



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**« Συνδυαστική λειτουργία αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος για
την κάλυψη ενεργειακών αναγκών κτιρίων »**

**« Coordinated operation of heat pumps and photovoltaic systems for covering
buildings' energy needs»**

Υπό

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ

Πτυχιακή Εργασία

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για
την απόκτηση του Πτυχίου του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας

Λάρισα, 2023

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Στυλιανός Βαγρόπουλος
(Επιβλέπων) Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων
Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Χουλιάρης Ιωάννης
Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή Τεχνολογίας,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Θεοδοσίου Θεοδόσιος
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας, Σχολή
Τεχνολογίας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Με το παρόν κείμενο βεβαιώνω ότι ο κάτωθι υπογράφων είμαι συγγραφέας της παρούσης πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των απαιτήσεων του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Συστημάτων Ενέργειας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και η οποία παραδόθηκε, μετά από έγκριση του επιβλέποντας καθηγητή μου, σε έντυπη και ψηφιακή μορφή στη Γραμματεία του Τμήματος. Επίσης δηλώνω πως κάθε πηγή που χρησιμοποίησα (βιβλιογραφία, αρθρογραφία, δικτυογραφία), για την υποστήριξη των υποθέσεων της μελέτης και της ερευνάς μου, είναι πλήρως συμβατή με τα ακολουθούμενα επιστημονικά πρότυπα και, επιπλέον, αναφέρεται ρητά, υπό μορφή αναφοράς-παραπομπής, σε όλο το φάσμα κειμένων της παρούσης εργασίας. Το αυτό ισχύει για τη χρήση δευτερογενών δεδομένων (πινάκων, διαγραμμάτων και εικόνων), ιδεών και λέξεων, τα οποία και αναφέρονται είτε ακριβώς όπως υπάρχουν στις πηγές είτε μεθερμηνεύονται από εμένα.

| | |
|------------------------|-------------|
| ΕΠΩΝΥΜΟ | ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ |
| ΟΝΟΜΑ | ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ |
| ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ | 2919049 |
| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ | 19/9/2023 |
| ΥΠΟΓΡΑΦΗ | |

© 2023. ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΣΤΕΡΓΙΟΥΛΑΣ

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Συστημάτων Ενέργειας της Σχολής Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία ασχολείται με την αξιολόγηση περίπτωσης συνδυαστικής λειτουργίας αντλίας θερμότητας και φωτοβολταϊκού συστήματος για την κάλυψη των θερμικών ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. Εισαγωγικά, περιγράφεται η λειτουργία των δύο τεχνολογιών καθώς και κάποια βασικά γνωρίσματα τους ώστε να γίνει αντιληπτός ο τρόπος με τον οποίο αυτές οι δύο τεχνολογίες θα συλλειτουργήσουν για την επίτευξη του στόχου. Επίσης, καταγράφονται κάποια πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο αυτών τεχνολογιών. Στη συνέχεια, παρατίθεται η Ευρωπαϊκή οδηγία όσον αφορά τα κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης με σκοπό να εδραιωθεί η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή ενέργειας. Έπειτα, αναλύεται το λογισμικό προσομοίωσης που επιλέχθηκε για τη μοντελοποίηση του συστήματος αντλίας θερμότητας. Το μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις μηχανολογικές διατάξεις για την επίτευξη της θέρμανσης του κτιρίου, καθώς και τη μοντελοποίηση κατοικίας. Στη συνέχεια, εισάγονται στο μοντέλο ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και παρουσιάζονται και αναλύονται τα δεδομένα εξόδου για μια χειμερινή εξάμηνη περίοδο λειτουργίας της αντλίας. Τέλος, γίνεται αξιολόγηση των αριθμητικών αποτελεσμάτων και ακολουθεί η διαστασιολόγηση οικιακού φωτοβολταϊκού συστήματος για την πλήρη κάλυψη των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας θερμότητας, με τη βοήθεια ενός εγκεκριμένου web site της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Λέξεις-κλειδιά: αντλία θερμότητας, μοντελοποίηση, κτίρια μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, παραγωγή ενέργειας, φωτοβολταϊκό σύστημα.

Abstract

This paper deals with the case evaluation of the coordinated operation of a heat pump and a photovoltaic system for the thermal energy needs of a building. As an introduction, the operation of the two technologies is described as well as some of their key features in order to understand how these two technologies will work together to achieve the goal. Also, some advantages and disadvantages of these two technologies are recorded. Next, the European directive regarding buildings with almost zero energy consumption is listed in order to consolidate the use of renewable energy sources in energy production. Next, the simulation software chosen to model the heat pump system is analyzed. The model includes all the mechanical arrangements for achieving the heating of the building, as well as for the modeling of the residence. Historical temperature data is then fed into the model and the output data for a six-month winter pump operation period is presented and analyzed. Finally, there is an evaluation of the numerical results, and the dimensioning of the residential photovoltaic system to fully cover the electricity needs of the heat pump, with the help of an approved website of the European Commission.

Key words: heat pump, modeling, zero energy consumption buildings, energy production, photovoltaic system.

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Κατάλογος Εικόνων | ix |
| Κατάλογος Πινάκων..... | ix |
| Συντομογραφίες | x |
| 1. Ορισμός – αρχή λειτουργίας – βασικά μέρη αντλίας θερμότητας..... | 1 |
| 1.1 Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.2 Ιστορική εξέλιξη αντλίας θερμότητας | 1 |
| 1.3 Αρχή λειτουργίας και βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας | 1 |
| 1.4 Τεχνολογία αντλίας θερμότητας και ψυκτικό μέσο | 5 |
| 1.5 Κύκλοι αντλίας θερμότητας..... | 7 |
| 1.5.1 Κύκλος ψύξης αντλίας θερμότητας | 7 |
| 1.5.2 Κύκλος θέρμανσης αντλίας θερμότητας..... | 9 |
| 1.6 Θερμοδυναμικός κύκλος αντλίας θερμότητας | 10 |
| 1.6.1 Θεωρητικός κύκλος | 10 |
| 1.6.2 Πραγματικός κύκλος..... | 11 |
| 1.7 Διάκριση αντλιών θερμότητας | 12 |
| 1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντλιών θερμότητας..... | 14 |
| 1.8.1 Πλεονεκτήματα αντλίας θερμότητας..... | 14 |
| 1.8.2 Μειονεκτήματα αντλίας θερμότητας | 14 |
| 2. Ορισμός – αρχή λειτουργίας – βασικά μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος | 15 |
| 2.1 Εισαγωγή..... | 15 |
| 2.2 Ιστορική Αναδρομή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων | 15 |
| 2.3 Λειτουργία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | 16 |
| 2.4 Σύνθεση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | 17 |
| 2.5 Τύποι Φωτοβολταϊκών στοιχείων | 19 |
| 2.5.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο | 19 |

| | |
|--|----|
| 2.5.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου | 20 |
| 2.6 Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων | 21 |
| 2.6.1 Συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο | 21 |
| 2.6.2 Αυτόνομα συστήματα | 23 |
| 2.7 Συσσωρευτές ενέργειας | 24 |
| 2.8 Ρυθμιστής φόρτισης..... | 25 |
| 2.9 Αντιστροφέας Τάσης..... | 26 |
| 2.9.1 Αντιστροφέας τάσης για συνδεδεμένα στο δίκτυο σύστημα | 26 |
| 2.9.2 Αντιστροφέας τάσης για αυτόνομα συστήματα | 27 |
| 2.9.3 Βοηθητικά συστήματα | 27 |
| 2.10 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου | 27 |
| 2.11 Προβλήματα σκίασης | 29 |
| 2.12 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα | 30 |
| 2.12.1 Πλεονεκτήματα..... | 30 |
| 2.12.2 Μειονεκτήματα..... | 31 |
| 3. Κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης - ΚΣΜΕΚ (nearly Zero Emission Buildings – nZEB) | 31 |
| 3.1 Ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων | 31 |
| 3.2 Προσαρμογή οδηγίας σε εθνικό επίπεδο | 33 |
| 4. Μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας..... | 34 |
| 4.1 Εισαγωγικά για το Simulink | 34 |
| 4.2 Περιβάλλον μοντέλου..... | 35 |
| 4.2.1 Ο κύκλος του ρευστού R410a | 35 |
| 4.2.2 Ο κύκλος του νερού | 37 |
| 4.2.3 Θερμικό δίκτυο σπιτιού | 37 |
| 4.2.4 Ελεγκτής Θερμοκρασίας..... | 38 |

| | |
|--|----|
| 4.2.5 Δίκτυο Περιβάλλοντος..... | 39 |
| 5. Μελέτη περίπτωσης συνδυαστικής λειτουργίας..... | 40 |
| 5.1 Δεδομένα εισόδου | 40 |
| 5.2 Δεδομένα εξόδου..... | 41 |
| 5.2.1 Θερμοκρασίες..... | 41 |
| 5.2.2 Ισχύς συμπιεστή και συντελεστής συμπεριφοράς COP | 43 |
| 5.2.3 Ρυθμός ροής ρευστού..... | 44 |
| 5.3 Λειτουργία συστήματος για το συνολικό διάστημα..... | 45 |
| 5.4 Μελέτη επιλογής Φ/Β συστήματος | 46 |
| 6. Συμπεράσματα | 48 |
| Βιβλιογραφία – Αναφορές..... | 50 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1.1 Διάταξη αντλίας θερμότητας | 3 |
| Εικόνα 1.2 Κύκλος Carnot | 4 |
| Εικόνα 1.3 Κύκλος ψύξης αντλίας θερμότητας..... | 9 |
| Εικόνα 1.4 Κύκλος θέρμανσης αντλίας θερμότητας | 10 |
| Εικόνα 1.5 Διάγραμμα μεταβολών θεωρητικού κύκλου αντλίας θερμότητας | 10 |
| Εικόνα 2.1 Εσωτερικό ενός Φ/Β κελιού | 17 |
| Εικόνα 2.2 Διαβαθμίσεις ενός Φ/Β πάνελ..... | 18 |
| Εικόνα 2.3 Διαδρομή της ενέργειας Φ/Β | 18 |
| Εικόνα 2.4 Διασυνδεδεμένο δίκτυο Φ/Β..... | 23 |
| Εικόνα 2.5 Αυτόνομο δίκτυο Φ/Β | 24 |
| Εικόνα 2.6 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου | 28 |
| Εικόνα 4.1 Περιβάλλον μοντέλου στο Simulink | 35 |
| Εικόνα 4.2 Θερμικό δίκτυο σπιτιού | 37 |
| Εικόνα 4.3 Δίκτυο και χαρακτηριστικά κάθε δωματίου | 38 |
| Εικόνα 4.4 Ελεγκτής θερμοκρασίας | 39 |
| Εικόνα 4.5 Δίκτυο περιβάλλοντος..... | 39 |
| Εικόνα 5.1 Διάγραμμα θερμοκρασιών για μήνα Ιανουάριο του 2023..... | 41 |
| Εικόνα 5.2 Μέσος όρος θερμοκρασιών της οροφής, των τοίχων και των παραθύρων των δωματίων | 42 |
| Εικόνα 5.3 Διάγραμμα σωμάτων, συμπυκνωτή, ατμοποιητή και συμπιεστή | 43 |
| Εικόνα 5.4 Διάγραμμα συντελεστή συμπεριφοράς COP | 44 |
| Εικόνα 5.5 Ρυθμός ροής ρευστού | 44 |
| Εικόνα 5.6 Διάγραμμα μηνιαίας παραγωγής ενέργειας Φ/Β συστήματος..... | 48 |

Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|----|
| Πίνακας 2.1 Συγκριτικός πίνακας Φ/Β τεχνολογιών | 20 |
| Πίνακας 2.2 Πίνακας διαφόρων προσανατολισμών Φ/Β πλαισίου | 29 |
| Πίνακας 5.1 Εξάμηνο και ενέργεια λειτουργίας συμπιεστή..... | 45 |
| Πίνακας 5.2 Πίνακας δεδομένων προσομοίωσης λειτουργίας Φ/Β συστήματος..... | 47 |

Συντομογραφίες

Φ/Β: φωτοβολταϊκό.

ΔΕΗ: Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού.

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση.

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

ΚΣΜΕΚ: Κτίρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης.

ΚΕνΑΚ: Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων

1. Ορισμός – αρχή λειτουργίας – βασικά μέρη αντλίας θερμότητας

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο της εργασίας, θα προχωρήσουμε σε μια πλήρη περιγραφή των παραμέτρων και των χαρακτηριστικών λειτουργίας μιας διάταξης αντλίας θερμότητας.

1.2 Ιστορική εξέλιξη αντλίας θερμότητας

Η έννοια της αντλίας θερμότητας εισήχθη αρχικά σε παραδοσιακές οικιακές συσκευές όπως ψυγεία, καταψύκτες και κλιματιστικά. Ωστόσο, μόλις το 1820 ο Perkins κατασκεύασε την πρώτη αντλία θερμότητας και τέσσερα χρόνια αργότερα ο Carnot ανέπτυξε το θεωρητικό της πλαίσιο. Το 1852, ο Kelvin ανακάλυψε μέσα από πρακτικά πειράματα ότι μια μηχανή ψύξης θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης. Η πρώτη εγκατάσταση αντλίας θερμότητας πραγματοποιήθηκε στη Σκωτία το 1927, αλλά παρά τη συνεχιζόμενη έρευνα και τις προσπάθειες για βελτιστοποίηση της λειτουργικότητάς της, υπήρξε μια σημαντική περίοδος όπου η χρήση αντλιών θερμότητας κρίθηκε ασύμφορη. Ωστόσο, μετά το 1950, έγιναν σημαντικές εξελίξεις στον σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου των αντλιών θερμότητας, που οδήγησαν στην ευρύτερη υιοθέτησή τους, ιδιαίτερα σε περιοχές με μέτρια κλίματα, όπου η απόδοσή τους αναμενόταν να βελτιωθεί περαιτέρω [1][2].

Η παραγωγή και η χρήση αντλιών θερμότητας μειώθηκε κατά την περίοδο 1963-1972 λόγω τεχνικών δυσκολιών, αλλά οι ερευνητές συνέχισαν να εργάζονται για την τεχνική και ποιοτική βελτιστοποίηση. Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που σχετίζονται με την καύση ορυκτών καυσίμων, ιδιαίτερα του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, καθιστά αναγκαία την εμφάνιση νέων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Έτσι, με την ενεργειακή κρίση του 1973, οι αντλίες θερμότητας άρχισαν να επανεξετάζονται ως λύση.

Σήμερα, η αντλία θερμότητας αποτελεί διάταξη που χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών, τόσο στη βιομηχανία όσο και σε κατοικίες, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σε χώρους εργασίας κ.α.

1.3 Αρχή λειτουργίας και βαθμός απόδοσης αντλίας θερμότητας

Με βάση τις αρχές του 2ου νόμου της θερμοδυναμικής, γίνεται κατανοητό ότι η θερμότητα ρέει από ένα αντικείμενο με υψηλότερη θερμοκρασία σε ένα αντικείμενο

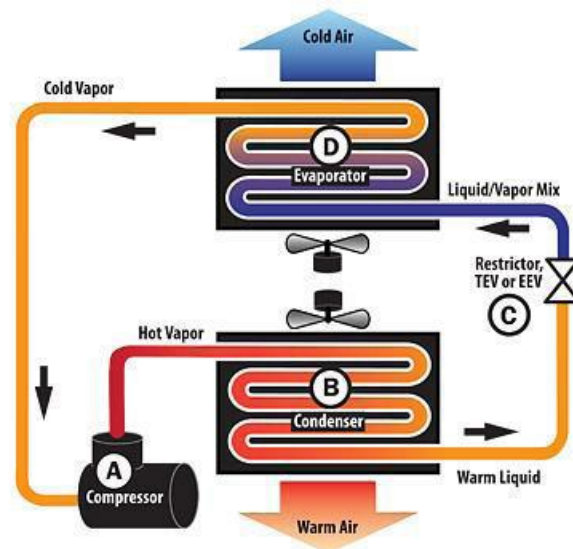
με χαμηλότερη θερμοκρασία. Ωστόσο, αν θέλουμε να αντιστρέψουμε αυτή τη φυσική διαδικασία και να μεταφέρουμε θερμότητα από ένα πιο κρύο αντικείμενο σε ένα πιο ζεστό, πρέπει να εισαγάγουμε κάποια μορφή ενέργειας, όπως ηλεκτρική ενέργεια από μια μηχανή θερμότητας όπως είναι η αντλία θερμότητας. Με αυτόν τον τρόπο, η απόδοση έργου, που συμβολίζεται ως W , συνδυάζεται με τη θερμότητα που μεταφέρεται, που συμβολίζεται ως Q_C , καταλήγοντας σε μια συγκεκριμένη εξίσωση:

$$Q_C + W = Q_H$$

Η αντλία θερμότητας είναι μια ηλεκτρική συσκευή που μεταφέρει θερμική ενέργεια από μια πηγή χαμηλότερης θερμοκρασίας σε ένα περιβάλλον υψηλότερης θερμοκρασίας, επιτρέποντάς της να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης είτε σε σύστημα θέρμανσης χώρου είτε σε σύστημα θέρμανσης νερού. Η αντλία θερμότητας λαμβάνει αυτή τη θερμική ενέργεια από διάφορες πηγές, όπως τον περιβάλλοντα αέρα, το έδαφος ή το νερό, η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται από τον ατμοποιητή.

Η αντλία λειτουργεί χρησιμοποιώντας τον κύκλο ψύξης, ο οποίος περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων. Αρχικά, το ρευστό συμπιέζεται για να αυξήσει τη θερμοκρασία του και να μεταφέρει τη θερμότητα στο επιθυμητό μέσο. Στη συνέχεια, το υγρό διαστέλλεται για να επιστρέψει στην αρχική του κατάσταση, επιτρέποντας την επανάληψη του κύκλου. Αυτός ο κύκλος ψύξης επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας ή ενέργειας μεταξύ δύο συγκεκριμένων σημείων.

Ως εκ τούτου, με τη χρήση μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός συστήματος ψύξης που περιλαμβάνει τη συμπίεση ρευστού, καθίσταται εφικτό να επιτευχθεί η μετάδοση ενέργειας από ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας. Στην πραγματικότητα, αυτή η διαδικασία έχει τη δυνατότητα να αυξήσει την παραγωγή ενέργειας στο διπλάσιο ή και στο τριπλάσιο της ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Ως αποτέλεσμα, η χρήση μιας αντλίας θερμότητας μας επιτρέπει να εξάγουμε μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας από το έργο που καταβάλλουμε. Αυτό είναι λογικό επειδή δεν παράγουμε θερμότητα μέσω της κατανάλωσης ενέργειας, αλλά την εξάγουμε από το περιβάλλον ή την ατμόσφαιρα και στη συνέχεια τη μεταφέρουμε είτε στο περιβάλλον για ψύξη είτε στο χώρο για θέρμανση [3][4][5].

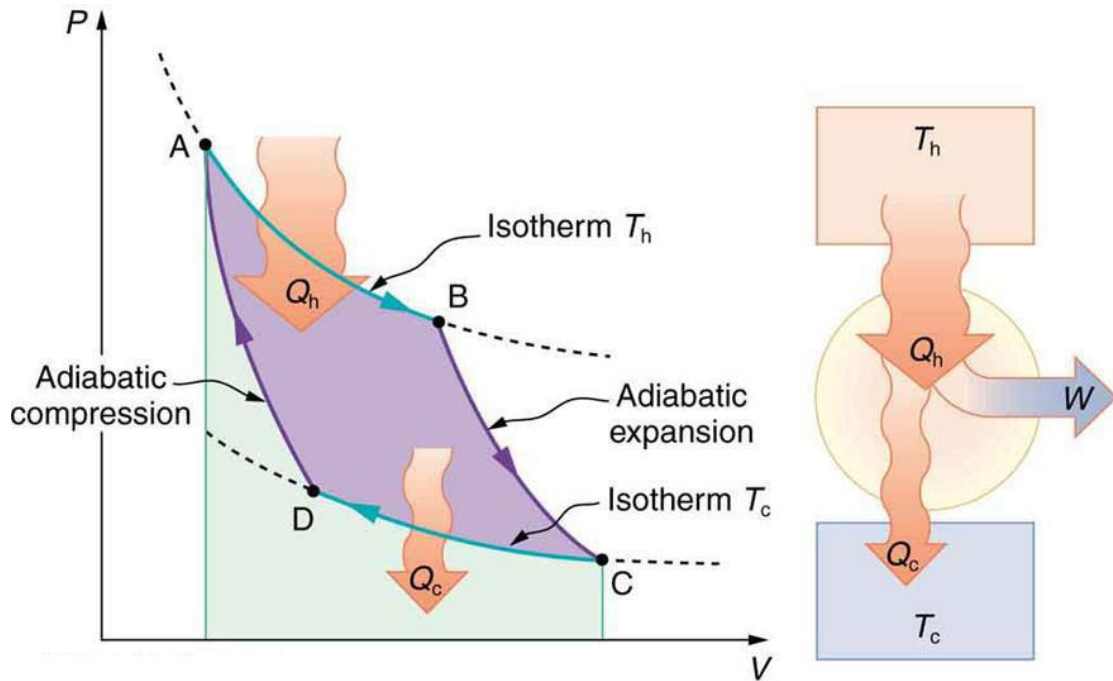


Εικόνα 1.1 Διάταξη αντλίας θερμότητας.

Φυσικά, μια αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και συνδυαστικά για να επιτευχθεί ζεστασιά το χειμώνα και δροσιά το καλοκαίρι. Η αντλία θερμότητας λειτουργεί με βάση τη θεμελιώδη ιδέα της θερμικής μηχανής Carnot. Για να λειτουργήσει ο κινητήρας Carnot, χρειάζονται δύο θερμικά δοχεία: το ένα με υψηλή θερμοκρασία (T_H) και το άλλο με χαμηλή θερμοκρασία (T_C). Χρησιμοποιώντας αυτόν τον μηχανισμό, είμαστε σε θέση να παράγουμε έργο μέσω μεταφοράς θερμότητας. Σε ιδανικές συνθήκες πλήρους αντιστρεψιμότητας χωρίς απώλειες θερμότητας, ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = (T_H - T_C) / T_H$$

Ο κύκλος Carnot περιγράφεται από την ακόλουθη σειρά αλλαγών:



Εικόνα 1.2 Κύκλος Carnot.

Η αντιστροφή της λειτουργίας του κύκλου έχει ως αποτέλεσμα τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Δηλαδή, έχουμε αρχικά την αδιαβατική συμπίεση του ψυκτικού μέσου, έπειτα ισόθερμη συμπίεση του με μεταφορά θερμότητας Q_H προς τη θερμή δεξαμενή (περιβάλλον). Τέλος, αδιαβατική εκτόνωση του υγρού πλέον ψυκτικού μέσου και ισόθερμη εκτόνωση (ατμοποίηση) του με αφαίρεση Q_C από την ψυχρή δεξαμενή (ψυγείο).

Σε αυτό τον κύκλο έχουμε την παραγωγή ψυκτικής ισχύος με κατανάλωση μηχανικού έργου.

Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες προκύπτει από τον αντίστροφο του συντελεστή η και ονομάζεται Συντελεστής Απόδοσης COP (Coefficient Of Performance):

$$\text{COP} = T_H / (T_H - T_C)$$

Ο συντελεστής συμπεριφοράς της COP της αντλίας θερμότητας για μη ιδανικές συνθήκες δίνεται από τη σχέση:

$$\text{COP} = Q_H / (Q_H - Q_C)$$

Επιπρόσθετα και με βάση τον κύκλο Carnot, ισχύει:

$$(Q_H / T_H) + (Q_C / T_C) = 0$$

Με βάση την προαναφερθείσα σχέση, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όσο πιο κοντά είναι η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας στη θερμοκρασία στην οποία απελευθερώνεται, τόσο πιο ευνοϊκός γίνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς COP. Κατά συνέπεια, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι αντλίες θερμότητας προσφέρουν μεγαλύτερα οικονομικά πλεονεκτήματα σε χώρες με μέτρια κλίματα όπως η Ελλάδα, γεγονός που τους δίνει ένα αρχικό πλεονέκτημα έναντι άλλων τεχνολογιών με παρόμοιους στόχους [3][4][5][6].

1.4 Τεχνολογία αντλίας θερμότητας και ψυκτικό μέσο

Όσον αφορά τη δομή της, η αντλία θερμότητας έχει κοινές ομοιότητες με ένα οικιακό ψυγείο, που περιλαμβάνει βασικά μέρη όπως ο συμπιεστής, η βαλβίδα εκτόνωσης και δύο εναλλάκτες - ο ατμοποιητής και ο συμπυκνωτής. Η απορρόφηση και η μεταφορά θερμότητας πραγματοποιούνται μέσω μιας διαδικασίας αλλαγής φάσης, μετατρέποντας το ψυκτικό από υγρό σε αέριο και αντίστροφα.

Ο συμπιεστής παίζει καθοριστικό ρόλο στον κύκλο ψύξης. Εξάγει ατμούς ψυκτικού από τον εξατμιστή και τον συμπιέζει χρησιμοποιώντας μηχανική ενέργεια, αυξάνοντας τόσο την πίεση όσο και τη θερμοκρασία του ενώ μειώνει τον όγκο του. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

Ο εξατμιστής, ένα άλλο κρίσιμο σημείο του κύκλου ψύξης, διευκολύνει τη μετατροπή του ψυκτικού υγρού σε ατμό. Καθώς το ψυκτικό υγρό κινείται μέσω του εξατμιστή, απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον, προκαλώντας την εξάτμισή του.

Με βάση προηγούμενες πληροφορίες, η αντλία θερμότητας είναι ένα μηχάνημα που χρησιμοποιεί μηχανική ενέργεια για να ενισχύσει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο θερμικών δοχείων. Η αρχή λειτουργίας του επιτρέπει να εκτελεί τόσο ψύξη το καλοκαίρι όσο και θέρμανση το χειμώνα χρησιμοποιώντας ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που αντιστρέφει τη λειτουργία του ανάλογα με τις ανάγκες. Η αντλία θερμότητας αποτελείται από ένα εσωτερικό εξάρτημα που βρίσκεται στον επιθυμητό κλιματιζόμενο χώρο και μια εξωτερική μονάδα τοποθετημένη στο εξωτερικό περιβάλλον όπου είναι διαθέσιμες πηγές ενέργειας όπως ο αέρας, το έδαφος ή το νερό. Κατά τη φάση εκτόνωσης, το συμπυκνωμένο ψυκτικό υψηλής πίεσης υφίσταται

μείωση πίεσης και θερμοκρασίας καθώς διέρχεται από τη βαλβίδα εκτόνωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή του σε μείγμα υγρού και ατμού χαμηλής πίεσης και χαμηλής θερμοκρασίας.

Συνοπτικά, η αντλία θερμότητας είναι ένα ευέλικτο μηχάνημα που λειτουργεί με βάση μια καλά καθορισμένη αρχή. Τα διάφορα εξαρτήματά της, συμπεριλαμβανομένου του συμπιεστή, της βαλβίδας εκτόνωσης, του συμπυκνωτή και του εξατμιστή, συνεργάζονται για να επιτύχουν αποτελεσματική θέρμανση και ψύξη χειραγωγώντας το ψυκτικό μέσω αλλαγών φάσης και διαδικασιών μεταφοράς θερμότητας. Ο συμπυκνωτής χρησιμεύει ως σημείο ανταλλαγής θερμότητας στον κύκλο ψύξης. Καθώς οι ατμοί του ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας διέρχονται από τον συμπυκνωτή, υφίσταται υγροποίηση και αναδύεται ως ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας. Αυτή η διαδικασία υγροποίησης απομακρύνει τη θερμότητα από το σύστημα, συμβάλλοντας στην επιθυμητή θέρμανση του χώρου.

Οι προϋποθέσεις επιλογής του ψυκτικού μέσου είναι:

- Η επιθυμητή μεγάλη διαφορά μεταξύ του κρίσιμου σημείου και της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως.
- Ο ειδικός όγκος του ρευστού στις συνθήκες λειτουργίας, για την επιλογή του κατάλληλου συμπιεστή.
- Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου στη βαλβίδα εξόδου του συμπιεστή να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ασφαλείας του ρευστού.

Στο παρελθόν, τα ψυκτικά μέσα όπως η αμμωνία, το διοξείδιο του άνθρακα και το διοξείδιο του θείου χρησιμοποιούνταν συνήθως μέχρι το 1920. Ωστόσο, οι ανησυχίες σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους οδήγησαν στην εισαγωγή χλωριωμένων-φθοριωμένων παραγώγων αιθανίου και μεθανίου. Δυστυχώς, αυτά τα παράγωγα βρέθηκε ότι συμβάλλουν στην εξάντληση του ατμοσφαιρικού όζοντος. Ως αποτέλεσμα, αναπτύσσονται νεότερα ψυκτικά χωρίς χλώριο και πιο φιλικά προς το περιβάλλον για να τα αντικαταστήσουν. Αυτά τα νέα ψυκτικά, όπως τα R134A, R407C, R410A και R404A, είναι μη εύφλεκτα και λιγότερο τοξικά [6].

Η αμμωνία ως επιλογή προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όσον αφορά την προσιτή τιμή, τις θερμοδυναμικές ιδιότητες και την υψηλή ογκομετρική της απόδοση.

Χρησιμοποιείται συνήθως σε μεσαίες ή μεγάλες ψυκτικές μονάδες που χρησιμοποιούν παλινδρομικούς συμπιεστές. Αυτές οι εγκαταστάσεις κατασκευάζονται με υλικά όπως χάλυβας, χυτοσίδηρος και κράματα ορείχαλκου, τα οποία δεν είναι επιρρεπή σε ζημιές από την αμμωνία. Για την αποφυγή τυχόν ανεπιθύμητων αντιδράσεων, αποφεύγεται η χρήση επικαλύψεων γαλβανικού σιδήρου, χαλκού και κραμάτων χαλκού-ψευδάργυρου. Επιπλέον, η διαλυτότητα της αμμωνίας αποτρέπει τη στερεοποίηση και το φράξιμο των ρυθμιστικών οργάνων, διασφαλίζοντας την αδιάλειπτη λειτουργία της εγκατάστασης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να είστε προσεκτικοί όταν χειρίζεστε την αμμωνία λόγω της τοξικής της φύσης.

Εκτός από τα ψυκτικά που αναφέρθηκαν προηγουμένως, δηλαδή τα R11, R12 και R22, υπάρχουν πολλά άλλα συνήθως χρησιμοποιούμενα ψυκτικά σε διάφορες εφαρμογές. Το R11, γνωστό και ως Freon 11, ευνοείται ιδιαίτερα στη βιομηχανία για το υψηλό μοριακό του βάρος, καθιστώντας το ιδανικό για χρήση σε φυγόκεντρους συμπιεστές μονοβάθμιας και πολλαπλών σταδίων που απαιτούν υψηλή ισχύ. Χρησιμοποιείται συνήθως σε συστήματα ψύξης νερού και μεγάλες εγκαταστάσεις κλιματισμού. Από την άλλη, το R12, ή Freon 12, ξεχωρίζει για την καταλληλότητά του στις λειτουργίες αντλιών θερμότητας, χάρη στις χαμηλότερες πιέσεις συμπίκνωσης. Με σημείο βρασμού $-29,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, μοριακό βάρος 120,92 και εύρος θερμοκρασίας που εκτείνεται από $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, το R12 χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές θέρμανσης και ψύξης. Τέλος, το R22 έχει σημείο βρασμού $-40,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, μοριακό βάρος 86,48 και εύρος θερμοκρασίας χρήσης που εκτείνεται από $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιείται κυρίως σε παλινδρομικούς συμπιεστές ανοιχτού και κλειστού τύπου. Αυτά τα ψυκτικά διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση αποδοτικών και αποτελεσματικών διαδικασιών ψύξης και θέρμανσης σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών και εφαρμογών [4][5][7][8].

1.5 Κύκλοι αντλίας θερμότητας

Σε αυτό το σημείο θα αναλυθούν οι κύκλοι ψύξης και θέρμανσης μιας αντλίας θερμότητας.

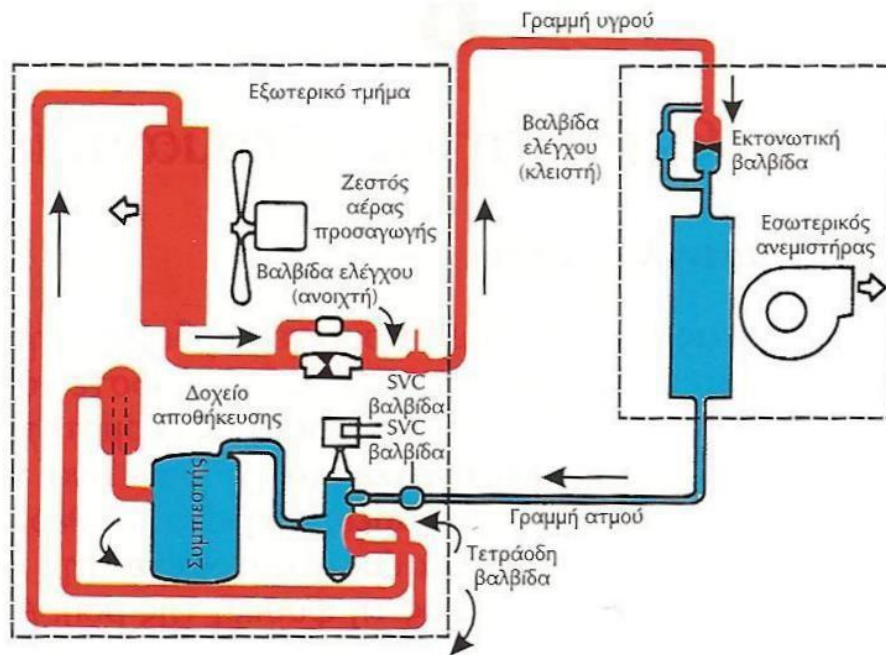
1.5.1 Κύκλος ψύξης αντλίας θερμότητας

Η διαδικασία παραγωγής ψύξης περιλαμβάνει μια σειρά βημάτων:

Ξεκινά με το ψυκτικό, το οποίο είναι σε αέρια κατάσταση και έχει χαμηλή πίεση. Αυτό το ψυκτικό εισέρχεται στον συμπιεστή, ο οποίος τροφοδοτείται από έναν κινητήρα. Αφού περάσει από τον συμπιεστή, το ψυκτικό εξέρχεται σε αέρια μορφή αλλά τώρα σε υψηλότερη πίεση και θερμοκρασία. Από εκεί, προχωρά στον συμπυκνωτή, ο οποίος λειτουργεί ως εναλλάκτης. Αυτός ο συμπυκνωτής βρίσκεται σε έμμεση επαφή με τον ψυχρότερο εξωτερικό αέρα, επιτρέποντάς του να αποβάλλει τη θερμότητα στο περιβάλλον. Σε όλη αυτή τη διαδικασία, η θερμοκρασία παραμένει σχετικά σταθερή. Μόλις απομακρυνθεί επιτυχώς η θερμότητα, το ψυκτικό υφίσταται αλλαγή φάσης, μεταβαίνοντας από αέριο σε υγρό. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υψηλή πίεση που δέχεται ο συμπιεστής παραμένει η ίδια κατά τη διάρκεια αυτής της αλλαγής φάσης [4][5].

Αφού περάσει από τη βαλβίδα εκτόνωσης, το ψυκτικό υφίσταται σημαντική μείωση τόσο στην πίεση όσο και στη θερμοκρασία. Σε αυτό το στάδιο συνύπαρξης δύο φάσεων, δηλαδή του υγρού και του αερίου. Μόλις φτάσει σε θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτή του δωματίου, το ψυκτικό ρέει μέσω του εξαμιστή, ο οποίος είναι ουσιαστικά ένας εναλλάκτης θερμότητας που βρίσκεται στον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε. Με αυτόν τον τρόπο, ο αέρας μέσα στο δωμάτιο απορροφά τη θερμότητα από το ψυκτικό ενώ διατηρεί μια σχεδόν σταθερή θερμοκρασία, με αποτέλεσμα την παραγωγή της απαραίτητης ψυκτικής ισχύος. Κατά συνέπεια, το ψυκτικό μέσα στο σύστημα γίνεται κορεσμένο ή ακόμη και υπερθερμασμένο αέριο. Στη συνέχεια προχωρά στον συμπιεστή, ξεκινώντας τον κύκλο για άλλη μια φορά.

Επιπλέον, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η μεταφορά και η διανομή θερμότητας στον συμπυκνωτή και στον ατμοποιητή, αντίστοιχα, διευκολύνεται μέσω της χρήσης ανεμιστήρων για την ενίσχυση της κυκλοφορίας του αέρα και την επιτάχυνση της διαδικασίας.



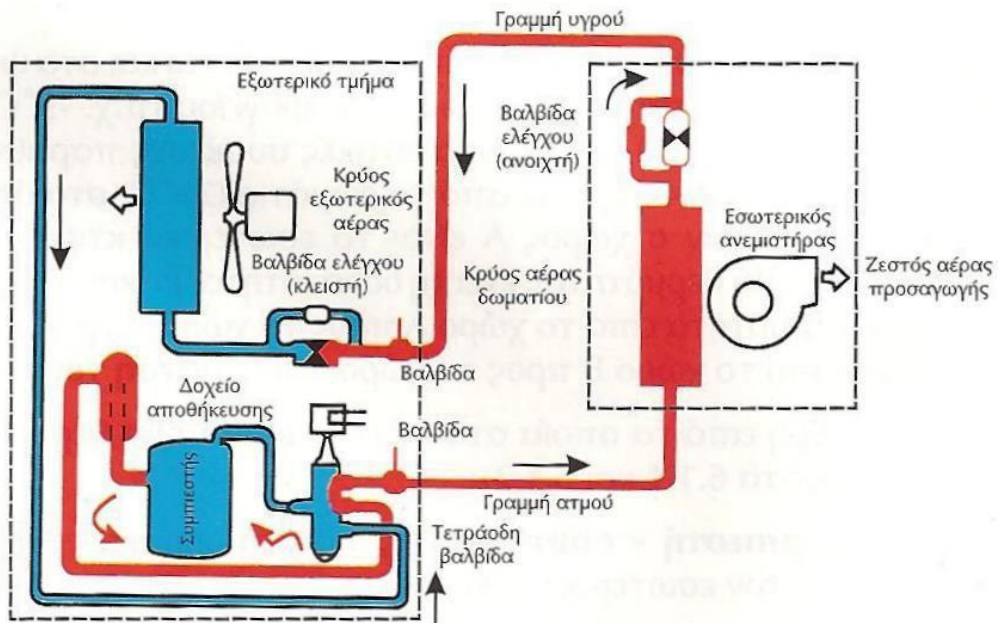
Εικόνα 1.3 Κύκλος ψύξης αντλίας θερμότητας.

1.5.2 Κύκλος θέρμανσης αντλίας θερμότητας

Ο κύκλος που πραγματοποιείται είναι ο ίδιος με αυτόν για την παραγωγή ψύξης αλλά η φορά του ψυκτικού μέσου είναι αντίστροφη και με αυτόν τον τρόπο οι δύο εναλλάκτες, ο συμπυκνωτής και ο ατμοποιητής αλλάζουν ρόλους. Υπό αυτό το πρίσμα, έχουμε πρόσληψη θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον και αποβολή θερμότητας στον εσωτερικό χώρο.

Το ψυκτικό στους σωλήνες ξεκινά το κύκλο ως υγρό υπό υψηλή πίεση και θερμοκρασία, χάρη στον συμπιεστή. Καθώς περνά μέσα από το σύστημα, απελευθερώνει θερμότητα και υφίσταται διαστολή, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεσή του. Αυτή η μείωση της πίεσης συμβαίνει στη βαλβίδα εκτόνωσης, οδηγώντας στη μετατροπή του ψυκτικού σε αέριο καθώς εξατμίζεται στον εξατμιστή. Σε αυτή την κατάσταση, ψύχει και απορροφά τη θερμότητα. Στη συνέχεια, το ψυκτικό, κρύο πλέον και σε αέρια μορφή, επιστρέφει στον συμπιεστή όπου συμπιέζεται και πάλι, μετατρέπεται σε υγρό, θερμαίνεται και η όλη διαδικασία επαναλαμβάνεται..

Η πράξη της αναστροφής συνήθως επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης μιας βαλβίδας τεσσάρων κατευθύνσεων και ολόκληρη η διαδικασία μπορεί να φανεί στο σύνολό της στο συνοδευτικό διάγραμμα.



Εικόνα 1.4 Κύκλος θέρμανσης αντλίας θερμότητας.

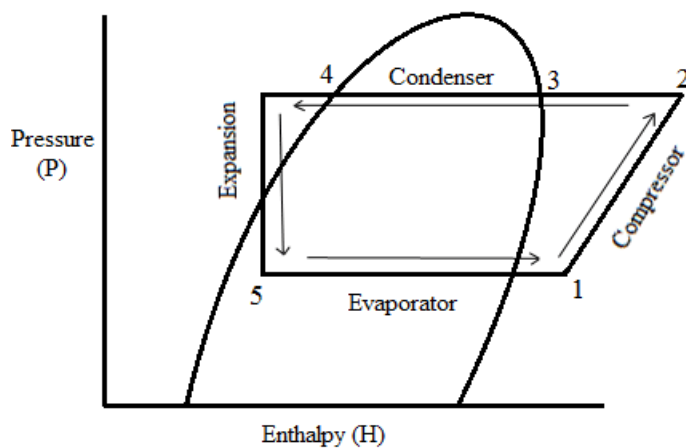
1.6 Θερμοδυναμικός κύκλος αντλίας θερμότητας

Ο θερμοδυναμικός κύκλος μιας αντλίας θερμότητας μπορεί να χωριστεί σε έναν θεωρητικό και έναν πρακτικό.

1.6.1 Θεωρητικός κύκλος

Ο κύκλος της αντλίας θερμότητας έχει κάποιες ομοιότητες με τον κινητήρα Carnot.

Οι θερμοδυναμικές αλλαγές που συμβαίνουν είναι:



Εικόνα 1.5 Διάγραμμα μεταβολών θεωρητικού κύκλου αντλίας θερμότητας.

Σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα, οι μεταβολές που πραγματοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

- Μεταβολή 1-2

Η έξοδος του ατμοποιητή απελευθερώνει ατμούς που εισέρχονται στον συμπιεστή. Καθώς ο ατμός συμπιέζεται, η θερμοκρασία, η ενθαλπία και η πίεσή του αυξάνονται. Αυτή η διαδικασία συμπίεσης θεωρείται ότι είναι ισεντροπική και αδιαβατική.

- Μεταβολή 2-3

Ο συμπυκνωτής δέχεται τον υπέρθερμο ατμό και απελευθερώνει θερμότητα μέχρι να φτάσει στην κατάσταση κορεσμού. Καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, η πίεση παραμένει σταθερή ενώ η θερμοκρασία παρουσιάζει ελαφρά πτώση.

- Μεταβολή 3-4

Όταν ο κορεσμένος ατμός υπόκειται σε σταθερή πίεση, υφίσταται μια διαδικασία συμπύκνωσης όπου μετατρέπεται σε υγρή μορφή, απελευθερώνοντας μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας.

- Μεταβολή 4-5

Μετά την έξοδο από τον συμπυκνωτή, το υγρό, το οποίο είναι πλήρως κορεσμένο και τυπικά σε χαμηλότερη θερμοκρασία από το κανονικό σημείο βρασμού του, υφίσταται μια διαδικασία γνωστή ως διαστολή μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης. Αυτή η βαλβίδα προκαλεί μια αξιοσημείωτη μείωση της πίεσης, οδηγώντας σε σημαντική μείωση της θερμοκρασίας. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι αυτός ο μετασχηματισμός είναι και ισενθαλπικός, που σημαίνει ότι δεν υπάρχει αλλαγή στην ενθαλπία, και μη αναστρέψιμος, υπονοώντας ότι δεν μπορεί να αναστραφεί στην αρχική του κατάσταση.

- Μεταβολή 5-1

Το υγρό εισάγεται στον ατμοποιητή όπου απορροφά θερμότητα από την επιθυμητή περιοχή ψύξης, διατηρώντας παράλληλα σταθερή πίεση και θερμοκρασία.

1.6.2 Πραγματικός κύκλος

Στην πραγματικότητα, δεδομένης της λιγότερο από τέλειας φύσης των αλλαγών, πραγματοποιούνται αρκετές τροποποιήσεις σε σχέση με τον θεωρητικό κύκλο που αναφέρθηκε προηγουμένως:

- Λόγω του πιθανού σχηματισμού σταγονιδίων υγρού στον συμπιεστή, ο ατμός κατευθύνεται στον συμπιεστή ενώ εξακολουθεί να υπερθερμαίνεται.
- Επιπλέον, επειδή ο συμπιεστής δεν υφίσταται μια καθαρά ισεντροπική διαδικασία συμπίεσης, απαιτεί περισσότερη μηχανική εργασία. Αυτή η επιπλέον εργασία μετατρέπεται σε θερμότητα, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας εξόδου του ρευστού.
- Οι εναλλάκτες θερμότητας, όπως ο συμπυκνωτής και ο εξατμιστής, λειτουργούν υπό θεωρητικά ισοβαρείς και ισοθερμικές συνθήκες, αλλά συμβαίνει πτώση πίεσης λόγω της υψηλής ταχύτητας του ρευστού.
- Για να μετριαστεί ο κίνδυνος εμφάνισης ατμού πριν από τη βαλβίδα εκτόνωσης, χρησιμοποιείται ένας ενδιάμεσος ψύκτης για την υποψύξη του υγρού.

1.7 Διάκριση αντλιών θερμότητας

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με βάση τον τύπο του υλικού μέσου που αντλείται και κυκλοφορεί μέσα στο κύκλωμα, καθώς και του υλικού που αποβάλλεται στο περιβάλλον: [1][4][8]

- Αέρα-Αέρα: Είναι ο πιο συνηθισμένος και ευρέως διαδεδομένος τύπος στο εμπόριο. Χρησιμοποιούν ως πηγή θερμότητας τον αέρα και ως μέσο διανομής του κλιματισμού στο χώρο το θερμό ή τον ψυχρό αέρα. Η χρήση τους είναι ευρεία σε περιοχές όπου η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα δεν έχει ιδιαίτερες διακυμάνσεις. Η χειμερινή και η θερινή λειτουργία μπορούν να αντιστραφούν με τη χρήση μιας τετράοδης βαλβίδας ή με την αλλαγή της ροής με έναν αποσβεστήρα αέρα.
- Αέρα-Νερού: Έχουν εφαρμογές τόσο για τον κλιματισμό του χώρου όσο και για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Οι αντλίες αυτές βρίσκουν εφαρμογές στα νότια κλίματα όπου οι απαιτήσεις θέρμανσης είναι μικρές και οι κλιματολογικές συνθήκες ακόμα και τη χειμερινή περίοδο δεν είναι ακραίες.
- Νερού- Νερού: και οι δύο είναι εναλλάκτες νερού, όπου το ψυκτικό μέσο μεταφέρει θερμότητα από τη μία μάζα νερού στην άλλη. Αυτή είναι η περίπτωση των υδρόψυκτων αντλιών θερμότητας και των αντλιών νερού προς νερό που χρησιμοποιούνται σε εναλλάκτες θερμότητας εδάφους. Και σε αυτή την περίπτωση, η

αντιστροφή λειτουργίας γίνεται συνήθως μέσω τετράοδης βαλβίδας στον κύκλο του ψυκτικού υγρού.

- Νερού-Αέρα: Η πηγή ενέργεια είναι το νερό, το οποίο μπορεί να προέρχεται από ανοικτό ή κλειστό γεωθερμικό σύστημα, ενώ ο τρόπος διανομής της θερμότητας είναι ο αέρας. Χρησιμοποιείται συχνά σε μεγάλα κτίρια για να μεταφέρει θερμότητα από το ένα σημείο στο άλλο.

- Εδάφους - Αέρα και Εδάφους - Νερού: Η αποδοτικότητα του συστήματος σε αυτή την περίπτωση, εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους που περιβάλλει το θαμμένο στο έδαφος τμήμα της αντλίας θερμότητας, την υγρασία, την πυκνότητα και την ομοιομορφία του.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών στο σύστημα της αντλίας θερμότητας, τις διακρίνουμε σε:

- Ενιαίες ή αυτόνομες: Όπου όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.

- Διαιρούμενες: Όπου ο συμπυκνωτής διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σύστημα

Επιπλέον, ανάλογα με τη μέθοδο αντιστρεπτικής λειτουργίας, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Σε αυτή την περίπτωση, η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσων προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.

- Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Όπου αντιστρέφεται η ροή του ψυκτικού μέσου.

Τέλος, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον τύπο του κύκλου ως εξής:

- Κλειστού κύκλου συμπιεσμένου ατμού.

- Κύκλου μηχανικής ανασυμπιέσεως ατμού με εναλλάκτη θερμότητας.

- Ανοικτού κύκλου ανασυμπιέσεως ατμού.

- Οδηγούμενης απορριπτόμενης θερμότητας.

1.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αντλιών θερμότητας

Κλείνοντας το συγκεκριμένο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας, θα παρατεθούν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μιας διάταξης αντλίας θερμότητας.

1.8.1 Πλεονεκτήματα αντλίας θερμότητας

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα είναι τα ακόλουθα:

- Το κόστος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας καθορίζεται αποκλειστικά από την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν.
- Σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κεντρικής θέρμανσης με ζεστό νερό και καλοριφέρ, οι αντλίες θερμότητας έχουν συνήθως χαμηλότερο κόστος λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των εξόδων συντήρησης.
- Επιπλέον, οι αντλίες θερμότητας έχουν πολλά πλεονεκτήματα όπως η ελάχιστη επίδρασή τους στην περιβαλλοντική ρύπανση, το μικρό μέγεθος εγκατάστασής τους και η ικανότητά τους να παρέχουν θέρμανση και ψύξη με βάση συγκεκριμένες ανάγκες, κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τα παραδοσιακά καλοριφέρ.
- Όταν χρησιμοποιούνται τόσο για χειμερινή θέρμανση όσο και για θερινή ψύξη, οι αντλίες θερμότητας γίνονται ιδιαίτερα ανταγωνιστικές όσον αφορά την οικονομική τους βιωσιμότητα.

1.8.2 Μειονεκτήματα αντλίας θερμότητας

Από την άλλη πλευρά, η διάταξη των αντλιών θερμότητας χαρακτηρίζεται επίσης από ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα:

- Η απόδοση των αντλιών θερμότητας μειώνεται σημαντικά κατά τη διάρκεια περιόδων με μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Σε περιπτώσεις όπου η εξωτερική θερμοκρασία είναι 10 °C και η εσωτερική θερμοκρασία είναι 21 °C, ο ονομαστικός συντελεστής απόδοσης (COP) είναι σχετικά υψηλός στο 3,25. Ωστόσο, όταν η εξωτερική θερμοκρασία πέσει κάτω από τους -6 °C, το COP μειώνεται σε λιγότερο από 1,5. Κατά συνέπεια, για να καλυφθεί η απαραίτητη ζήτηση θερμότητας κάτω από τέτοιες συνθήκες, καθίσταται απαραίτητη μια επιπλέον πηγή θερμότητας όπως ηλεκτρικές αντιστάσεις ή ηλιακοί συλλέκτες.

- Το κόστος που σχετίζεται με την εγκατάσταση μιας αντλίας θερμότητας υπερβαίνει το κόστος εγκατάστασης καλοριφέρ και λέβητα.

2. Ορισμός – αρχή λειτουργίας – βασικά μέρη φωτοβολταϊκού συστήματος

2.1 Εισαγωγή

Η φωτοβολταϊκή Φ/Β συσκευή εκμεταλλεύεται τη δύναμη του ηλιακού φωτός για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία διαφόρων συσκευών και για την επαναφόρτιση μπαταριών. Καθώς η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια συνεχίζει να αυξάνεται και η ανάγκη για μετριασμό των εκπομπών άνθρακα γίνεται πιο επείγουσα, τα Φ/Β συστήματα κερδίζουν σημαντική δημοτικότητα. Αυτή η καινοτόμος τεχνολογία χρησιμοποιείται εκτενώς σε μικροϋπολογιστές μεγέθους τσέπης, εξαλείφοντας την ανάγκη για μπαταρίες, καθώς βασίζονται αποκλειστικά στην έκθεση στο φως. Επιπλέον, βρίσκονται σε εξέλιξη φιλόδοξες πρωτοβουλίες για τη δημιουργία Φ/Β πάρκων, με απώτερο στόχο την υποκατάσταση ενός σημαντικού μέρους της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων [9][10].

2.2 Ιστορική Αναδρομή Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Το έτος 1839, ένας διάσημος Γάλλος φυσικός ονόματι Edmund Becquerel έκανε μια πρωτοποριακή αποκάλυψη που θα άλλαζε για πάντα την κατανόησή μας για τις αγώγιμες ιδιότητες συγκεκριμένων υλικών. Η αξιοσημείωτη ανακάλυψη του Μπεκερέλ αποκάλυψε το εκπληκτικό γεγονός ότι όταν αυτά τα υλικά εκτέθηκαν στην ενέργεια ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τον ήλιο, η αγωγιμότητά τους αυξήθηκε σημαντικά. Αυτό το εκπληκτικό περιστατικό, που συνήθως αναφέρεται ως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, άνοιξε τελικά το δρόμο για σημαντικές προόδους στον τομέα της ηλιακής ενέργειας. Ήταν στα τέλη του 18ου αιώνα που αυτή η αξιοσημείωτη ανακάλυψη τέθηκε σε πρακτική χρήση μέσω της ανάπτυξης και της χρήσης ηλιακών κυψελών σεληνίου. Η νέα εποχή για την ηλιακή τεχνολογία σήμανε το 1954, όταν τα εργαστήρια Μπελ (Bell Laboratories) πειραματιζόμενα στους ημιαγωγούς, ανακάλυψαν τυχαία ότι μία συγκεκριμένη μορφή πυριτίου ήταν ευαίσθητο στο φως και μπορούν να μετατρέψουν περίπου 6% της ηλιακής ενέργειας απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Από το 1954 άρχισε και η παραγωγή των πρώτων Φ/Β στοιχείων που δόθηκαν στην ελεύθερη αγορά. Αναφέρθηκαν επίσης πρακτικές εφαρμογές των Φ/Β κυψελών πυριτίου στο διάστημα, ιδίως για την τροφοδοσία

δορυφόρων σε τροχιά: το 1963, η Sharp Corporation ανέπτυξε το πρώτο πρακτικό πλαίσιο Φ/Β κυψελών πυριτίου. Στις αρχές του 19ου αιώνα είχαμε την δημιουργία των πρώτων μεγάλων εταιρειών κατασκευής Φ/Β συστημάτων όπως η Solar Power Corporation, Solarex Corporation, ACRO solar κ.α. [11][12].

Οι προσπάθειες για την ανάπτυξη Φ/Β συστημάτων στην Ελλάδα ξεκίνησαν το 1985, αλλά μόλις το 2006 σημειώθηκε σημαντική πρόοδος με την εφαρμογή ενός νέου νόμου. Ο νόμος αυτός είχε ως στόχο να παράσχει οικονομικά κίνητρα για επενδύσεις σε φωτοβολταϊκά συστήματα και να απλοποιήσει τις διαδικασίες αδειοδότησης και εγκατάστασης που σχετίζονται με τέτοια συστήματα [9][13].

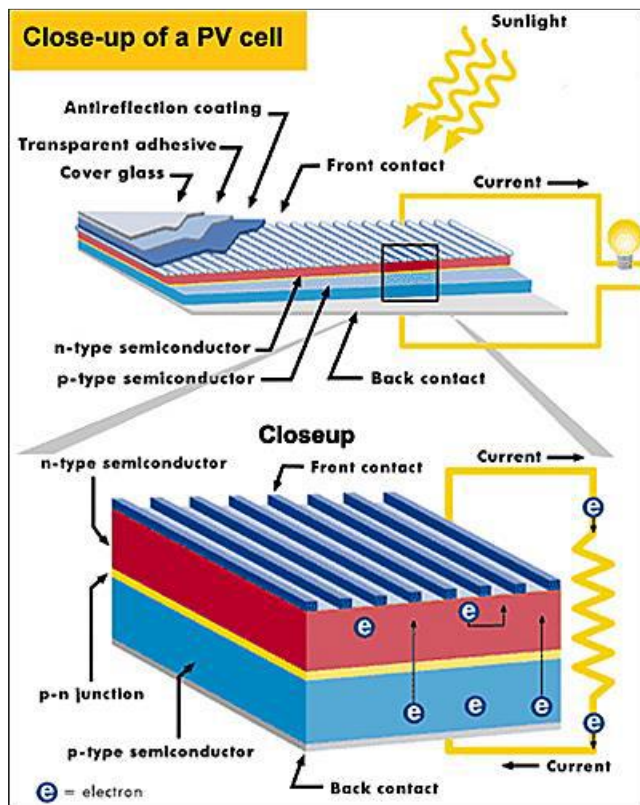
2.3 Λειτουργία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Η Φ/Β τεχνολογία είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Τα ηλιακά κελία αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα κρυσταλλικού πυριτίου, με πάχος περίπου 350 μm . Αρχικά, αυτό το πυρίτιο δεν είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού. Όταν όμως προστεθούν σε αυτό κάποια υλικά, δημιουργούνται οι απαραίτητες συνθήκες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για να κατασκευαστούν Φ/Β κελία, οι ημιαγωγοί πρέπει να εμπλουτιστούν με ξένα σώματα. Τυπικά, το βόριο προστίθεται στο κάτω στρώμα του ηλιακού κελιού, σχηματίζοντας δεσμούς με το πυρίτιο και με αποτέλεσμα την ανάπτυξη θετικού φορτίου (p). Από την άλλη πλευρά, ο φώσφορος προστίθεται στο ανώτερο στρώμα, σχηματίζοντας δεσμούς με το πυρίτιο και οδηγεί στην ανάπτυξη αρνητικού φορτίου (n). Η διεπαφή μεταξύ αυτών των ημιαγωγών τύπου p και τύπου n είναι γνωστή ως διασταύρωση p-n. Με την κατάλληλη καλωδίωση αυτών των εξαρτημάτων, παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Οι ηλιακές κυψέλες παράγουν συνεχές ρεύμα, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για τη λειτουργία εξοπλισμού ή για τη φόρτιση μπαταριών. Η ομαδοποίηση ηλιακών κυψελών γίνεται για να σχηματίσουν Φ/Β πάνελ. Αυτά τα πάνελ στη συνέχεια συνδέονται με πολλαπλές Φ/Β συστοιχίες, δημιουργώντας ένα ολοκληρωμένο Φ/Β σύστημα.

Όταν το Φ/Β στοιχείο εκτίθεται στο ηλιακό φως, ένα μέρος της ακτινοβολίας διεγείρει τα ηλεκτρόνια, επιτρέποντάς τους να κινούνται με ευκολία μέσα στο υλικό ημιαγωγών. Με την εφαρμογή ενός ηλεκτρικού πεδίου, τα ηλεκτρόνια αναγκάζονται να ταξιδέψουν σε μια συγκεκριμένη διαδρομή, δημιουργώντας ηλεκτρικό ρεύμα. Η

ένταση αυτού του ρεύματος επηρεάζεται από την κίνηση των ηλεκτρονίων [11][14][15].



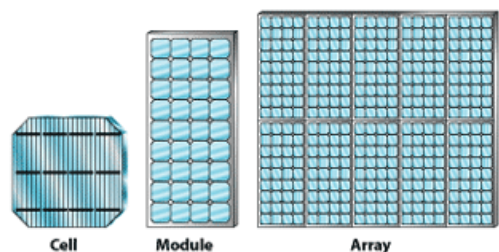
Εικόνα 2.1 Εσωτερικό ενός Φ/Β κελιού.

2.4 Σύνθεση Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Το βασικό στοιχείο που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές Φ/Β είναι το Φ/Β πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από μια συλλογή Φ/Β ηλιακών κυψελών που διασυνδέονται ηλεκτρονικά. Αυτές οι ηλιακές κυψέλες, που συνήθως παρουσιάζουν βαθύ μπλε απόχρωση, έχουν ελάχιστο βάρος μικρότερο από 10 γραμμάρια. Σε ιδανικές συνθήκες, ένα μόνο ηλιακό κύτταρο μπορεί να παράγει περίπου 1,5 Watt ισχύος σε τάση 0,5 Volt. Ενωμένα τα στοιχεία αυτά διαμορφώνουν ένα σύνολο που ονομάζεται Φ/Β πλαίσιο (PV module). Ένα τυπικό Φ/Β πλαίσιο προστατεύεται από ανθεκτικό γυαλί και αποτελείται συνήθως από 36 στοιχεία στη σειρά και παράγει συχνά τάσεις μεγαλύτερες των 12 Volt. Το Φ/Β πλαίσιο αποτελεί τη μικρότερη αυτοτελή μονάδα σε μια συστοιχία.

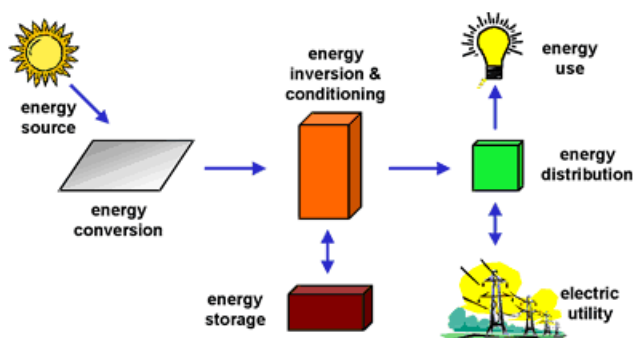
Τα Φ/Β πάνελ (PV panel) είναι ένα ή περισσότερα πλαίσια που έχουν κατασκευασθεί και συναρμολογηθεί σε μια ενιαία κατασκευή, έτοιμη να εγκατασταθεί. Συνδέοντας τα πλαίσια σε σειρά αυξάνουμε την τάση στο σύστημα ενώ συνδέοντας τα πλαίσια

παράλληλα αυξάνουμε το ρεύμα. Στα Φ/Β πάνελ χρησιμοποιούν συνδυασμό και των δυο κατηγοριών συνδέσεων. Μια τέτοια κατασκευή χρειάζεται σχεδόν μηδενική συντήρηση και έχει διάρκεια ζωής που φτάνει τα 30 χρόνια [13].



Εικόνα 2.2 Διαβαθμίσεις ενός Φ/Β πάνελ.

Τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν όπως οποιοδήποτε άλλο ηλεκτρικό σύστημα και ακολουθούν τις ίδιες αρχές λειτουργίας και διασύνδεσης, με τη διαφορά ότι ο εξοπλισμός που χρησιμοποιεί διαφέρει πολύ από τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά παραγωγικά συστήματα. Σε μια Φ/Β διάταξη απαιτούνται στοιχεία ελέγχου, μετατροπής, διανομής και καταχώρησης της ενέργειας που παράγεται από το σύστημα. Ένα ολοκληρωμένο Φ/Β σύστημα συμπληρώνεται από τον μετατροπέα ισχύος συνεχούς- εναλλασσόμενου ρεύματος (DC-AC), τα συστήματα ελέγχου τάσης και τους συσσωρευτές. Αναλόγως με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος, συναντάμε σημαντικά συστατικά όπως μπαταρία (συσσωρευτή), βοηθητικές πηγές (γεννήτριες) κ.α. Επιπλέον μπορεί να είναι απαραίτητες μονάδες προστασίας του υλικού του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της καλωδίωσης, πιθανής υπερφόρτωσης, προστασία κύματος και αποσύνδεσης συσκευών [9] [15].



Εικόνα 2.3 Διαδρομή της ενέργειας Φ/Β.

2.5 Τύποι Φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα Φ/Β στοιχεία διακρίνονται σε αρκετές κατηγορίες ωστόσο δύο είναι οι πιο διαδεδομένες. Η διάκρισή τους γίνεται ανάλογα με το υλικό παρασκευής, τη δομή του βασικού υλικού καθώς και τον τρόπο παρασκευής [11]:

- Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si).
- Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si).
- Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon-Si).
- Φ/Β στοιχεία λεπτών επιστρώσεων (thin film).
- Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon).
- Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός (CuInSe₂ ή CIS).
- Τελουριούχου Καδμίου (CdTe).
- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs).
- Υβριδικά Φ/Β στοιχεία.

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τις δύο πιο διαδεδομένες κατηγορίες παγκοσμίως

2.5.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν ομοιόμορφη μοριακή δομή και κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο πυριτίου. Μεταλλικές λωρίδες που μεταφέρουν ηλεκτρισμό τοποθετούνται πάνω από τις κυψέλες προκειμένου να συλλέξουν τα ηλεκτρόνια και να δημιουργήσουν τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτές οι ταινίες έχουν μια αξιοσημείωτη ιδιότητα ότι είναι εξαιρετικά αποτελεσματικές, με αποτελεσματικότητα που κυμαίνεται από 11 έως 19%. Ωστόσο, αξίζει να σημειωθεί ότι το κόστος παραγωγής τους είναι συγκριτικά υψηλότερο. Ωστόσο, λόγω της υψηλής αποδοτικότητάς τους, προσφέρουν την υψηλότερη απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας και μπορούν να αποτελέσουν την πιο κερδοφόρα επένδυση μακροπρόθεσμα. Τα ηλιακά κελιά μπορούν να παραχθούν σε διάφορα σχήματα όπως κύκλοι, τετράγωνα ή ακόμα και πολύγωνα. Μεταξύ αυτών των επιλογών, τα κυκλικά ηλιακά κελιά τείνουν να είναι πιο οικονομικά λόγω των ελαχιστοποιημένων αποβλήτων που παράγονται κατά τη διαδικασία κατασκευής τους. Ως αποτέλεσμα, είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για ενσωμάτωση σε κτίρια που

απαιτούν μερική μετάδοση φωτός. Έχουν σκούρο μπλε έως μαύρο χρώμα εάν έχουν εφαρμοστεί αντι-ανακλαστικές επιστρώσεις ή γκρι χρώμα εάν δεν έχουν εφαρμοστεί αντι-ανακλαστικές επιστρώσεις.

2.5.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου προσφέρουν μια πιο προσιτή επιλογή σε σύγκριση με τις κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αν και δεν είναι τόσο αποτελεσματικές. Αυτά τα κελιά κατασκευάζονται από δίσκους πυριτίου που κόβονται από τετράγωνες ράβδους πυριτίου, χρησιμοποιώντας εξειδικευμένους κλιβάνους που ψύχουν σταδιακά το λιωμένο πυρίτιο για να σχηματίσουν μεγαλύτερους κρυστάλλους. Οι μέθοδοι παραγωγής για πολυκρυσταλλικά κελιά απαιτούν λιγότερη ακρίβεια και είναι πιο οικονομικές από εκείνες για μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοσή τους συνήθως κυμαίνεται από 11% έως 16%, και συνήθως κατασκευάζονται σε τετράγωνο σχήμα. Συνήθως, τα πολυκρυσταλλικά κελιά έρχονται σε μπλε απόχρωση με αντανακλαστική επίστρωση, αλλά μπορούν επίσης να βρεθούν σε γκρι ή ασημί χωρίς τέτοια επίστρωση.

Πίνακας 2.1 Συγκριτικός πίνακας Φ/Β τεχνολογιών

| Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών | | | |
|---|---|---|---|
| ΤΥΠΟΣ | 'Λεπού υμενίου' ή 'Thin Film' | Πολυκρυσταλλικά | Μονοκρυσταλλικά |
| Εμφάνιση |  |  |  |
| Απόδοση ανά μονάδα επιφάνειας | a-Si: 4,5-6,5% μ-Si: 8-9% CIS-CIGS: 6-12% CdTe: 6-11% | 11-16% | 11-19% |
| Επιφάνεια ανά kWp | 9-25 m ² | 7-9 m ² | 5,5-9 m ² |

2.6 Κατηγορίες Φ/Β συστημάτων

Τα Φ/Β συστήματα μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τις ανάγκες ισχύος τους, τη διάταξη των επιμέρους εξαρτημάτων τους και τη σύνδεσή τους με άλλες πηγές ενέργειας και ηλεκτρικά φορτία. Τα συστήματα αυτά έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν είτε σε συνδυασμό με το δίκτυο τροφοδοσίας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) είτε ανεξάρτητα και μπορούν επίσης να συνδεθούν με άλλες πηγές ενέργειας και συστήματα αποθήκευσης ενέργειας.

Για την περαιτέρω κατηγοριοποίηση των Φ/Β συστημάτων, μπορεί να γίνει μια πρωταρχική διαίρεση με βάση τις συγκεκριμένες εγκαταστάσεις που εξυπηρετούν, όπως ένα απομακρυσμένο νησί ή ένα φωτοβολταϊκό πάρκο. Αυτή η ταξινόμηση βοηθά στη διάκριση μεταξύ δύο βασικών κατηγοριών Φ/Β συστημάτων.:

- Συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο
- Αυτόνομα συστήματα

Η κύρια διάκριση μεταξύ των δύο είναι ότι η πρώτη επιλογή περιλαμβάνει τη σύνδεση στο δίκτυο Δ.Ε.Η., ενώ η δεύτερη επιλογή δεν έχει καμία σύνδεση με αυτό, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ενέργεια να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για σκοπούς κατανάλωσης.

2.6.1 Συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο

Το Φ/Β σύστημα παραγωγής ενέργειας έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ, το οποίο είναι ένα διασυνδεδεμένο σύστημα.. Στην περίπτωση αυτή, γίνεται αυτοπαραγωγός, δηλαδή καταναλώνεις το ρεύμα που παράγεις ενώ ταυτόχρονα είσαι συνδεδεμένος με το δημόσιο δίκτυο (ΔΕΗ). Γίνεται ένας λογιστικός συμψηφισμός παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας (net-metering). Αυτό σημαίνει ότι είναι εξοπλισμένα με διπλή μέτρηση για την καταμέτρηση της εισερχόμενης και εξερχόμενης ενέργειας. Η καθαρή μέτρηση και η αυτοπαραγωγή επιτρέπουν στους Έλληνες καταναλωτές να παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται για τα σπίτια τους και τις εμπορικές τους δραστηριότητες. Με άλλα λόγια, οι καταναλωτές γίνονται παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας για να καλύψουν τις δικές τους ανάγκες.

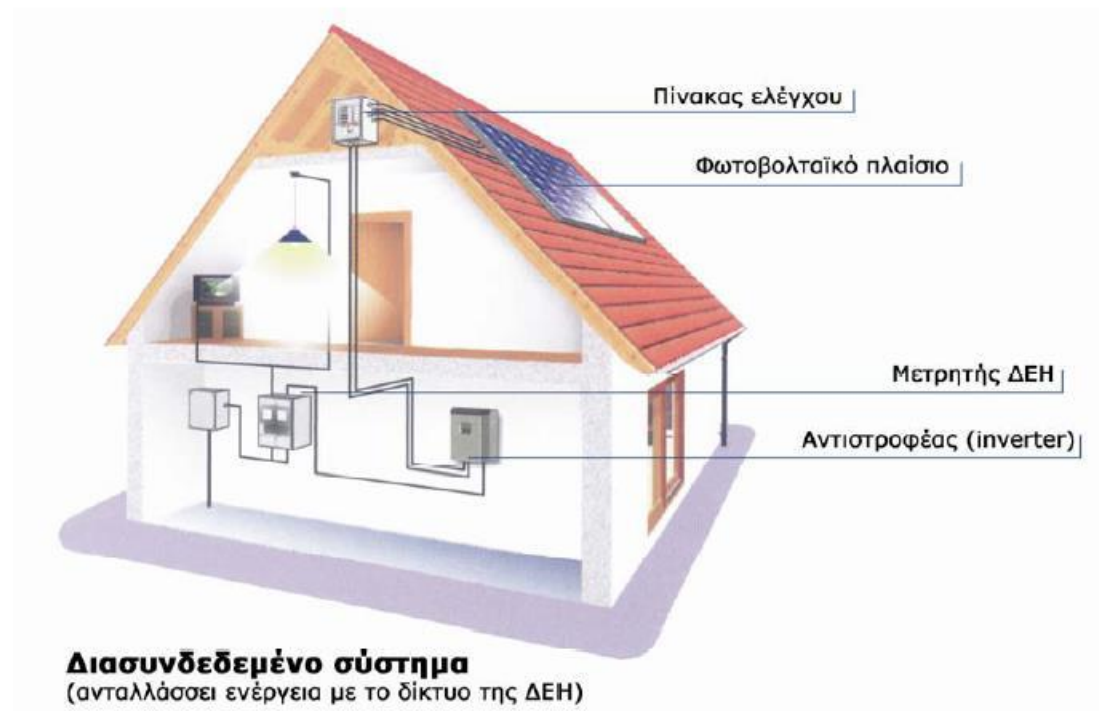
Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον ιδιοκτήτη του φωτοβολταϊκού χωρίς μεσάζοντες. Σε

περιπτώσεις όπου η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται, όπως κατά τη διάρκεια της νύχτας ή τις συννεφιασμένες ημέρες, οι καταναλωτές έχουν τη δυνατότητα να προμηθευτούν ηλεκτρική ενέργεια απευθείας από το δίκτυο με τις ισχύουσες τιμές. Ωστόσο, εάν η συνολική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα υπερβαίνει την ποσότητα που καταναλώνεται, ο ιδιοκτήτης δεν θα λάβει καμία αποζημίωση για την πλεονάζουσα ενέργεια που παρέχεται πίσω στο δίκτυο.

Η διαδικασία εξισορρόπησης της ποσότητας ηλιακής ενέργειας που παράγεται και της ποσότητας ενέργειας που καταναλώνουν οι καταναλωτές διεξάγεται σε ετήσια βάση, σε 12 μήνες. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα για μια χώρα όπως η Ελλάδα, καθώς επιτρέπει στο πλεόνασμα ενέργειας που παράγεται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες να αντισταθμίζει τη μειωμένη παραγωγή το χειμώνα [9] [15] [16].

→ Διασυνδεδεμένα συστήματα

- Φ/B πλαίσιο.
- Πίνακας ελέγχου.
- Αντιστροφείας τάσης.
- Μετρητής Δ.Ε.Η.



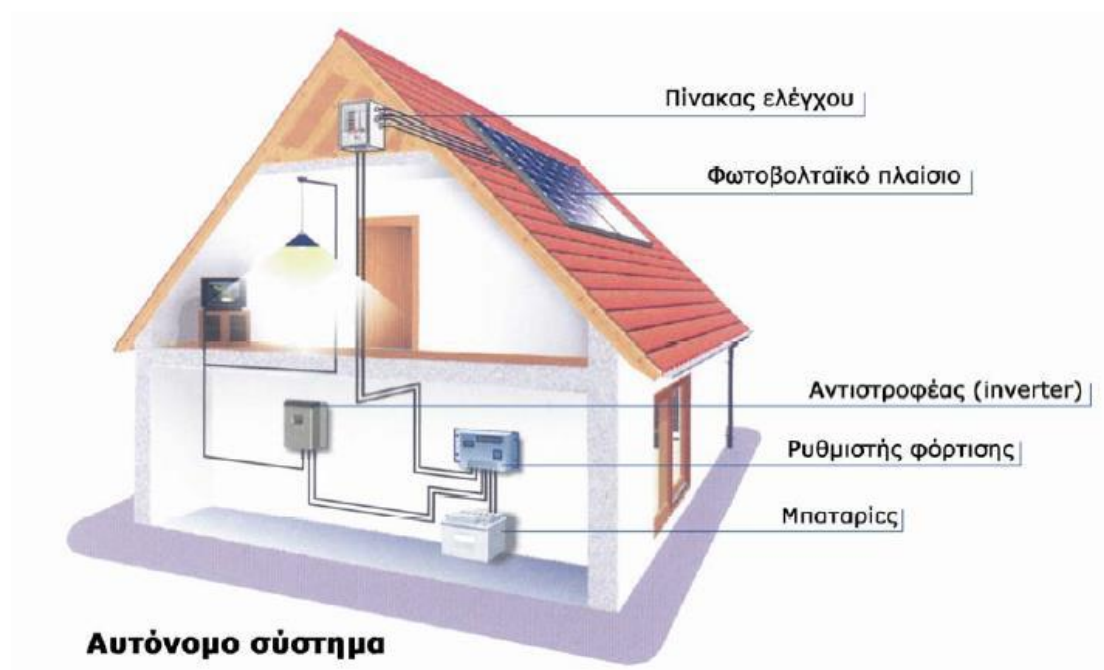
Εικόνα 2.4 Διασυνδεδεμένο δίκτυο Φ/Β.

2.6.2 Αυτόνομα συστήματα

Από την άλλη πλευρά, μια εγκατάσταση Φ/Β μπορεί να λειτουργήσει ως ένα αυτόνομο σύστημα που καλύπτει όλες τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου. Για να διασφαλιστεί η αδιάλειπτη τροφοδοσία του καταναλωτή, η εγκατάσταση πρέπει επίσης να περιλαμβάνει μια μονάδα αποθήκευσης και διαχείρισης ενέργειας, γνωστή ως συσσωρευτής. Αυτές οι εγκαταστάσεις λειτουργούν ανεξάρτητα από το κύριο δίκτυο τροφοδοσίας που παρέχεται από τη ΔΕΗ και είναι συνήθως σχεδιασμένες να παρέχουν ρεύμα σε φορτία συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος χωρίς να βασίζονται σε μεγάλα κεντρικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται να αντλούν πρόσθετη ενέργεια από αυτά τα δίκτυα ή να εξάγουν την πλεονάζουσα ενέργεια που παράγεται. Αυτός ο τύπος εγκατάστασης είναι ιδιαίτερα πλεονεκτικός για αγροτικές περιοχές ή τοποθεσίες που βρίσκονται μακριά από το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η σύνδεση στο δίκτυο μπορεί να είναι δαπανηρή. Στην Ελλάδα, για παράδειγμα, όπου υπάρχουν πολλά μικρά νησιά και οικισμοί, τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν υιοθετηθεί ευρέως και εξακολουθούν να υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες περαιτέρω ανάπτυξης [15].

→ Αυτόνομα συστήματα

- Φ/Β πλαίσιο.
- Πίνακας ελέγχου.
- Ρυθμιστής φόρτισης.
- Συσσωρευτής.
- Αντιστροφείας τάσης



Εικόνα 2.5 Αυτόνομο δίκτυο Φ/Β.

2.7 Συσσωρευτές ενέργειας

Τα Φ/Β συστήματα εκτός δικτύου βασίζονται στην αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργούν σε περιόδους που η παραγωγή ενέργειας δεν ευθυγραμμίζεται με τη ζήτηση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από φυσικά φαινόμενα.

Με την αποθήκευση και την αποτελεσματική χρήση της παραγόμενης ενέργειας, γίνεται ευκολότερο να διαχειρίζεσαι και να μεγιστοποιείς τη χρήση της. Δεδομένου ότι δεν υπάρχει ηλιακό φως τη νύχτα, είναι πιθανό να υπάρξει αύξηση της ζήτησης φορτίου νωρίς το απόγευμα, με αποτέλεσμα ένα φορτίο αιχμής που πρέπει να παρέχεται από συμβατικές πηγές. Με την εφαρμογή ενός συστήματος αποθήκευσης, αυτές οι κορυφές στη ζήτηση ενέργειας μπορούν να εξομαλυνθούν, δημιουργώντας ένα πιο σταθερό βασικό φορτίο.

Κατά συνέπεια, όταν μια εγκατάσταση Φ/Β πίνακα δεν είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και λειτουργεί ανεξάρτητα, είναι απαραίτητο να αποθηκεύεται η απαιτούμενη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας για χρήση κατά τις νυχτερινές ώρες ή τις ημέρες με περιορισμένο ή καθόλου ηλιακό φως. Αυτή η αποθήκευση πραγματοποιείται με τη χρήση συσσωρευτών.

Ωστόσο η εμπειρία έχει δείξει ότι σε αυτόνομο Φ/Β σύστημα η μπαταρία είναι το πιο αδύναμο σημείο, καθώς η διάρκεια ζωής της είναι μικρή σε σχέση με τις άλλες μονάδες του συστήματος, γεγονός που οδηγεί σε αρκετά έξοδα συντήρησης ακόμα και αποκατάστασης [15] [17].

2.8 Ρυθμιστής φόρτισης

Οι ελεγκτές φόρτισης είναι απλές ηλεκτρονικές συσκευές που είναι υπεύθυνες για την εγγύηση της κατάλληλης φόρτισης των μπαταριών ενός Φ/Β συστήματος. Η κύρια λειτουργία τους περιλαμβάνει την προσεκτική παρακολούθηση της διαδικασίας φόρτισης και την άμεση διακοπή της λειτουργίας φόρτισης μόλις διαπιστώσει ότι η μπαταρία έχει φτάσει στη μέγιστη χωρητικότητα φόρτισης. Η παραμέληση της εφαρμογής ενός ελεγκτή φόρτισης θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες, όπως μη αναστρέψιμη ζημιά στην μπαταρία.

Οι ελεγκτές φόρτισης έχουν σχεδιαστεί για να επανεκκινούν αυτόματα τη διαδικασία φόρτισης της μπαταρίας όταν ανιχνεύσουν ότι η τάση της μπαταρίας έχει πέσει κάτω από το επίπεδο που απαιτείται για πλήρη φόρτιση. Αυτό είναι απαραίτητο επειδή οι μπαταρίες χάνουν φυσικά τη φόρτισή τους με την πάροδο του χρόνου, ακόμη και όταν δεν χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία μιας συσκευής. Παρακολουθώντας την τάση της μπαταρίας και αναλαμβάνοντας δράση όταν χρειάζεται, οι ελεγκτές φόρτισης συμβάλλουν στην παράταση της συνολικής διάρκειας ζωής και της απόδοσης της μπαταρίας διασφαλίζοντας ότι παραμένει στα βέλτιστα επίπεδα φόρτισης.

Οι ρυθμιστές φόρτισης έχουν μια ενσωματωμένη πρίζα όπου μπορούν να συνδεθούν ηλεκτρικές συσκευές για να λαμβάνουν ισχύ από την μπαταρία. Αυτή η δυνατότητα παρέχει ένα πρόσθετο πλεονέκτημα, καθώς επιτρέπει στους ρυθμιστές φόρτισης να ανιχνεύουν τότε η μπαταρία πλησιάζει στην πλήρη αποφόρτιση. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο ρυθμιστής φόρτισης διακόπτει αυτόματα τη λειτουργία των συνδεδεμένων ηλεκτρικών συσκευών, προστατεύοντας έτσι την μπαταρία από πιθανή

ζημιά που προκαλείται από πλήρη αποφόρτιση. Αυτό το προληπτικό μέτρο είναι ζωτικής σημασίας καθώς η πλήρης αποφόρτιση θα μπορούσε ενδεχομένως να οδηγήσει σε καταστροφή της μπαταρίας. Ως εκ τούτου, η συμπερίληψη αυτής της λειτουργίας στους ρυθμιστές φόρτισης χρησιμεύει ως αποτελεσματικό μέσο για την προστασία της μπαταρίας από οποιαδήποτε βλάβη.

2.9 Αντιστροφέας Τάσης

Ο μετατροπέας τάσης είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που χρησιμοποιείται συνήθως σε φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα που είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο, καθώς και σε αυτόνομα συστήματα που χρησιμοποιούν επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Η κύρια λειτουργία του είναι να μετατρέπει το συνεχές ρεύμα (DC) που παράγεται από το Φ/Β σύστημα σε εναλλασσόμενο ρεύμα (AC) με τάση 230 V.

2.9.1 Αντιστροφέας τάσης για συνδεδεμένα στο δίκτυο σύστημα

Ο αντιστροφέας τάσης είναι ένα ουσιαστικό εξάρτημα για συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο, καθώς παίζει καθοριστικό ρόλο στον προσδιορισμό της τάσης του συνεχούς ρεύματος εντός του συστήματος. Ανάλογα με την ηλεκτρική ισχύ που παράγουν οι συλλέκτες, επιλέγεται προσεκτικά ο κατάλληλος μετατροπέας. Η κύρια λειτουργία του είναι να μετατρέπει την τάση DC που παράγεται από τους συλλέκτες σε τάση εναλλασσόμενου ρεύματος (AC) με συχνότητα 50 Hz.

Επιπλέον, εκτός από την κύρια λειτουργία του να μετατρέπει την συνεχή τάση σε εναλλασσόμενο ρεύμα, ο μετατροπέας ενσωματώνει διάφορους μηχανισμούς που παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της αποτελεσματικής λειτουργίας του συνολικού συστήματος. Αυτοί οι μηχανισμοί έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν ότι ο μετατροπέας ξεκινά να λειτουργεί την ακριβή στιγμή που οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν επαρκή ενέργεια. Καθώς η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία των συλλεκτών κυμαίνονται κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο μετατροπέας προσαρμόζει συνεχώς το σημείο λειτουργίας του στην καμπύλη V-I για να μεγιστοποιήσει την απόδοση εξόδου. Επιπλέον, ο μετατροπέας είναι εξοπλισμένος με αυτοματοποιημένα συστήματα που αποσυνδέουν αμέσως το σύστημα εάν εντοπιστούν ανωμαλίες ή σφάλματα είτε στο δίκτυο είτε στους ίδιους τους συλλέκτες.

Τα περισσότερα μοντέλα μετατροπέων τάσης διαθέτουν σήμερα συστήματα που μπορούν να μετρούν συνεχώς την ισχύ, την τάση, το ρεύμα και άλλες παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος.

2.9.2 Αντιστροφείας τάσης για αυτόνομα συστήματα

Λόγω των μοναδικών συνθηκών υπό τις οποίες λειτουργούν οι μετατροπείς σε αυτόνομα συστήματα, απαιτούν ξεχωριστό σχεδιασμό. Σε ένα τυπικό οικιακό σύστημα, ο λόγος της ονομαστικής ισχύος προς τη μέση ισχύ είναι περίπου 25:1. Επομένως, είναι σημαντικό για τον μετατροπέα να διαθέτει υψηλό επίπεδο απόδοσης, που φτάνει περίπου το 90%, ειδικά όταν λειτουργεί με μερικά φορτία εντός του εύρους 5-10% της καθορισμένης ισχύος. Καμπυλόγραμμη έξοδος τάσης και ικανότητα αντοχής σε σύντομες περιόδους υπερφόρτωσης-λίγοι μετατροπείς πληρούν αυτές τις απαιτήσεις. Ανάλογα με τις απαιτήσεις, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ορθογώνιες ή καμπυλόγραμμες κυματομορφές [15][17].

2.9.3 Βοηθητικά συστήματα

Κάθε Φ/Β σύστημα περιλαμβάνει συνήθως και τα παρακάτω μέρη :

→ Πίνακας Ελέγχου

→ Μετρητής Δ.Ε.Η.

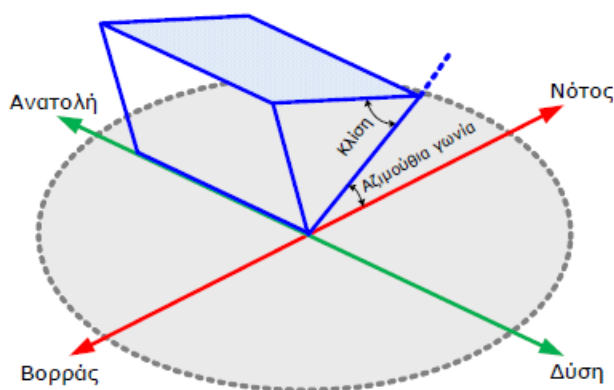
→ Δίοδοι μπλοκαρίσματος (blocking diodes) χρησιμοποιούνται σε Φ/Β (PV) πάνελ για την πρόληψη της ροής αντίστροφου ρεύματος, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε πιθανή ζημιά και απώλειες ενέργειας .

→ Δίοδοι παράκαμψης (bypass diodes) επιτρέπουν στη συστοιχία να συνεχίσει να λειτουργεί ακόμα κι αν ορισμένα τμήματα εμποδίζονται από τη σκίαση.

2.10 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου

Για να μεγιστοποιηθεί η ενεργειακή παραγωγικότητα των Φ/Β πλαισίων, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να αξιοποιείται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Ειδικότερα, η πορεία του ήλιου θα πρέπει να είναι συνεχώς κάθετη στη διεύθυνση της ακτινοβολίας κατά μήκος της διαδρομής του ήλιου, καθώς η πορεία του ήλιου μεταβάλλεται ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την ημέρα της εβδομάδας.

Οι μηχανισμοί που επιτρέπουν την κίνηση των κουφωμάτων, όπως περιγράφηκε παραπάνω, είναι πολύπλοκοι και ακριβοί στην πράξη. Αυτό καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και μη πρακτική τη χρήση τους στην κατασκευή Φ/Β συστημάτων. Ως αποτέλεσμα, τα περισσότερα Φ/Β συστήματα κτιρίων επιλέγουν έναν σταθερό προσανατολισμό των πάνελ προκειμένου να επιτύχουν μια μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας κοντά στις 90°. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί επιλέγοντας την κατάλληλη γωνία κλίσης και αζιμουθίου για το πλαίσιο. Η κλίση αναφέρεται στη γωνία μεταξύ του επιπέδου της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πίνακα και του οριζώντιου επιπέδου, ενώ η γωνία αζιμουθίου είναι η γωνία που σχηματίζεται στο οριζόντιο επίπεδο μεταξύ της προβολής της κεκλιμένης επιφάνειας του πίνακα και του τοπικού μεσημβρινού βορρά-νότου. Στο βόρειο ημισφαίριο, η βέλτιστη κλίση για μέγιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας και η γωνία αζιμουθίου είναι περίπου 0°. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην Ελλάδα, η μεγαλύτερη ετήσια ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια με σταθερή κλίση επιτυγχάνεται με Νότιο προσανατολισμό και κλίση γύρω στις 30°. [10] [18]


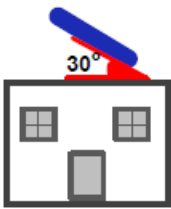
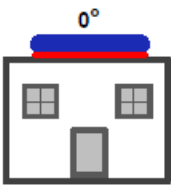
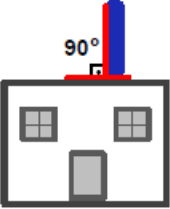


Εικόνα 2.6 Προσανατολισμός Φ/Β πλαισίου.

Λόγω των περιορισμών που επιβάλλονται από τις διαθέσιμες κτιριακές επιφάνειες, μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν οι ιδανικές τιμές κλίσης και προσανατολισμού για Φ/Β εγκαταστάσεις. Επομένως, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που θα ληφθεί στην επιφάνεια όπου θα εγκατασταθεί η Φ/Β γεννήτρια. Οι ανεξάρτητοι φορείς εκμετάλλευσης που επιθυμούν να μεγιστοποιήσουν τα οικονομικά τους οφέλη θα πρέπει να στοχεύουν σε ετήσια μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας κάτω του 10% σε σύγκριση με το θεωρητικό

μέγιστο. Κατά την εξέταση των περιορισμών των επιφανειών του κτιρίου, γενικά συνιστάται η χρήση επιφανειών με νότιο προσανατολισμό με μέγιστη απόκλιση 70° από τη νότια κατεύθυνση και κλίση μεταξύ 0° και 50°. Επιπλέον, αξίζει να σημειωθεί ότι η χρήση γωνιών κλίσης μεγαλύτερες από 10°-15° μπορεί να διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό των πλαισίων της Φ/Β συστοιχίας επιτρέποντας στα σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους να ξεπλένονται από τη βροχή.

Πίνακας 2.2 Πίνακας διαφόρων προσανατολισμών Φ/Β πλαισίου.

|  | Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο | | |
|---|---|--|---|
| |  |  |  |
| Ανατολικός - Δυτικός | 85% kWh _(max) | 90% kWh _(max) | 50% kWh _(max) |
| Νότιοανατολικός - Δυτικός | 95% kWh _(max) | 90% kWh _(max) | 60% kWh _(max) |
| Νότιος | kWh _(max) | 90% kWh _(max) | 60% kWh _(max) |
| Βόρειοανατολικός - Δυτικός | 95% kWh _(max) | 90% kWh _(max) | 30% kWh _(max) |
| Βόρειος | 60% kWh _(max) | 90% kWh _(max) | 20% kWh _(max) |

2.11 Προβλήματα σκίασης

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει αποφασιστικά την ενεργειακή απόδοση των Φ/Β συστημάτων κτιρίων είναι η παρουσία σκίασης: δεδομένου ότι στα Φ/Β πλαίσια, τόσο τα Φ/Β στοιχεία της Φ/Β συστοιχίας όσο και τα Φ/Β πάνελ συνδέονται σε σειρά, ακόμη και η μερική σκίαση της Φ/Β συστοιχίας μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική μείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε σύγκριση με τις αναμενόμενες τιμές δικαιολογημένα μειώνεται κατά ένα σημαντικό ποσό.

Συγκεκριμένα, το συνολικό ρεύμα της Φ/Β συστοιχίας καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της Φ/Β συστοιχίας. Φυσικά, εάν η σκίαση μειώνει την τάση ενός σκιασμένου πλαισίου σε αρκετά χαμηλό επίπεδο, η δίοδος

παράκαμψης ενεργοποιείται και το εν λόγω πλαίσιο αποκλείεται από την παραγωγή ενέργειας.

Επομένως, είναι σημαντικό να αποφεύγεται η σκίαση από μικρά αντικείμενα, όπως στύλους, κεραίες και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και από δέντρα και παρακείμενα κτίρια κ.λπ. Οι θέσεις των Φ/Β συστοιχιών πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να αποφεύγεται η σκίαση καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, ιδίως σε περιόδους υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας.

Εάν η τοποθεσία του Φ/Β εξοπλισμού βρίσκεται σε μόνιμη βάση μπροστά από κτήρια, κολώνες για μεγάλο χρονικό διάστημα, τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη.

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας για τη σωστή εγκατάσταση Φ/Β εγκαταστάσεων είναι να υπάρχει ανεμπόδιστος νότιος ορίζοντας.

2.12 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

2.12.1 Πλεονεκτήματα

→ Μηδενικός θόρυβος:

Καθώς δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, δεν υπάρχει θόρυβος.

→ Μηδενική ρύπανση:

Δεν υπάρχουν εκπομπές υγρών ή αέριων ρυπαντικών ουσιών.

→ Μηδενική κατανάλωση καυσίμων:

Καύσιμό του θεωρείται ο ήλιος, μια αστείρευτη πηγή ενέργειας.

→ Μικρό κόστος συντήρησης:

Ένας τακτικός έλεγχος αρκεί για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος.

→ Μεγάλη διάρκεια ζωής:

Η διάρκεια ζωής μιας Φ/Β εγκατάστασης έχει αποδειχθεί τόσο από τους κατασκευαστές όσο και από τους διανομείς ότι είναι 20-30 χρόνια, αλλά η τεχνολογική πρόοδος θα παρατείνει τη διάρκεια ζωής.

→ Εύκολη εγκατάσταση:

Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση τόσο από τον καταναλωτή όσο και από ειδικούς τεχνικούς.

→ Αυξανόμενη απόδοση:

Εξέλιξη των τεχνολογιών με την πάροδο του χρόνου.

→ Αποδέσμευση από δίκτυα ηλεκτροδότησης :

Κάτω από ορισμένες συνθήκες ο καταναλωτής μπορεί να αποδεσμευτεί πλήρως από τις επιχειρήσεις ηλεκτροδότησης.

2.12.2 Μειονεκτήματα

→ Αισθητικά προβλήματα:

Δεν είναι για κάποιους αρεστή η εικόνα στον χώρο εγκατάστασης.

→ Δέσμευση χώρου:

Απαιτείται μεγάλη έκταση για την κάλυψη όλων των αναγκών ενός οικιακού χώρου.

→ Αβέβαιος χρόνος:

Δεν υπάρχει βεβαιότητα για το χρονικό διάστημα που θα συνεργάζεται η Δ.Ε.Η. με τους ιδιώτες Φ/Β συστημάτων.

→ Υψηλό κόστος:

Αναφερόμαστε σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα μεγάλης έκτασης και περιστρεφόμενα.

→ Κόστος προστασίας:

Αναφερόμαστε σε εγκαταστάσεις Φ/Β συστημάτων σε αγροτικές εκτάσεις, καθώς υπάρχει κίνδυνος κλοπής ακόμα και δολιοφθοράς, καθώς υπάρχουν πολλοί κακόβουλοι.

3. Κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης - ΚΣΜΕΚ (nearly Zero Emission Buildings – nZEB)

3.1 Ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων

Η Οδηγία (ΕΕ) 2018/844 [19] υποχρεώνει τα κράτη μέλη της ΕΕ να αναπτύξουν μακροπρόθεσμες στρατηγικές ανακαίνισης που υποστηρίζουν την ανακαίνιση κατοικιών και άλλων κτιρίων, με στόχο τη μετατροπή τους σε δομές υψηλής

ενεργειακής απόδοσης και ουδέτερες εκπομπές άνθρακα έως το 2050. Αυτές οι στρατηγικές πρέπει να σκιαγραφήσουν έναν οδικό χάρτη με συγκεκριμένα μέτρα και μετρήσιμους δείκτες προόδου, σύμφωνα με τον μακροπρόθεσμο στόχο της ΕΕ για μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 80-95% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Ο οδικός χάρτης πρέπει επίσης να περιλαμβάνει ενδεικτικά ορόσημα για το 2030, το 2040 και το 2050, που να καταδεικνύουν πως συμβάλλουν στην επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης της ΕΕ που περιγράφονται στην Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση 2012/27/ΕΕ.

Αφού υποβλήθηκε σε επανεξέταση της εφαρμογής της, η Οδηγία 2010/31/ΕΕ τροποποιήθηκε το 2018 από την Οδηγία (ΕΕ) 2018/844. Πρωταρχικός στόχος αυτής της τροπολογίας ήταν να επιταχυνθεί η οικονομικά αποδοτική ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων και να προωθηθεί η ενσωμάτωση έξυπνων τεχνολογιών στα κτίρια. Επίσης, η τροποποιητική οδηγία συμπληρώνει την υφιστάμενη νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση ως μέρος της δέσμης μέτρων για την καθαρή ενέργεια. Ο κύριος στόχος της οδηγίας είναι η ενίσχυση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, λαμβάνοντας υπόψη διάφορους κλιματικούς και τοπικούς παράγοντες. Καθορίζει τις ελάχιστες απαιτήσεις και ένα τυποποιημένο πλαίσιο για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης. Επιπλέον, η αναθεωρημένη οδηγία διευρύνει το πεδίο εφαρμογής του ισχύοντος καθεστώτος επιθεώρησης για τα συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού ενσωματώνοντας συνδυασμένα συστήματα με εξαερισμό. Λαμβάνει επιπλέον υπόψη την απόδοση αυτών των συστημάτων υπό τυπικές συνθήκες λειτουργίας. Η οδηγία ενθαρρύνει τη χρήση της τεχνολογίας πληροφοριών και επικοινωνιών, καθώς και ευφών τεχνολογιών αυτοματισμού και ελέγχου εντός των κτιρίων. Επιπροσθέτως, υποστηρίζει την ανάπτυξη υποδομής για επαναφόρτιση ηλεκτρικών οχημάτων σε χώρους στάθμευσης κτιρίων απαιτώντας την εγκατάσταση αγωγών καλωδίωσης υποδομής και σημείων επαναφόρτισης. Τέλος, η οδηγία θεσπίζει έναν «ευφή δείκτη ετοιμότητας» για την αξιολόγηση της ικανότητας των κτιρίων να προσαρμόζονται στις ανάγκες των ενοίκων, να βελτιστοποιούν τη λειτουργία τους και να αλληλοεπιδρούν με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Υπάρχουν πολλές προκλήσεις στη δημιουργία ενός ακριβούς ορισμού για κτίρια που δεν έχουν σχεδόν καθόλου κατανάλωση ενέργειας. Αυτές οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την εξέταση των ορίων στις εκπομπές ρύπων, τον καθορισμό του ενεργειακού ισοζυγίου και το αν θα πρέπει να υπολογίζεται στιγμιαία ή κεντρικά,

ενσωματώνοντας ΑΠΕ από γειτονικές εγκαταστάσεις ή από αποκλειστική μονάδα σε κάθε κτίριο και άλλα. Ωστόσο, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι δεν αποκλείονται διαφορετικοί τύποι κτιρίων και να αφήσουμε χώρο για μελλοντικούς ορισμούς που θα περιλαμβάνουν ενεργειακά θετικά κτίρια. Ως αποτέλεσμα, η ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, μαζί με μια μελέτη που διεξήγαγε η ecofys [20], αναφέρει ότι αυτά τα κτίρια, γνωστά ως ZNX (κτίρια με υποχρέωση εγκατάστασης ηλιοθερμικών συστημάτων για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης), δεν πρέπει να υπερβαίνουν ένα ορισμένο όριο για την κατανάλωση θέρμανσης, ψύξης, ζεστού νερού κ.λπ. συσκευές, και το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειάς τους θα πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τις

3.2 Προσαρμογή οδηγίας σε εθνικό επίπεδο

Η ευρωπαϊκή οδηγία μπορεί να προσαρμοστεί στις συγκεκριμένες ανάγκες και περιστάσεις μεμονωμένων χωρών, περιοχών ή τοπικών περιοχών, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως ο αριθμητικός δείκτης χρήσης πρωτογενούς ενέργειας σε κιλοβατώρες ανά τετραγωνικό μέτρο ανά έτος (kWh/m^2). Αναμφίβολα, τα κτίρια διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων ενεργειακής απόδοσης, καθώς συμβάλλουν σημαντικά τόσο στην κατανάλωση ενέργειας όσο και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Στην Ελλάδα, μόνο ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για περίπου το ένα τρίτο των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και το 36% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας.

Η Οδηγία 2010/31/ΕΕ [21] γνωστή και ως Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων, ενσωματώθηκε στην Εθνική Νομοθεσία μέσω του Ν. 4122/2013. Η οδηγία αυτή περιλαμβάνει διάφορες διατάξεις που αποσκοπούν στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στον κτιριακό τομέα και στη βελτίωση της ενεργειακής του απόδοσης. Μια σημαντική πτυχή αυτής της οδηγίας είναι η έμφαση στα κτίρια που έχουν σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας. Συγκεκριμένα, το άρθρο 2 του προαναφερθέντος νόμου ορίζει ένα κτίριο υψηλής ενεργειακής απόδοσης ως ένα κτίριο που απαιτεί πολύ λίγη ή καθόλου ενέργεια για να ικανοποιήσει την ενεργειακή του ζήτηση και πρέπει να βασίζεται κυρίως σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται επιτόπου ή στη γύρω περιοχή [22].

Ο κανονισμός για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (ΚΕνΑΚ) εφαρμόστηκε το 2010 με πρωταρχικό στόχο τη θεσμοθέτηση του ενεργειακού σχεδιασμού στον κατασκευαστικό κλάδο. Σκοπός του είναι να ενισχύσει την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, με αποτέλεσμα τη διατήρηση των ενεργειακών πόρων και τη διατήρηση του περιβάλλοντος. Εκτός από τον καθορισμό κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας, το EPR περιλαμβάνει επίσης κατευθυντήριες γραμμές για την ελαχιστοποίηση των απωλειών ενέργειας τόσο στα νεόδμητα όσο και στα ήδη υπάρχοντα κτίρια.

4. Μοντελοποίηση αντλίας θερμότητας

Σε αυτό το κεφάλαιο εισάγεται ένα μοντέλο αντλίας θερμότητας από το λογισμικό MATLAB, το οποίο είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά προγραμματισμού και αριθμητικών υπολογισμών που χρησιμοποιείται από εκατομμύρια μηχανικούς και επιστήμονες για την ανάλυση δεδομένων, την ανάπτυξη αλγορίθμων και τη δημιουργία μοντέλων.

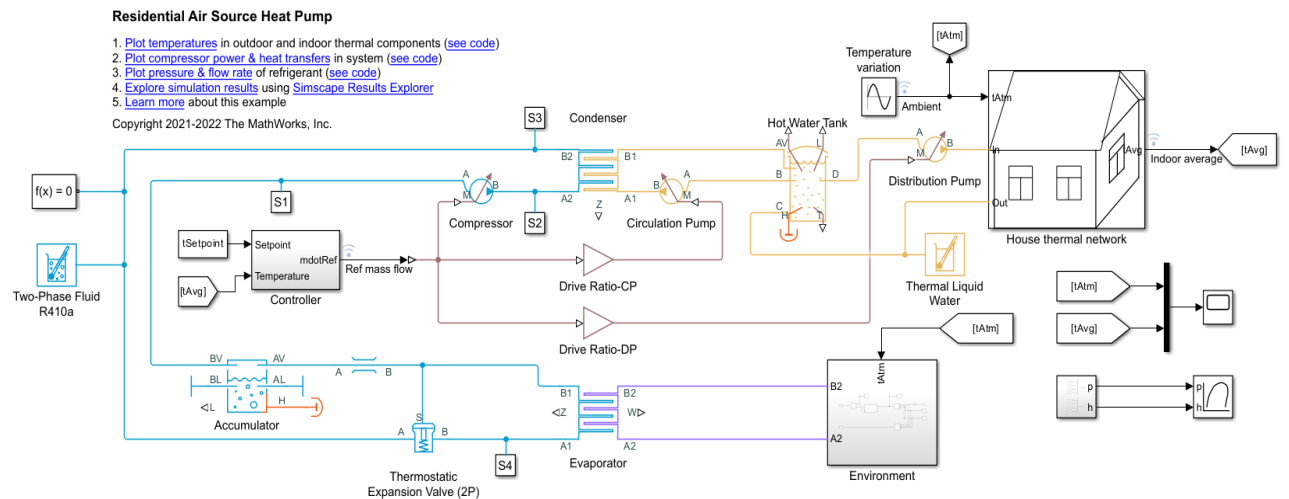
4.1 Εισαγωγικά για το Simulink

Το Simulink® είναι ένα περιβάλλον μπλοκ διαγραμμάτων για προσομοίωση πολλαπλών τομέων και σχεδιασμό βάσει μοντέλου. Υποστηρίζει σχεδιασμό σε επίπεδο συστήματος, προσομοίωση, αυτόματη δημιουργία κώδικα και συνεχή δοκιμή και επαλήθευση των ενσωματωμένων συστημάτων. Το Simulink παρέχει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας γραφικών, προσαρμόσιμες βιβλιοθήκες μπλοκ, και επιλυτές για μοντελοποίηση και προσομοίωση δυναμικών συστημάτων. Είναι ενσωματωμένο με το MATLAB®, επιτρέποντας την ενσωμάτωση αλγορίθμων MATLAB σε μοντέλα και την εξαγωγή αποτελεσμάτων προσομοίωσης στο MATLAB για περαιτέρω ανάλυση.

Η μοντελοποίηση είναι ένας τρόπος δημιουργίας μιας εικονικής αναπαράστασης ενός πραγματικού συστήματος. Υπάρχει η δυνατότητα προσομοίωσης αυτής της εικονικής αναπαράστασης κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Η μοντελοποίηση και η προσομοίωση είναι πολύτιμες για τη δοκιμή συνθηκών που είναι δύσκολο να αναπαραχθούν. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στην πρώιμη φάση της διαδικασίας σχεδιασμού όταν το υλικό μέρος του σχεδιασμού δεν είναι ακόμη διαθέσιμο. Η επανάληψη μεταξύ μοντελοποίησης και προσομοίωσης μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα σχεδιασμού του συστήματος, μειώνοντας τον αριθμό των σφαλμάτων. Στη σχεδίαση

βάσει μοντέλου, ένα μοντέλο συστήματος βρίσκεται στο κέντρο της ροής εργασίας. Ο σχεδιασμός βάσει μοντέλου ενεργοποιεί μια γρήγορη και οικονομικά αποδοτική ανάπτυξη δυναμικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων συστημάτων ελέγχου, επεξεργασίας σήματος και συστημάτων επικοινωνιών.

4.2 Περιβάλλον μοντέλου



Εικόνα 4.1 Περιβάλλον μοντέλου στο Simulink.

Το περιβάλλον που παρέχεται στο Simulink αναπαριστά τη λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας για ανάγκες θέρμανσης μιας κατοικίας μέσω θερμαντικών σωμάτων αλλά και για χρήση ζεστού νερού καθώς διαθέτει δεξαμενή ζεστού νερού. Αυτός ο σχεδιασμός παραπέμπει σε αντλία θερμότητας Αέρα – Νερού. Παρακάτω θα αναλυθούν τα βασικά μέρη της αντλίας.

4.2.1 Ο κύκλος του ρευστού R410a

Στον κύκλο της αντλίας χρησιμοποιείται δυφασικό ρευστό R410a. Αρχικά το ρευστό εισάγεται στον συμπιεστή (compressor) και εξάγεται ως υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης υπέρθερμος ατμός. Συνεχίζει εισερχόμενο στον συμπυκνωτή (condenser) όπου θερμότητα εναλλάσσεται μεταξύ του ρευστού και του νερού που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση. Έπειτα, το ρευστό εισέρχεται ως ελαφρώς ψυχρότερο, υψηλής όμως πίεσης, στην θερμοστατική εκτονωτική βαλβίδα (thermostatic expansion valve). Η βαλβίδα παράγει την πτώση πίεσης μεταξύ του συμπυκνωτή και του ατμοποιητή στο σύστημα. Ένας αισθητήρας μετρά την υπερθέρμανση στην έξοδο του ατμοποιητή. Επίσης ρυθμίζεται η περιοχή της βαλβίδας ώστε να διατηρείται η ονομαστική

υπερθέρμανση στην ονομαστική χωρητικότητα του ατμοποιητή. Όταν η υπερθέρμανση μειώνεται, η βαλβίδα κλείνει για να μειωθεί η ροή στον ατμοποιητή και αντίστροφα. Η βαλβίδα είναι κλειστή στη στατική υπερθέρμανση και είναι πλήρως ανοιχτή στη μέγιστη χωρητικότητα του ατμοποιητή. Στη συνέχεια, το ρευστό εισέρχεται στον ατμοποιητή (evaporator) ως χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης μείγμα αέριου και υγρού. Ο ατμοποιητής μοντελοποιεί έναν ατμοποιητή θερμότητας μεταξύ ενός δικτύου ρευστού δύο φάσεων και ενός δικτύου υγρού αέρα περιβάλλοντος. Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ της πλευράς του υγρού δύο φάσεων και της πλευράς υγρού αέρα υπολογίζεται με βάση τη μέθοδο αποτελεσματικότητας-NTU. Η αποτελεσματικότητα του εναλλάκτη μπορεί να ορισθεί με βάση τη μέγιστη δυνατή θερμορροή που θεωρητικά θα ήταν δυνατό να υλοποιηθεί σ' έναν εναλλάκτη με αντιροή και άπειρη επιφάνεια εναλλαγής, έτσι ώστε ένα από τα ρευστά να μπορεί να υποστεί τη μέγιστη δυνατή μεταβολή της θερμοκρασίας του. Αυτό θα συνέβαινε στο ρευστό με τον μικρότερο ρυθμό θερμοχωρητικότητας C ($C \equiv \dot{m}c$). Αυτή η μέθοδος στηρίζεται στη χρήση του όρου αποτελεσματικότητα (effectiveness) του εναλλάκτη.

$$\varepsilon \equiv \frac{\text{πραγματική μετάδοση θερμότητας}}{\text{μέγιστη δυνατή μετάδοση θερμότητας}} = \frac{q_{actual}}{q_{max}}$$

[23]

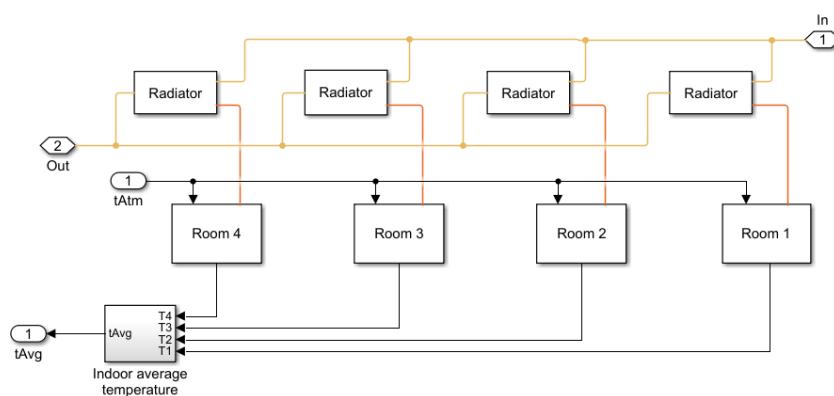
Η πλευρά διφασικού υγρού μοντελοποιεί έως και τρεις ζώνες υγρού κατά μήκος των σωλήνων με διαφορετικούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας. Οι ζώνες χωρίζονται σε ζώνη υγρού, ζώνη μείγματος και ζώνη ατμού. Η πλευρά υγρού αέρα περιβάλλοντος μοντελοποιεί τη συμπύκνωση υδρατμών με βάση τη μεταφορά μάζας υδρατμών. Το συμπυκνωμένο νερό αφαιρείται από τη ροή υγρού αέρα. Τελικά, το ρευστό εισέρχεται σε έναν συσσωρευτή (accumulator) ο οποίος διατηρεί μια ισορροπία και κατάλληλο έλεγχο του υγρού ψυκτικού ρευστού υπό συνθήκες χαμηλής θέρμανσης περιβάλλοντος για να παρέχεται επαρκής ψύξη και να αποφεύγεται η είσοδος υγρού στον συμπιεστή. Στον συσσωρευτή διαχωρίζεται το πλήρες υγρό και ο πλήρης ατμός. Η ανταλλαγή μάζας και ενέργειας μπορεί να συμβεί μεταξύ του υγρού και των ατμών λόγω εξάτμισης και συμπύκνωσης. Έτσι, το ρευστό

εισέρχεται ως χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης, ελαφρώς υπέρθερμος ατμός στον συμπιεστή για να επαναληφθεί ο κύκλος.

4.2.2 Ο κύκλος του νερού

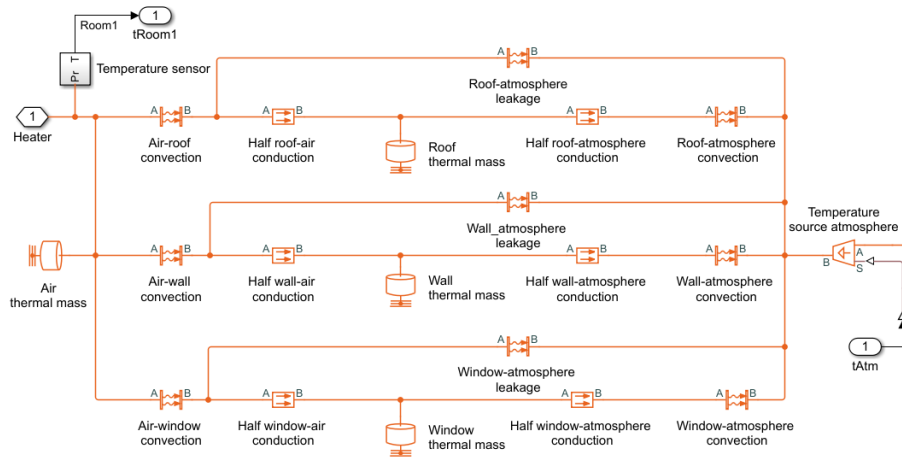
Για τη θέρμανση των σωμάτων και περαιτέρω των δωματίων του σπιτιού, χρησιμοποιείται ως μέσο το νερό σε έναν κλειστό κύκλο κυκλοφορίας. Αρχικά, το νερό εισέρχεται στον συμπυκνωτή (condenser), και απορροφά θερμότητα από το υψηλής θερμοκρασίας ρευστό. Όντας υψηλής θερμοκρασίας, το νερό εισέρχεται σε μια δεξαμενή (hot water tank). Από εκεί, συνεχίζει σε μία αντλία διανομής (distribution pump) στην οποία διατηρείται ένας ελεγχόμενος ρυθμός ροής μάζας ανεξάρτητα από τη διαφορά πίεσης και δεν υπάρχει αντίσταση ροής και καμία ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον. Έπειτα εισέρχεται στα σώματα (radiators) του σπιτιού και αφού κάνει τον κύκλο, επανέρχεται στην δεξαμενή. Τέλος, περνάει ξανά από μια αντλίας κυκλοφορίας (circulation pump), παρόμοιας λειτουργίας με την αντλία διανομής, ώστε να εισέλθει ξανά στον συμπυκνωτή και να επαναληφθεί ο κύκλος.

4.2.3 Θερμικό δίκτυο σπιτιού



Εικόνα 4.2 Θερμικό δίκτυο σπιτιού.

Για την αναπαράσταση του σπιτιού, το Simulink παρέχει μια εξαιρετικά λεπτομερή μοντελοποίηση. Το σπίτι αποτελείται από τέσσερα δωμάτια, με ισάριθμα σώματα για τη θέρμανση τους.



Εικόνα 4.3 Δίκτυο και χαρακτηριστικά κάθε δωματίου.

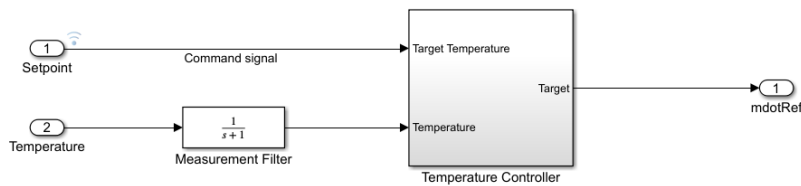
Κάθε δωμάτιο έχει αισθητήρα θερμοκρασίας (temperature sensor). Επίσης, κάθε δωμάτιο ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον μέσω των εξωτερικών τοίχων, της οροφής και των παραθύρων του. Πιο συγκεκριμένα, στα δωμάτια υπολογίζεται:

- Η διαρροή θερμότητας στην ατμόσφαιρα (atmosphere leakage) από την οροφή (roof), τον τοίχο (wall) και το παράθυρο (window).
- Η συναγωγή (convection) και η αγωγή (conduction) θερμότητας ανάμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον και την οροφή. Ομοίως για τον τοίχο και το παράθυρο.
- Η θερμική μάζα (thermal mass) της οροφής, του τοίχου, του παραθύρου και γενικά του αέρα στο δωμάτιο.

Θεωρείται ότι η θερμότητα δεν μεταφέρεται εσωτερικά μεταξύ των δωματίων.

Έτσι, ανάλογα με αυτούς τους θερμικούς παράγοντες, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος (που συνεχώς μεταβάλλεται), τη θερμοκρασία που επικρατεί κάθε στιγμή στο δωμάτιο, παρέχεται και η ανάλογη θέρμανση και διανομή του ζεστού νερού στα σώματα, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή θερμοκρασία δωματίου.

4.2.4 Ελεγκτής Θερμοκρασίας

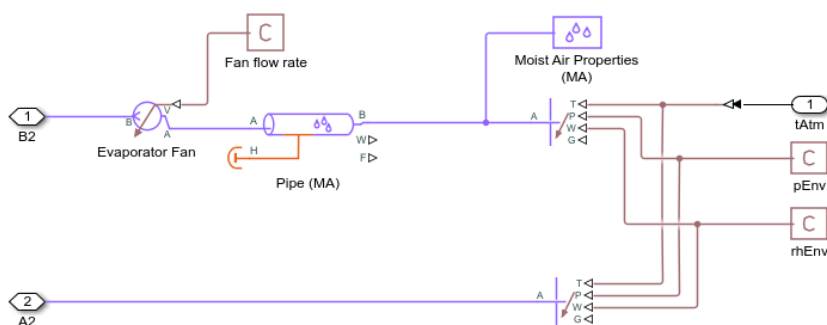


Εικόνα 4.4 Ελεγκτής θερμοκρασίας.

Πέρα από τα διάφορα μέσα διανομής, το ρευστό και το νερό χρήσης, τα θερμικά χαρακτηριστικά του σπιτιού, για να υπάρξει ουσιαστικό αποτέλεσμα στη μοντελοποίηση αυτή, χρειάζεται ευφυής έλεγχος. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, χρησιμοποιείται ο ελεγκτής (controller). Στον ελεγκτή, ορίζεται ένα σημείο ρύθμισης (setpoint) θερμοκρασίας και δίνεται η εντολή στον ελεγκτή θερμοκρασίας (temperature controller). Παράλληλα, η υπάρχουσα μέση θερμοκρασία του σπιτιού (t_{Avg}) δίνεται στον ελεγκτή. Με βάση, λοιπόν, αυτά τα δεδομένα, δίνεται εντολή:

- > Στον συμπιεστή, για τη μάζα του ρευστού που θα διαθέσει στον συμπυκνωτή.
- > Στην αντλία κυκλοφορίας για τη μάζα του νερού που θα διαθέσει στον συμπυκνωτή στην επιστροφή της.
- > Στην αντλία διανομής για τη μάζα του θερμού νερού που θα διαθέσει στα σώματα στο σπίτι.

4.2.5 Δίκτυο Περιβάλλοντος



Εικόνα 4.5 Δίκτυο περιβάλλοντος.

Όπως έχει ειπωθεί, το ρευστό διέρχεται από έναν ατμοποιητή θερμότητας μεταξύ ενός δικτύου ρευστού δύο φάσεων και ενός δικτύου υγρού αέρα περιβάλλοντος (environment). Αυτό το δίκτυο διαθέτει έναν ανεμιστήρα ο οποίος προκαλεί ροή υγρού αέρα στον ατμοποιητή (Evaporator Fan) και μπορεί να διατηρήσει έναν ελεγχόμενο ογκομετρικό ρυθμό ροής μείγματος στην έξοδο του ανεξάρτητα από τη διαφορά πίεσης. Επίσης, το σύστημα διαθέτει ένα μπλοκ προσομοίωσης ιδιοτήτων υγρού αέρα (Moist Air Properties) όπου το μίγμα αυτό υγρού αέρα αποτελείται από ξηρό αέρα, υδρατμούς και διοξείδιο του άνθρακα. Τέλος, ο υγρός αέρας, πριν περάσει στον ανεμιστήρα, διέρχεται ενός σωλήνα (Pipe) ο οποίος μοντελοποιεί τη δυναμική ροής σε ένα δίκτυο υγρού αέρα λόγω των απωλειών ιξώδους τριβής και της μεταφοράς θερμότητας με συναγωγή από το τοίχωμα του σωλήνα. Ο σωλήνας περιέχει σταθερό όγκο υγρού αέρα και η πίεση και η θερμοκρασία εξελίσσονται με βάση τη συμπιεστότητα και τη θερμική ικανότητα αυτού του όγκου υγρού αέρα [24].

5. Μελέτη περίπτωσης συνδυαστικής λειτουργίας

Για να γίνει αντιληπτή η λειτουργία, αρχικά της αντλίας θερμότητας, πρέπει να προσδιοριστούν κάποια μεγέθη που σχετίζονται και προκύπτουν σε βάθος χρόνου. Αυτό το έργο καλείται να επιτελέσει το λογισμικό που διατίθεται και που έχει αναλυθεί στην προηγούμενη ενότητα. Η ανάπτυξη του υπολογιστικού προγράμματος της Matlab έγινε σε προσωπικό υπολογιστή με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Επεξεργαστής: AMD Ryzen 5 2600X Six-Core Processor 3.60 GHz,
- Εγκατεστημένη μνήμη: 16,0 GB,
- Λογισμικό: Windows 10 Pro 64-bit.

5.1 Δεδομένα εισόδου

Αρχικά, για την ανάλυση και την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη λειτουργία της αντλίας θερμότητας, χρειάζεται η εισαγωγή στο λογισμικό κάποιων δεδομένων εισόδου. Στην προκειμένη περίπτωση αυτά τα δεδομένα είναι οι θερμοκρασίες που επικρατούν στο περιβάλλον. Χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα προβλεπόμενης θερμοκρασίας, για χρονική διάρκεια ενός εξαμήνου. Αυτή η επιλογή έγινε με γνώμονα την καλύτερη δυνατή και πιο αντιπροσωπευτική εικόνα ενός πραγματικού συστήματος.

Έτσι, ως δεδομένο εισήχθη η χρονοσειρά προβλεπόμενης θερμοκρασίας του μετεωρολογικού μοντέλου gfs σε σημείο λίγα χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Λάρισας με γεωγραφικός πλάτος 39.50° και γεωγραφικό μήκος 22.25° , για το εξάμηνο από τις 15/10/2022 μέχρι τις 15/4/2023.

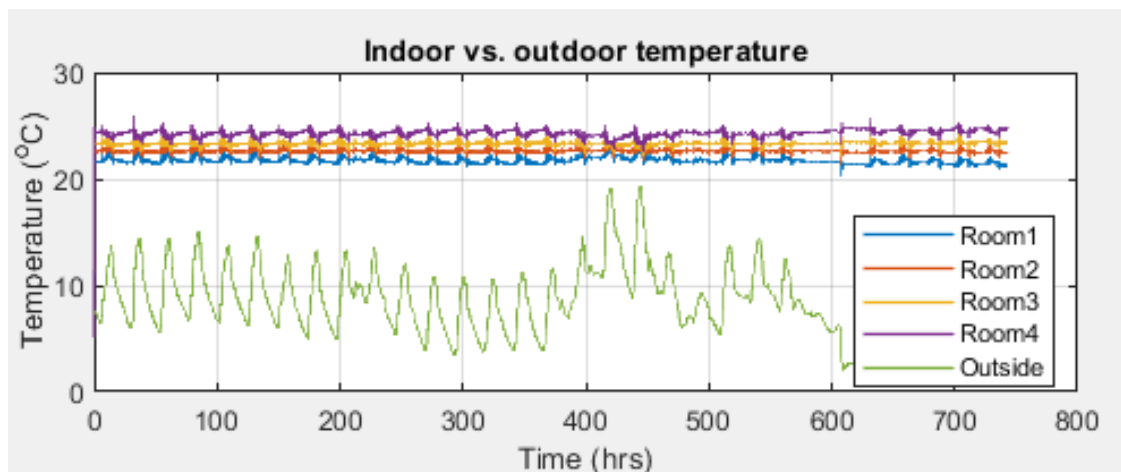
Οι θερμοκρασίες φορτώθηκαν στο σύστημα μέσω ενός αρχείου Excel, το οποίο έπειτα πέρασε σε ένα μπλοκ στο Simulink, γνωστό ως «From Spreadsheet». Το μοντέλο "έτρεξε" ομαλά, και τα δεδομένα στην έξοδο φαίνονται στο παρακάτω κεφάλαιο.

5.2 Δεδομένα εξόδου

Για να εκτιμηθεί σωστά το σύστημα και η ορθότητα των αποτελεσμάτων, επιλέχθηκε για αρχή το μοντέλο να "τρέξει" για τον μήνα Ιανουάριο του 2023 και τα αποτελέσματα είναι τα εξής.

5.2.1 Θερμοκρασίες

Τα αποτελέσματα για τις θερμοκρασίες, όπως και για κάθε συνισταμένη του συστήματος που θα μελετηθεί παρακάτω, παρέχονται από το MATLAB.

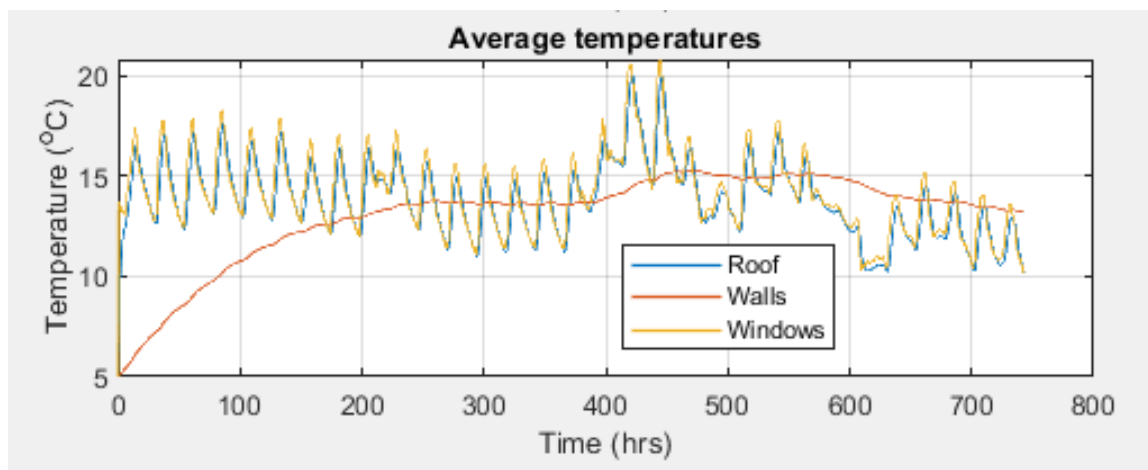


Εικόνα 5.1 Διάγραμμα θερμοκρασιών για μήνα Ιανουάριο του 2023.

Στο διάγραμμα με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος που επικρατούσε για τον εν λόγω μήνα και αποτέλεσε την είσοδο στο σύστημα. Οι υπόλοιπες καμπύλες δείχνουν τις θερμοκρασίες των τεσσάρων δωματίων του σπιτιού. Όπως γίνεται αντιληπτό, έχοντας οριστεί θερμοκρασία στόχος

(setpoint) 23°C, το σύστημα φαίνεται να λειτουργεί ιδανικά, καθώς ο μέσος όρος των θερμοκρασιών των τεσσάρων δωματίων παραμένει στους 23°C.

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται οι μέσες τιμές των θερμοκρασιών της οροφής (roof), των τοίχων (walls) και των παραθύρων των δωματίων.



Εικόνα 5.2 Μέσος όρος θερμοκρασιών της οροφής, των τοίχων και των παραθύρων των δωματίων.

Η οροφή και τα παράθυρα δείχνουν να έχουν μια πιο άμεση και συνεχής μεταβολή όσον αφορά τις θερμοκρασίες, ενώ οι τοίχοι δείχνουν μια αδράνεια σε αυτό.

Αυτό συμβαίνει για τους εξής λόγους:

Καθώς η μεταφορά θερμότητας δίνεται από τον τύπο:

$$\frac{dQ}{dt} = -h \times A(T_0 - T_{env})$$

Q = Θερμότητα (Joules)

h = συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (Joule/m² .sec.°C)

A = Εμβαδόν επιφάνειας δια μέσω της οποίας πραγματοποιείται η μεταφορά θερμότητας (m²)

T₀ = Θερμοκρασία επιφάνειας του σώματος (°C)

T_{env} = Θερμοκρασία περιβάλλοντος γύρω από το σώμα (°C) [25].

και οι συντελεστές h και το εμβαδόν A για κάθε στοιχείο από τον παρακάτω πίνακα.

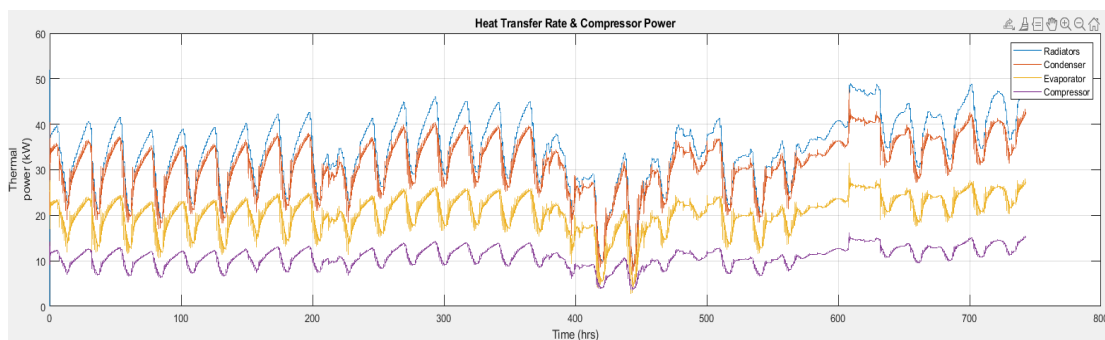
Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά δωματίου 1

| <i>Room 1</i> | Roof | Wall | Windows |
|----------------------|-------------|-------------|----------------|
| <i>Συντελεστής h</i> | 12 | 24 | 25 |
| <i>Εμβαδόν</i> | 75.2 | 95.6 | 3 |

Γίνεται έτσι αντιληπτό, ότι η οροφή έχει μικρό συντελεστή h άρα και πιο άμεση μεταφορά θερμότητας, και τα παράθυρα έχουν πολύ μικρό εμβαδόν, άρα παρουσιάζουν και αυτά ίδια συμπεριφορά. Ο τοίχος από την άλλη με μεγάλο συντελεστή h και μεγάλο επίσης εμβαδόν, παρουσιάζει αδράνεια σε αλλαγές της θερμοκρασίας.

5.2.2 Ισχύς συμπιεστή και συντελεστής συμπεριφοράς COP

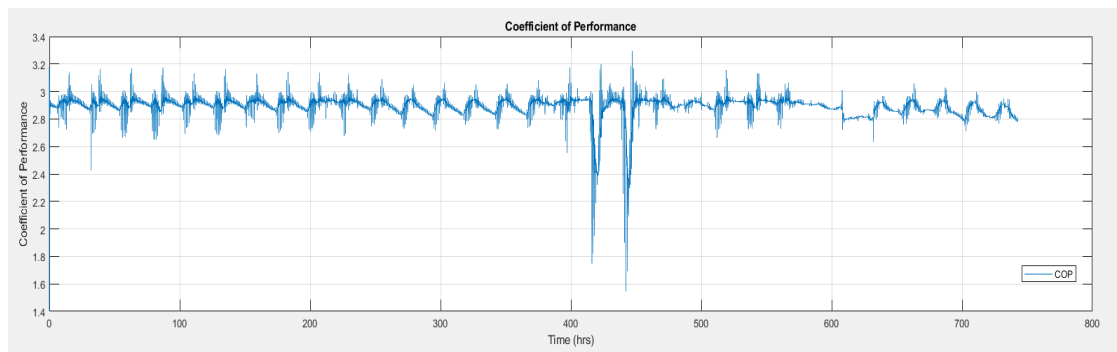
Σε αυτό το σημείο θα μελετηθεί η εγκυρότητα της λειτουργίας των διαφόρων μερών της αντλίας θερμότητας, με σημαντικότερη την λειτουργία του συμπιεστή, από την οποία προκύπτει και η κατανάλωση της ενέργειας που χρειάζεται το σύστημα για να λειτουργήσει.



Εικόνα 5.3 Διάγραμμα σωμάτων, συμπυκνωτή, ατμοποιητή και συμπιεστή.

Από το παραπάνω διάγραμμα, με μωβ καμπύλη φαίνεται η λειτουργία του συμπιεστή. Παρατηρείται ότι μέχρι τις 400 ώρες, υπάρχει μια σταθερότητα στη συμπεριφορά, και από τις 400 μέχρι τις 500 ώρες μια πτώση στην ισχύς λειτουργίας του. Έπειτα, ξανά φαίνεται να αυξάνεται η ισχύς με την οποία συμπιέζεται το ρευστό ώστε να αυξηθεί εκ νέου η θερμοκρασία και η πίεση του πριν περάσει στον συμπυκνωτή και στην συνέχεια στα σώματα του σπιτιού.

Αυτή η διαφορά στις 400-500 ώρες είναι λογική, καθώς φαίνεται στο διάγραμμα με την εξωτερική θερμοκρασία, ότι υπάρχει απότομη άνοδος, πράγμα που καθιστά πιο εύκολο το έργο του συμπιεστή και έτσι η ισχύς λειτουργίας του μειώνεται.



Εικόνα 5.4 Διάγραμμα συντελεστή συμπεριφοράς COP.

Τέλος, όσον αφορά το συντελεστή COP, ορίζεται από σύστημα ως η θερμότητα που αποδίδεται από το διαφασικό ρευστό στο νερό κυκλοφορίας (η οποία ανταλλαγή θερμότητας λαμβάνει χώρα στον συμπυκνωτή) προς την ισχύ λειτουργίας στον συμπιεστή.

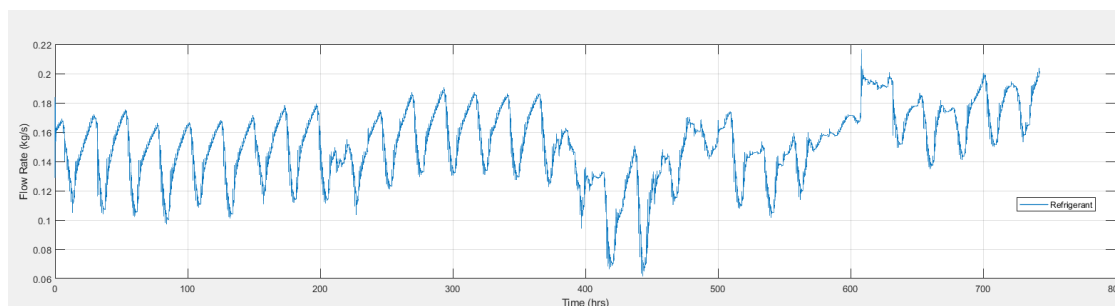
Οπότε ισχύει ο τύπος:

$$COP = \frac{Q_{\text{συμπυκνωτή}}}{P_{\text{συμπιεστή}}}$$

Έτσι η απότομη πτώση της θερμότητας που ανταλλάσσεται στο συμπυκνωτή μετά τις 400 ώρες, προκαλεί και απότομη πτώση του COP.

5.2.3 Ρυθμός ροής ρευστού

Ένα ακόμη διάγραμμα που θα αναλυθεί είναι αυτό του ρυθμού ροής ρευστού



Εικόνα 5.5 Ρυθμός ροής ρευστού.

Εύλογα μπορεί να προκύψει το συμπέρασμα ότι η ροή του ρευστού είναι λογική καθώς θα έπρεπε, όπως και συμβαίνει, να υπάρχει μια αναλογία στην καμπύλη με αυτή του συμπιεστή. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι ο συμπιεστής μετά τις 400 ώρες, λόγω ανόδου της εξωτερικής θερμοκρασίας, εργάζεται με λιγότερη ισχύ, διότι η ανάγκη σε ρυθμό μεταφοράς θερμότητας άρα και σε παροχή ρευστού μειώνεται, πράγμα το οποίο επιβεβαιώνεται και στο παραπάνω διάγραμμα.

5.3 Λειτουργία συστήματος για το συνολικό διάστημα

Από τα παραπάνω διαγράμματα και την ανάλυση τους, προκύπτει το συμπέρασμα ότι το μοντελοποιημένο σύστημα λειτουργεί ορθά.

Συνεχίζοντας την προσομοίωση, το μοντέλο "τρέχει" για όλο το εξάμηνο που ορίστηκε εξαρχής ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για την λειτουργία και την ισχύ του συμπιεστή και με τις ανάλογες μετατροπές για την συνολική ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζεται σε kWh.

Έτσι προκύπτει ο εξής πίνακας:

Πίνακας 5.1 Εξάμηνο και ενέργεια λειτουργίας συμπιεστή.

| Εξάμηνο λειτουργίας | Ενέργεια λειτουργίας συμπιεστή (kWh) |
|----------------------------|---|
| <i>Οκτώβρης (15-31)</i> | 1763,63 |
| <i>Νοέμβριος</i> | 4884,77 |
| <i>Δεκέμβριος</i> | 6788,83 |
| <i>Ιανουάριος</i> | 6738,05 |
| <i>Φεβρουάριος</i> | 7874,79 |
| <i>Μάρτιος</i> | 6970,28 |
| <i>Απρίλιος (1-15)</i> | 2996,05 |

Σαν αποτέλεσμα, έχουμε συνολική ενέργεια λειτουργίας 38.016,4 kWh. Η τιμή αυτή φαντάζει αρκετά μεγάλη και σίγουρα όχι συμφέρουσα για την λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας για τη θέρμανση ενός σπιτιού τεσσάρων δωματίων για ένα εξάμηνο.

Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι ενώ το μοντέλο και η προσομοίωση στο Simulink ανταποκρίνονται σε μια συμπεριφορά αναμενόμενη, αναλογικά με τις αυξομειώσεις της εξωτερικής θερμοκρασίας, εξαιτίας της λογικής ελέγχου με καθορισμό της παροχής του θερμαινόμενου ρευστού, έχει μια συνεχή και αδιάκοπη λειτουργία,

ακόμη και αν ο μέσος όρος των θερμοκρασιών των δωματίων, φτάσει ή ξεπεράσει και για λίγο το setpoint των 23°C. Το σύστημα είναι έτσι δομημένο ώστε η ροή του ρευστού στον συμπιεστή να είναι συνεχής και να προετοιμάζει το σύστημα για τυχόν αλλαγή στην θερμοκρασία.

Επομένως, για να γίνει η προσέγγιση της τιμής της ενέργειας σε ένα πιο προσιτό νούμερο, διατάχθηκε η παύση της λειτουργίας για κάποιες ώρες τη μέρα. Αυτές οι ώρες ορίστηκαν ως πρώτες πρωινές, από τις 00:00 μέχρι τις 7:00, και επιπροσθέτως κάποιες μεσημεριανές από τις 14:00 μέχρι 18:00.

Με τη παύση λειτουργίας τις συγκεκριμένες ώρες, η καταναλισκόμενη ενέργεια λειτουργίας του συμπιεστή μειώνεται στις 17.098,5 kWh, τιμή που προσεγγίζει νούμερα από πραγματικά συστήματα θέρμανσης με λειτουργία αντλίας θερμότητας.

5.4 Μελέτη επιλογής Φ/Β συστήματος

Έχοντας καταλήξει στην ανάγκη για την ενέργεια που χρειαζόμαστε, θα γίνει η μελέτη για το Φ/Β σύστημα που θα επιλεγεί ώστε να παραχθεί η απαιτούμενη ετήσια ενέργεια των 17.098,5 kWh.

Για να επιτευχθεί αυτό, θα χρησιμοποιηθούν τα διαδραστικά εργαλεία της PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM που παρέχονται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή [26].

Στο περιβάλλον αυτό επιλέγεται:

- Φ/Β τεχνολογία: κρυσταλλικού πυριτίου
- Εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β. Αυτή είναι η ισχύς που ο κατασκευαστής δηλώνει ότι η Φ/Β γεννήτρια μπορεί να παράγει υπό τυπικές συνθήκες δοκιμής, οι οποίες είναι σταθερά 1000 W ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο στο επίπεδο της συστοιχίας, σε θερμοκρασία συστοιχίας 25°C.
- Απώλειες συστήματος: 14%. Οι εκτιμώμενες απώλειες συστήματος είναι όλες οι απώλειες στο σύστημα, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα η ισχύς που παρέχεται πραγματικά στο ηλεκτρικό δίκτυο να είναι χαμηλότερη από την ισχύ που παράγεται από τις Φ/Β μονάδες. Υπάρχουν πολλές αιτίες για τις απώλειες αυτές, όπως ηλεκτρικές απώλειες σε καλώδια και μετατροπείς ισχύος, μερικές φορές χιόνι στις μονάδες και ούτω καθεξής. Με τα χρόνια, οι μονάδες τείνουν επίσης να χάνουν λίγο

από την ισχύ τους, επομένως η μέση ετήσια απόδοση κατά τη διάρκεια ζωής του συστήματος θα είναι κατά ένα μικρό ποσοστό χαμηλότερη από την παραγωγή τα πρώτα χρόνια.

Έπειτα, για το προσανατολισμό του Φ/Β πάνελ, ορίζεται η βέλτιστη από το σύστημα:

- Γωνία κλίσης [\hat{A}°]: 34

- Γωνία αζιμουθίου [\hat{A}°]: -2

Επίσης, η τοποθέτηση των πάνελ γίνεται στην οροφή του κτιρίου, πράγμα που σημαίνει ότι οι μονάδες είναι πλήρως ενσωματωμένες στην επιφάνεια του τοίχου ή της οροφής ενός κτιρίου, με ελάχιστη ή καθόλου κίνηση αέρα πίσω από αυτές.

Μετά από δοκιμές για την εγκατεστημένη ισχύ του Φ/Β ώστε να επιτευχθεί βέλτιστη και πιο συμφέρουσα χρήση, επιλέγεται Φ/Β **ισχύς 13 kW**.

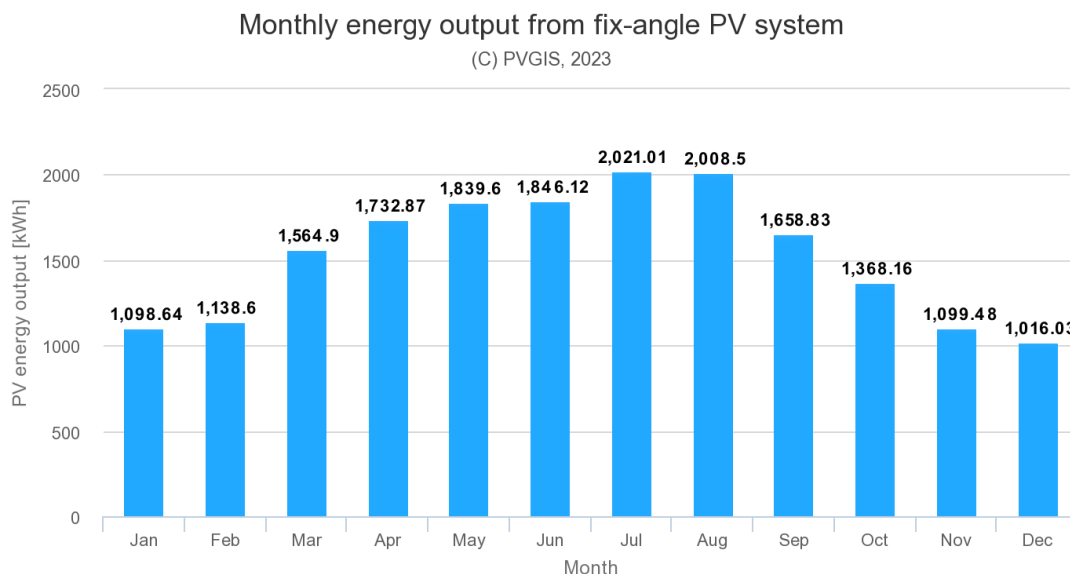
Τελικά, δίνοντας αυτά τα δεδομένα στο σύστημα, εκείνο παρέχει τα δεδομένα εξόδου της προσομοίωσης του Φ/Β συστήματος στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2 Πίνακας δεδομένων προσομοίωσης λειτουργίας Φ/Β συστήματος.

Ετήσια παραγωγή ενέργειας Φ/Β [kWh]: 18.392,75

| | |
|---|----------|
| Ετήσια ακτινοβολία ανά επιφάνεια [kWh/m ²]: | 1.887,43 |
| Μεταβλητότητα από έτος σε έτος [kWh]: | 513,73 |

Παράλληλα, παρέχεται από το σύστημα η παραγωγή ενέργειας από το Φ/Β ανά μήνα για μια καλύτερη εκτίμηση της λειτουργίας.



Εικόνα 5.6 Διάγραμμα μηνιαίας παραγωγής ενέργειας Φ/Β συστήματος.

Το συμπέρασμα είναι ότι ετήσια παραγωγή ενέργειας του Φ/β των 18.392,75 kWh είναι αρκετή για να καλύψει τις ανάγκες της αντλίας θερμότητας για το εξάμηνο λειτουργίας (17.098,5 kWh).

6. Συμπερασματα

Ο σχεδιασμός και η επιλογή ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας είναι σύνθετο πρόβλημα. Θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλαπλοί παράγοντες σε μεγάλο βάθος χρόνου ώστε να αποδειχθεί το έργο βιώσιμο. Στην παρούσα εργασία, αναλύθηκε ένα κομμάτι της συνολικής μελέτης το οποίο έχει να κάνει με τον υπολογισμό της καταναλισκόμενης ενέργειας σε μια εξάμηνη χειμερινή περίοδο. και μια εκτίμηση για την κάλυψη αυτής από οικιακό φωτοβολταϊκό σύστημα.

Οι παράγοντες που οδήγησαν στην επιλογή της αντλίας θερμότητας είναι η σχετικά υψηλή απόδοση της καθώς και το γεγονός ότι αποτελεί ένα όλο και πιο εξελισσόμενο κομμάτι της βιομηχανίας τεχνολογιών θέρμανσης κτιρίων.

Παράλληλα, η επιλογή του Φ/Β συστήματος ως το μέσο της απαιτούμενης παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, έχει να κάνει με την γενικότερη τάση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, στην οποία ανήκει η Ελλάδα ως κράτος μέλος, να προάγει "πράσινες" και οικολογικές, φιλικές προς το περιβάλλον

τεχνολογίες στον τομέα παραγωγής ενέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες, επίσης, προμηγύεται να είναι ο μονόδρομος όσο οι συμβατικές μορφές παραγωγής ενέργειας, όλο και φθίνουν με το πέρασμα των χρόνων λόγω της ελαχιστοποίησης των πόρων και των ορυκτών καυσίμων, στις οποίες στηρίζονται.

[18] International Energy Agency (IEA) – Photovoltaic Power Systems Programme
www.iea-pvps.org

[19] <https://eur-lex.europa.eu/EL/legal-content/summary/energy-performance-of-buildings/> Access to European Union Law

[20] Ecofys

[21] Οδηγία 2010/31/EE

[22] Platon Pallis , Nikolaos Gkonis , Efstratios Varvagiannis , Konstantinos Braimakis , Sotirios Karellas , Miltiadis Katsaros , Panagiotis Vourliotis, Dimitrios Sarafianos, (2019), Towards NZEB in Greece: A comparative study between cost optimality and energy efficiency for newly constructed residential buildings, Elsevier.

[23] Θ. Καραπάντσιος, ‘Εναλλάκτες Θερμότητας Αερίων’, Καθηγητής Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

[24] <https://www.mathworks.com/help/hydro/ug/residential-air-source-heat-pump.html>

[25] https://el.wikipedia.org/wiki/Μεταφορά_θερμότητας

[26] [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/PHOTOVOLTAIC_GEOGRAPHICAL_INFORMATION_SYSTEM/)European Commission

Βιβλιογραφία – Αναφορές

- [1] Johnson C., (2007), 'Πρακτικές εφαρμογές αντλιών θερμότητας', Αθήνα: Εκδόσεις Ίων.
- [2] Damodaran, A., (2014), Εφαρμοσμένη Χρηματοοικονομική για Επιχειρήσεις, Αθήνα: Ιατρικές Εκδόσεις Π. Χ. Πασχαλίδης.
- [3] Ψαρράς Ν., (2012), 'Γεωθερμία και κλιματισμός, θεωρία και πρακτικοί κανόνες', Αθήνα: Shape Τεχνικές Εκδόσεις Ε.Π.Ε.
- [4] Σπυρίδωνος Π. Αναστασιάδη, (2000), 'Κλιματισμός – Ψύξη – Θέρμανση', Αθήνα: Νέα Έκδοση.
- [5] Λέγγα Σ. Ν. Παρίκου Ν. Ι., (1992), 'Θέρμανση – αερισμός – κλιματισμός', Εκδόσεις Ίων.
- [6] Κορωνάκη Ε., (2012), Σημειώσεις 'Ψυχομετρία', Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- [7] Recknagel – Sprenger, (1992) 'Θέρμανση και κλιματισμός. Θέρμανση, Εκδότης Μ. Γκιούρδας
- [8] <http://antlies-thermotitas.pblogs.gr/>
- [9] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών - Σ.Ε.Φ. www.helapco.gr
- [10] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας - Κ.Α.Π.Ε. www.cres.gr
- [11] <https://el.wikipedia.org>
- [12] ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ της 27 Σεπτ. /7 Νοεμ. 1985 (ΦΕΚ Δ'631)
- [13] Επιτυχημένες εφαρμογές φ/β συστημάτων <http://www.ecocrete.gr/>
- [14] European Photovoltaic Industry Association - www.epia.org
- [15] <http://www.solar-systems.gr/>
- [16] ΔΕΗ - Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού <http://www.dei.gr>
- [17] Compa Solar (Energy Systems) <http://www.compasolar.gr/>