκλο εδάφους θα μειώσει την ανάγκη για ανάκτηση του εδάφους στις χειμερινές περιόδους και η ανάκτηση θα γίνει μόνο το καλοκαίρι όταν η προστιθέμενη ηλιακή ενέργεια είναι μέγιστη.

Τέλος το καταλληλότερο σύστημα για τη θέρμανση του θερμοκηπίου θα επιλεγεί με βάση:

- a) το ελάχιστο και μέγιστο COP της αντλίας θερμότητας όταν απαιτείται μέγιστο θερμικό φορτίο
- b) τις λεπτομέρειες του συνδυασμένου συστήματος λαμβάνοντας υπόψιν τα εμπορικά προϊόντα που παρέχονται από την αγορά
- c) την απαιτούμενη θερμική ενέργεια που παρέχεται από τις θερμάστρες
- d) τον συμβιβασμό μεταξύ κόστους και απόδοσης

Βιβλιογραφία

- [1] Kavanaugh SP, Rafferty K. Ground source heat pumps: design of geothermal systems for commercial and institutional buildings, ASHRAE; 1997, p. 167.
- [2] Erbay Zafer, Hepbasli Arif. Application of conventional and advanced exergy analyses to evaluate the performance of a ground-source heat pump (GSHP) dryer used in food drying. *Energy Convers Manage* 2014;78:499-507
- [3] Hepbasli A, Akdemir O. Energy and exergy analysis of a ground-source heat pump (GSHP) dryer used in food drying. *Energy Convers Manage* 2004;45:737-53
- [4] Hepbasli Arif, Akdemir Ozay, Hancioglu Ebru. Experimental study of a closed loop vertical ground source heat pump system. *Energy Convers Manage* 2003;44:527-48.
- [5] Esen Hikmet, Inalli Mustafa, Esen Mehmet. Technoeconomic appraisal of a ground source heat pump system for a heating season in eastern Turkey. *Energy Convers Manage* 2006;47:1281–97.
- [6] Hwang S, Ooka R, Nam Y. Evaluation of estimation method of ground properties for the ground source heat pump system. *Renew Energy* 2010;35:2123–30.
- [7] Al-Sarkhi A, Abu-Nada E, Nijmeh S, Akash B. Performance evaluation of standing column well for potential application of ground source heat pump in Jordan. *Energy Convers Manage* 2008;49:863–72.
- [8] Benli Huseyin. Energetic performance analysis of a ground-source heat pump system with latent heat storage for a greenhouse heating. *Energy Convers Manage* 2011;52:581–9.
- [9] Ozgener O, Hepbasli A. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy Build* 2005;37:101–10.
- [10] Yumrutas R, Unsal M. Analysis of solar aided heat pump systems with seasonal thermal energy storage in surface tanks. *Energy* 2000;25:1231–43.
- [11] Badescu V. Model of a solar-assisted heat pump system for space heating integrating a thermal energy storage unit. *Energy Build* 2002;34:715–26.
- [12] Bi Y, Guo T, Zhang L, Chen L. Solar and ground source heat-pump system. *Appl Energy* 2004;78:231–45.
- [13] Kjellson E. Solar collectors combined with ground-source heat pumps in dwelling, Doctoral thesis, Lund university, Lund; 2009.
- [14] Trillat-Berdal V, Souyri B, Achard G. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. *Appl Therm Eng* 2007;27:1750–5.
- [15] Jun Z, Yan C, Suzhen L, Junkui C. Optimization of serial combined system of ground-coupled heat pump and solar collector. Tianjin: Transactions of Tianjin University; 2009. 37–42.

- [16] Fang W, Mao-yu Z, Jun-peng S, Zhong-jian L. Simulation of embedded heat exchangers of solar aided ground source heat pump system. *J Central South Univ Technol* 2008;15:261–6.
- [17] Zhai XQ, Qu M, Yu X, Yang Y, Wan RZ. A review for the applications and integrated approaches of ground-coupled heat pump systems Review Article. *Renew Sustain Energy* 2011;15:3133–40.
- [18] Xi C, Lin L, Hongxing Y. Long term operation of a solar assisted ground coupled heat pump system for space heating and domestic hot water. *Energy Build* 2011;43:1835–44.
- [19] Eslami-nejad P, Bernier M. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors using double U-tube boreholes with two independent circuits. *Appl Therm Eng* 2011;31:3066–77.
- [20] Bakirci K, Ozyurt O, Comakli K, Comakli O. Energy analysis of a solar-ground source heat pump system with vertical closed-loop for heating applications. *Energy* 2011;36:3224–32.
- [21] Wang X, Zheng M, Zhang W, Zhang S, Yan T. Experimental study of a solarassisted ground-coupled heat pump system with solar seasonal thermal storage in severe cold areas. *Energy Build* 2010;36:5292–300.
- [22] Esen M, Yuksel T. Experimental evaluation of using various renewable energy sources for heating a greenhouse. *Energy Build* 2013;65:340–51.
- [23] Balbay A, Esen M. Temperature distributions in pavement and bridge slabs heated by using vertical ground-source heat pump systems. *Acta Scientiarum- Technol* 2013;35:677–85.
- [24] Balbay A, Esen M. Experimental investigation of using ground source heat pump system for snow melting on pavements and bridge decks. *Sci Res Essays* 2010;24:3955–66.
- [25] Esen H, Inalli M, Esen M. A techno-economic comparison of ground-coupled and air-coupled heat pump system for space cooling. *Build Environ* 2007;42:1955–65.
- [26] Esen H, Inalli M, Esen M. Numerical and experimental analysis of a horizontal ground- coupled heat pump system. *Build Environ* 2007;42:1126–34.
- [27] Esen H, Inalli M, Esen M, Pihtili K. Energy and exergy analysis of a groundcoupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers. *Build Environ* 2007;42:3606–15.
- [28] Esen M, Esen H. Experimental investigation of a two-phase closed thermosyphon solar water heater. *Solar Energy* 2005;79:459-68.
- [29] Β. Μπιζιώνης, Δ. Μπιζιώνης, Ηλιακή & Αιολική Ενέργεια- Θεωρία & Εφαρμογές, Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
- [30] Σ. Καπλάνης, Ήπιες μορφές ενέργειας II, Ηλιακή Μηχανική, Εκδόσεις Ίων, 2004

- [31] Μ.Γρ. Βραχόπουλος, Γεωθερμία, Σημειώσεις στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα Παραγωγή και διαχείριση Ενέργειας, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2004.
- [32] Α. Παπαιωάννου, Θερμοδυναμική: Βασικές Αρχές και Νόμοι-Καθαρές Ουσίες, Τόμος Ι, Εκδόσεις Κοράλι, 2007.
- [33] EN, 14511-1:2008. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Part 1: Terms and definitions. s.l. : EN 14511-1, 2008.
- [34] EN, 14511-2:2007. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 2: Test conditions. 2007.
- [35] EN, 14511-3:2007. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling – Part 3: Test methods . 2007.
- [36] ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ (ΕΕ) αριθ. 626/2011 ΤΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ.
- [37] Α. Benou, J. Choropanitis, E. Kontoleonos, and C. Karytsas, GSHP systems in the built environment. International Forum, Geothermal Energy in the Spotlight, 11-12 December, Thessaloniki , 2009.
- [38] Α. Μπένου, Κ. Καρράς, Ε. Κοντολέοντος, Κ. Καρύτσας, Σύστημα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας για θέρμανση-ψύξη στο Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών και Αποτίμηση Κύκλου Ζωής, 4ο Εθνικό Συνέδριο, Η εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας προς ένα φιλόδοξο και αξιόπιστο εθνικό πρόγραμμα δράσης, 10-12 Μαΐου, Αθήνα , 2010.
- [39] Α. Benou, D. Mendrinou, and C. Karytsas, Ground Source Heat Pump Systems: Technology and Best Practices 6th National conference on Energy Efficiency and Renewable energy sources with international participation 29-30 October, Sofia, Bulgaria, 2007.
- [40] Οδηγία 2009/28/ΕΚ σχετικά με την προώθηση της χρήσης ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές και την τροποποίηση και τη συνακόλουθη κατάργηση των οδηγιών 2001/77/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ.
- [41] Απόφαση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής 2013/114/ΕΕ "περί καθορισμού κατευθυντηρίων γραμμών προς τα κράτη μέλη σχετικά με τον υπολογισμό της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές την οποία παρέχουν διαφορετικές τεχνολογίες αντλιών θερμότητας σύμφωνα με το άρθρο 5 της οδηγίας 2009/28/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου, 2013.
- [42] BS EN 14825:2012. Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps, with electrically driven compressors, for space heating and cooling. Testing and rating at part load conditions and calculation of seasonal performance. 2012.
- [43] EN 12309-1:2014. Gas-fired sorption appliances for heating and/or cooling with a net heat input not exceeding 70 kW. Terms and definitions. 2014.
- [44] Γρηγόρης Ι. Καρυδάκης Μεταλλειολόγος Μηχανικός ΕΜΠ Γεωθερμικός Μηχανικός, Γεωθερμικά Συστήματα Τόμος Β

[45] Κανονική γεωθερμία-αρχές σχεδιασμού γεωθερμικών συστημάτων και εφαρμογές-
Κεφάλαιο 3/ Δρ Μιχάλης Βραχόπουλος

[46] Diego Hangartner, Energy Science and Technology ETHZ: Model for heating
demand in greenhouses

[47] A. Ikonopoulos, G. Tsilingiridis, Process Equipment Design Laboratory,
Department of Mechanical Engineering, Aristotle University, 541 24 Thessaloniki:
Greenhouses: Heating or Cooling?

[48] TRNSYS 16 Documentation

[49] Research Paper: Mehdi Mehrpooya, Hoofar Hemmatabady, Mohammad H.
Ahmadi: Optimization of performance of Combined Solar Collector-Geothermal Heat
Pump Systems to supply thermal load needed for heating greenhouses

