



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ
ΜΕ ΜΗΧΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ
ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ TRNSYS**

**Simulation in TRNSYS and comparison of Solar air
condition systems with absorption chiller**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΖΕΡΒΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ

ΑΘΗΝΑ 2015

Στη μητέρα μου

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στον Τομέα Θερμότητας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, Λέκτορα του τομέα, κο Τζιβανίδη Χρήστο, για την ανάθεση της διπλωματικής και την άψογη συνεργασία, που βασίστηκε στην εμπιστοσύνη και στην πρόθυμη και διαρκή καθοδήγηση. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υποψήφιο διδάκτορα Ε. Μπέλλο για το διαρκές ενδιαφέρον του, τις εύστοχες παρατηρήσεις του και την αμέριστη βοήθεια που μου προσέφερε. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον πατέρα μου, Γιώργο Ζέρβα, για τις πολύτιμες συμβουλές και πληροφορίες που μπορεί να προσφέρει ένας ελεύθερος επαγγελματίας μηχανολόγος μηχανικός.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	Error! Bookmark not defined.
SUMMARY	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	Error! Bookmark not defined.
1.1 ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	Error! Bookmark not defined.
1.1.1 Ιστορική επισκόπηση της τεχνολογίας της ενέργειας	Error! Bookmark not defined.
1.1.2 Ενεργειακό πρόβλημα	Error! Bookmark not defined.
1.1.3 Ορυκτά καύσιμα	Error! Bookmark not defined.
1.1.4 Πυρηνική ενέργεια	Error! Bookmark not defined.
1.1.5 Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας	Error! Bookmark not defined.
1.1.6 Πολιτικές για το περιβάλλον στη διεθνή κοινότητα ..	Error! Bookmark not defined.
1.1.7 Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα	Error! Bookmark not defined.
1.1.8 ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια παγκόσμια	Error! Bookmark not defined.
1.1.9 ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια στην Ευρώπη	Error! Bookmark not defined.
1.1.10 ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα	Error! Bookmark not defined.
1.2 ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	Error! Bookmark not defined.
1.2.1 Εισαγωγή. Ηλιακή ακτινοβολία	Error! Bookmark not defined.
1.2.2 Ηλιακά συστήματα	Error! Bookmark not defined.
1.2.3 Ηλιακοί συλλέκτες	Error! Bookmark not defined.
1.2.4 Θερμοσιφωνικά συστήματα ζεστού νερού χρήσης ...	Error! Bookmark not defined.
1.2.5 Κεντρικά ηλιακά συστήματα	Error! Bookmark not defined.
1.3 ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ	Error! Bookmark not defined.
1.3.1 Εισαγωγή	Error! Bookmark not defined.
1.3.2 Εφαρμογές του κλιματισμού – βασικά συστήματα ..	Error! Bookmark not defined.
1.3.3 Ψυκτικός κύκλος μηχανικής συμπίεσης ατμών	Error! Bookmark not defined.
1.3.4 Αντλία θερμότητας	Error! Bookmark not defined.
1.3.5 Κλιματιστικές μονάδες δωματίου ή αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες	Error! Bookmark not defined.
1.3.6 Ημικεντρικές μονάδες κλιματισμού	Error! Bookmark not defined.
1.3.7 Κεντρικές μονάδες κλιματισμού	Error! Bookmark not defined.
1.3.8 Ψύξη	Error! Bookmark not defined.
1.3.9 Ηλιακή ψύξη	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.1 Εισαγωγή στην ηλιακή ψύξη	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.2 Κατηγορίες	Error! Bookmark not defined.

1.3.9.3 Ψύξη με απορρόφηση (Absorption cooling)	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.4 Ψυκτικός κύκλος NH ₃ /H ₂ O	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.5 Ψυκτικός κύκλος H ₂ O/LiBr	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.6 Κύκλος Απορρόφησης με Βρωμιούχο Λίθιο μονοβάθμιας εγκατάστασης	Error!
Bookmark not defined.	
1.3.9.7 Κύκλος Απορρόφησης με Βρωμιούχο Λίθιο πολυβάθμιας εγκατάστασης	Error!
Bookmark not defined.	
1.3.9.8 Ρύθμιση της ψυκτικής ικανότητας	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.9 Ανάλυση θεωρίας	Error! Bookmark not defined.
1.3.9.10 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ψυκτών απορρόφησης – σύγκριση με ηλεκτρικούς ψύκτες	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ TRNSYS	Error! Bookmark not defined.
2.1 Γενικά για το TRNSYS.....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation studio).....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Κεντρικό παράθυρο.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Τρέξιμο και ανάγνωση αποτελεσμάτων	Error! Bookmark not defined.
2.3 TRNBuild	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Γενικά για το TRNBuild	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Αρχική μορφή του TRNBuild	Error! Bookmark not defined.
2.3.3 Παράθυρο μελέτης (Project window)	Error! Bookmark not defined.
2.3.4 Παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης (Zone window)	Error! Bookmark not defined.
2.3.5 Γραμμή εργαλείων	Error! Bookmark not defined.
2.4 TRNSED και TRNEdit	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ TRNSYS	Error! Bookmark not defined.
3.1 Εισαγωγή – Βιβλιογραφική σύνοψη	Error! Bookmark not defined.
3.2 Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν.....	Error! Bookmark not defined.
3.3 Πρότυπο κτίριο.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Σύνδεση πρότυπου κτιρίου με fancoil και ψύκτη απορρόφησης (Σύστημα 0)	Error!
Bookmark not defined.	
3.5 Σύνδεση Συστήματος 0 με ηλιακά (FPC) (Σύστημα 1).....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Προσθήκη auxiliary heater στο Σύστημα 1 (Σύστημα 2)..	Error! Bookmark not defined.
3.7 Προσθήκη αντλίας θερμότητας στο Σύστημα 1 (Σύστημα 3)	Error! Bookmark not defined.
defined.	
3.8 Σύνδεση Συστήματος 0 με ηλιακά (PTC) (Σύστημα 4).....	Error! Bookmark not defined.
3.9 Προσθήκη auxiliary heater στο σύστημα 4 (Σύστημα 5) .	Error! Bookmark not defined.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	Error! Bookmark not defined.
4.1 Σύστημα 1 – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC)	Error! Bookmark not defined.
4.2 Σύστημα 2 – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) με λέβητα (heater)....	Error! Bookmark not defined.
4.3 Σύστημα 3 – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) με αντλία θερμότητας (heat pump)	Error! Bookmark not defined.
4.4 Σύστημα 4 – Συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC)	Error! Bookmark not defined.
4.5 Σύστημα 5 – Συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC) με λέβητα (heater).....	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.....	Error! Bookmark not defined.
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	Error! Bookmark not defined.
6.1 Βασικά συμπεράσματα εργασίας	Error! Bookmark not defined.
6.2 Μελλοντική έρευνα.....	Error! Bookmark not defined.
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	Error! Bookmark not defined.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά και συγκρίνει 5 διαφορετικά συστήματα ηλιακού κλιματισμού απορρόφησης, κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Στόχος της είναι να βρεθεί ποιο από αυτά είναι το πιο συμφέρον οικονομικά, με επιπλέον κριτήριο όμως τη διεύθυνση της ανανεώσιμης ενέργειας του ήλιου στον κλιματισμό ενός κτιρίου, προς επίτευξη του στόχου ενός κτιρίου αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας, φιλικότερου στο περιβάλλον. Στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας αναλύεται η απαραίτητη σχετική θεωρία, συγκεκριμένα αναφέρονται οι πηγές ενέργειας και ιδιαίτερα οι ανανεώσιμες, παρουσιάζονται τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας και τέλος, αναλύονται τα πιο κοινά

συστήματα κλιματισμού, με έμφαση στην ψύξη απορρόφησης. Στο 2^ο κεφάλαιο εξηγούνται οι βασικές λειτουργίες του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση, του TRNSYS 16. Στο 3^ο κεφάλαιο, εξηγείται βήμα-βήμα η κατασκευή των 5 συστημάτων στο TRNSYS. Πρόκειται για τις εξής 5 παραλλαγές πηγής ενέργειας (θερμότητας) ενός ψύκτη απορρόφησης:

- Από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες
- Από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες σε συνδυασμό με ηλεκτρικό λέβητα
- Από επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες σε συνδυασμό με αντλία θερμότητας
- Από συλλέκτες παραβολικού κοίλου
- Από συλλέκτες παραβολικού κοίλου σε συνδυασμό με ηλεκτρικό λέβητα

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και εξηγούνται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη βελτιστοποίηση των ρυθμιζόμενων παραμέτρων στο TRNSYS. Στο 5^ο γίνεται οικονομική αξιολόγηση των συστημάτων και εκλέγεται το βέλτιστο σύστημα, με τα κριτήρια που αναφέρθηκαν. Τέλος, στο 6^ο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία συνοψίζουν τη δουλειά που πραγματοποιήθηκε και αναφέρονται προτάσεις για μελλοντική έρευνα πάνω σε σχετικά θέματα.

SUMMARY

This diploma thesis studies 5 different solar air condition systems with absorption chiller during summer. The goal of this study is to find out which is the most cost efficient system while emphasis is given to the use of the renewable solar energy for a building's air conditioning, aiming to a high energy efficiency and environmentally friendly building. In the 1st chapter, the necessary theoretical background is expounded, and specifically renewable energy sources, solar energy technologies and air conditioning systems, with emphasis on absorption cooling. In the 2nd chapter, the basics of the software I used for the simulation, TRNSYS 16, are

explained. In the 3rd chapter, the construction of the 5 systems at TRNSYS is step-by-step explained. The heat sources for the absorption cooling that were studied, are:

- Flat plate collectors
- Flat plate collectors with electrical heater
- Flat plate collectors with heat pump
- Parabolic trough collectors
- Parabolic trough collectors with electrical heater

In the 4th chapter the results of the study and the optimization processes of the parameters in TRNSYS are presented. In the 5th, an economic evaluation is made and the best system is chosen, based on the previously mentioned criteria. Finally, in the 6th chapter, the overall conclusions and some suggestions for future research are given.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1.1. Ιστορική επισκόπηση της τεχνολογίας της ενέργειας

Το ανθρώπινο είδος, από την αρχή της ύπαρξης του πάνω στον πλανήτη, έχει ανάγκη από ενέργεια και εξαρτάται από αυτήν η επιβίωσή του. Αρχικά, όπως όλοι οι ζωντανοί

οργανισμοί, έπαιρνε και ο άνθρωπος μέσω της τροφής την απαραίτητη ενέργεια ώστε να παράγει έργο. Στην προσπάθειά του να προστατευτεί από το φυσικό του περιβάλλον, δηλαδή να αποκτήσει όσο το δυνατόν περισσότερο έλεγχο πάνω σε αυτό, άρχισε να προσπαθεί να εκμεταλλευτεί την ενέργεια που βρισκόταν άφθονη στο περιβάλλον του, κατασκευάζοντας γι' αυτό το σκοπό μηχανές. Μέχρι τα μέσα του 18ου αιώνα η ενέργεια που χρησιμοποιούταν σε ανθρώπινες δραστηριότητες προερχόταν από τον αέρα στους ανεμόμυλους ή το νερό στους υδρόμυλους και την καύση των ξύλων (ξυλάνθρακες). Με την έκρηξη της βιομηχανικής επανάστασης (1760-1840), η τεχνολογία σημείωσε ραγδαίους ρυθμούς ανάπτυξης. Τα μικρά χειροτεχνικά εργαστήρια της Βρετανίας παραχώρησαν τη θέση τους στα εργοστάσια μαζικής παραγωγής. Εμφανίστηκε η ατμομηχανή (James Watt) και η μηχανή εσωτερικής καύσης (Étienne Lenoir) αργότερα και, άρχισε η παραγωγή ηλεκτρισμού και κατά συνέπεια η καύση ορυκτών καυσίμων, με τα οποία λειτουργούσαν, φάνηκε να αποτελεί την ιδανικότερη πηγή ενέργειας [1], [2]. Έτσι, οι ανάγκες για γαιάνθρακα και πετρέλαιο έγιναν μεγαλύτερες. Η βιομηχανία πετρελαίου ειδικά, λόγω της ευρείας χρήσης του στις μεταφορές, στην παραγωγή ηλεκτρισμού και στη θέρμανση αποτελεί πλέον τη μεγαλύτερη βιομηχανία στον πλανήτη και καθορίζει αποφασιστικά την παγκόσμια οικονομία και τις εξωτερικές πολιτικές των κρατών. Η κοινωνική, οικονομική και πολιτική ιστορία των Η.Π.Α. έχει βασιστεί στο πετρέλαιο σε τεράστιο βαθμό: Οι μεγάλες ενεργειακές κρίσεις, του 1973, του 1979, του 1990, του 2000 και του 2008 ήταν συνδεδεμένες με μεγιστοποίηση των τιμών του πετρελαίου και σημαντική οικονομική ύφεση [3], [9].

Η βιομηχανική επανάσταση ήταν η αρχή μιας ραγδαίας τεχνολογικής εξέλιξης που συνεχίζεται μέχρι τις μέρες μας. Παράλληλα με αυτήν όμως άρχισαν να κάνουν την εμφανισή τους οι πρώτες ανησυχίες για τις επιβλαβείς συνέπειές της στο περιβάλλον του ανθρώπου και κατ'επέκταση στον ίδιο. Η ανεξέλεγκτη, χωρίς φραγμούς, ανοδική πορεία της εξέλιξης αυτής και της εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων άρχισε ακόμη και να απειλεί την επιβίωση της ανθρωπότητας. Αυτό το βλέπουμε π.χ. σε τεχνολογικά επιτεύγματα που κακές χρήσεις τους μπορούν να τα μετατρέψουν σε όπλα μαζικής καταστροφής (πυρηνική ενέργεια – ατομική βόμβα), είτε σε πιο έμμεσες αλλά σοβαρές επιπτώσεις στο περιβάλλον, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η διατάραξη του οικοσυστήματος (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Όσο πιο πολύ λοιπόν εξελίσσεται τεχνολογικά η ανθρωπότητα, τόσο πιο πολύ οφείλει να βρίσκει λύσεις στα προβλήματα που η ίδια ή το περιβάλλον δημιουργούν. Αν αναλογιστούμε επιπλέον το εντυπωσιακά μεγάλο μέγεθος της χρονικής απόκρισης του φυσικού μας κόσμου στις οποιεσδήποτε σημερινές διορθωτικές επεμβάσεις μας στο οικολογικό σύστημα, συμπεραίνουμε ότι η συνέχιση της πορείας μας στο μέλλον επιβάλλει την αλλαγή της καθημερινής νοοτροπίας μας και την αναθεώρηση των αξιών της ζωής, σε συνδυασμό με τον επαναπροσδιορισμό της έννοιας και των στόχων της τεχνολογικής ανάπτυξης.

1.1.2. Ενεργειακό πρόβλημα

Ένα από τα βασικότερα προβλήματα της ανθρωπότητας σήμερα είναι το ενεργειακό πρόβλημα. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σε συνδυασμό με την αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, ο οποίος διεκδικεί ολοένα και υψηλότερο βιοτικό επίπεδο αυξάνουν συνεχώς τις ενεργειακές ανάγκες. Συγκεκριμένα το ενεργειακό πρόβλημα έγκειται στο γεγονός ότι η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας αυξάνεται κατά 2,3% περίπου κάθε χρόνο ενώ τα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη σταδιακά εξαντλούνται. Είναι φανερό ότι αν δεν υπάρξει κάποιο τόσο καταστροφικό για τον ανθρώπινο πολιτισμό γεγονός, ώστε να επανέλθουμε σε πρωτόγονη κατάσταση, η τεχνολογία, ως καρπός ανώτερης πνευματικής δημιουργίας, είναι το μόνο μέσο που έχουμε στα χέρια μας ώστε να βρεθεί λύση στο ενεργειακό πρόβλημα. Ας δούμε κάπως πιο αναλυτικά την κατάσταση, εξετάζοντας τους διάφορους τρόπους παραγωγής ενέργειας.

1.1.3. Ορυκτά καύσιμα

Τα ορυκτά καύσιμα είναι ζημιογόνα με διάφορους τρόπους. Πρώτον, η εξόρυξη πετρελαίου μπορεί να δημιουργήσει πετρελαιοκηλίδες, με καταστροφικές συνέπειες για τους έμβιους οργανισμούς και τον άνθρωπο, με κινδύνους εκρήξεων και μόλυνση του αέρα και του νερού [5]. Δεύτερον, στην καύση τους οφείλεται το 75% της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, με το υπόλοιπο 25% να οφείλεται στην αποψίλωση των δασών. Από τη βιομηχανική επανάσταση μέχρι σήμερα καταγράφεται μία αύξηση στη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά 40%. Κάθε χρόνο παράγεται περίπου 21,3Gtons διοξειδίου του άνθρακα το χρόνο αλλά οι φυσικές διεργασίες μπορούν να απορροφήσουν τη μισή από αυτήν την ποσότητα. Έτσι, το υπόλοιπο παραμένει στην ατμόσφαιρα και είναι το κατ'εξοχήν υπαίτιο ,μαζί με άλλα άερα όπως το μεθάνιο, το υποξείδιο του αζώτου και τους χλωροφθοράνθρακες (CFCs), για το *φαινόμενο του θερμοκηπίου*. Πρόκειται για τη διαδικασία κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συγκρατεί θερμότητα και συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του. Αυτό έχει ενισχυθεί εξ'αιτίας της ανθρώπινης δραστηριότητας και στην εποχή μας έχει πάρει επικίνδυνες διαστάσεις. Προβλέπεται ότι, με τις παρούσες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η θερμοκρασία της Γης θα υπερβεί ιστορικά ανάλογα έως το 2047, αυξάνοντας τη στάθμη της θάλασσας και γενικά επηρεάζοντας τα περισσότερα οικοσυστήματα στον πλανήτη, και τις ζωές πάνω από 3 δισεκατομμυρίων ανθρώπων [4], [6]. Τρίτον, με την καύση τους απελευθερώνονται και άλλες επιβλαβείς ουσίες στην ατμόσφαιρα όπως νιτρικά, θειικά ή ανθρακικά οξέα τα οποία είναι υπεύθυνα για τον σχηματισμό αιθάλης και όξινης βροχής. Τέταρτον, τα ορυκτά καύσιμα περιέχουν ραδιενεργά στοιχεία, κυρίως ουράνιο και θόριο, που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Το 2000 η καύση άνθρακα απελευθέρωσε 12000 τόνους Θόριο και 5000 τόνους Ουράνιο σε παγκόσμιο επίπεδο. Υπολογίζεται ότι κατά το έτος 1982, η καύση άνθρακα μόνο στις Η.Π.Α. απελευθέρωσε 155 φορές περισσότερη ραδιενέργεια από το ατύχημα στο Three Mile Island. Οι υπόλοιπες επιπτώσεις των ορυκτών καυσίμων στο περιβάλλον αφορούν τις μεθόδους εξόρυξης και τα απόβλητα της χημικής βιομηχανίας για την επεξεργασία τους [4].

Τα ορυκτά καύσιμα, επίσης, δεν είναι ανεξάντλητα. Τα παγκόσμια αποθέματα ολοένα και λιγοστεύουν με αποτέλεσμα να δημιουργούνται πολιτικές αναταραχές και εστίες πολέμου για τον έλεγχό τους. Παρότι δημιουργούνται συνεχώς μέσω φυσικών διεργασιών, θεωρούνται γενικά μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας επειδή χρειάζονται εκατομμύρια χρόνια για αυτές τις διεργασίες ενώ τα γνωστά αποθέματα εξαντλούνται πολύ πιο γρήγορα. Η παραγωγή πετρελαίου εκτιμάται ότι θα παρουσιάσει μέγιστο μέσα στα επόμενα 20 χρόνια (peak oil), και παρότι θα βρίσκονται συνεχώς νέες τεχνολογίες για πιο φιλική προς το περιβάλλον εξαγωγή του, μετά από ένα σημείο, θα έχουμε πτώση της παραγωγής λόγω μείωσης των σημερινών αποθεμάτων και ακριβότερη εξαγωγή από νέα. Μιας και πρακτικά όλοι οι οικονομικοί τομείς βασίζονται έντονα στο πετρέλαιο, η πετρελαιοπαραγωγική κορύφωση (peak oil) θα μπορούσε να οδηγήσει σε μερική ή πλήρη χρεοκοπία των αγορών. Το χρονικό σημείο όπου, με γνώμονα το χρόνο, το χρήμα και το περιβάλλον, συμφέρει περισσότερο η αναζήτηση εναλλακτικών μορφών ενέργειας από ότι η έρευνα και η ανάπτυξη μεθόδων για την εξαγωγή βαρέως πετρελαίου έχει, κατά πολλούς περιβαλλοντολόγους, ήδη έρθει. Το φυσικό αέριο αναμένεται να παρουσιάσει παρόμοια εξέλιξη με την παραγωγή πετρελαίου αλλά με κάποια χρόνια καθυστέρηση [4], [7], [8], [9], [10].

1.1.4. Πυρηνική ενέργεια

Μία αντιπρόταση στα ορυκτά καύσιμα θα μπορούσε να είναι η *πυρηνική ενέργεια*. Από τη μία δε δημιουργεί καμία ατμοσφαιρική ρύπανση, έχει αμελητέες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα και μπορεί να προσφέρει αδιάλειπτα ενέργεια, με εύκολους τρόπους αποθήκευσης. Από την άλλη, υπάρχουν κίνδυνοι σχετικά με τη διαρροή ραδιενέργειας σε ορυχεία ουρανίου, σε πυρηνικούς σταθμούς καθώς και κατά την μεταφορά και αποθήκευση των καυσίμων και των αποβλήτων. Η ραδιενέργεια σε μεγάλες δόσεις μπορεί να είναι θανατηφόρα και σε μικρότερες να αυξάνει κατά πολύ τις πιθανότητες εμφάνισης καρκίνου. Ακόμη η ενέργεια που θα παράγεται θα είναι συγκεντρωμένη σε μεγάλους κεντρικούς σταθμούς, οι οποίοι για να αδρανοποιηθούν χρειάζονται δεκαετίες, γεγονός που ενισχύει τους κινδύνους. Τα πιθανά ανθρώπινα λάθη μπορούν στην περίπτωση της πυρηνικής ενέργειας να αποβούν μοιραία. Ενώ λοιπόν η πυρηνική ενέργεια κατά τα πρώτα χρόνια της εμφάνισής της είχε δώσει ελπίδες για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος, σκεπάστηκε από σκεπτικισμό και αμφισβήτηση λόγω των δύο πολύ σοβαρών ατυχημάτων που έγιναν στους πυρηνικούς σταθμούς του Three Mile Island της Πενσυλβάνια το 1979 και του Τσέρνομπιλ στην Ουκρανία το 1986 που είχαν ολέθριο αντίκτυπο στο οικοσύστημα μέχρι τις μέρες μας. Οι μνήμες από τα πυρηνικά αυτά ατυχήματα κρατούν ακόμη την συνείδηση του κόσμου ενεργά αντίθετη στην χρήση της πυρηνικής ενέργειας, αλλά κάτω από την ανάγκη για περισσότερη ενέργεια, χάρη στα πλεονεκτήματά της έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας και στις ελπιδοφόρες καινοτομίες σχετικά με την αύξηση της ασφάλειάς της, δεν είναι βέβαιο αν θα υπάρξει τελικά ιδιαίτερη αντίσταση στην μη επέκτασή της. Γενικά πρόκειται για μία υποσχόμενη για το μέλλον τεχνολογία και αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και πιο αμφιλεγόμενα αντικείμενα διαφωνιών ανά τον πλανήτη.

Ένα βασικό επίκεντρο διαφωνιών είναι το κατά πόσον μπορεί να θεωρηθεί ανανεώσιμη. Το 1987, η World Commission on Environment and Development (WCED) κατέταξε τους αντιδραστήρες σχάσης που παράγουν περισσότερο σχάσιμο πυρηνικό καύσιμο από όσο καταναλώνουν (αναπαραγωγοί αντιδραστήρες και, αν αναπτυχθούν, αντιδραστήρες σύντηξης) ως ανανεώσιμους. Αντίθετα, το National Renewable Energy Laboratory δε συγκαταλέγει την πυρηνική ενέργεια στις ανανεώσιμες. Ακόμη, το ουράνιο, σύμφωνα με το Energy Information Administration (EIA) είναι μη ανανεώσιμο. Τέλος, γίνεται λόγος και για peak Uranium, με απαισιόδοξους υπολογισμούς γύρω στο 2035 [11], [12,], [13], [14].

1.1.5. Ανανεώσιμες μορφές ενέργειας

Σε αυτό το σημείο, χρειάζεται να ορίσουμε την έννοια *ανανεώσιμη πηγή ενέργειας*. Η ανανεώσιμη ενέργεια προέρχεται από φυσικές διεργασίες που αναπληρώνονται συνεχώς. Στις διάφορες μορφές της, προέρχεται άμεσα από τον ήλιο ή από θερμότητα από τα βάθη της Γης. Στον ορισμό συμπεριλαμβάνονται οι εξής πηγές ενέργειας:

Άμεσα θερμαίνει, εξατμίζει μεγάλες ποσότητες θαλασσινού νερού και συντηρεί τον γνωστό φυσικό κύκλο, δημιουργώντας τις λίμνες και τα ποτάμια, που αποτελούν πρόσθετη πηγή ενέργειας (υδατοπτώσεις). Θέτει σε κίνηση τις αέριες μάζες της ατμόσφαιρας (Αιολική ενέργεια), δημιουργεί τα κύματα (Ενέργεια κυμάτων). Απορροφούμενο από συνδυασμένα υλικά παράγει ηλεκτρισμό (Φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Συμβάλλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας, η καύση δε των φυτικών προϊόντων παράγει ενέργεια (βιομάζα).

Συνοπτικά, όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι κάτωθι:

- Ηλιακή Ενέργεια. Αυτή αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία και διακρίνονται στα *Θερμικά Ηλιακά Συστήματα*, στα οποία χρησιμοποιούνται κατάλληλοι συλλέκτες για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας και την αποθήκευση της, με τη μορφή θερμότητας, σε κάποιο ρευστό και στα *Φωτοβολταϊκά Συστήματα*, με τα οποία μετατρέπεται η ηλιακή ενέργεια απ'ευθείας σε ηλεκτρική, μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου.
- Αιολική Ενέργεια. Στηρίζεται στην εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των ανέμων. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό δεσμεύουν την κινητική ενέργεια του ανέμου και την μετατρέπουν είτε σε κάποια άλλη μορφή μηχανικής ενέργειας είτε, συνηθέστερα, σε ηλεκτρική.
- Ενέργεια νερού. Χωρίζεται σε:
 - Ενέργεια ωκεανών. Πρόκειται για την ενέργεια της κίνησης των κυμάτων και των θαλάσσιων μαζών εξαιτίας της άμπωτης και της παλίρροιας. Εδώ ανήκει επίσης και η εκμετάλλευση της θερμοκρασιακής διαφοράς των ρευμάτων του νερού.

➤ Υδροηλεκτρική ενέργεια. Είναι η ενέργεια που αποταμιεύεται ως δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο με τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από τη συνέχιση της ροής του ελεύθερου νερού, και αποδίδεται ως κινητική μέσω της υδατόπτωσης (καταρράκτες). Η κινητική ενέργεια, στη συνέχεια, μπορεί είτε να χρησιμοποιείται αυτούσια επιτόπου (π.χ. νερόμυλοι), είτε να μετατρέπεται σε ηλεκτρική ή άλλες.

- Γεωθερμία. Αξιοποιούνται τα θερμά νερά ή/και οι ατμοί που υπάρχουν σε υπόγειους ταμιευτήρες σε πολλές περιοχές της Γης. Τα ρευστά αυτά, όταν είναι εφικτό να αντληθούν με οικονομικά συμφέρον κόστος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε σε θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Κατά δεύτερον, εκμεταλλευόμαστε τη σχετικά σταθερή θερμοκρασία του υπεδάφους έναντι αυτής του περιβάλλοντος, ώστε μέσω γαιοεναλλακτών να αντλούμε θερμότητα νε αντλίες θερμότητας με πολύ καλύτερο συντελεστή συμπεριφοράς, COP (θα αναλυθούν σε παρακάτω κεφάλαιο).
- Βιομάζα, βιοαέριο, βιοκαύσιμα (π.χ. υδρογόνο). Με τον όρο αυτό εννοούμε τη χημική ενέργεια που εμπεριέχεται σε κάθε υλικό που προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Η καύση της βιομάζας, είτε απ'ευθείας είτε μετατρέπόμενη σε κατάλληλο καύσιμο, αποδίδει θερμική ενέργεια, η οποία, στη συνέχεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικιλία εφαρμογών.

Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερο, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) κατανέμονται σχεδόν ομοιόμορφα σε όλη τη γη, δεν ανήκουν και , αν δεν είμαστε μάρτυρες της πραγματοποίησης κάποιου ακραίου σεναρίου επιστημονικής φαντασίας, δε μπορούν και να ανήκουν σε κανέναν. Έτσι λοιπόν, δεν αποτελούν μονοπωλική ιδιοκτησία κανενός (όπως συμβαίνει με το πετρέλαιο και τα πυρηνικά), μπορούν να περιορίσουν τα ενεργειακά και γεωπολιτικά προβλήματα στον πλανήτη και είναι προφανώς ανεξάντλητες. Συγκεκριμένα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που παίρνουν την ενέργειά τους από τον ήλιο, άμεσα ή έμμεσα, όπως η υδροηλεκτρική και η αιολική, υπολογίζεται ότι θα μπορούν να προμηθεύουν την ανθρωπότητα με ενέργεια για ακόμα 1 δισεκατομμύριο χρόνια, όποτε η προβλεπόμενη αύξηση της θερμότητας από τον ήλιο υπολογίζεται ότι θα καταστήσει την επιφάνεια της Γης πολύ ζεστή ώστε να υπάρχει νερό σε υγρή μορφή. Είναι φανερό λοιπόν ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αποτελούν τη μόνη μακροπρόθεσμα βιώσιμη τεχνολογική εφαρμογή που προσφέρει λύση στο φλέγον ενεργειακό ζήτημα[15], [16].

1.1.6. Πολιτικές για το περιβάλλον στη διεθνή κοινότητα

Σε επίπεδο διεθνών οργανισμών, ο όρος «βιώσιμη ανάπτυξη» αναγνωρίστηκε ως παγκόσμιο ζήτημα το 1987 από την Επιτροπή των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (World Commission on Environment and Development) στην έκθεσή της με τίτλο «Το Κοινό μας Μέλλον» (Our Common Future), την αποκαλούμενη συνήθως «Έκθεση Brundtland» (Brundtland Report).

Το 1988 ιδρύθηκε από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό και το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC), μία επιστημονική διακυβερνητική επιτροπή υπό την αιγίδα του Οργανισμού των Ηνωμένων Εθνών.

Η Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (United Nations Conference on Environment and Development), που πραγματοποιήθηκε στο Ρίο το 1992, υιοθέτησε τη «Διακήρυξη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη» (Rio Declaration on Environment and Development), όρισε τη βιώσιμη ανάπτυξη ως εκείνη την ανάπτυξη «που ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να κάνει συμβιβασμούς ως προς την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους» και πρόβαλε τη βιώσιμη ανάπτυξη ως παγκόσμιο ιδεώδες και ως βασική έννοια που ενσωμάτωνε τρεις συνιστώσες: την κοινωνική, την οικονομική και την περιβαλλοντική, αφού αναγνωριζόταν ότι η άγνοια των αλληλεπιδράσεων μεταξύ φύσης, οικονομίας και κοινωνίας αποτελούσε τη βασική αιτία των παρατεταμένων αποτυχιών της πολιτικής όσον αφορά το περιβάλλον και την ανάπτυξη.

Σημαντικός σταθμός σε παγκόσμιο επίπεδο όσον αφορά τη βιώσιμη ανάπτυξη υπήρξε η Διάσκεψη του Γιохάνεσμπουργκ (Johannesburg Summit) του 2002 ή Παγκόσμια Διάσκεψη Κορυφής για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (World Summit on Sustainable Development), όπου μια δεκαετία μετά το Ρίο επαναβεβαιώθηκαν οι τρεις θεμελιώδεις συνιστώσες της βιώσιμης ανάπτυξης: η οικονομική, η περιβαλλοντική και η κοινωνική.

Τον Ιούνιο του 2009 το Συμβούλιο των Υπουργών των 30 χωρών μελών του ΟΟΣΑ (Οργανισμός για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη, OECD) Ministerial Council Meeting), στο οποίο μετείχαν και εκπρόσωποι της Χιλής, της Εσθονίας, του Ισραήλ, της Σλοβενίας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπέγραψε τη «Διακήρυξη της Πράσινης Μεγέθυνσης» (Declaration on Green Growth) (OECD, 2009).

Θεωρώντας ότι η ανάκαμψη από την παγκόσμια χρηματοοικονομική κρίση της περιόδου 2007-2008 απαιτούσε μια διαφορετική στρατηγική οικονομικής μεγέθυνσης από εκείνη που οι χώρες ακολουθούσαν στο παρελθόν, οι παραπάνω χώρες διακήρυτταν ότι θα ενίσχυαν τις προσπάθειές τους να εφαρμόσουν στρατηγικές πράσινης μεγέθυνσης. Ο ΟΟΣΑ αναγνωρίζει ότι ο όρος «πράσινη μεγέθυνση» σημαίνει πως οι επενδύσεις στο περιβάλλον καθίστανται μια νέα πηγή οικονομικής μεγέθυνσης.

Γενικά, η «Στρατηγική της Πράσινης Μεγέθυνσης» του ΟΟΣΑ:

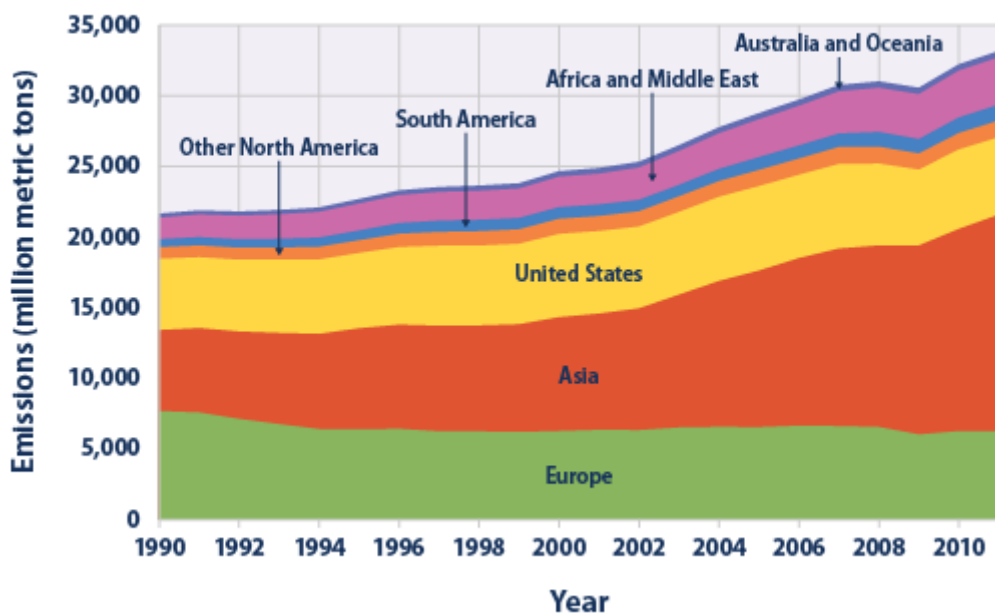
- Θα ανέπτυξε ένα νέο πλαίσιο λογαριασμών μεγέθυνσης, το οποίο θα λάμβανε ρητά υπόψη τις επιπτώσεις της οικονομικής μεγέθυνσης στο περιβάλλον και την ευημερία.
- Θα παρείχε συγκεκριμένα μέσα και προτάσεις πολιτικής που θα βοηθούσαν τις κυβερνήσεις να εξειδικεύσουν πολιτικές που θα συνέβαλλαν στην αποτελεσματικότερη μετάβαση προς μια βιώσιμη οικονομία.
- Θα εξέταζε τους τρόπους με τους οποίους οι χώρες μέλη του ΟΟΣΑ θα υποστήριζαν την «πράσινη μεγέθυνση» στις αναδυόμενες οικονομίες και τις αναπτυσσόμενες χώρες.
- Θα διερευνούσε τις ευκαιρίες δημιουργίας θέσεων εργασίας, δίνοντας έμφαση στην απασχόληση που θα προκαλούσε η πράσινη μεγέθυνση.

Ως *πράσινη ανάπτυξη* νοείται η προώθηση της οικονομικής μεγέθυνσης και ανάπτυξης, διασφαλίζοντας παράλληλα ότι τα φυσικά περιουσιακά στοιχεία (natural assets) συνεχίζουν να παρέχουν τους πόρους και τις υπηρεσίες οικοσυστημάτων πάνω στα οποία βασίζεται η ευημερία μας. Για να το επιτύχει, πρέπει να λειτουργήσει ως καταλύτης μετασχηματίζοντας τις επενδύσεις και την καινοτομία που θα υποστηρίξουν τη διαρκή ανάπτυξη και θα δημιουργήσουν νέες οικονομικές ευκαιρίες. Η επιστροφή στη «συνήθη κατάσταση» δε συνιστά ούτε φρόνιμη και σε τελική ανάλυση ούτε βιώσιμη επιλογή, καθώς ενέχει κινδύνους που θα μπορούσαν να επιφέρουν ανθρώπινο κόστος και περιορισμούς στην οικονομική μεγέθυνση και ανάπτυξη. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μη αναστρέψιμες καταστάσεις, όπως η αυξημένη λειψυδρία, η «συμφόρηση» πόρων (resource bottlenecks), η ρύπανση της ατμόσφαιρας και των υδάτων, η κλιματική αλλαγή και η απώλεια βιοποικιλότητας· εξ' ου και η ανάγκη διαμόρφωσης στρατηγικών για την επίτευξη πιο πράσινης ανάπτυξης.

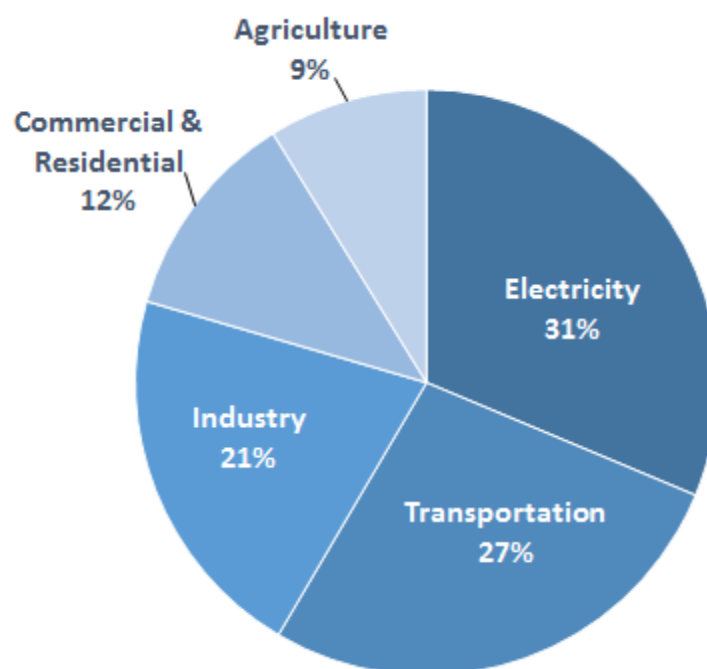
1.1.7. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα

Από το 1850 μέχρι σήμερα, η Βόρεια Αμερική και η Ευρώπη έχουν παράγει περίπου το 70% όλων των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που οφείλονται στην παραγωγή ενέργειας, ενώ οι λιγότερο αναπτυγμένες χώρες ευθύνονται για λιγότερο από το ένα τέταρτο. Ωστόσο, στο μέλλον, το μεγαλύτερο τμήμα της αύξησης των εκπομπών θα προέλθει από τις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες, λόγω της αύξησης του πληθυσμού τους, της μεγέθυνσης του ΑΕΠ τους, και του αυξημένου ποσοστού των βιομηχανιών έντασης ενέργειας που θα διαθέτουν.

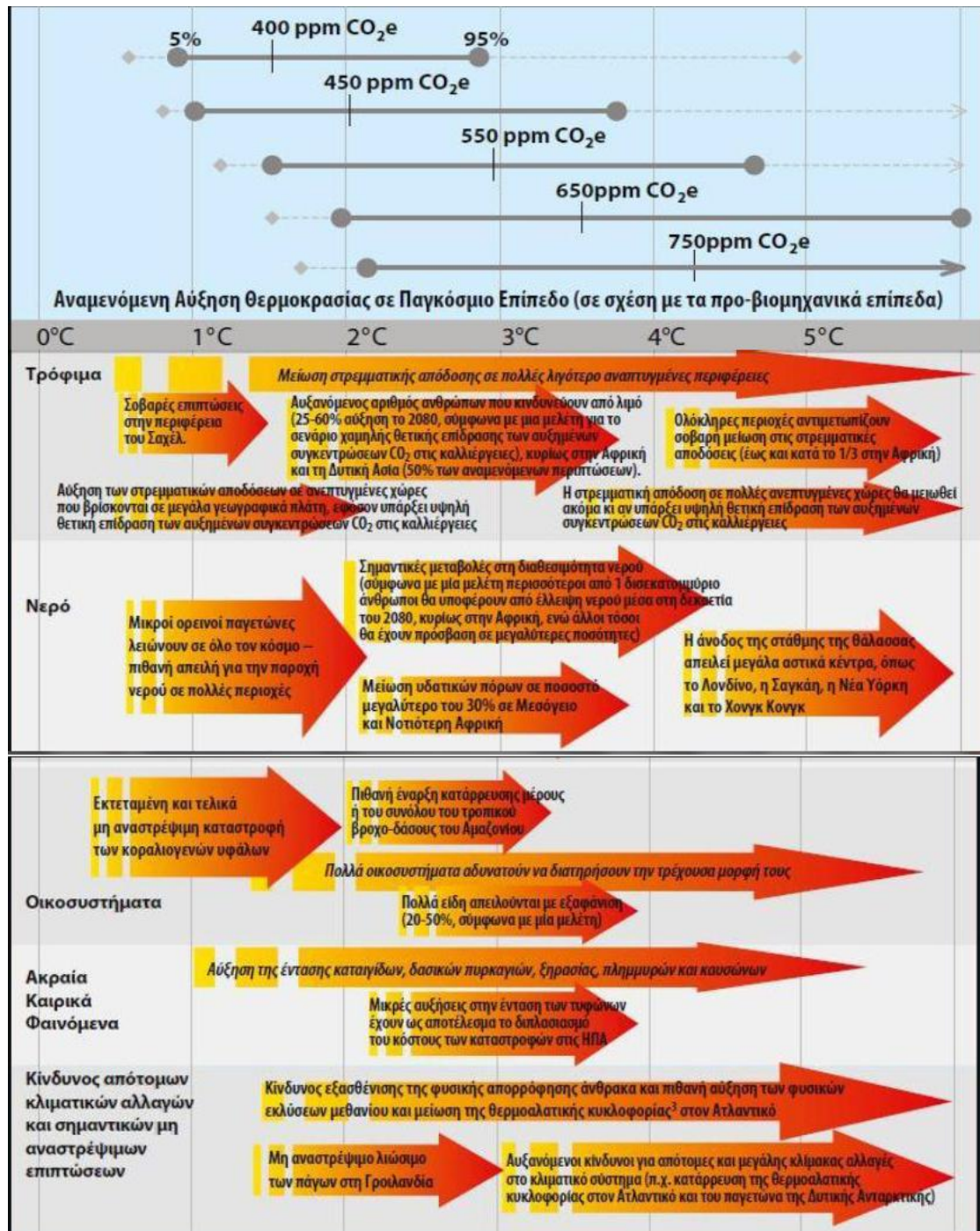
Figure 3. Global Carbon Dioxide Emissions by Region, 1990–2011



Εικόνα 1.1. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ανά περιοχή του κόσμου τα έτη 1990 – 2011 [17]



Εικόνα 1.2. Κατανομή συνολικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στους διάφορους τομείς για τις Η.Π.Α. το 2013 [17]



Εικόνα 1.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις για πιθανές αυξήσεις θερμοκρασίας του πλανήτη [19]

Το 2014 οι παγκόσμιες εκπομπές CO₂ προβλέπεται να αυξηθούν κατά 2,5% σε σχέση με τα επίπεδα του 2013. Οι χώρες με τα μεγαλύτερα ποσοστά ήταν : Κίνα (28%), Η.Π.Α. (14%), Ε.Ε. (10%), Ινδία (7%) με αύξηση σε όλες εκτός από μείωση στην Ε.Ε. κατά 1,8% [20].

Κάποια μέτρα που προτείνει ο Οργανισμός Προστασίας Περιβάλλοντος των Η.Π.Α. είναι καλύτερη μόνωση των κτιρίων, πιο αποδοτικά καύσιμα, ελάττωση χρήσης ηλεκτρικών συσκευών στο σπίτι, στο γραφείο κ.τ.λ. , νέες τεχνολογίες δέσμευσης του διοξειδίου του

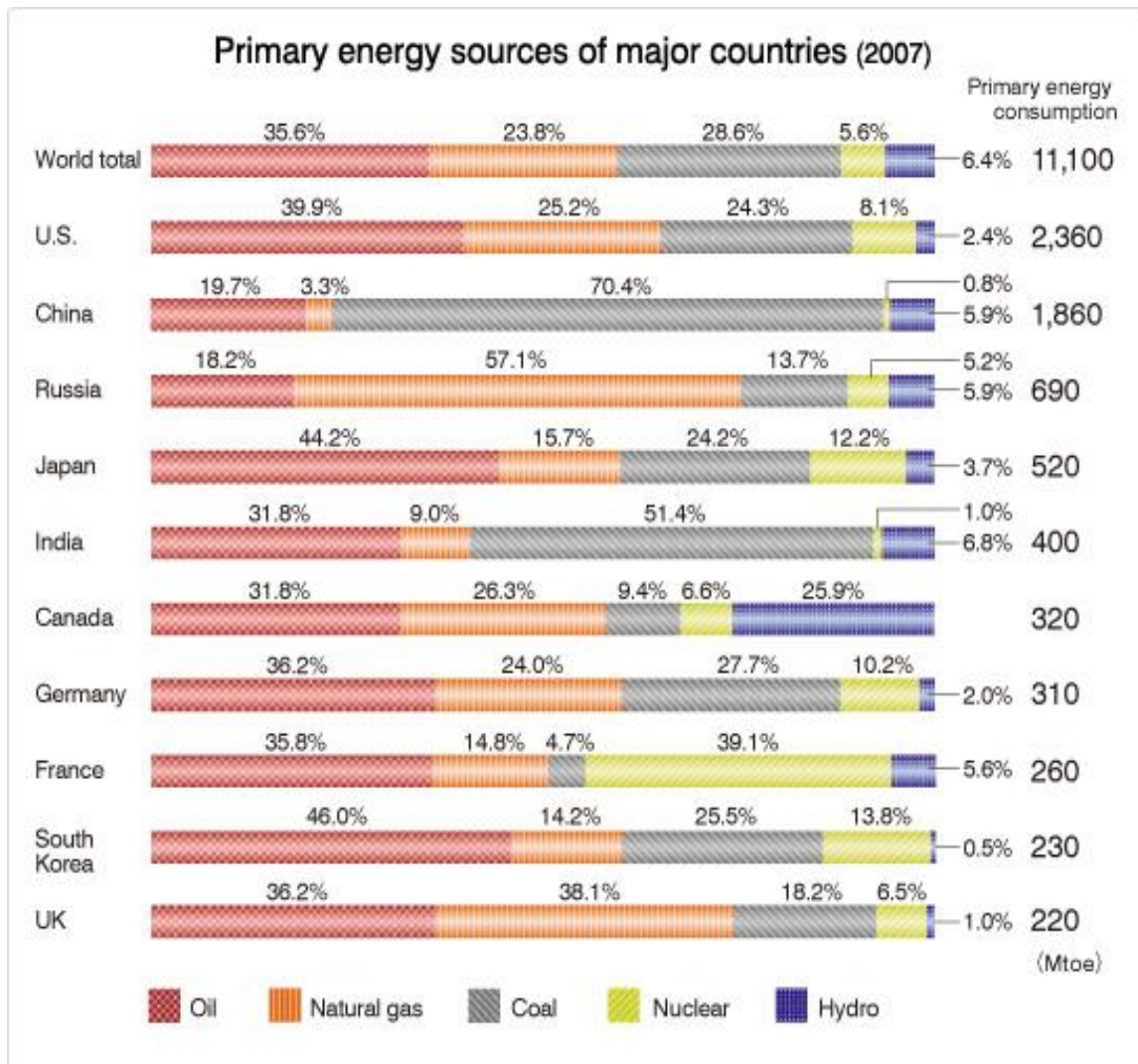
άνθρακα κ.ά. [18]. Σε συνεργασία με τον National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) έχουν θεσπίσει κανονισμούς και έχουν θέσει ανώτατα όρια για εκπομπές από οχήματα. Η Ευρώπη, έχοντας θέσει στόχους μείωσης για τα ερχόμενα έτη, έχει επίσης θέσει ανώτατα όρια εκπομπών σε νέα οχήματα και έχει ορίσει χρηματικές ποινές για παραβιάσεις αυτών των ορίων.

Οποιαδήποτε οικονομική δραστηριότητα συνεισφέρει με κάποιο τρόπο στην απορρόφηση CO₂ (όπως η φύτευση δέντρων) ή τις εκπομπές CO₂ (όπως η μετάβαση από το μοντέλο καλλιέργειας που βασίζεται στα ορυκτά καύσιμα στην οργανική καλλιέργεια) ανήκει σε τομείς που οφείλουν να αναπτυχθούν στο μέλλον.

Η ουσιαστικότερη από αυτές τις δραστηριότητες είναι η προώθηση της χρήσης των τεχνολογιών των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

1.1.8. ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια παγκόσμια

Η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας το 2007, κατά το EIA (Energy Information Administration) των Η.Π.Α., κατανέμεται σε πηγές ως εξής: 86,4% ορυκτά καύσιμα (36% πετρέλαιο, 27,4% άνθρακα, 23% φυσικό αέριο), 6,3% υδροηλεκτρικά, 8,5% πυρηνικά και 0,9% άλλα (γεωθερμία, ηλιακή, κυμάτων, αιολική, ξύλο, σκουπίδια). [4]

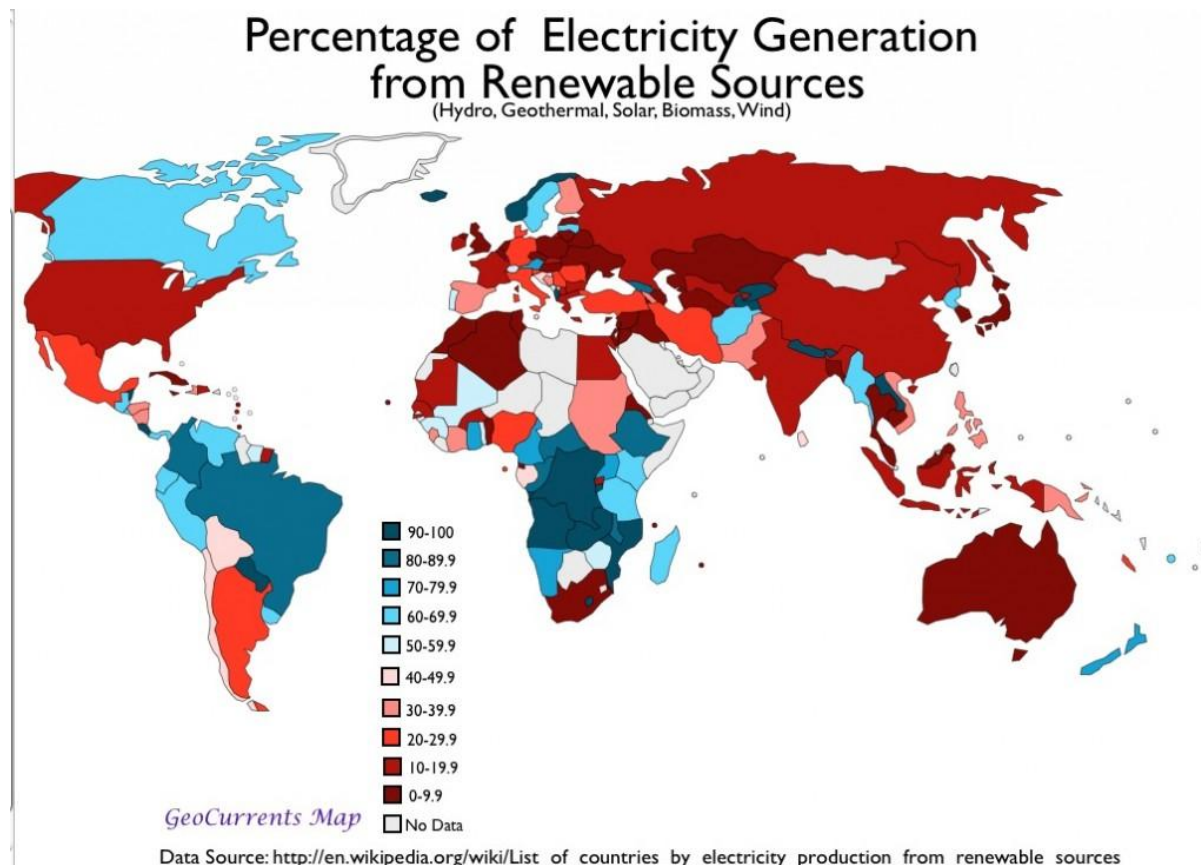


Εικόνα 1.4. Κύριες πηγές ενέργειας μεγάλων κρατών. Πηγή: BP, Statistical Review of World Energy 2008

Το 2010, η ισχύς από ανανεώσιμες αποτελούσε το 1/3 των νεοεγκατεστημένων εγκαταστάσεων ισχύος.

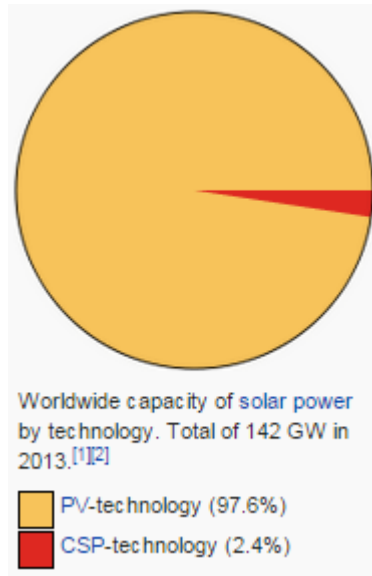
Σύμφωνα με έρευνα του REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century) του 2014, οι ανανεώσιμες συνεισέφεραν 19% στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας και 22% στην ηλεκτροπαραγωγή τα έτη 2012 και 2013, αντίστοιχα. Και οι σύγχρονες ανανεώσιμες όπως υδροηλεκτρική, άνεμος, ήλιος και βιοκαύσιμα καθώς και οι παραδοσιακές συνεισέφεραν περίπου το ίδιο στην παγκόσμια παροχή ενέργειας. Οι επενδύσεις σε ανανεώσιμες παγκοσμίως ανήλθαν σε περισσότερα από 214 δισεκατομμύρια δολάρια το 2013, με χώρες όπως η Κίνα και οι Η.Π.Α. να επενδύουν έντονα στην αιολική, την ηλιακή, την υδροηλεκτρική και τα βιοκαύσιμα.

Σε έρευνες της διεθνούς κοινής γνώμης, υπάρχει ισχυρή υποστήριξη για την προώθηση ανανεώσιμων, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια. Σε επίπεδο χωρών, τουλάχιστον 30 κράτη ανά τον κόσμο συνεισφέρουν ήδη μέσω ανανεώσιμων περισσότερο από το 20% της παγκόσμιας ενεργειακής παροχής.



Εικόνα 1.5. Ποσοστά συνεισφοράς ανανεώσιμων σε ηλεκτροπαραγωγή χωρών ανά τον κόσμο [21]

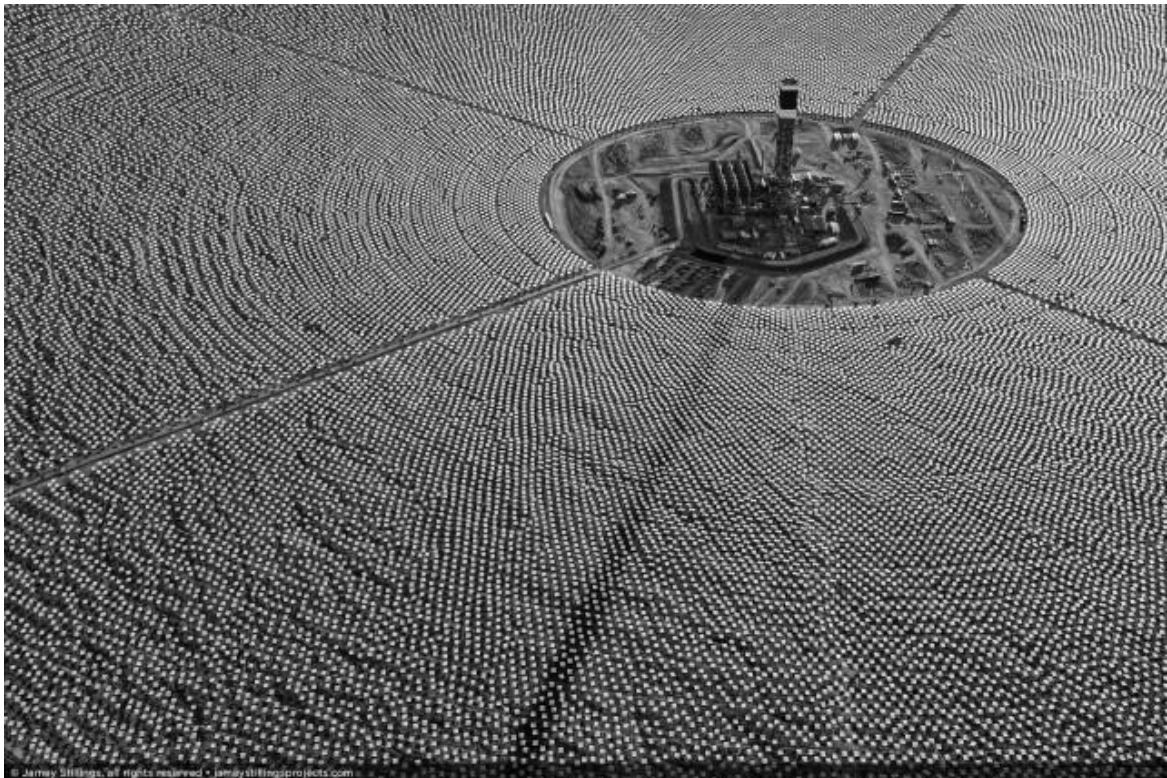
Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά, από το 2004 και μετά, σημείωσαν ετήσιους ρυθμούς ανάπτυξης 60%. Στο τέλος του έτους, έφτασε τα 180 GW, ισχύ ικανή να καλύψει το 1% της παγκόσμιας ηλεκτροπαραγωγής, δηλ. 18400 TWh. Κορυφαίες χώρες σε εγκαταστάσεις Φ/Β ήταν η Κίνα, η Ιαπωνία, οι ΗΠΑ, το Ην. Βασίλειο, η Γερμανία και η Γαλλία. Η Γερμανία παρέμεινε και αυτό το έτος ο μεγαλύτερος παραγωγός ηλιακής ισχύος, που ανήλθε σε 38 GW. Η Χιλή και η Ν. Αφρική εισχώρησαν στις πρώτες 10 χώρες. Σήμερα υπάρχουν 20 χώρες με συνολική ισχύ από Φ/Β μεγαλύτερη από 1 GW. Η Ταϊλάνδη, η Ολλανδία και η Ελβετία ξεπέρασαν το φράγμα του 1 GW το 2014. Η εγκατεστημένη ισχύς Φ/Β στην Ιταλία, τη Γερμανία και την Ελλάδα είναι επαρκής να καλύψει 7 - 8% των αντίστοιχων εγχώριων ηλεκτρικών αναγκών. Ο μεγαλύτερος Φ/Β σταθμός βρίσκεται στην Καλιφόρνια και έχει ισχύ 550 MW. [16], [22].



Εικόνα 1.6 Κατανομή παγκόσμιας εγκατεστημένης ηλιακής ισχύος το 2013 σε Φ/Β και συγκεντρωτικά συστήματα

Το 2009 η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των ηλιακών συλλεκτών ήταν περίπου 172,4GWth.

Όσον αφορά τους σταθμούς συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων (CSP), τα μεγαλύτερα βρίσκονται στην Ισπανία και τις ΗΠΑ. Ηλιοθερμικοί σταθμοί λειτουργούν στις ΗΠΑ και την Ισπανία, ο μεγαλύτερος από τους οποίους είναι στην έρημο Μοχάβι με ισχύ 354 MW.



Εικόνα 1.7. Ηλιοθερμικός σταθμός στην έρημο Μοχάβι

Προβλέψεις:

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) προέβλεψε το 2014 μια αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από Φ/Β σε 4600GW το 2050 και από συγκεντρωτικά συστήματα (CSP) σε 1GW.

Για το 2015 προβλέπεται μία αύξηση της συνολικής εγκατεστημένης ηλιακής ισχύος κατά περίπου 55GW και για τα 2015 – 2020 κατά περίπου 400GW.

Μία ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας της ανανεώσιμης ενέργειας και της αύξησης της απόδοσής της θα οδηγήσει σε σημαντική ενεργειακή ασφάλεια, μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και ανάπτυξη της οικονομίας. Οι εθνικές αγορές ανανεώσιμης ενέργειας προβλέπεται να αναπτύσσονται γοργά την ερχόμενη δεκαετία και μετά, και πολλές χώρες έχουν θέσει στόχους για μακροπρόθεσμη έντονη συμμετοχή ανανεώσιμων. Ενώ πολλά έργα ανανεώσιμης ενέργειας είναι μεγάλης κλίμακας, οι τεχνολογίες των ανανεώσιμων είναι κατάλληλες και για αγροτικές και απομακρυσμένες περιοχές και αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η ενέργεια είναι κρίσιμη όσον αφορά στην καλύτερευση των συνθηκών ζωής και της οικονομίας των φτωχότερων κρατών.[16]

Πιστεύεται ότι από το 2030 θα μπορεί όλη η νέα ενέργεια να παράγεται από αιολική, ηλιακή και υδροηλεκτρική ενώ μέχρι το 2050 να παράγεται όλη η ενέργεια από ανανεώσιμες. Μιλάμε δηλαδή για έναν εφικτό στόχο για 100% ανανεώσιμη ενέργεια. Τα εμπόδια φαίνεται να είναι κυρίως κοινωνικά, οικονομικά και πολιτικά και όχι τεχνολογικά, συγκεκριμένα τα λόμπυ των ορυκτών καυσίμων, η πολιτική αδράνεια, άρνηση κλιματικής αλλαγής, μη βιώσιμη ενεργειακή κατανάλωση, ξεπερασμένες ενεργειακές υποδομές.

Η ηλιακή ενέργεια προσφέρεται για υπανάπτυκτες χώρες που δεν έχουν πρόσβαση σε ηλεκτρικό δίκτυο. Προς το παρόν έχουν φωτισμό με κηροζίνη όμως το κόστος από τα ηλιακά θα είναι το μισό. Η Κένυα είναι ο παγκόσμιος ηγέτης σε αριθμό ηλιακών συστημάτων κατά κεφαλήν: κάθε χρόνο πουλιούνται περισσότερα από 30000 μικρά ηλιακά πάνελ, 12 έως 30W.

Παρότι το 2013 τα ηλιακά συνεισέφεραν λιγότερο από 1% στο παγκόσμιο ηλεκτρικό δίκτυο, προβλέπεται ότι οι ηλιακοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής θα παράγουν περισσότερο από τη μισή ηλεκτρική ισχύ μέσα σε 50 χρόνια. Τα φωτοβολταϊκά και οι συγκεντρωτικά ηλιακά θα παίξουν μείζονα ρόλο [16].

1.1.9. ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια στην Ευρώπη

Από την αρχική επεξεργασία των Εθνικών Σχεδίων Δράσης των καρτών μελών της Ε.Ε προκύπτει ότι οι Α.Π.Ε. θα αποτελέσουν το 37% του μείγματος ηλεκτρικής ενέργειας το 2020. Το 40,6 % αυτής της συνεισφοράς θα προέλθει από αιολική ενέργεια (τα δύο τρίτα της οποίας προέρχεται από επίγεια πάρκα), οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί θα συνεισφέρουν το 30,4%, η βιομάζα το 19,1% και η ηλιακή ενέργεια το 8,5% (εκ των οποίων το 6,9% από Φ/Β) [23].

Η πιο σημαντική πρωτοβουλία, που σχετίζεται με την ανάπτυξη μιας κοινής ευρωπαϊκής πολιτικής για την ενέργεια συμφωνήθηκε στο Ευρωπαϊκό Συμβούλιο το Μάρτιο του 2007, αναφέρεται σε ένα συνολικό *Ενεργειακό Σχέδιο Δράσης*. Το κοινό Σχέδιο Δράσης, βασίζεται στην πρόταση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για μια «Ενεργειακή Πολιτική για την Ευρώπη» και καθορίζει ένα μελλοντικό πολιτικό πρόγραμμα προτείνοντας παράλληλα και τις αντίστοιχες δράσεις για την επίτευξη των στόχων της Ευρωπαϊκής Κοινότητας για αειφορία, ανταγωνιστικότητα και ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού. Η ουσιαστική υλοποίηση των πολιτικών και των δράσεων που προβλέπονται σε αυτή την απόφαση και των δεσμεύσεων των κρατών-μελών, συνοψίζεται στην επίτευξη των στρατηγικών στόχων που αναφέρονται ως τα τρία εικοσάρια, «20-20-20»: μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 20% σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990, αύξηση του μεριδίου των ανανεώσιμων πηγών στην τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%, και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά 20% έως το 2020.

Στο πλαίσιο αυτό, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κατάστρωσε το *Στρατηγικό Σχέδιο Ενεργειακών Τεχνολογιών - ΣΕΤ* (Strategic Energy Technology Plan, SET-Plan 2020) το οποίο στοχεύει στο να προχωρήσουν ταχύτερα οι ενεργειακές τεχνολογίες σε ένα μέλλον με χαμηλές εκπομπές άνθρακα. Το Σχέδιο ΣΕΤ θα συμβάλει στην επιτάχυνση του ρυθμού ανάπτυξης και ευρείας εφαρμογής καθαρών, βιώσιμων και αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών, ενώ ταυτόχρονα θα προωθήσει την πρωτοπορία της ΕΕ στους σχετικούς τομείς της έρευνας και της ανάπτυξης. Οι τεχνολογίες αυτές θα καταστήσουν επίσης δυνατή την επίτευξη των φιλόδοξων ενεργειακών και κλιματικών στόχων της ΕΕ για το 2020 (τετραπλασιάζοντας το σύνολο των επενδύσεων στην ενεργειακή Ε&Α, ειδικότερα στον τομέα της ανανεώσιμης ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης), όπως και την πρόθεση της ΕΕ για μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα μέχρι το 2050. Η υλοποίηση του Σχεδίου ΣΕΤ σημείωσε ικανοποιητική πρόοδο το 2009.

Η πιο σημαντική ίσως θεσμική μεταβολή στο χώρο της ενέργειας κατά το 2009, αποτέλεσε η ψήφιση της *Οδηγίας σχετικά με την Προώθηση της Χρήσης Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές (2009/28/ΕΚ)*, η οποία αποτελεί ένα ιστορικό ορόσημο για την ευρωπαϊκή νομοθεσία. Θέτει ως συνολικό στόχο το 20% της τελικής κατανάλωσης ενέργειας της ΕΕ-27 να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας το 2020. Για την Ελλάδα ο αντίστοιχος στόχος προσδιορίζεται στο 18%. Η Οδηγία παρέχει την απαιτούμενη πολιτική στήριξη στις αγορές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας οι οποίες παρουσιάζουν τεράστιες προοπτικές οικονομικής ανάπτυξης και δημιουργίας θέσεων απασχόλησης. Συγκεκριμένα, τα κράτη μέλη της ΕΕ-27 υποχρεώνονται δυνάμει της Οδηγίας να υποβάλλουν ως τις 30/06/2010 Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ανανεώσιμη Ενέργεια (ΕΣΔΑΕ) βάσει υποδείγματος που παρέχεται από την ΕΕ. Σύμφωνα με τη νέα Οδηγία για τη χρήση ενέργειας από ΑΠΕ:

- Τίθεται νομικά δεσμευτικός στόχος 20% συμμετοχή των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2020, συμπεριλαμβανομένου ποσοστού 10% συμμετοχής τους στον τομέα μεταφορών
- Προβλέπεται για πρώτη φορά αξιοποίηση των ΑΠΕ για όλες τις ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτροπαραγωγή, ψύξη/ θέρμανση, μεταφορές/βιοκαύσιμα)

- Η εξειδίκευση σε εθνικούς στόχους στηρίζεται στο ΑΕΠ με σημείο εκκίνησης το ποσοστό συμμετοχής των ΑΠΕ σε κάθε κράτος-μέλος κατά το έτος 2005, με το συγκεκριμένο ποσοστό για την Ελλάδα να προσδιορίζεται στο 18%
- Προτείνεται εμπορία εγγυήσεων προέλευσης και παράλληλα δυνατότητα διατήρησης των εθνικών συστημάτων υποστήριξης (π.χ. feed-in tariffs).

Παράλληλα, για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια, τα κτίρια θα κατηγοριοποιούνται και θα καθορίζονται οι ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή τους απόδοση, ενώ προβλέπεται και αναθεώρηση των απαιτήσεων αυτών σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Επίσης, θα εκδίδεται πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, το οποίο θα είναι απαραίτητο για την ενοικίαση ή την πώλησή τους. Επιπρόσθετα, καθιερώνονται πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης των λεβήτων θέρμανσης, καθώς και των εγκαταστάσεων κλιματισμού τους. Η χορήγηση των ανωτέρω πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης θα γίνεται από ειδικευμένους και διαπιστευμένους ενεργειακούς επιθεωρητές [24].

Την περίοδο 1990-2001, η μέση ετήσια αύξηση της ευρωπαϊκής αγοράς ηλιοθερμικών συστημάτων ήταν 13,6%. Κάθε χρόνο, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) εγκαθίστανται πάνω από 10^6 m² συλλεκτών, ενώ τα συνολικά εγκατεστημένα συστήματα (επίπεδοι συλλέκτες με κάλυμμα) ανέρχονται περίπου σε $11 \cdot 10^6$ m². Αν μάλιστα προσθέσει κανείς και τα μικρότερα μερίδια των συλλεκτών με σωλήνες κενού και τους συλλέκτες χωρίς κάλυμμα, τότε φτάνει στα $12,8 \cdot 10^6$ m² ηλιακών συλλεκτών ή αλλιώς σε 34 m² ανά 1000 ευρώ. Η συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών για θέρμανση νερού στην ΕΕ υπολογίζεται ότι είναι $43 \cdot 10^6$ m² (με δυναμικό που φτάνει τα $1,4 \cdot 10^9$ m²) η οποία ισοδυναμεί με 30,2GWth.

Πίνακας 1.1. Εκτιμώμενη επιφάνεια εγκατεστημένων οικιακών ηλιακών θερμοσιφωνικών συστημάτων

Χώρα	Επιφάνεια (m ²)	Χώρα	Επιφάνεια (m ²)
Αυστρία	1.476.000	Ιρλανδία	1.200
Βέλγιο	19.500	Ιταλία	244.000
Κίνα	10.000.000	Κάτω Χώρες	146.000
Δανία	282.000	Νορβηγία	5.000
Φιλανδία	12.000	Πορτογαλία	219.000
Γαλλία	296.000	Ισπανία	313.000
Γερμανία	2.290.000	Σουηδία	157.000
Ελλάδα	2.645.000	Ελβετία	241.000
		Ηνωμένο Βασίλειο	141.000

Η εντυπωσιακή κατά τα άλλα αύξηση των ηλιακών συλλεκτών είναι αποτέλεσμα κυρίως της δυναμικής ανάπτυξης που γνώρισαν τρεις χώρες: η Γερμανία, η Αυστρία και η Ελλάδα. Η Γερμανία, για παράδειγμα είχε εγκατεστημένα $4,4 \cdot 10^6$ m² συλλεκτών στα τέλη του 2002, ενώ η Ελλάδα είχε κάτι λιγότερο από $3 \cdot 10^6$ m² συλλεκτών και η Αυστρία με περίπου $2,5 \cdot 10^6$ m² συλλεκτών αποτελεί πια τη δεύτερη αγορά στην ΕΕ με βάση τις ετήσιες εγχώριες πωλήσεις συστημάτων. Η Κύπρος, όπου πάνω από το 90% των κατοικιών είναι εξοπλισμένα με ηλιακούς συλλέκτες, έχει τον υψηλότερο δείκτη στην Ευρώπη με 554,0kWh/1000 κατοίκους και ακολουθεί η Αυστρία με 314,5kWh/1000 κατοίκους και η Ελλάδα με 265,8kWh/1000 κατοίκους.

1.1.10. ΑΠΕ και ηλιακή ενέργεια στην Ελλάδα

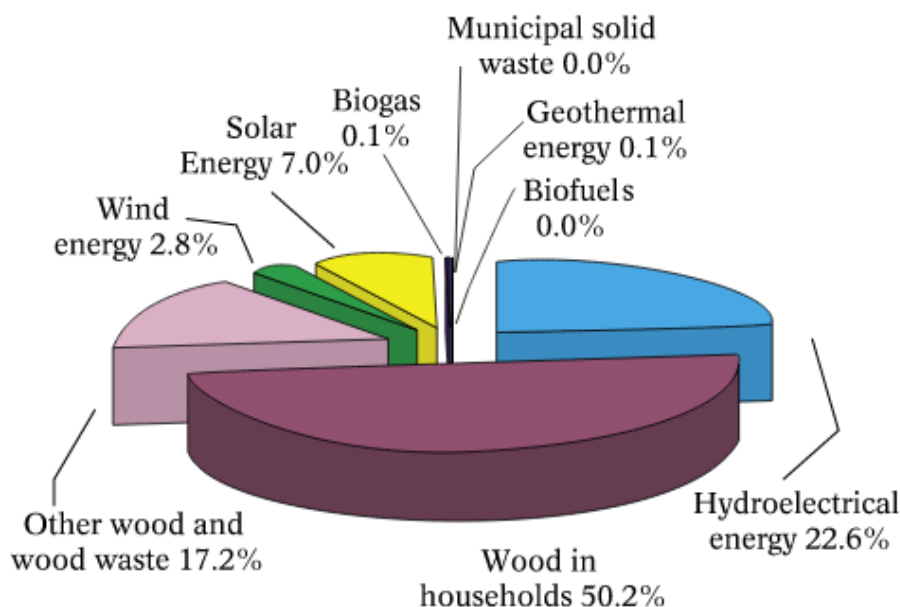
Η συνεισφορά των ΑΠΕ στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο είναι της τάξης του 5,6%, σε επίπεδο συνολικής ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης, και της τάξης του 17,7%, σε επίπεδο εγχώριας παραγωγής πρωτογενούς ενέργειας. Η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ το 2008 ήταν 1,8 Mtoe, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του 90 ήταν 1,2 Mtoe. Εξ' αυτών 600 ktoe περίπου οφείλονται στη χρήση βιομάζας στα νοικοκυριά, 264 ktoe στη χρήση βιομάζας στη βιομηχανία για ίδιες ανάγκες (συνολικό ποσοστό της βιομάζας 53,6%), από την παραγωγή βιοκαυσίμων 63 ktoe (3,5%), 357 ktoe (19,7%) από την παραγωγή των υδροηλεκτρικών σταθμών, 193 ktoe (10,7%) από την παραγωγή των αιολικών, 174 ktoe (9,6%) από την παραγωγή των θερμικών ηλιακών συστημάτων, 35 ktoe (2%) από το βιοαέριο, κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, και 17 ktoe (1%) από την παραγωγή γεωθερμικών συστημάτων.

Η συνεισφορά των ΑΠΕ στην ακαθάριστη εγχώρια κατανάλωση ενέργειας είναι σταθερή και κυμαίνεται σε ποσοστό της τάξεως του 5,5 - 6,5%. Ο λόγος είναι ότι η παραγωγή πρωτογενούς ενέργειας από ΑΠΕ οφείλεται κατά μεγάλο ποσοστό στη βιομάζα που καταναλώνεται στον οικιακό τομέα και στα μεγάλα υδροηλεκτρικά που παραμένουν σε σταθερά ποσοστά και που δεν αφαιρέσει κανείς τη βιομάζα στον οικιακό τομέα και τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, παρουσιάζει μια σταθερά ανοδική πορεία λόγω των μέτρων οικονομικής υποστήριξης. Η ηλεκτροπαραγωγή από «συμβατικές» ΑΠΕ στην Ελλάδα (μη συμπεριλαμβανομένων των μεγάλων υδροηλεκτρικών και των αντλητικών) παρουσιάζει σημαντική αύξηση τα τελευταία χρόνια και αντιστοιχεί στο 4,3% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αφορά κυρίως σε αιολικά και μικρά υδροηλεκτρικά, σε μικρό βαθμό τη βιομάζα ενώ ήδη γίνεται πολύ αισθητή και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών.

Σημαντική εξέλιξη στα θέματα αυτά, κατά το 2009 στην Ελλάδα, υπήρξε η ψήφιση του Νόμου 3734/2009 (ΦΕΚ Α' 8/28-1-09): «Πρωώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις». Με το νόμο αυτό γίνεται εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας με την Οδηγία 2004/8/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 11ης Φεβρουαρίου 2004 για την προώθηση της συμπαραγωγής ενέργειας βάσει της ζήτησης για χρήσιμη θερμότητα στην εσωτερική αγορά ενέργειας και για την τροποποίηση της Οδηγίας 92/42/ΕΟΚ (ΕΕ L 52/50) και συμπλήρωση του νομικού πλαισίου για την προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας. Ο νόμος αυτός έχει τροποποιητικές διατάξεις σε σχέση με τους Ν.3468/2006 και Ν. 3199/2003, και απλοποιεί τις διαδικασίες εγκαταστάσεων Φ/Β και των ΑΠΕ γενικότερα.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ένα νέο Πρόγραμμα Ανάπτυξης των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων σε Κτίρια, στοχεύοντας να βοηθήσει στη ανάπτυξη λογικής διεσπαρμένης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και στην αντιμετώπιση συγκεκριμένων αναγκών στον οικιακό τομέα αναφορικά με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, θεσπίστηκε το 2009 Ειδικό Πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων (ΦΒΣ) σε κτιριακές εγκαταστάσεις και ιδίως σε δώματα και στέγες κτιρίων. Το Πρόγραμμα αφορά στην εγκατάσταση συστημάτων μέχρι 10 kWp σε κατοικίες και πολύ μικρές επιχειρήσεις, στο Ηπειρωτικό Σύστημα και στα Διασυνδεδεμένα Νησιά και εφαρμόζεται από την 1^η Ιουλίου 2009. Η τιμή της παραγόμενης από το φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που εγχέεται στο δίκτυο ορίζεται σε 0,55 Ευρώ/kWh για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται τα έτη 2009, 2010 και 2011 και μειώνεται κατά 5% ετησίως για τις Συμβάσεις Συμψηφισμού που συνάπτονται το διάστημα από 01.01.2012 μέχρι και 31.12.2019. Το Πρόγραμμα αυτό δίνει κίνητρα με τη μορφή ενίσχυσης της παραγόμενης ηλιακής κλοβατώρας, ώστε ο οικιακός καταναλωτής ή μία μικρή επιχείρηση να κάνουν απόσβεση του συστήματος που εγκατέστησαν και να έχουν ένα λογικό κέρδος για τις υπηρεσίες (ενεργειακές και περιβαλλοντικές) που παρέχουν στο δίκτυο. Λαμβάνοντας υπόψη τα μεγάλα υδροηλεκτρικά (εξαιρώντας την παραγωγή από άντληση), η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ είναι στα επίπεδα του 9% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται κυρίως από τις θερμικές χρήσεις της βιομάζας, τα ενεργητικά ηλιακά, και τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Η μεγάλη ανάπτυξη της βιομηχανίας ηλιακών συλλεκτών κατά τις τελευταίες δεκαετίες έχει οδηγήσει την Ελλάδα στη δεύτερη θέση σε εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Θα μπορούσε κανείς να πει ότι η ελληνική αγορά θερμότητας από ΑΠΕ είναι σε στάδιο εκκίνησης. Ένα προνομιακό πεδίο για τη θερμική διείσδυση των ΑΠΕ φαίνεται να είναι ο κτιριακός τομέας, σε συνδυασμό πάντοτε με την αναθεώρηση της εθνικής νομοθεσίας για τα «κτίρια αυξημένης ενεργειακής αποδοτικότητας».

RES Primary Energy Production in 2000 breakdown by source



Εικόνα 1.8. Κατανομή πηγών ενέργειας Ελλάδας το 2000 [25]

Πίνακας 1: Ισχύς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (MW), Επιφάνεια Ηλιακών Συλλεκτών και Βιοαέριο																			
Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Σύνολο	2.411	2.515	2.541	2.552	2.552	2.552	2.551	2.757	2.396	3.068	3.299	3.369	3.388	3.473	3.597	3.621	3.902	4.044	4.250
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	2.408	2.512	2.523	2.523	2.523	2.523	2.522	2.723	2.356	2.959	3.072	3.076	3.078	3.079	3.099	3.105	3.124	3.150	3.176
εκ των οποίων αντλητικά συστήματα	315	315	315	315	315	315	315	520	615	615	699	699	699	699	699	699	699	699	699
Υ/Η <1 MW*	2	2	2	2	3	3	3	4	5	8	14	15	17	19	23	25	31	37	44
Υ/Η 1-10 MW*	28	28	39	39	39	39	39	39	40	42	42	45	45	50	59	64	77	95	114
Υ/Η 10+MW*	2.063	2.167	2.167	2.167	2.166	2.166	2.165	2.166	2.197	2.294	2.317	2.317	2.317	2.311	2.317	2.317	2.317	2.319	2.319
Γεωθερμία	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Φωτοβολταϊκά	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	5	9	12
Αιολική Ενέργεια	1	1	16	27	27	27	27	27	38	109	226	270	287	371	472	491	749	846	1022
Βιοαέριο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	22	22	22	24	24	24	39	40
Επιφάνεια Ηλιακών Συλλεκτών (1000 m ²)	1.448	1.610	1.759	1.878	1.991	2.101	2.168	2.223	2.381	2.440	2.941	2.992	3.050	3.140	3.246	3.047	3.296	3.573	3.871
Βιοαέριο (τόννοις)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	395.000	575.000	575.000

* δεν συμπεριλαμβάνεται η ισχύς των αντλητικών

Πίνακας 1.2

Πίνακας 2: Μικτή Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας (GWh)																			
Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Σύνολο	2.023	3.183	2.417	2.686	2.973	3.843	4.556	4.156	3.949	5.028	4.562	3.560	4.240	6.459	6.450	6.999	8.077	5.356	6.586
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	2.021	3.181	2.408	2.639	2.936	3.808	4.518	4.119	3.876	4.865	4.111	2.725	3.463	5.332	5.205	5.610	6.292	3.377	4.149
εκ των οποίων αντλητικά συστήματα	228	72	186	259	243	253	156	214	149	237	418	628	663	566	533	593	427	785	837
Υ/Η <1 MW*	6	5	5	5	8	7	7	11	8	18	26	40	58	76	91	106	89	118	117
Υ/Η 1-10 MW*	54	70	43	77	97	89	119	138	137	164	140	95	92	169	212	218	299	177	207
Υ/Η 10+MW*	1.733	3.034	2.174	2.297	2.589	3.460	4.236	3.756	3.582	4.446	3.527	1.962	2.650	4.521	4.369	4.693	5.477	2.297	2.987
Αιολική Ενέργεια	2	2	8	47	37	34	38	37	73	162	451	756	651	1.021	1.121	1.266	1.699	1.818	2.242
Βιοαέριο	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	79	126	105	123	122	85	160	191
Φωτοβολταϊκά	0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,5	0,6	0,8	0,9	1,3	1,4	5

* δεν συμπεριλαμβάνεται η παραγωγή των αντλητικών

Πίνακας 1.3

Πίνακας 3: Πρωτογενής Παραγωγή από ΑΠΕ (ktoe)																				
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	174	274	207	227	253	328	389	354	334	419	354	235	298	459	448	483	541	291	357	
εκ των οποίων αντλητικά συστήματα	20	6	16	22	21	22	13	18	13	20	36	54	57	49	46	51	37	68	72	
Υ/Η < 1 MW*	1	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	3	5	7	8	9	8	10	10	
Υ/Η 1-10 MW*	5	6	4	7	8	8	10	12	12	14	12	8	8	15	18	19	26	15	18	
Υ/Η 10+MW*	149	261	187	198	223	298	365	323	308	383	304	169	228	389	376	404	471	198	257	
Βιομάζα	893	897	899	899	894	897	908	911	907	911	945	938	948	910	917	957	931	1.005	970	
στον Οικιακό Τομέα	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	702	755	599	
στη Βιομηχανία κτλ	191	195	196	197	191	195	206	209	205	209	243	236	246	207	215	255	229	250	264	
Βιοκαύσιμα	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	83	63
Αιολική Ενέργεια	0	0	1	4	3	3	3	3	6	14	39	65	56	88	96	109	146	156	193	
Φωτοβολταϊκά	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ηλιακή Ενέργεια	56	63	70	75	79	82	86	89	93	97	99	101	99	99	108	101	109	160	174	
Βιοαέριο	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	33	48	36	36	33	33	35	35	
Γεωθερμία	3	3	3	3	4	3	3	2	3	2	2	2	1	1	1	1	11	14	17	
Σύνολο	1.127	1.237	1.180	1.209	1.233	1.314	1.389	1.361	1.343	1.443	1.439	1.373	1.451	1.592	1.606	1.684	1.814	1.744	1.809	
Σύνολο χωρίς αντλητικά	1.107	1.231	1.164	1.187	1.212	1.292	1.376	1.342	1.330	1.423	1.403	1.319	1.393	1.544	1.560	1.633	1.777	1.676	1.737	
Σύνολο χωρίς μεγάλα Υ/Η αντλητικά, και Βιομάζα στον Οικιακό τομέα	256	268	274	287	287	292	309	317	320	338	397	448	463	452	482	527	561	641	881	

* δεν συμπεριλαμβάνεται η παραγωγή των αντλητικών

Πίνακας 1.4

Πίνακας 4: Συμμετοχή των ΑΠΕ στο Ενεργειακό Ισοζύγιο																			
Τεχνολογία ΑΠΕ	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Πρωτογενής Παραγωγή από ΑΠΕ (ktoe)	1.127	1.237	1.180	1.209	1.233	1.314	1.389	1.361	1.343	1.443	1.439	1.373	1.451	1.592	1.606	1.684	1.814	1.744	1.809
Παραγωγή από ΑΠΕ χωρίς μεγάλα Υ/Η, αντλητικά, και Βιομάζα στον Οικιακό τομέα (ktoe)	256	268	274	287	287	292	309	317	320	338	397	448	463	452	482	527	561	641	881
Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση (ktoe)	22.338	22.512	23.174	22.746	23.709	24.228	25.476	25.688	26.987	26.867	28.217	29.061	29.856	30.307	30.773	31.352	31.509	33.488	31.938
Συμμετοχή των ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Εγχώρια Κατανάλωση (ktoe)	5,0%	5,5%	5,1%	5,3%	5,2%	5,4%	5,5%	5,3%	5,0%	5,4%	5,1%	4,7%	4,9%	5,3%	5,2%	5,2%	5,8%	5,2%	5,7%
Σύνολο ΑΠΕ, εκτός μεγάλων Υ/Η, αντλητικών και Βιομάζας στον Οικιακό τομέα (ktoe)	1,1%	1,2%	1,2%	1,3%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,2%	1,3%	1,4%	1,5%	1,6%	1,49%	1,57%	1,68%	1,91%	2,16%	2,76%

Πίνακας 1.5 [24]

Το 2010 η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σταθμών Α.Π.Ε. αυξήθηκε κατά 20% σε σχέση με το 2009, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι το αντίστοιχο ποσοστό για τα φωτοβολταϊκά προσεγγίζει το 274%. Για την επίτευξη των φιλόδοξων εθνικών και ευρωπαϊκών στόχων απαιτείται να ενταθούν οι ρυθμοί ανάπτυξης. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται μια βραχυπρόθεσμη εκτίμηση της εξέλιξης της εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. της Υπηρεσίας Α.Π.Ε.. Στον πίνακα περιλαμβάνονται δεδομένα λειτουργίας για το 2009 και 2010 ενώ η εκτίμηση για το 2011 βασίζεται σε πραγματικά στοιχεία (φάση κατασκευής) και για το 2012 στην αδειοδοτική ωριμότητα των έργων.

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	Εγκατεστημένη ισχύς (MW) – Ετήσια αύξηση (%)						
	2009	2010	%	2011 (εκτίμηση)	%	2012 (εκτίμηση)	%
Αιολικά	1166.9	1297.7	11	1600	23	1900-2000	19-25
Βιομάζα	43.3	44.0	2	45	2	50-80	11-78
Μικρά Υ/Η	182.6	196.3	8	210	7	230-250	10-19
Φ/Β	53.0	198.3	274	400	102	650-750	63-88
Σύνολο	1445.8	1736.3	20	2255	30	2830-3080	25-37

Πίνακας 1.6

Η διείσδυση των Φ/Β συστημάτων είναι μεγαλύτερη της προβλεπόμενης στο Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Α.Π.Ε. και η τάση της δείχνει ότι θα ικανοποιηθεί ο στόχος για το 2014 που προκύπτει από την Υπουργική Απόφαση για την «Επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και την κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Α.Π.Ε.»[23].

Η πολιτική ανανεώσιμης ενέργειας στην Ελλάδα κατευθύνεται από απαιτήσεις της ΕΕ. Οι μη-δεσμευτικοί στόχοι για τα βιοκαύσιμα και τον ηλεκτρισμό από ανανεώσιμες πηγές για το 2010 έχουν αντικατασταθεί από δεσμευτικό στόχο αύξησης του μεριδίου της ανανεώσιμης ενέργειας στη μεικτή τελική κατανάλωση ενέργειας έως το 2020. Σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ133, η Ελλάδα πρέπει να αυξήσει το μερίδιό της από 6,9% το 2005 σε 18% το 2020.¹³⁴ Ο γενικός στόχος για την ΕΕ είναι 20% έως το 2020. Η οδηγία περιλαμβάνει επίσης ξεχωριστό στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές να παρέχουν το 10% της τελικής ενέργειας στο τομέα των μεταφορών έως το 2020 (IEA, 2011b). Η οδηγία της ΕΕ μεταφέρθηκε στην εθνική νομοθεσία με τον Νόμο 3851/2010 (Επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής) που τέθηκε σε ισχύ στις 4 Ιουνίου 2010. Ο νόμος θέτει πιο φιλόδοξο στόχο από ότι η οδηγία: 20% της μεικτής τελικής κατανάλωσης ενέργειας, αντί του 18% που απαιτείται από την οδηγία. Ο νόμος θέτει επίσης συγκεκριμένο στόχο για τις ανανεώσιμες πηγές να παράγουν το 40% όλης της ηλεκτρικής ενέργειας το 2020 και να παράσχουν το 20% της πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και ψύξη το 2020 (IEA, 2006b, 2011b).

Η κυβέρνηση σχεδιάζει να φτάσει τους στόχους ανανεώσιμης ενέργειας του 2020 μέσω συνδυασμού μέτρων για την ενεργειακή αποδοτικότητα και την ανανεώσιμη ενέργεια. Πολιτικές και μέτρα προς τον σκοπό αυτό περιγράφονται στο *Εθνικό Σχέδιο Δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΕΣΔΑΕ)* του Ιουλίου 2010. Παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

	2005		2010		2015		2020	
	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh	MW	GWh
Υδροηλεκτρική:								
<1MW	26	106	29	112	34	131	39	150
1-10 MW	63	218	154	593	185	713	216	833
>10MW	3018	4693	3054	4283	3396	4840	4276	5593
Από τα οποία άντλησης	700	593	700	776	700	774	1580	1703
Γεωθερμική	0		0	0	20	123	120	736
Ηλιακή :								
Φ/Β	1		184	242	1270	1668	2200	2891
Συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας	0.9		0	0	30	86	250	714
Παλιρροϊκή , Κυματική Ωκεάνια								
Αιολική :								
Χερσαία υπεράκτια	491	1267	1327	3129	4303	9674	7200	16125
							300	672
Βιομάζα:								
Στερεά			20	73	20	73	40	364
Βιοαέριο	24	94	40	181	100	431	210	895
Σύνολο	2923	5786	4107	7838	8658	16967	13271	27269
Από τα οποία συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας			20	73	20	73	40	147

Πίνακας 1.7

Σύμφωνα με το ΕΣΔΑΕ, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές πρέπει να τριπλασιαστεί - και παραπάνω - από το 2010 για να φτάσει τον στόχο του 40% το 2020 σε όλη τη παραγωγή ηλεκτρισμού. Το σενάριο συμμόρφωσης του ΕΣΔΑΕ προβλέπει την εγκατάσταση σχεδόν 7,5 GW αιολικής ενέργειας έως το 2020, μαζί με 2,2 GW PV, 250 MW μονάδων συγκέντρωσης ηλιακής ενέργειας, 250 MW εγκαταστάσεων βιοενέργειας (βιοαέριο και στερεή βιομάζα), 250 MW μικρών υδραυλικών μονάδων και 120 MW γεωθερμικής ενέργειας. Προβλέπει επίσης 350 MW νέας μεγάλης υδραυλικής ισχύος και 880 MW μονάδων αποθήκευσης μέσω άντλησης, που αποτελούν το 40% του μεριδίου της ανανεώσιμης ενέργειας στην παραγωγή ηλεκτρισμού. Για να επιτευχθεί ο στόχος, η κυβέρνηση αύξησε τα τιμολόγια τροφοδότησης και μείωσε τη διάρκεια των διαδικασιών χορήγησης αδειών [26].

Η Ελλάδα είναι χώρα προηγμένη όσον αφορά την κατασκευή και χρήση του ηλιακού συλλέκτη. Μάλιστα για πολλά χρόνια ο αριθμός των εγκατεστημένων ηλιακών συστημάτων ήταν ο υψηλότερος στην Ευρώπη. Το 2004, οι πωλήσεις των νέων ηλιακών συστημάτων θερμοσιφώνων υπολογίστηκαν ότι ήταν συνολικής μέγιστης θερμικής ισχύος 179 KW (kW_{rth}), αυξάνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ σε περίπου 2 GW_{rth}, πράγμα που

σημαίνει ότι η Ελλάδα είχε τη δεύτερη υψηλότερη εγκατεστημένη ηλιακή θερμική ισχύ στην ΕΕ, μετά τη Γερμανία.

Η εφαρμογή ενεργητικών ηλιακών συστημάτων ξεκίνησε στην Ελλάδα στα μέσα της δεκαετίας του '70. Το κυριότερο προϊόν των ηλιακών θερμικών συστημάτων ήταν και εξακολουθεί να είναι ο οικιακός ηλιακός θερμοσίφωνας. Η χρήση ηλεκτρικών καυστήρων σχεδόν σε κάθε νοικοκυριό σε συνδυασμό με την πετρελαϊκή κρίση και την αύξηση της τιμής του πετρελαίου, έθεσε τις βάσεις για την αγορά ηλιακών να αναπτυχθεί. Η Ένωση βιομηχανιών ηλιακής ενέργειας (ΕΒΗΕ) δημιουργήθηκε το 1978.

Μέχρι το 1987 η αγορά αναπτυσσόταν σταθερά. Το 1984 – 1986, μία μεγάλης κλίμακας διαφημιστική καμπάνια υποστηριζόμενη από την ελληνική κυβέρνηση ανέβασε τις πωλήσεις των ηλιακών συλλεκτών σε 218000 m². Υπολογίζεται ότι τότε υπήρχαν περίπου 300 κατασκευαστές ηλιακών συστημάτων, εκ των οποίων τα περισσότερα παράγονταν εγχώρια, ενώ κάποια εισάγονταν από το Ισραήλ. Από εκείνη την εποχή, ο ρυθμός ανάπτυξης της αγοράς τους έμεινε σταθερός ενώ είχε αρχίσει η ευρεία εφαρμογή των ηλιακών σε σπίτια. Το πρόγραμμα διαχείρισης ενέργειας (1996 – 2001) χρηματοδότησε έως και 50% τις εγκαταστάσεις κεντρικών ηλιακών συστημάτων στον τριτογενή τομέα και στη βιομηχανία. Μέχρι το 2010, 45 κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών παράγουν περισσότερα από 300000 m² συλλεκτών ετησίως. Εισαγωγές ηλιακών συλλεκτών γίνονται από 3 εταιρίες και περιορίζονται σε 5000 m² ετησίως.

Στο τέλος του 2000 η συνολική επιφάνεια εγκατεστημένων ηλιακών σε λειτουργία στην Ελλάδα ήταν 2,94 εκατομμύρια m².

Όσον αφορά τη χρήση τους, το 99% προορίζεται για οικιακή χρήση, το 0,75% είναι μεγάλης κλίμακας και παρέχει ζεστό νερό στον τριτογενή τομέα (ξενοδοχεία, νοσοκομεία, πισίνες), και το 0,17 % (5,118 m²) είναι μεγάλα συστήματα για ζεστό νερό, κλιματισμό και θέρμανση χώρων στη βιομηχανία [25], [27].

Year	Production (GWh)	% of elec. Cons in Households	Avoided emissions (Ktonnes)
1989	588	6.4%	735
1990	656	7.2%	841
1991	733	7.3%	922
1992	808	7.6%	991
1993	868	8.3%	1048
1994	914	8.4%	1086
1995	955	8.3%	1108
1996	996	8.1%	1111
1997	1037	8.3%	1215
1998	1083	8.5%	1240
1999	1123	8.3%	1217
2000	1148	8.1%	1263*

Πίνακας 1.8. Παραγωγή ενέργειας από ηλιακά, ποσοστό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώθηκε σε νοικοκυριά και αντίστοιχες αποφευχθείσες εκπομπές

	Sales (m2)			Retirements (m2)			Total Area (m2)			Active Area (m ²)			Energy Production (GWh)		
	Households	Tertiary	Industry	Households	Tertiary	Industry	Households	Tertiary	Industry	Households	Tertiary	Industry	Households	Tertiary	Industry
1978	30000	0	0	0	0	0	30000	0	0	15000	0	0	6	0	0
1979	65000	0	0	0	0	0	95000	0	0	62500	0	0	25	0	0
1980	102400	600	0	0	0	0	197400	600	0	146200	300	0	58	0	0
1981	113000	0	0	0	0	0	310400	600	0	253900	600	0	101	0	0
1982	115000	0	0	0	0	0	425400	600	0	367900	600	0	146	0	0
1983	122000	0	0	62	0	0	547338	600	0	486369	600	0	193	0	0
1984	131420	580	0	235	0	0	678523	1180	0	612931	890	0	243	0	0
1985	199106	894	0	645	1	0	876984	2073	0	777753	1626	0	308	0.7	0
1986	217035	965	0	1450	2	0	1092569	3036	0	984776	2554	0	390	1.1	0
1987	166860	1140	0	2921	4	0	1256508	4171	0	1174539	3604	0	464	1.6	0
1988	154555	1445	0	5395	8	0	1405668	5608	0	1331088	4890	0	526	2.2	0
1989	164949	2551	0	9211	15	0	1561406	8144	0	1483537	6876	0	585	3.1	0
1990	201560	2440	0	14771	25	0	1748195	10559	0	1654801	9352	0	652	4.2	0
1991	225536	1464	0	21760	37	0	1951972	11986	0	1850084	11273	0	728	5.1	0
1992	209855	1145	0	31075	57	0	2130752	13074	0	2041362	12530	0	803	5.7	0
1993	165671	820	1509	41638	81	0	2254785	13814	1509	2192769	13444	755	862	6.2	0.4
1994	162650	350	0	53377	113	0	2364058	14051	1509	2309422	13932	1509	908	6.4	0.8
1995	168840	160	0	65772	156	0	2467126	14055	1509	2415592	14053	1509	949	6.4	0.8
1996	184970	30	0	78327	211	0	2573769	13873	1509	2520448	13964	1509	989	6.4	0.8
1997	196448	852	0	89906	276	0	2680311	14449	1509	2627040	14161	1509	1031	6.5	0.8
1998	232448	937	15	101435	364	0	2811324	15023	1524	2745818	14736	1517	1077	6.8	0.8
1999	184137	863	0	111510	464	0	2883951	15422	1524	2847638	15222	1524	1116	7.0	0.8
2000	170014	7386	3600	120277	576	6	2933688	22232	5118	2908820	18827	3321	1139	8.8	1.6

Πίνακας 1.9. Χρήση ηλιακών συλλεκτών τα έτη 1978 – 2000 σε νοικοκυριά, τριτογενή τομέα και βιομηχανία

Ενδιαφέρον υπάρχει για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής στην Κρήτη. Πρόσφατα έγινε αποδεκτή από το Περιφερειακό Συμβούλιο Κρήτης η Μελέτη Περιβαλλοντικών Όρων ενός ηλιοθερμικού εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρισμού ισχύος άνω των 30 MW στον Αθερινόλακκο Λασιθίου.

Σ' αυτό το σημείο ας αναφερθούμε στο τι ακριβώς σημαίνει ηλιακή ενέργεια.

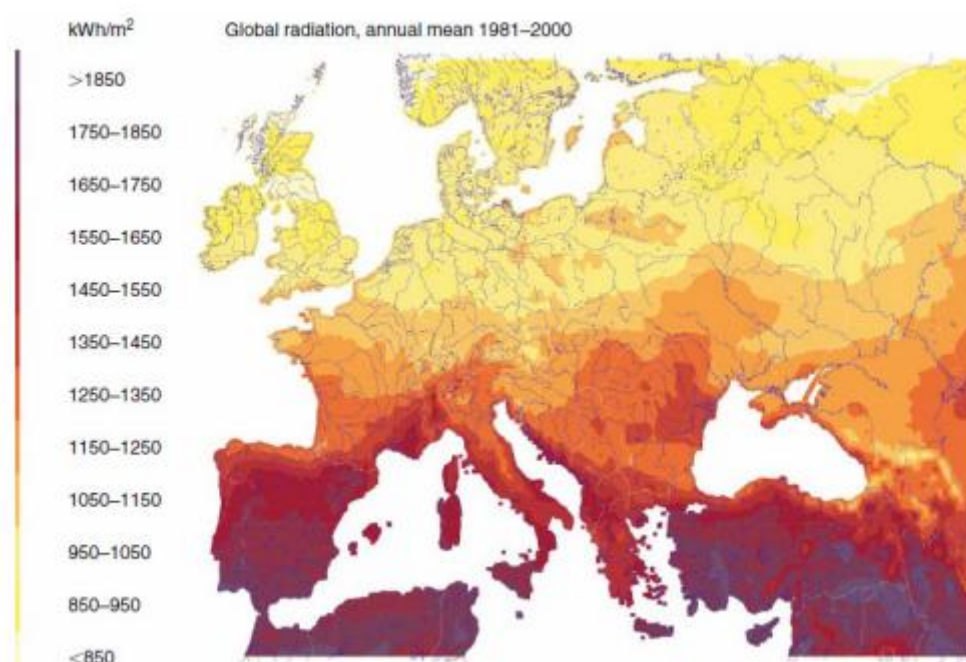
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.2.1. Εισαγωγή. Ηλιακή ακτινοβολία

Ο Ήλιος είναι μια πύρινη σφαίρα με ακτίνα 700000 km περίπου και ένας τεράστιος πυρηνικός αντιδραστήρας. Πολλές αντιδράσεις σύντηξης έχουν προταθεί με επικρατέστερη αυτήν κατά την οποία δύο άτομα υδρογόνου (δηλ. τέσσερα πρωτόνια) ενώνονται σε ένα άτομο ηλίου, η μάζα του ηλίου που προκύπτει είναι λιγότερη από τα τέσσερα αρχικά πρωτόνια και έτσι η απώλεια αυτή της μάζας μετατρέπεται σε ενέργεια. Η αντίδραση αυτή είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε m^2 της επιφάνειας του ήλιου εκπέμπει περίπου 70000 hp ενέργεια. Οι ηλιακές εκλάμψεις είναι αεριώδεις εκρήξεις που έχουν μέση επιφάνεια περίπου $10^{19} m^2$. Αυτό είναι το ένα χιλιοστό της επιφάνειας του ήλιου. Κάθε τέτοια συνηθισμένη έκλαμψη εκτινάσσεται σαν πύρινη γλώσσα, ύψους 10000 km. Η συνολική της επιφάνεια είναι αρκετή για να καλύψει ένα αντικείμενο στο μέγεθος της Γης. Στη διάρκεια των ηλιακών εκλάμψεων υπάρχει άυσηση εκπομπής ηλιακών ακτίνων χ στην ακτινοβολία υπεριώδους και ορατού φωτός. Οι ηλιακές καταιγίδες αυτές εκπέμπονται προς το διάστημα και περνώντας από τη Γη, την κατακλύζουν με πλήθος ειδών ενέργειας: κύματα, θερμότητα, πρωτόνια, νετρόνια, ηλεκτρόνια, ηλεκτρομαγνητικά κύματα και μαγνητικά πεδία. Ένα μεγάλο μέρος αυτής ανακλάται και επιστρέφει στο διάστημα ενώ ένα άλλο μέρος απορροφάται από την ιονόσφαιρα και ορισμένα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης. Η γη δέχεται από τον ήλιο την ενέργεια υπό μορφή ακτινοβολίας σε μικρά μήκη κύματος λ , έτσι ώστε το 94% της ενέργειας είναι κάτω από $\lambda=1,5\mu$ ($1\mu=1$ χιλιοστό του χιλιοστού). Το 25% της ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο ανακλάται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο απορροφάται από την ατμόσφαιρα τη στεριά και τους ωκεανούς δημιουργώντας την καθημερινή θερμοκρασία, τους ανέμους, τα ωκεάνια ρεύματα, τα σύννεφα, τη βροχή. Η ενέργεια δηλαδή του ήλιου μετατρέπεται σε θερμότητα σε μηχανική ενέργεια και πάλι σε θερμότητα. Γενικά λοιπόν, η ηλιακή ακτινοβολία δρα ευεργετικά για τη ζωή στον πλανήτη, εκτός από περιπτώσεις παρατεταμένης έκθεσης ή περιοχές έντονης ηλεκτρομαγνητικής επίδρασης. Λόγω της περιστροφής της Γης, η ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζει μία ιδιομορφία: η ενέργειά της παρουσιάζει μια μεγάλη χρονική διακύμανση, μεταξύ μιας μέγιστης τιμής κατά τη διάρκεια της μέρας και της μηδενικής τιμής κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επιπλέον, υπάρχει και μια σημαντική διακύμανση ανάλογα όχι μόνο με τη γεωγραφική θέση, αλλά και με την εποχή του έτους. Η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην εξωτερική πλευρά της γήινης ατμόσφαιρας ανέρχεται περίπου στα $1,395 \frac{KW}{m^2}$ στις 21^η Δεκεμβρίου που ο ήλιος είναι πλησιέστερα στη γη και σε $1,322 \frac{KW}{m^2}$ στις 21^η Ιουνίου που ο ήλιος είναι στην μεγαλύτερη απόσταση από τη γη. Κατά την διάρκεια του έτους, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας ποικίλει μεταξύ αυτών των δύο τιμών.

Τα 2 αυτά χαρακτηριστικά, η χρονική διακύμανση και η αραιή πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι οι κύριες αιτίες προβλημάτων στις πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής, είτε σε απευθείας ηλεκτρική ενέργεια, είτε σε θερμική ή και σε άλλες χρήσιμες μορφές.

Οι περισσότεροι άνθρωποι στον κόσμο ζουν σε περιοχές με επίπεδα ηλιοφάνειας 150 – 300 W/m² ή 3,5 – 7 kWh/m² τη μέρα. Ενώ όμως το ποσό της ηλιακής ενέργειας που πέφτει στην γη είναι τεράστιο, ελάχιστο από αυτό χρησιμοποιεί άμεσα ο άνθρωπος στο περιβάλλον του. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ενέργεια που πέφτει στην στέγη ενός μέσου σπιτιού είναι κατά 2 με 10 φορές μεγαλύτερη από της ενεργειακής ανάγκης του σπιτιού για θέρμανση και κλιματισμό [29].



Εικόνα 1.9. Ετήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια - Ευρώπη

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, χωρίζεται στην *άμεση* και *διάχυτη ακτινοβολία*. Η στιγμιαία ένταση ηλιακής ακτινοβολίας μετριέται σε W/m². Χρησιμοποιείται συνήθως το σύμβολο “G”, με κατάλληλους δείκτες σε περίπτωση που αναφερόμαστε στη άμεση (b, beam) ή στη διάχυτη (d, diffuse) ακτινοβολία. Άμεση είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης με ελάχιστη ή χωρίς σκέδαση στην ατμόσφαιρα. Διάχυτη είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της Γης αφού έχει αλλάξει η διεύθυνσή της από ανάκλαση ή σκέδαση στην ατμόσφαιρα, και από ανάκλαση στην επιφάνεια της Γης.

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Κάποιες εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας είναι: παραγωγή θερμού νερού χρήσης με ηλιακούς θερμοσίφωνες, παραγωγή ηλεκτρισμού με ατμοστρόβιλους, παραγωγή ηλεκτρισμού με φωτοβολταϊκά, χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας στα θερμοκήπια (απολύμανση του εδάφους του θερμοκηπίου με ηλιακή ενέργεια, εξοντώνοντας τους ανεπιθύμητους μικροοργανισμούς, παθητική θέρμανση του θερμοκηπίου), ηλιακή ψύξη, ηλιακή ξήρανση (ξήρανση γεωργικών προϊόντων, ξήρανση της λάσπης των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών λυμάτων ή άλλων προϊόντων), αφαλάτωση θαλάσσιου νερού, ηλιακό μαγείρεμα, ηλιακή διάσπαση νερού για παραγωγή καυσίμου υδρογόνου.

1.2.2. Ηλιακά Συστήματα

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: *τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα ή ηλιοθερμικά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα*. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου [31].

Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα. Το καλοκαίρι θα πρέπει να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία (π.χ. χρήση φυλλοβόλων δέντρων, οριζόντια σκίαση, τέντες, περσίδες) και συχνά με δυνατότητα αερισμού.

Το συνηθέστερο παθητικό ηλιακό σύστημα (σύστημα άμεσου κέρδους) βασίζεται στην αξιοποίηση των παραθύρων κατάλληλου προσανατολισμού, σε συνδυασμό με την κατάλληλη θερμική μάζα (βαριά υλικά, όπως πέτρα, πλάκες, μπετόν στους τοίχους και στα δάπεδα, χωρίς να είναι καλυμμένα, π.χ. από χαλιά), η οποία απορροφά μέρος της θερμότητας και την «προσφέρει» στο χώρο αργότερα και έτσι διατηρείται ο χώρος θερμός για πολλές ώρες. Ένα νότιο οριζόντιο σκίαστρο μπορεί να εμποδίσει τον καλοκαιρινό ήλιο που έρχεται από πιο ψηλά να μπει απ' ευθείας στο χώρο, συμβάλλοντας έτσι στο δροσισμό του χώρου.

Τα υπόλοιπα παθητικά συστήματα είναι συστήματα έμμεσου κέρδους και ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Ηλιακοί τοίχοι :** Έχουν στην εξωτερική τους πλευρά, σε μικρή απόσταση από την τοιχοποιία τζάμι (υαλοπίνακα) και λειτουργούν ως ηλιακοί συλλέκτες, μεταφέροντας τη θερμότητα είτε μέσω του υλικού του τοίχου (τοίχος θερμικής αποθήκευσης), είτε μέσω θυρίδων (θερμοσιφωνικό πανέλο) στον εσωτερικό χώρο. Συνδυασμός των δύο λειτουργιών είναι ο τοίχος μάζας με θυρίδες τοίχος Trombe - Michel .
- **Θερμοκήπια (ηλιακοί χώροι) :** Είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε νότια τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα από το θερμοκήπιο μεταφέρεται στους κυρίως χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή και διαπερνά τον τοίχο.
- **Ηλιακά αίθρια:** είναι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου οι οποίοι έχουν στην οροφή τους τζάμι και λειτουργούν όπως τα θερμοκήπια.

Όλα τα Παθητικά Ηλιακά Συστήματα πρέπει να συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου, η οποία αποθηκεύει και αποδίδει τη θερμότητα στο χώρο με χρονική υστέρηση, ομαλοποιώντας έτσι την κατανομή της θερμοκρασίας μέσα στο εικοσιτετράωρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θα πρέπει το καλοκαίρι να συνδυάζονται με ηλιοπροστασία και συχνά με δυνατότητα αερισμού [32].

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό. Η "καρδιά" ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης (για θερμό νερό, θέρμανση-ψύξη χώρων, βιομηχανική θερμότητα, παραγωγή έργου ή ηλεκτρισμού)

1.2.3. Ηλιακοί συλλέκτες

Οι συλλέκτες ηλιακής ενέργειας είναι ειδικοί τύποι εναλλακτών θερμότητας οι οποίοι μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε εσωτερική ενέργεια ενός ρευστού μέσου. Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές οι οποίες απορροφούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, την μετατρέπουν σε θερμότητα και εν συνεχεία μεταφέρουν την θερμότητα αυτή σε ένα ρευστό (συνήθως αέρας, νερό ή λάδι) που ρέει διαμέσου αυτών. Η ηλιακή ενέργεια, που λαμβάνεται κατ' αυτόν τον τρόπο, μεταφέρεται από το κυκλοφορούν ρευστό είτε άμεσα στο ζεστό νερό ή στον κλιματιζόμενο χώρο, είτε σε μία δεξαμενή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας, από την οποία μπορεί να αντληθεί για χρήση τις νυχτερινές ώρες και /ή τις μέρες που έχει συννεφιά.

Οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίζονται σε *σταθερούς* και σε *κινούμενους* (ως προς έναν ή ως προς 2 άξονες για παρακολούθηση του ήλιου) και σε *συγκεντρωτικούς* και *μη-συγκεντρωτικούς*. Ένας μη-συγκεντρωτικός συλλέκτης έχει την ίδια περιοχή τόσο για να λαμβάνει όσο και για να απορροφά ηλιακή ακτινοβολία, ενώ ένας συγκεντρωτικός συλλέκτης ο οποίος συνήθως ακολουθεί τον ήλιο έχει συνήθως κοίλες ανακλαστικές επιφάνειες για να λαμβάνει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (beam radiation) και να την συγκεντρώνει σε μια επιφάνεια λήψης (απορρόφησης), αυξάνοντας έτσι την ροή ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία της ενέργειας που προσλαμβάνεται μπορεί να αυξηθεί μειώνοντας την επιφάνεια η οποία παρουσιάζει απώλεια θερμότητας. Θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες από αυτές που είναι εφικτές με τους FPCs μπορούν να επιτευχθούν εφόσον ένα μεγάλο μέρος της ηλιακή ακτινοβολίας συγκεντρωθεί σε μία σχετικώς μικρή επιφάνεια συλλογής. Αυτό γίνεται με παρεμβολή μιας οπτικής συσκευής μεταξύ της πηγής της ακτινοβολίας και την επιφάνειας που την απορροφά. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες έχουν κάποια πλεονεκτήματα συγκρινόμενοι με τους επίπεδους συλλέκτες. Τα κύρια από αυτά είναι:

1. Το ρευστό εργασίας μπορεί να φτάσει σε υψηλότερες θερμοκρασίες σε ένα συγκεντρωτικό σύστημα, συγκρινόμενο με αυτές ενός συστήματος επίπεδου συλλέκτη. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα μπορεί να πετύχει υψηλότερο θερμοδυναμικό βαθμό απόδοσης.
2. Η θερμική απόδοση είναι μεγαλύτερη εξαιτίας της μικρότερης επιφάνειας από την οποία πραγματοποιούνται απώλειες θερμότητας, σε σχέση με την επιφάνεια του δέκτη.
3. Οι ανακλαστικές επιφάνειες απαιτούν λιγότερο υλικό και είναι δομικά απλούστερες από ένα FPC. Για ένα συγκεντρωτικό συλλέκτη το κόστος ανά μονάδα συλλεκτικής επιφάνειας είναι μικρότερο σε σχέση με ενός FPC.
4. Εξαιτίας της μικρής επιφάνειας του απορροφητικού στοιχείου ανά μονάδα επιφάνειας συλλέκτη, τεχνικές όπως, χρήση επιλεκτικών επιφανειών και μόνωση μέσω κενού έτσι ώστε να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας, είναι οικονομικά δυνατές.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, τα κύρια μειονεκτήματα τους είναι:

1. Τα συγκεντρωτικά συστήματα συλλέγουν ελάχιστη ακτινοβολία διάχυσης ανάλογα με τον λόγο συγκέντρωσής τους
2. Κάποιο είδος μηχανισμού παρακολούθησης της φαινομενικής πορείας του Ήλιου στον ουράνιο θόλο είναι συνήθως απαραίτητο (εκτός από τους CPC).
3. Οι ηλιακοί ανακλαστήρες μπορεί να χάσουν την ανακλαστική τους ικανότητα με την πάροδο του χρόνου και έτσι είναι απαραίτητο το περιοδικό καθάρισμα και αναστίλβωση αυτών.

Πολλά σχέδια συγκεντρωτικών συλλεκτών έχουν συζητηθεί. Μπορεί να χρησιμοποιούν ανακλαστήρες ή διαθλαστικούς φακούς, μπορεί να είναι κυλινδρικοί ή παραβολικοί και επίσης μπορεί να είναι συνεχείς ή τμηματικοί. Οι δέκτες μπορεί να είναι κυρτοί, επίπεδοι,

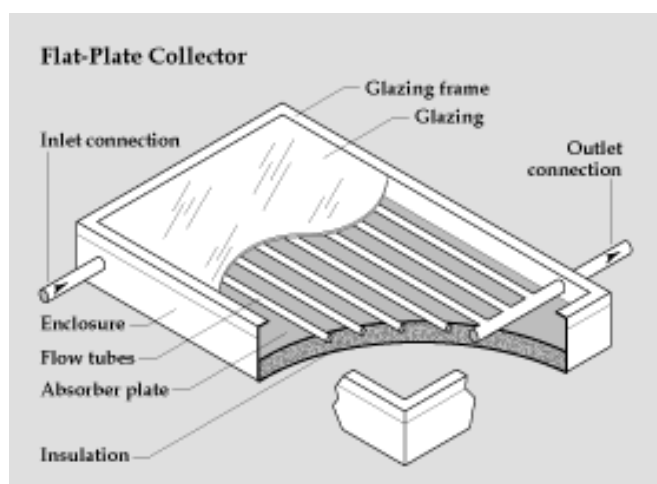
κυλινδρικοί ή κοίλοι. Ο λόγος συγκέντρωσης δηλ. ο λόγος της επιφάνειας του ανοίγματος του ανακλαστήρα προς την επιφάνεια του στοιχείου απορρόφησης, μπορεί να ποικίλει από μικρές τιμές όπως η μονάδα έως πολύ υψηλότερες όπως 10000. Αυξημένοι λόγοι ισοδυναμούν με αυξημένες θερμοκρασίες ρευστού αλλά συνεπακόλουθα και αυξημένες ανάγκες στο σύστημα παρακολούθησης αφού θα πρέπει να ακολουθεί το ήλιο με μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες κατηγοριοποιούνται επίσης σε imaging και non-imaging συλλέκτες ανάλογα με το αν εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία στο απορροφητικό στοιχείο ή όχι αντίστοιχα.

Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών:

Επίπεδοι συλλέκτες (Flat plate Collectors, FPC)

Ένας τυπικός FPC απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 1.10. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

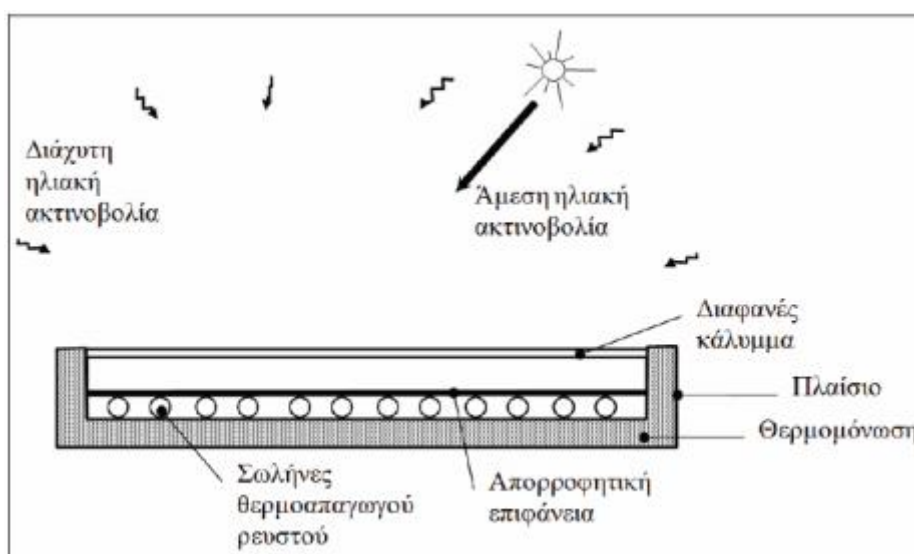
Δημιουργήθηκαν το 1950 και είναι οι πιο κοινώς χρησιμοποιούμενοι.

Οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα για θέρμανση πισίνας έχουν εφαρμογές μόνο σε κολυμβητικές δεξαμενές, όπου η επιθυμητή θερμοκρασία είναι σχετικά χαμηλή (25 °C), όπου η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών χρειάζεται να είναι το 60 - 80% της επιφάνειας της πισίνας. Δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός (π.χ. μονάδα αποθήκευσης, εναλλάκτες θερμότητας) που επιβαρύνει τον προϋπολογισμό. Η λύση αυτή μπορεί να επεκτείνει την κολυμβητική περίοδο από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο.

Ο Επίπεδος συλλέκτης μαύρης ή ημιεπιλεκτικής βαφής χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα. Αποτελείται από σωληνώσεις χαλκού, μέσα από τις οποίες κυκλοφορεί το μέσο μεταφοράς της θερμότητας, οι οποίες είναι σε επαφή με ένα φύλλο χαλκού ή αλουμινίου μαύρης επιφάνειας (απορροφητικής), πάνω από τον οποίο βρίσκεται διαφανές κάλυμμα. Το εργαζόμενο μέσο είναι νερό. Έτσι, για αποφυγή πήξης και δημιουργίας πάγου στις σωληνώσεις χρησιμοποιούνται πλαστικοί σωλήνες. Οι μεταλλικοί

σωλήνες είναι επιρρεπείς σε σπάσιμο από δημιουργία πάγου, γι'αυτό, είτε αδειάζονται τελείως πριν τις επικίνδυνες, ψυχρές περιόδους είτε χρησιμοποιείται αντιπηκτικό μείγμα νερού-γλυκόλης. Όταν η ηλιακή ακτινοβολία περνά διαμέσου του διάφανου καλύμματος και προσπίπτει πάνω στη μαύρη επιφάνεια, απορροφάται από αυτήν και έπειτα μεταφέρεται στο ρευστό που ρέει μέσα στους σωλήνες, το οποίο εν συνεχεία οδηγείται είτε για αποθήκευση είτε για χρήση. Το διαφανές κάλυμμα χρησιμοποιείται για την μείωση των απωλειών συναγωγής από την πλάκα απορρόφησης μέσω του περιορισμού του στάσιμου στρώματος αέρα μεταξύ της πλάκας απορρόφησης και του γυαλιού. Μειώνει επίσης και τις απώλειες ακτινοβολίας από τον συλλέκτη αφού το γυαλί είναι μεν διάφανο για την χαμηλού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία αλλά εμφανίζεται σχεδόν αδιαφάνες για την μεγάλου μήκους κύματος θερμική ακτινοβολία (υπέρυθρη ακτινοβολία, IR) η οποία εκπέμπεται από την πλάκα απορρόφησης (φαινόμενο του θερμοκηπίου).

Ο Επίπεδος επιλεκτικός συλλέκτης είναι επίπεδος συλλέκτης, που χρησιμοποιεί απορροφητή επιλεκτικής επιφάνειας αντί της απλής μαύρης. Η μαύρη βαφή έχει αντικατασταθεί από υλικό υψηλής απορροφητικότητας της ηλιακής ακτινοβολίας (~95%) και μικρής εκπομπής ακτινοβολίας (~5%). Με τη χρήση επιλεκτικού απορροφητή, επιτυγχάνονται μεγαλύτεροι βαθμοί απόδοσης και υψηλότερες θερμοκρασίες νερού.



Εικόνα 1.11. Τομή επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, το ωφέλιμο ποσό ενέργειας που αποδίδει ο συλλέκτης περιγράφεται από την σχέση:

$$Q_u = A_c [S - U_L(T_{pm} - T_a)] \quad (\text{Σχέση 1.1})$$

Σε αυτήν τη σχέση εκφράζεται ο καταμερισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη, θερμικές και οπτικές απώλειες. Έχουμε

Q_u : ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W)

A_c : επιφάνεια συλλέκτη (total collector aperture area) (m^2)

S : απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας και των οπτικών απωλειών (W/m^2)

U_L : συντελεστής μεταφοράς θερμότητας ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

$T_{p,m}$: μέση θερμοκρασία απορροφητήρα ($^\circ C$)

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^\circ C$)

Η παραπάνω εξίσωση όμως δεν είναι εύχρηστη για τον υπολογισμό της ωφέλιμης ισχύος Q_u , καθώς απαιτείται γνώση της θερμοκρασίας $T_{p,m}$, η οποία αφενός εξαρτάται από τον τύπο του συλλέκτη, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και τις συνθήκες εισόδου του ρευστού και αφετέρου παρουσιάζει δυσκολίες κατά την μέτρηση ή τον υπολογισμό. Γι'αυτό το λόγο αντικαθίσταται η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα από τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$ στο συλλέκτη μέσω της εξίσωσης:

$$T_{p,m} = T_{f,i} + \frac{Q_u (1-F_R)}{A_c U_L F_R} \quad (\text{Σχέση 1.2})$$

Όπου F_R είναι ο παράγοντας θερμικής απολαβής του συλλέκτη. Ορίζεται σαν ο λόγος της πραγματικά αποδιδόμενης θερμικής ισχύος Q_u προς την θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ο απορροφητήρας είχε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού $T_{f,i}$, η οποία αποτελεί τη μέγιστη δυνατή θερμική ισχύ που μπορεί να αποδοθεί. Πρόκειται ουσιαστικά για βαθμό απόδοσης εναλλάκτη θερμότητας. Με αντικατάσταση προκύπτει η εξίσωση του επίπεδου συλλέκτη:

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L(T_{f,i} - T_a)], \quad (\text{Σχέση 1.3})$$

όπου $T_{f,i}$: θερμοκρασία εισόδου του ρευστού

Για την απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια S ισχύει:

$$S = (\tau\alpha)G_T \quad (\text{Σχέση 1.4})$$

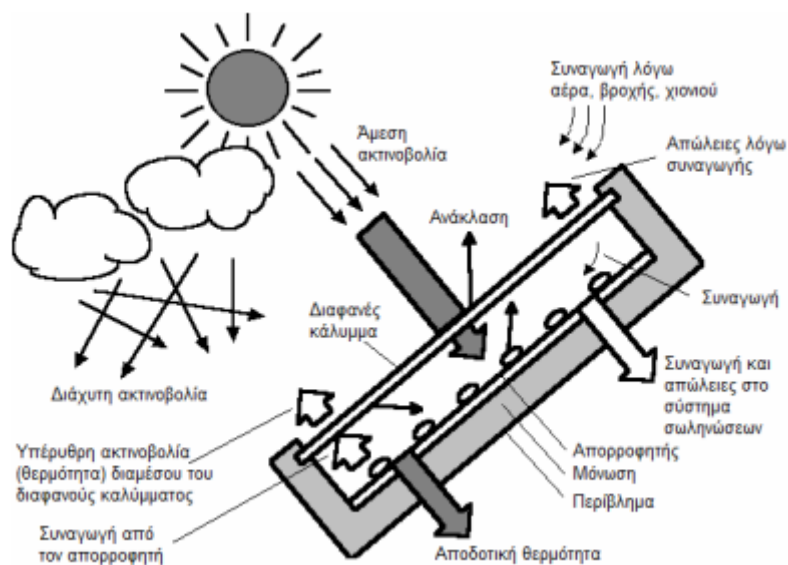
όπου:

$(\tau\alpha)$: το μέσο και συγχρόνως το προσαυξημένο γινόμενο διαπερατότητας-απορροφητικότητας.

G_T : συνολική ακτινοβολία που δέχεται το κεκλιμένο επίπεδο (W/m^2)

Συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η τελική εξίσωση:

$$Q_u = A_c F_R [(\tau\alpha)G_T - U_L(T_{f,i} - T_a)] \quad (\text{Σχέση 1.5})$$



Εικόνα 1.12. Μετάδοση θερμότητας σε επίπεδο ηλιακό συλλέκτη

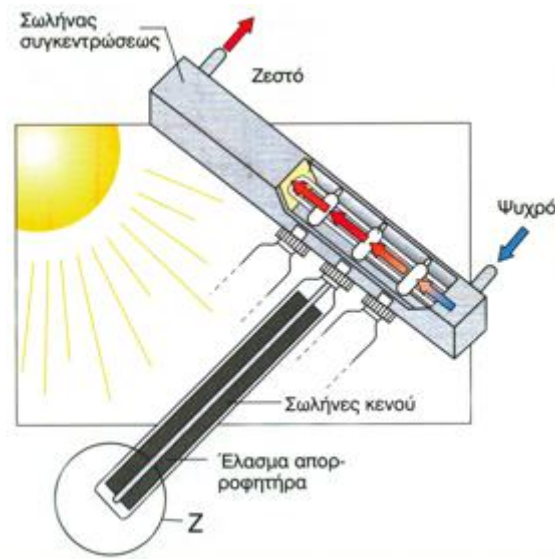
Οι FPC είναι συνήθως σταθερά στερεωμένοι σε δεδομένο προσανατολισμό και δεν απαιτούν σύστημα παρακολούθησης του ήλιου. Οι συλλέκτες πρέπει να προσανατολίζονται προς τον ισημερινό, “βλέποντας” νότια για το βόριο ημισφαίριο και βόρια για το νότιο ημισφαίριο. Η ιδανική κλίση, που πρέπει να έχουν, ισούται με το γεωγραφικό πλάτος (latitude), ϕ , της περιοχής που θα τοποθετηθούν, αν θέλουμε μέγιστη ετήσια ενέργεια, με $\phi + 15^\circ$, αν θέλουμε βέλτιστη απόδοση το χειμώνα και με $\phi - 15^\circ$, αν θέλουμε βέλτιστη απόδοση το καλοκαίρι.

Εκμεταλλεύονται και την άμεση και τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Είναι σταθεροί, δεν απαιτούν δηλαδή μηχανισμό κίνησης, είναι μη συγκεντρωτικοί, άρα έχουν λόγο συγκέντρωσης 1 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 30 - 80°.

Κύρια εφαρμογή τους είναι η παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Άλλες είναι η θέρμανση χώρων, η ηλιακή ψύξη κυρίως σε συστήματα ψύξης DEC με θερμοκίνητους ψύκτες μίας βαθμίδας, η ξήρανση προϊόντων, η αφαλάτωση, διαδικασίες απόσταξης και άλλες γεωργικές εφαρμογές [30].

Συλλέκτες σωλήνα κενού (Evacuated tube collector, ETC)



Εικόνα 1.13. Δομή συλλέκτη σωλήνα κενού

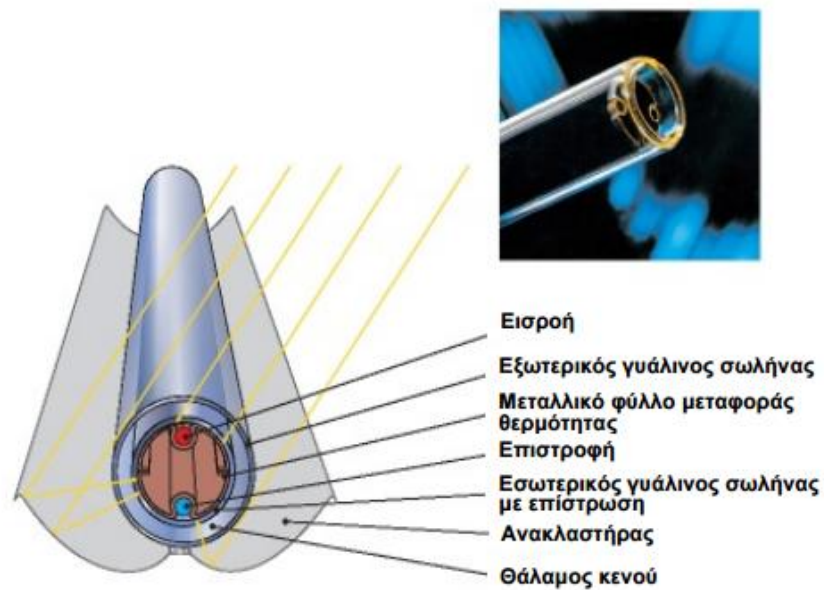
Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από σειρές παράλληλων σωλήνων διπλής υάλωσης, μεταξύ των οποίων υπάρχει κενό αέρος, ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες. Η σωληνοειδής γεωμετρία είναι απαραίτητη στατικά, λόγω της διαφοράς πίεσης ανάμεσα στην ατμοσφαιρική πίεση και στο κενό στο εσωτερικό. Μέσα από την εσωτερική γυάλινη επιφάνεια, υπάρχει θερμοαπορροφητικό υλικό που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε θερμότητα. Το άλλο βασικό στοιχείο του συλλέκτη είναι ο χαλκοσωλήνας που βρίσκεται στο κέντρο του διπλού γυάλινου σωλήνα. Μέσα στο χαλκοσωλήνα, που ονομάζεται "Heat Pipe", υπάρχει μικρή ποσότητα ειδικού υγρού, (π.χ. μεθανόλης), η οποία υπόκειται σε κύκλο εξάτμισης – συμπύκνωσης. Σε αυτόν τον κύκλο η ηλιακή ακτινοβολία εξατμίζει το υγρό, ακόμη και σε αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες. Ο ατμός ανεβαίνει στο υψηλότερο σημείο του χαλκοσωλήνα όπου ψύχεται, υγροποιείται στον συμπυκνωτή, έρχεται σε επαφή με το ψυχρό νερό του σωλήνα συγκέντρωσης, αποδίδει σ' αυτό την ενέργειά του και κινείται πάλι προς τα κάτω. Έτσι η διαδικασία αρχίζει εκ νέου.

Οι συλλέκτες κενού χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση και τον κλιματισμό χώρου, με θερμοκίνητους ψύκτες μίας ή δύο βαθμίδων, και υπό ειδικές συνθήκες για τη θέρμανση νερού χρήσης. Αποδίδει περίπου 35% περισσότερη ενέργεια από καλού επίπεδου συμβατικούς συλλέκτες.

Είναι σταθεροί, μη συγκεντρωτικοί και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 50 - 200°C.

Σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες (Compound parabolic concentrator, CPC)

Οι σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες ανήκουν στην κατηγορία των non-imaging συλλεκτών. Έχουν την δυνατότητα να αντανakλούν στον απορροφητή όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία εντός ευρέων ορίων της γωνίας που αυτή προσπίπτει πάνω στον συλλέκτη. Οι ανάγκες για κίνηση του συλλέκτη έτσι ώστε να λαμβάνει υπόψιν τις αλλαγές στον ηλιακό προσανατολισμό μπορούν να μειωθούν χρησιμοποιώντας τις τομές δύο παραβολών την μία απέναντι στην άλλη όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 1.14. CPC με κυλινδρικό απορροφητή

Οι CPCs μπορούν να δεχτούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία για ένα μεγάλο εύρος γωνιών πρόπτωσης. Χρησιμοποιώντας πολλαπλές εσωτερικές ανακλάσεις, οποιαδήποτε ακτινοβολία εντός των ορίων της γωνίας υποδοχής, μπορεί να φτάσει το στοιχείο απορρόφησης, το οποίο μπορεί να είναι κυλινδρικό, επίπεδο κ.α.. Εφόσον τα ανώτερα τμήματα των παραβολών συμμετέχουν ελάχιστα, μπορούν να κοπούν και να σχηματίσουν μικρότερους σε μέγεθος CPCs (truncated). Ακόμα τα CPCs συνήθως καλύπτονται με γυαλί για την αποφυγή της εισόδου σκόνης και άλλων υλικών και συνεπακόλουθη μείωσης της αντανακλαστικότητας των επιφανειών των παραβολών τους.

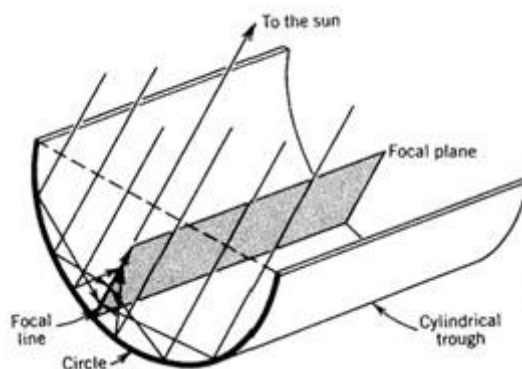
Ανήκουν στην κατηγορία non-imaging συλλεκτών αφού δεν εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία αλλά χρησιμοποιούν το φαινόμενο των πολλαπλών ανακλάσεων της ακτινοβολίας πάνω στα παραβολικά τοιχώματα έτσι ώστε αυτή εν τέλει να πέσει πάνω στο στοιχείο απορρόφησης.

Χρησιμοποιούνται για παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης και για ηλιακό κλιματισμό σε θερμοκίνητους ψύκτες μίας βαθμίδας.

Είναι σταθεροί, έχουν λόγο συγκέντρωσης 1- 5 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 60 – 240°C.

Κυλινδρικός συλλέκτης (Cylindrical trough collector, CTC)

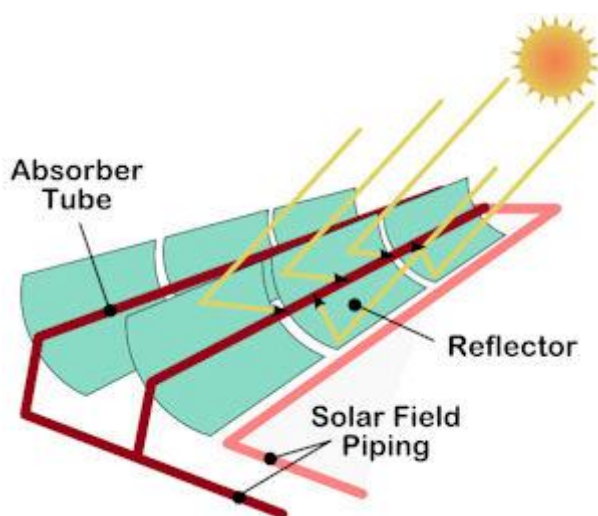
Η συγκέντρωση της ακτινοβολίας σε ένα κυλινδρικό κούλο γίνεται σε ένα επίπεδο ή σε ένα κυλινδρικό απορροφητή. Θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες ή φωτοβολταϊκά πάνελ μπορούν να τοποθετηθούν στην εστιακή επιφάνεια αλλά ο κύλινδρος πρέπει να ακολουθεί τον ήλιο.



Εικόνα 1.15. Κυλινδρικός συλλέκτης με επίπεδο απορροφητή

Χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, κινούνται γύρω από έναν άξονα, έχουν λόγο συγκέντρωσης 10- 50 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 60 – 300°C.

Συλλέκτης παραβολικού κυλίνδρου (Parabolic trough collector) ή Συλλέκτης με επιμήκη παραβολικό συγκεντρωτή (Linear parabolic concentrator) ή παραβολικό κοίλο



Εικόνα 1.16. Παραβολικό κοίλο (PTC)

Οι PTCs ανήκουν στην κατηγορία imaging συλλεκτών. Κατασκευάζονται κυρτώνοντας ένα φύλλο από ανακλαστικό υλικό σε παραβολικό σχήμα. Ένας μεταλλικός μαύρος σωλήνας, καλυμμένος με ένα γυάλινο σωλήνα ώστε να ελαττωθούν οι απώλειες θερμότητας, τοποθετείται στον άξονα του συλλέκτη. Όταν ο παραβολικού σχήματος ανακλαστήρας είναι ακριβώς απέναντι από τον ήλιο, οι παράλληλες ακτίνες του ήλιου, οι οποίες προσπίπτουν στον ανακλαστήρα, πέφτουν εν συνεχεία πάνω στον σωληνοειδή δέκτη, ο οποίος βρίσκεται στην εστιακή γραμμή της παραβολής. Ο PTC λοιπόν εκμεταλλεύεται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Έτσι μειώνεται η επιφάνεια απορρόφησης σε σχέση με την επιφάνεια ανοίγματος του συλλέκτη (aperture area, A_a) και συνεπώς μειώνει σημαντικά τις συνολικές

θερμικές απώλειες. Η συμπυκνωμένη ακτινοβολία θερμαίνει το υγρό που κυκλοφορεί μέσω του σωληνωειδούς δέκτη, μετατρέποντας έτσι την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμική ενέργεια με τη μορφή αισθητής θερμότητας του ρευστού. Ένα γυάλινο κάλυμμα, από Pyrex υλικό, τοποθετείται εξωτερικά του σωλήνα του δέκτη συνήθως για την μείωση των απωλειών εξαιτίας της συναγωγής μειώνοντας περαιτέρω τις απώλειές του. Ένα μειονέκτημα της χρήσης του γυάλινου καλύμματος είναι ότι η ανακλώμενη ακτινοβολία από τον ανακλαστήρα πρέπει να περάσει διαμέσου του γυαλιού, προσθέτοντας έτσι απώλειες διελεύσεως. Το γυαλί έχει συνήθως αντί-ανακλαστική επένδυση για την βελτίωση της διαπερατότητάς του. Ένας ακόμα τρόπος για την περαιτέρω μείωση των απωλειών λόγω της συναγωγής από των σωλήνα του δέκτη και έτσι την αύξηση της απόδοσης του κατόπτρου, ειδικά σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλές θερμοκρασίες, είναι η δημιουργία κενού στο μεταξύ του δέκτη και του καλύμματος.

Τα PTC είναι δυναμικά συστήματα, επειδή πρέπει να περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα, το λεγόμενο άξονα παρακολούθησης, για να ακολουθήσουν την ημερήσια κίνηση του ήλιου. Η περιστροφή του συλλέκτη γύρω από τον άξονά του, απαιτεί μια μονάδα δίσκου. Μια μονάδα δίσκου είναι συνήθως αρκετή για αρκετά παραβολικά μοντέλα συνδεδεμένα σε σειρά τα οποία οδηγούνται μαζί σε ένα συλλέκτη. Ο τύπος της μονάδας του δίσκου εξαρτάται από το μέγεθος και τις διαστάσεις του συλλέκτη. Οι μονάδες δίσκου αποτελούνται από έναν ηλεκτροκινητήρα και έναν συνδυασμό κιβωτίων που χρησιμοποιείται για μικρούς συλλέκτες (επιφάνεια του ανοίγματος μικρότερη από 100 m^2), ενώ ισχυρά υδραυλικά χειριστήρια απαιτούνται για να περιστραφούν οι μεγάλοι συλλέκτες. Μια μονάδα δίσκου που διατίθεται στον κεντρικό πυλώνα καθοδηγείται από μια τοπική μονάδα ελέγχου, ώστε να παρακολουθείται ο ήλιος. Οι τοπικές μονάδες ελέγχου που διατίθενται σήμερα στην αγορά μπορούν να ομαδοποιηθούν σε δύο κατηγορίες: μονάδες ελέγχου που βασίζονται σε αισθητήρες ήλιου και μονάδες ελέγχου που βασίζονται σε αστρονομικούς αλγόριθμους. Οι πρώτες χρησιμοποιούν φωτοκύτταρα για την ανίχνευση της θέσης του ήλιου, ενώ οι δεύτερες υπολογίζουν το διάνυσμα του ήλιου χρησιμοποιώντας πολύ ακριβείς μαθηματικούς αλγόριθμους που βρίσκουν το υψόμετρο και το αζιμούθιο κάθε δευτερόλεπτο και μετρούν την γωνιακή θέση του άξονα περιστροφής με τη βοήθεια ηλεκτρονικών συσκευών (κωδικοποιητές γωνίας ή μαγνητικές ταινίες κωδικοποιημένες που συνδέονται με τον άξονα περιστροφής). Τα τράκερ τύπου σκιάς (shadow band) και τα τύπου γραμμής ροής ανήκουν στην πρώτη κατηγορία. Τα τράκερ σκιάς τοποθετηθούν τον παραβολικό συγκεντρωτή να κοιτάζει τον ήλιο, όταν ο συλλέκτης είναι σε κίνηση (δηλαδή το ηλιακό διάνυσμα είναι μέσα σε ένα επίπεδο που περιλαμβάνει το σωληνωειδή δέκτη και είναι κάθετο προς το επίπεδο του διαφράγματος-συμπυκνωτή). Δύο φωτοαισθητήρια, ένα σε κάθε πλευρά του τοιχώματος της σκιάς, ανιχνεύει τη θέση του ήλιου. Όταν ο συλλέκτης είναι σωστά τοποθετημένος, ο τοίχος της σκιάς επισκιάζει εξίσου και τους δύο αισθητήρες, και τα ηλεκτρικά τους σήματα είναι πανομοιότυπα. Τα τράκερ ροής γραμμής τοποθετούνται στο σωληνωειδή δέκτη. Δύο αισθητήρες τοποθετούνται, επίσης, και στις δύο πλευρές του σωλήνα απορρόφησης για την ανίχνευση της συγκεντρωτικής ροής που φθάνει το σωλήνα. Ο συλλέκτης είναι σωστά τοποθετημένος, όταν και οι δύο αισθητήρες είναι εξίσου φωτισμένοι και τα ηλεκτρικά σήματα τους είναι του ίδιου μεγέθους. Προς το παρόν, όλα τα εμπορικά PTC χρησιμοποιούν μονοαξονικά ηλιακά συστήματα παρακολούθησης. Πρόκειται γενικά για ελαφριά κατασκευή και χαμηλού

κόστους τεχνολογία. Αν και τα PTC με διαξονικά συστήματα παρακολούθησης έχουν σχεδιαστεί, κατασκευαστεί και δοκιμαστεί στο παρελθόν, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι λιγότερα αποδοτικά. Αν και η ύπαρξη διαξονικού συστήματος εντοπισμού επιτρέπει στο PTC να παρακολουθεί μόνιμα τον ήλιο με μια γωνία πρόσπτωσης ίση με 0° (μειώνοντας έτσι τις οπτικές απώλειες και αυξάνοντας την ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας στο διάφραγμα του PTC) το μήκος των παθητικών σωληνώσεων (δηλαδή οι σωλήνες σύνδεσης μεταξύ του σωληνοειδούς δέκτη και των παραβολικών κοίλων στον ίδιο συλλέκτη) και οι σχετικές θερμικές απώλειες είναι σημαντικά υψηλότερες από ό,τι του μονοαξονικού συλλέκτη. Επιπλέον, το κόστος συντήρησής τους είναι υψηλότερο και η διαθεσιμότητά τους χαμηλότερη επειδή απαιτούν έναν πιο σύνθετο μηχανικό σχεδίασης.

Ως ρευστό λειτουργίας σε αυτούς τους συλλέκτες χρησιμοποιούνται συνήθως θερμικά έλαια για θερμοκρασίες πάνω από 200° , επειδή σε αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, το κανονικό νερό θα παρουσίαζε υψηλή πίεση στο εσωτερικό του σωλήνα και τις σωληνώσεις του δέκτη. Αυτή η υψηλή πίεση θα απαιτούσε ισχυρότερες αρθρώσεις και σωληνώσεις και επομένως αυξημένη τιμή των συλλεκτών και ολόκληρου του ηλιακού πεδίου. Ωστόσο, η χρήση αφαλατωμένου νερού για υψηλή θερμοκρασία/πίεση βρίσκεται υπό έρευνα στο PSA και τα συστήματα άμεσης παραγωγής ατμού (Direct Steam Generation (DSG)) στους 100 bar/ 400°C μέσα στους σωλήνες του δέκτη PTC έχουν ήδη αποδειχθεί σε πειραματικό στάδιο. Για θερμοκρασίες κάτω των 200°C ένα μείγμα νερού/γλυκόλης, αιθυλενίου ή πεπιεσμένου νερού σε υγρή μορφή (liquid phase) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υγρό επεξεργασίας γιατί η πίεση που απαιτείται στην υγρή φάση είναι μέτρια. Όταν επιλέγεται ένα θερμικό έλαιο ως ρευστό λειτουργίας ο κύριος περιοριστικός παράγοντας για την σταθερότητα είναι η μέγιστη θερμοκρασία μάζας ελαίου. Πάνω από αυτή τη θερμοκρασία καταστρέφεται το λάδι. Το λάδι που χρησιμοποιείται ευρύτατα στα PTC για θερμοκρασίες έως 395°C είναι το VP-1, το οποίο είναι ένα ευτηκτικό μείγμα από 73,5% οξειδιο διφαινυλαιθέρα και 26,5% διφαινυλαιθέρα. Το κύριο πρόβλημα με αυτό το λάδι είναι η υψηλή θερμοκρασία στερεοποίησης του (12°C) που απαιτεί ένα βοηθητικό σύστημα θέρμανσης όταν οι γραμμές του λαδιού διατρέχουν τον κίνδυνο της ψύξης κάτω από αυτή την θερμοκρασία. Επειδή η θερμοκρασία βρασμού στα 1013 mbar είναι 257°C , το κύκλωμα του λαδιού πρέπει να είναι υπό πίεση με άζωτο, αργόν, ή κάποιο άλλο αδρανές αέριο, όταν το λάδι θερμαίνεται πάνω από αυτές τις υψηλές θερμοκρασίες. Το να καλύψουμε το σύνολο του κυκλώματος του λαδιού με ένα αέριο χωρίς οξυγόνο είναι απαραίτητο για την λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες γιατί η υψηλή πίεση σταγονιδίων μπορεί να σχηματίσει ένα εκρηκτικό μείγμα με τον αέρα. Αν και υπάρχουν και άλλα κατάλληλα θερμικά έλαια για ελαφρώς υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας με χαμηλότερες θερμοκρασίες στερεοποίησης, είναι πολύ ακριβά για μεγάλες ηλιακές εγκαταστάσεις.

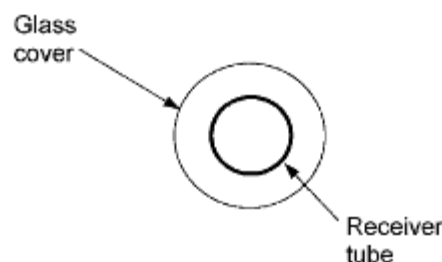
Τα PTC συνήθως εγκαθίστανται με την περιστροφή του άξονα προσανατολισμένου είτε στον Βορρά-Νότο είτε στην Ανατολή-Δύση, αν και οποιαδήποτε άλλη κατεύθυνση θα ήταν εφικτή. Ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη επιβάλλεται από το σχήμα και τον προσανατολισμό του χώρου όπου έχουν εγκατασταθεί. Ο προσανατολισμός του ηλιακού συλλέκτη επηρεάζει τη γωνία της ηλιακής πρόσπτωσης στο ανοιχτό επίπεδο του συλλέκτη το οποίο, με τη σειρά του, επηρεάζει την απόδοση του συλλέκτη. Οι εποχιακές διακυμάνσεις του συλλέκτη που προσανατολίζεται στον Βορρά - Νότο μπορεί να είναι αρκετά μεγάλες. Τρεις με τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια παρέχεται καθημερινά

κατά τους καλοκαιρινούς μήνες σε σχέση με το χειμώνα, ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τις τοπικές καιρικές συνθήκες. Οι εποχιακές διακυμάνσεις στην παροχή ενέργειας είναι πολύ μικρότερες για έναν συλλέκτη προσανατολισμού Ανατολής - Δύσης, συνήθως λιγότερες από 50%. Παρ'όλα αυτά, ο συλλέκτης που προσανατολίζεται στον Βορρά - Νότο παρέχει περισσότερη ενέργεια σε ετήσια βάση. Η ημερήσια διακύμανση της γωνίας πρόσπτωσης είναι πάντα μεγαλύτερη για τον «ανατολικό - δυτικό» τύπου συλλέκτη, με μέγιστες τιμές κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου και τουλάχιστον 0° κάθε μέρα στο ηλιακό μεσημέρι. Ως εκ τούτου, ο προσανατολισμός του άξονα περιστροφής είναι πολύ σημαντικός για την απόδοση του συλλέκτη. Αν απαιτείται περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι από τον χειμώνα, ο πιο κατάλληλος προσανατολισμός είναι βορρά-νότου. Αν προτιμούμε η ενέργεια να κατανέμεται ομοιόμορφα κατά τη διάρκεια του έτους, ενώ το χειμώνα η παραγωγή είναι σημαντικά μικρότερη από ότι το καλοκαίρι, ο καλύτερος προσανατολισμός είναι ανατολικά - δυτικά. Αν αναμένεται το ηλιακό πεδίο να παράγει το ίδιο ποσό θερμικής ενέργειας το καλοκαίρι και το χειμώνα, ο σωστός προσανατολισμός είναι ανατολικά - δυτικά. Ένας μηχανισμός παρακολούθησης πρέπει να είναι αξιόπιστος και ικανός να ακολουθεί τον ήλιο με κάποιο ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας, να επιστρέφει τον συλλέκτη στην αρχική του θέση στο τέλος της ημέρας ή κατά την διάρκεια της νύχτας και επίσης να ακολουθεί τον ήλιο σε μέρες που ο καιρός είναι νεφελώδης. Επιπροσθέτως, οι μηχανισμοί παρακολούθησης χρησιμοποιούνται για την προστασία των συλλεκτών, δηλ. στρέφουν τους συλλέκτες εκτός εστίασης για να τον προστατέψουν από επιβλαβείς περιβαλλοντικές συνθήκες και συνθήκες λειτουργίας, όπως ριπές ανέμου, υπερθέρμανση και αποτυχία της ροής του θερμικού υγρού.

Έχουν λόγο συγκέντρωσης 30- 80 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 60 – 400°C.

Οι μονάδες μετατροπής της ενέργειας είναι γεννήτριες που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine με ισχύ 30-80W [35], [36].

Σύμφωνα με το σχήμα:



Εικόνα 1.17. Δέκτης και κάλυμμα ενός PTC

ορίζονται οι εξής διάμετροι:

D_{r1} : η εσωτερική διάμετρος του δέκτη (m)

D_{ro} : η εξωτερική διάμετρος του δέκτη (m)

D_{ci} : η εσωτερική διάμετρος του καλύμματος (m)

D_{co} : η εξωτερική διάμετρος του καλύμματος (m)

Κατά συνέπεια,

$$A_r = \pi D_{ro} L \quad (\text{Σχέση 1.6})$$

$$A_a = W L \quad (\text{Σχέση 1.7})$$

Όπου W και L το πλάτος και το μήκος του συλλέκτη.

Έτσι ορίζεται ο λόγος συγκέντρωσης:

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (\text{Σχέση 1.8})$$

A_a : επιφάνεια ανοίγματος (aperture area) (m^2)

A_r : επιφάνεια δέκτη (receiver area) (m^2)

Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη είναι:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{\text{solar}}} = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{A_a G_b} \quad (\text{Σχέση 1.9})$$

T_i : θερμοκρασία υγρού στην είσοδο του συλλέκτη ($^{\circ}C$)

T_o : θερμοκρασία υγρού στην έξοδο του συλλέκτη ($^{\circ}C$)

m : παροχή μάζας υγρού (kg/s)

G_b : άμεσος ακτινοβολία στην επιφάνεια του συλλέκτη (W/m^2)

Η ωφέλιμη ισχύς ισούται με τον αριθμητή του παραπάνω κλάσματος και δίνεται και από τη σχέση:

$$Q_u = F_R [G_b n_{\text{opt}} A_a - A_r U_L (T_i - T_a)] \quad (\text{Σχέση 1.10})$$

Οπότε:

$$\eta = F_R n_{\text{opt}} - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{C G_b} \quad (\text{Σχέση 1.11})$$

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)

Ο οπτικός βαθμός απόδοσης n_{opt} είναι:

$$n_{opt} = \rho(\tau\alpha)\gamma K(\theta) \quad (\text{Σχέση 1.12})$$

ρ : ανακλαστικότητα. Παίρνει τιμές 90 – 93%.

γ : παράγοντας σύλληψης, δηλ. το κλάσμα της ανακλώμενης ακτινοβολίας που συλλαμβάνει ο δέκτης. Παίρνει τιμές 90 – 95%.

θ : γωνία πρόσπτωσης (°)

$K(\theta)$: συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης

$$K(\theta) = \frac{n_{opt}(\theta)}{n_{opt}(\theta=0)} \quad (\text{Σχέση 1.13})$$

Η ωφέλιμη ισχύς Q_u ενός PTC είναι:

$$Q_u = Q_{abs} - Q_{loss} \quad (\text{Σχέση 1.14})$$

$$Q_{abs} = Q_{solar} n_{opt} \quad (\text{Σχέση 1.15})$$

$$Q_{solar} = A_a G_b \quad (\text{Σχέση 1.16})$$

$$Q_{loss} = Q_{ca} \quad (\text{Σχέση 1.17})$$

Q_{ca} : απώλειες από το κάλυμα (cover) στο περιβάλλον (W/m^2). Χωρίζονται σε απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας:

$$Q_{ca} = Q_{caconv} + Q_{carad} \quad (\text{Σχέση 1.18})$$

$$Q_{carad} = \sigma \pi D_{co} \epsilon_c (T_c^4 - T_{sky}^4) \quad (\text{Σχέση 1.19})$$

$$T_{sky} \approx T_a - 6 \quad (\text{Σχέση 1.20})$$

T_c : θερμοκρασία καλύμματος (°C)

ϵ_c : συντελεστής εκπομπής καλύμματος. Παίρνει τιμές 0,88 – 0,9.

σ = η σταθερά του Stefan-Boltzmann = $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$

$$Q_{caconv} = h_{ca} \pi D_{co} (T_c - T_a) \quad (\text{Σχέση 1.21})$$

Ο συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από το κάλυμμα προς το περιβάλλον δια συναγωγής είναι:

$$h_{ca} = \frac{k_{ca}}{D_{co}} Nu_{D_{co}} \quad (\text{Σχέση 1.22})$$

k_{ca} : ειδική θερμική αγωγιμότητα του αέρα ενδιάμεσα (W/mK)

Ο αριθμός Nusselt προκύπτει με τη βοήθεια του αριθμού Reynolds και Prandtl από τύπους ανάλογα αν έχουμε τυρβώδη ή μη τυρβώδη ροή.

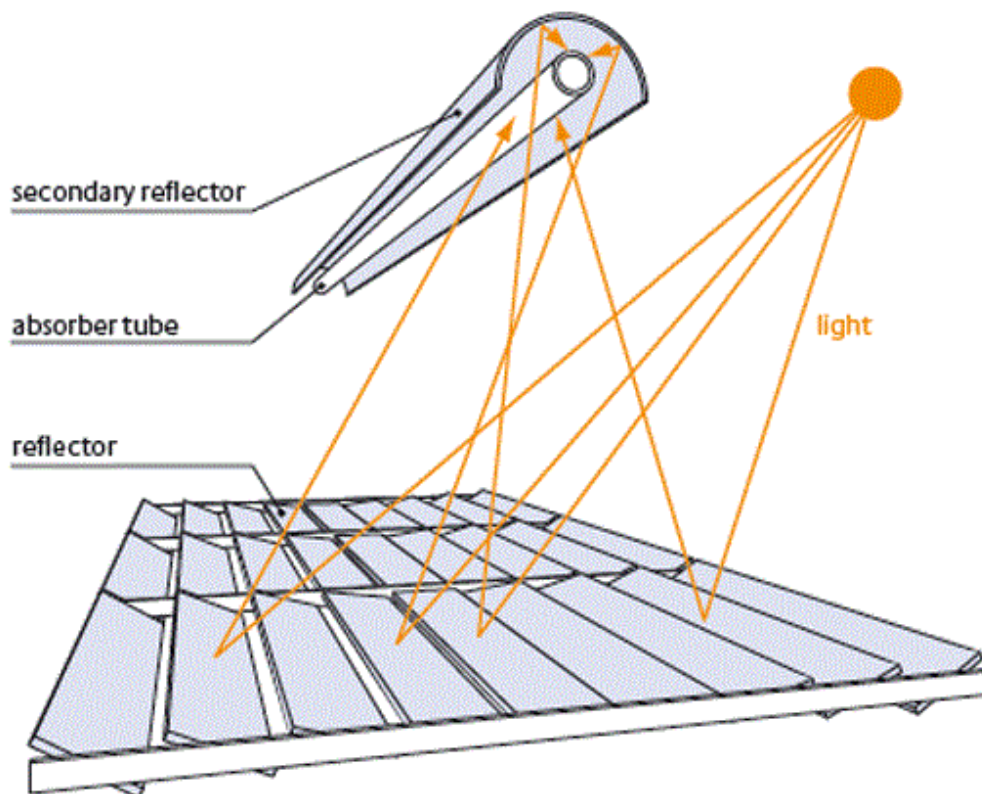
Οι απώλειες από τον δέκτη (receiver) στο κάλυμμα (cover) (W/m^2), Q_{rc} , χωρίζονται σε απώλειες συναγωγής και ακτινοβολίας. Οι απώλειες συναγωγής μπορούν να θεωρηθούν μηδέν στην περίπτωση που έχουμε κενό ανάμεσα στο δέκτη και το κάλυμμα, οπότε:

$$Q_{rc} = Q_{rcconv} + Q_{rcrad} = Q_{rcrad} \quad (\text{Σχέση 1.23})$$

$$Q_{rcrad} = \frac{\sigma D_{ro}(T_r^4 - T_c^4)}{\frac{1}{\epsilon_r} + \frac{(1 - \epsilon_c)D_{ro}}{\epsilon_c D_{ci}}} \quad (\text{Σχέση 1.24})$$

ϵ_r : συντελεστής εκπομπής δέκτη. Παίρνει τιμές 0,05 – 0,15 [38], [39], [40].

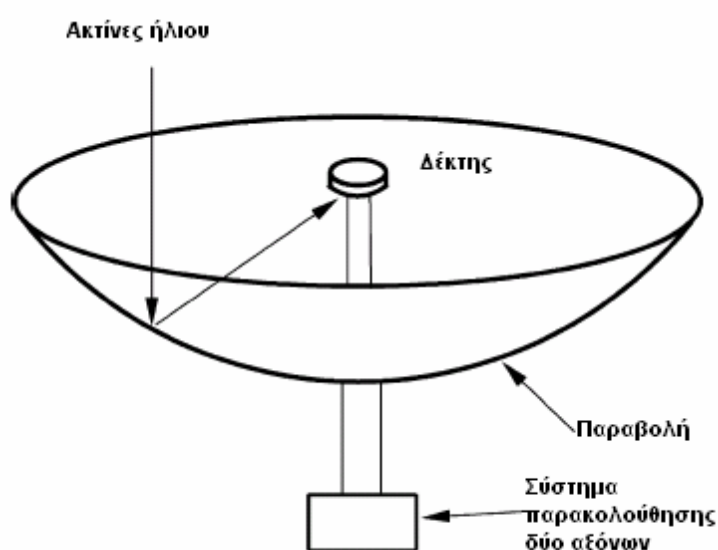
Γραμμικός ανακλαστήρας τύπου Fresnel (Linear Fresnel Reflector, LFR)



Εικόνα 1.17. Σύστημα LFR

Πρόκειται για ανακλαστήρες με μια μικρή καμπυλότητα, οι οποίοι συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια εστιακή γραμμή από ένα κοίλο μονοαξονικό κάτοπτρο, όπως στο σχήμα. Ανήκουν στην κατηγορία imaging συλλεκτών. Κινούνται γύρω από έναν άξονα, έχουν λόγο συγκέντρωσης 10- 70 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 60 – 350°C. Οι μονάδες μετατροπής της ενέργειας και παραγωγής ηλεκτρισμού είναι γεννήτριες που χρησιμοποιούν κύκλους Rankine με ισχύ 30-80W.

Ανακλαστήρας παραβολικού δίσκου (parabolic Dish reflector, PDR)

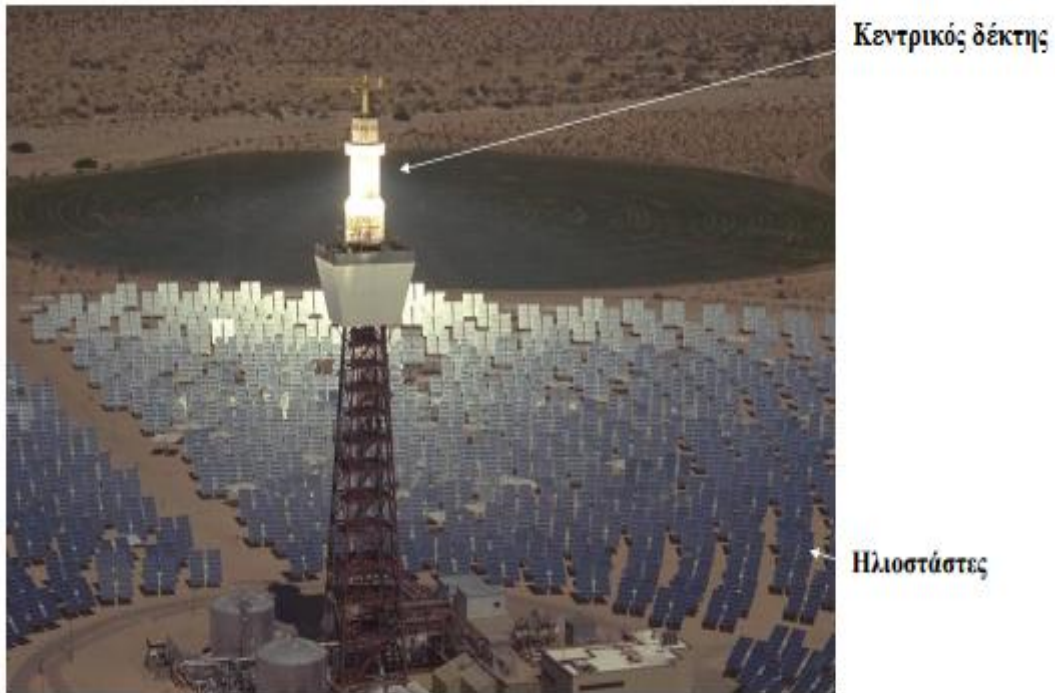


Εικόνα 1.18. Παραβολικός δίσκος

Ένας ανακλαστήρας παραβολικού δίσκου είναι ένας imaging συλλέκτης σημειακής εστίασης, ο οποίος παρακολουθεί τον ήλιο σε δύο άξονες και συγκεντρώνει την ηλιακή ενέργεια σε έναν δέκτη τοποθετημένο στην κυρία εστία του πιάτου. Ο δίσκος πρέπει να παρακολουθεί ακριβώς τον ήλιο έτσι ώστε να αντανακλά τις ακτίνες του στον θερμικό δέκτη. Για αυτόν τον σκοπό χρησιμοποιείται σύστημα παρακολούθησης δύο αξόνων. Ο δέκτης απορροφά την ακτινοβολία του ήλιου και την μετατρέπει σε θερμική ενέργεια του κυκλοφορούντος μέσου. Η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Κινούνται γύρω από 2 άξονες, έχουν λόγο συγκέντρωσης 100- 1500 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 100 – 1500°C.

Συλλέκτης ηλιοστατικού πεδίου (Heliostat field collectors, HFR)



Εικόνα 1.19. Ηλιοστατικό πεδίο και ηλιακός πύργος

Οι συλλέκτες ηλιοστατικού πεδίου ανήκουν στην κατηγορία imaging συλλεκτών. Πρόκειται για ελαφρώς κυρτούς καθρέφτες που παρακολουθούν τον ήλιο σε 2 άξονες και χρησιμοποιούνται στα *Συστήματα κεντρικού δέκτη (Central Receiver Systems, CRS)* σχηματίζοντας ένα ηλιοστατικό πεδίο γύρω από έναν *ηλιακό πύργο ισχύος*, όπως φαίνεται στο σχήμα. Οι ηλιοστάτες αυτοί συγκεντρώνουν τη ροή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας στους ηλιακούς δέκτες, όπου απορροφάται η συμπυκνωμένη ροή και μεταφέρεται η ενέργεια σε ένα θερμικό ρευστό. Μια μεγάλη ποικιλία θερμικών ρευστών, όπως ο κορεσμένος ατμός, ο υπέρθερμος ατμός, τα τετηγμένα άλατα, ο ατμοσφαιρικός αέρας ή ο πεπιεσμένος αέρας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση και τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας από τον δέκτη στο στρόβιλο ώστε να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια, μέσω θερμοδυναμικών κύκλων. Τα μεγέθη των μονάδων είναι μεταξύ 10 και 200 MW. Έχουν λόγο συγκέντρωσης 100- 1500 και το ρευστό που ρέει στο απορροφητικό τους στοιχείο λειτουργεί σε θερμοκρασίες 150 – 2000°C.

Συστήματα ΔίσκουΜηχανής (Dish/Stirling Systems)



Εικόνα 1.20. Σύστημα δίσκου μηχανής

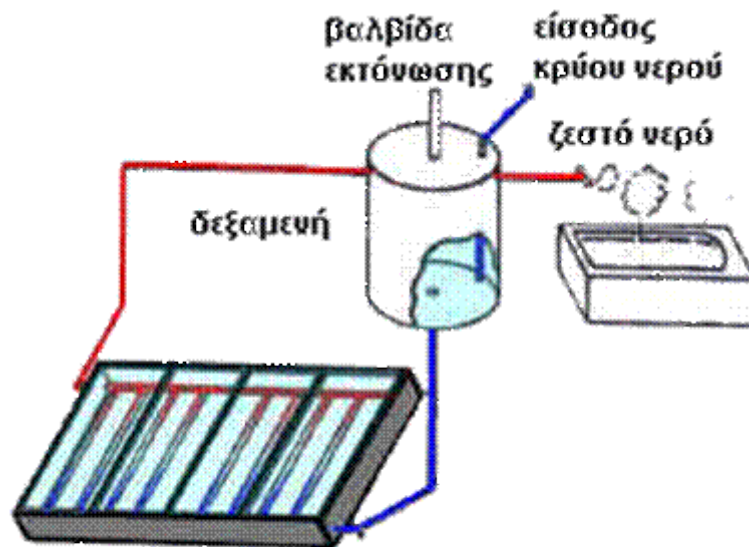
Τα συστήματα δίσκου-μηχανής είναι μικρές αρθρωτές μονάδες με αυτόνομη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μηχανές Stirling ή Brayton που είναι στο επίκεντρο τους. Τα συστήματα αυτά είναι παραβολικοί τρισδιάστατοι συγκεντρωτές με υψηλές αναλογίες συγκέντρωσης (1000-4000) και μεγέθη μονάδων 5-25 kW. Χρησιμοποιούνται ως συνδεδεμένα συστήματα στο κεντρικό δίκτυο ή ως ανεξάρτητα συστήματα για παραγωγή ενέργειας.

Οι δίσκοι-μηχανές χρησιμοποιούν μια σειρά καθρέφτες που αντανακλούν και συγκεντρώνουν τις εισερχόμενες άμεσες κάθετες ηλιακές ακτινοβολίες σε ένα δέκτη. Γι'αυτό χρειάζεται παρακολούθηση του ήλιου από 2 άξονες. Η συγκεντρωμένη ακτινοβολία απορροφάται από το δέκτη και μεταφέρεται σε ένα κινητήρα. Οι δίσκοι/κινητήρες χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, σπονδυλωτή διάταξη, αυτόνομη λειτουργία και μία εγγενή υβριδική ικανότητα (λειτουργία με ορυκτά καύσιμα, ηλιακή ενέργεια ή και τα 2)

Ο δίσκος Stirling θεωρείται ο πιο αποτελεσματικός τρόπος για τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας 750°C. Προβλέπεται ότι θα μπορούν να παράγουν τη φθηνότερη ενέργεια μεγάλης κλίμακας από όλες τις ανανεώσιμες, για αποκεντρωμένη παραγωγή, σε ζεστές περιοχές, ημερήσιους κ.λπ.[33], [34].

1.2.3. Θερμοσιφωνικά συστήματα ζεστού νερού χρήσης

Τα θερμοσιφωνικά συστήματα στηρίζονται στη φυσική μεταφορά του νερού στους συλλέκτες και στη δεξαμενή, η οποία βρίσκεται επάνω από το συλλέκτη. Η αρχή λειτουργίας του θερμοσιφωνικού συστήματος είναι απλή. Το νερό θερμαίνεται στο συλλέκτη, διαστέλλεται κι επομένως γίνεται ελαφρύτερο από το χαμηλότερης θερμοκρασίας νερό της δεξαμενής (Εικόνα 1.21). Αυτή η διαφορά στην πυκνότητα του νερού έχει ως αποτέλεσμα τη φυσική κυκλοφορία του, μέσω του συλλέκτη και τη μεταφορά του θερμού νερού στην αποθηκευτική δεξαμενή, της οποίας το ψυχρότερο νερό αντικαθιστά το ζεσταμένο στο συλλέκτη, συνεχίζοντας κατ' αυτό τον τρόπο την κυκλοφορία του.



Εικόνα 1.21. Αρχή λειτουργίας θερμοσιφωνικού συστήματος

Απαραίτητη προϋπόθεση, προκειμένου να είναι εφικτή η φυσική κυκλοφορία του νερού, αποτελεί η τοποθέτηση της αποθηκευτικής δεξαμενής σε υψηλότερο σημείο από τους συλλέκτες. Το ευνοϊκό Ελληνικό κλίμα επιτρέπει την τοποθέτηση της δεξαμενής στις οροφές των κατοικιών, χωρίς μεγάλες απώλειες θερμότητας από το θερμό νερό προς το περιβάλλον. Αυτή είναι και η πλέον κοινή περίπτωση που συναντάται.

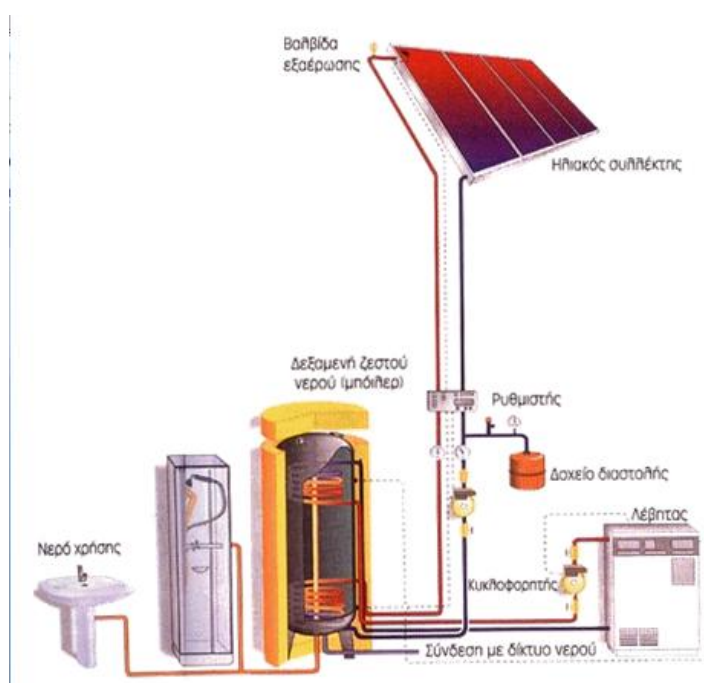
Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από το συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα μεταφέρεται στο δοχείο αποθήκευσης. Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή του κτιρίου, με νότιο προσανατολισμό και κλίση 30°-60° ως προς το οριζόντιο επίπεδο, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Το πιο διαδεδομένο θερμοσιφωνικό σύστημα στην Ελλάδα αποτελείται από συλλεκτική επιφάνεια 2,5m² και δεξαμενή 150lt. Το εύρος των χαρακτηριστικών αυτών κυμαίνεται μεταξύ 2 – 4m² για την συλλεκτική επιφάνεια (σε ένα ή δύο τεμάχια) και μεταξύ 150 – 300lt για την δεξαμενή.

Στην Ελλάδα, το 98% των εγκατεστημένων ηλιακών συλλεκτών αφορούν θερμοσιφωνικά συστήματα, για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (40 – 750°C). Η παραγόμενη ενέργεια ποικίλλει ανά γεωγραφική περιοχή και ανά εφαρμογή. Ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα για οικιακή χρήση στην Ελλάδα, παράγει ετησίως περίπου 1000 θερμικές κιλοβατώρες (kWh) και με τη χρήση του αποφεύγεται η έκλυση περίπου 1100 κιλών CO₂ ετησίως, θεωρώντας ότι υποκαθιστά τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2.4. Κεντρικά ηλιακά συστήματα

Τα κεντρικά ηλιακά συστήματα, αποτελούνται από ένα πεδίο ηλιακών συλλεκτών και μια κεντρική δεξαμενή, από την οποία παρέχεται το ζεστό νερό στα σημεία κατανάλωσης μέσω δικτύου αγωγών. Τυπική σχηματική παράσταση ενός κεντρικού ηλιακού συστήματος δίνεται στην Εικόνα 1.22:



Εικόνα 1.22. Σχηματική παράσταση κεντρικού ηλιακού συστήματος

Συνοπτικά, η λειτουργία του ηλιακού συστήματος της εικόνας έχει ως εξής: η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τους ηλιακούς συλλέκτες οι οποίοι θερμαίνονται. Η θερμότητά μεταφέρεται σε ένα δοχείο αποθήκευσης δια μέσου ενός υγρού (συνήθως πρόκειται για αντιψυκτικό υγρό) το οποίο κυκλοφορεί με τη βοήθεια αντλίας στο υδραυλικό κύκλωμα των συλλεκτών. Η μεταφορά της θερμότητας γίνεται από έναν εναλλάκτη που μπορεί να είναι μια σπείρα εμβαπτισμένη στο αποθηκευτικό δοχείο ή μια εξωτερική πλακοειδής διάταξη. Όταν ο ήλιος δεν επαρκεί για να καλύψει τις ανάγκες σε ζεστό νερό, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή (συνήθως λέβητας) και θερμαίνει την ποσότητα νερού που απαιτείται στο πάνω μέρος του δοχείου. Την διαδικασία (έναρξη και παύση λειτουργίας αντλιών, λέβητα κ.λπ.) καθορίζει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου [37].

ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ

1.3.1. Εισαγωγή

Με τον όρο κλιματισμό δεν εννοούμε μόνο την ψύξη του αέρα, αλλά ένα ευρύτερο μετασχηματισμό των κλιματικών συνθηκών ενός κλειστού χώρου. Στην εποχή μας ο άνθρωπος διαθέτει το 90% της ζωής του μέσα σε κλειστούς χώρους, είτε πρόκειται για την εργασία του είτε για τη διαμονή του. Γι' αυτό είναι σαφές ότι για να ζει άνετα, θα πρέπει οι συνθήκες τόσο της εργασίας του, όσο και της διαμονής του να είναι υγιεινές και ευχάριστες, ανεξάρτητα από τις συνθήκες που επικρατούν στο εξωτερικό περιβάλλον. Οι χρησιμοποιούμενες συσκευές κλιματισμού μπορούν αυτόματα να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, την καθαρότητα, την κυκλοφορία και την ανανέωση του αέρα ενός κλιματιζόμενου χώρου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, δημιουργώντας έτσι μια ατμόσφαιρα ευεξίας, η οποία είναι απαραίτητη στον άνθρωπο. Όταν η θερμοκρασία του χώρου είναι μεγαλύτερη της κανονικής (άνω των 29°C για το καλοκαίρι) ή μικρότερή της (κάτω των 19°C για το χειμώνα), τότε οι άνθρωποι αντιδρούν με δυσφορία, οπότε πρέπει να πραγματοποιηθεί ψύξη ή θέρμανση αντίστοιχα (αντλία θερμότητας). Μαζί με την κατάλληλη θερμοκρασία του κλιματιζόμενου χώρου πρέπει να υπάρχει και η ανάλογη σχετική υγρασία αυτού, διότι εάν μεν η σχετική υγρασία είναι μεγαλύτερη της κανονικής (άνω των 40 – 50%), δηλαδή ο αέρας είναι πολύ υγρός, τότε δυσχεραίνεται η αναπνοή τους και δεν διευκολύνεται η ψύξη του σώματος τους, εάν δε η σχετική υγρασία είναι μικρότερη της κανονικής, δηλαδή ο αέρας είναι πολύ ξηρός, τότε προκαλεί αϋπνία, νευρική υπερδιέγερση και τέλος ξήρανση του δέρματος. Οπότε χρειάζεται αφύγρανση. Τέλος, για την βελτίωση της ποιότητας του χώρου, πραγματοποιείται καθαρισμός του αέρα με τη χρήση φίλτρων και αερισμός – εξαερισμός για την αφαίρεση ποσότητας εσωτερικού αέρα και την αναπλήρωσή της με φρέσκο εξωτερικό. Συστήματα εξαερισμού μπορούν να εγκατασταθούν ακόμη και χωρίς εγκατάσταση κλιματιστικού.

Ο κλιματισμός επιτυγχάνεται με μια συσκευή που φέρνει σε επαφή τον εσωτερικό αέρα με μια ψυχρή ή θερμή επιφάνεια, τον εναλλάκτη θερμότητας, με αποτέλεσμα, αντίστοιχα, είτε να απορροφά τη θερμότητα από τον αέρα, είτε να την αποδίδει σ' αυτόν. Έτσι, για την ψύξη ή θέρμανση του αέρα, μέσα στον εναλλάκτη κυκλοφορεί ρευστό χαμηλής ή υψηλής θερμοκρασίας, αντίστοιχα, το οποίο είναι το μέσο που απαιτείται για να είναι δυνατή η ανταλλαγή θερμότητας και ονομάζεται ψυκτικό μέσο ή ψυκτικό ρευστό ή απλά ψυκτικό. Η κυκλοφορία του αέρα διαμέσου της επιφάνειας του εναλλάκτη γίνεται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, ενώ το ψυκτικό ρευστό κυκλοφορεί μέσα στην κλιματιστική μονάδα με τη βοήθεια αντλίας, λόγω διαφοράς της πίεσης στο ψυκτικό κύκλωμα. Τα είδη των κλιματιστικών μονάδων διαφέρουν, ανάλογα με τις απαιτήσεις του κλιματισμού, την εφαρμογή, δηλαδή τον τύπο και τη χρήση του κτιρίου και το κόστος αγοράς, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησής τους.

1.3.2. Εφαρμογές του κλιματισμού - βασικά συστήματα

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του κλιματισμού ενός χώρου, οι εγκαταστάσεις κλιματισμού χωρίζονται σε εγκαταστάσεις

- άνεσης (σε οικιακό και εμπορικό τομέα)
- επαγγελματικού ή βιομηχανικού τύπου

Ανάλογα με την εποχή που εξυπηρετεί μια εγκατάσταση κλιματισμού χαρακτηρίζεται ως εγκατάσταση

- χειμερινού κλιματισμού
- καλοκαιρινού κλιματισμού
- κλιματισμού για όλο το χρόνο

Ανάλογα με την έκταση των χώρων που εξυπηρετούν, οι κλιματιστικές μονάδες ή εγκαταστάσεις κατατάσσονται σε

- *Μονάδες δωματίου (τοίχου ή διαιρούμενες) ή αυτόνομες (τοπικές) κλιματιστικές μονάδες*
- *Ημικεντρικές μονάδες*
- *Κεντρικές μονάδες*

Ακόμη, με κριτήριο το μέσο μεταφοράς της ενέργειας στους κλιματιζόμενους χώρους, τα συστήματα κλιματισμού διακρίνονται σε:

- *Συστήματα με αέρα*

Ο κλιματισμένος αέρας παρασκευάζεται στην *κεντρική κλιματιστική μονάδα* και μεταφέρεται με τη βοήθεια δικτύου αεραγωγών και στομιών προσαγωγής και απαγωγής στους κλιματιζόμενους χώρους. Η κεντρική μονάδα κλιματισμού (Κ.Κ.Μ.) αναρροφά αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον τον οποίο σε ορισμένες περιπτώσεις δύναται να τον αναμίξει με ποσότητα αέρα που επιστρέφει από το κτίριο (ανακυκλοφορία). Στη συνέχεια ο αέρας φιλτράρεται και ακολουθεί η επεξεργασία του, δηλαδή η θέρμανση, ψύξη, ύγρανση, αφύγρανση κ.λπ., ανάλογα με τις επιθυμητές συνθήκες των χώρων, και οδηγείται μέσω του *ανεμιστήρα* και των *αεραγωγών διανομής* στους κλιματιζόμενους χώρους. Η ύγρανση του αέρα γίνεται από κατάλληλες συσκευές, τους υγραντήρες, οι οποίοι διοχετεύουν νερό ή ατμό στην Κ.Κ.Μ.. Η θέρμανση του αέρα γίνεται σε λέβητες, όπου παρασκευάζεται ζεστό νερό και οδηγείται στην Κ.Κ.Μ. για να ζεστάνει τον αέρα. Η ψύξη και η αφύγρανση του αέρα γίνεται με ψυχρό νερό, το οποίο παρασκευάζεται σε ψύκτη και οδηγείται σε εναλλάκτες αέρα-νερού (ψυκτικά στοιχεία) της Κ.Κ.Μ.. Τα συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα διακρίνονται σε συστήματα σταθερής παροχής και σε συστήματα μεταβλητής παροχής αέρα. Αυτός ο τρόπος κλιματισμού εφαρμόζεται στις περιπτώσεις μεγάλων φορτίων θερμότητας αφενός και αφετέρου όταν υπάρχει μεγάλη ανάγκη ανανεώσεως του αέρα των κλιματιζόμενων χώρων π.χ. κινηματογράφοι, θέατρα, τράπεζες κ.λπ..

- *Συστήματα με νερό*

Το ψυχρό νερό παρασκευάζεται σε ψυκτικές μονάδες (υδρόψυκτες ή αερόψυκτες) και το θερμό νερό σε λέβητες. Από εκεί μεταφέρεται στα fan-coil (τερματική συσκευή ανεμιστήρα-στοιχείου), με τη βοήθεια αντλιών. Ο έλεγχος των συνθηκών του αέρα γίνεται με την κυκλοφορία του αέρα των χώρων μέσα από τις τερματικές συσκευές, στις οποίες κυκλοφορεί το νερό. Οι τερματικές συσκευές περιλαμβάνουν ψυκτικό στοιχείο, και ανεμιστήρα ρυθμιζόμενης ταχύτητας για την εξαναγκασμένη κυκλοφορία του αέρα, επομένως ο αέρας μπορεί να είναι είτε ψυχρός (καλοκαίρι), είτε θερμός (χειμώνας) ανάλογα με την εποχή του έτους. Κάθε τερματική συσκευή είναι εφοδιασμένη με θερμοστάτη χώρου, μέσω του οποίου ρυθμίζεται η λειτουργία της συσκευής. Ο κλιματισμός του χώρου με fan coil, που τοποθετούνται εντός αυτού, είναι κατάλληλος για τις οικίες και τα γραφεία, συνίσταται δε στη χρήση στοιχείων ανάλογης ικανότητας με το χώρο τον οποίο θα εξυπηρετήσουν. Τα στοιχεία fan coil τοποθετούνται όπως ακριβώς και τα σώματα των καλοριφέρ, κάτω από τα παράθυρα και επιπροσθέτως επικοινωνούν με την ατμόσφαιρα, μέσω ανοίγματος του τοίχου (συνήθως 10x30 cm), όπου απορροφούν αέρα για την ανανέωση της ατμόσφαιρας του κλιματιζόμενου χώρου.



Εικόνα 1.23. Fan coil δαπέδου (τοποθετημένο δίπλα σε παράθυρο)

Τα Fan Coil Units είναι φανερού ή κρυφού τύπου, δαπέδου, τοίχου, οροφής ή ψευδοροφής, δίνοντας λύσεις ακόμα και στις πιο δύσκολες περιπτώσεις .

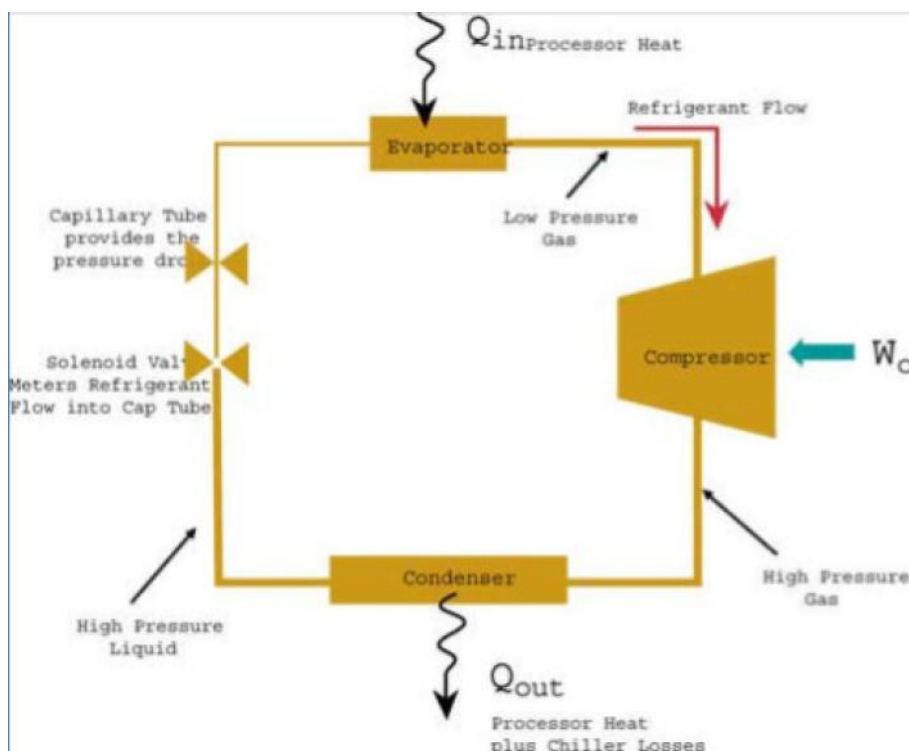
- *Συστήματα με αέρα και νερό*

Στους κλιματιζόμενους χώρους μεταφέρεται εκτός από νερό και κλιματισμένος αέρας, με ανεξάρτητο δίκτυο αεραγωγών. Ο προσαγόμενος αέρας μέσω των αεραγωγών έχει ως σκοπό κυρίως την ανανέωση του αέρα των χώρων και συνήθως προσάγεται με θερμοκρασία που διαφέρει λίγο από τη θερμοκρασία των χώρων (ελαφρά υψηλότερη στη περίπτωση της θέρμανσης και αντίστοιχα χαμηλότερη στη περίπτωση της ψύξης).

Οι τρεις κατηγορίες κλιματιστικών μονάδων ανάλογα με το μέγεθος των χώρων που εξυπηρετούν θα αναλυθούν στη συνέχεια. Πριν την ανάλυση αυτή, κρίνεται καλό να αναλυθούν 2 βασικά τμήματα της θεωρητικής τους βάσης, ο κύκλος μηχανικής συμπίεσης ατμών και η λειτουργία της αντλίας θερμότητας.

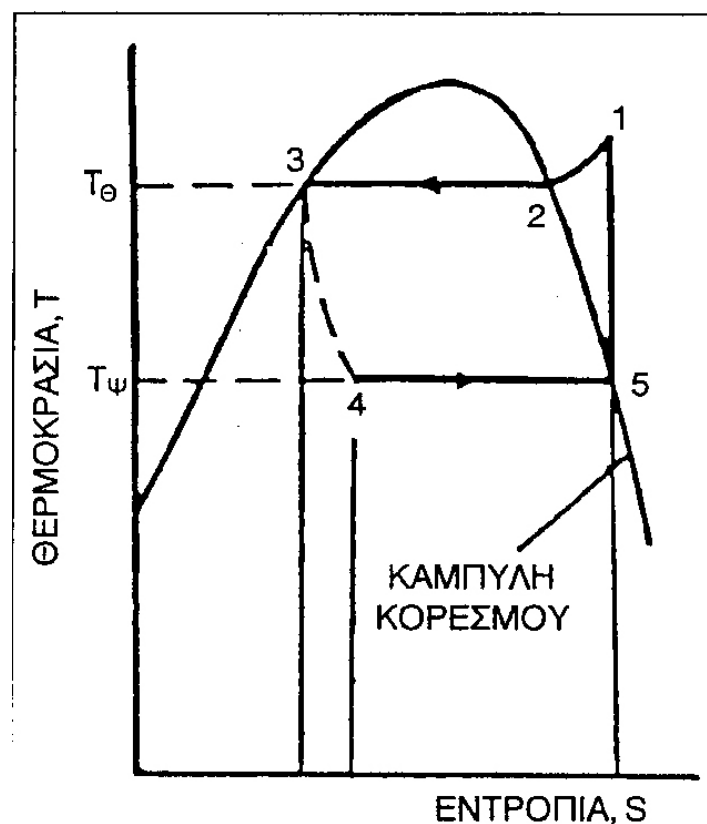
1.3.3. Ψυκτικός κύκλος μηχανικής συμπίεσης ατμών

Ο ψυκτικός κύκλος μηχανικής συμπίεσης επιτυγχάνεται χάρη στη μεταβολή φάσεων (από υγρό σε αέριο και από αέριο σε υγρό), ρευστού κατάλληλων θερμοδυναμικών χαρακτηριστικών, του ψυκτικού υγρού.



Εικόνα 1.24. Σύστημα μηχανικής συμπίεσης ατμών

- Μεταβολή 1 – 2: Ο συμπιεσμένος και υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στον συμπυκνωτή (condenser), ψύχεται μέχρι την κατάσταση κορεσμού και αποδίδει θερμότητα στο μέσο συμπύκνωσης (αέρας ή νερό). Αν είναι αέρας, αυτό επιτυγχάνεται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα (fan). Η πίεση παραμένει σταθερή, ενώ έχουμε μικρή πτώση της θερμοκρασίας του ατμού.
- Μεταβολή 2 – 3: Ο κορεσμένος ατμός που βρίσκεται μέσα στον συμπυκνωτή αρχίζει να υγροποιείται υπό σταθερή πίεση, ενώ συγχρόνως αποδίδει τη μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας στο μέσο συμπύκνωσης.
- Μεταβολή 3 – 4: Το υγροποιημένο ρευστό εγκαταλείπει τον συμπυκνωτή, περνάει από την εκτονωτική βαλβίδα και ελαττώνεται η πίεση του. Η μεταβολή αυτή είναι ισενθαλπική, μη αντιστρεπτή και συνοδεύεται από μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας.
- Μεταβολή 4 – 5: Με την πτώση της πίεσης, μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία εξάτμισης του ψυκτικού υγρού και είναι πιο εύκολη η εξάτμισή του. Το υγρό εισέρχεται στον εξατμιστή ή ατμοποιητή (evaporator), παίρνει θερμότητα από το μέσο που ψύχει και ατμοποιείται με σταθερή πίεση και θερμοκρασία. Η θερμότητα απορροφάται από τον εσωτερικό αέρα που κυκλοφορεί γύρω από τον εναλλάκτη, με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Η αύξηση της θερμοκρασίας είναι ισοβαρής.
- Μεταβολή 5 – 1: Ο ατμός που βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού, εισέρχεται στον συμπιεστή (compressor). Με τη συμπίεση, η οποία θεωρητικά είναι ισεντροπική, ενώ στην πράξη περίπου ισεντροπική και αρκετά αδιαβατική, λόγω ταχύτητας, ανεβαίνει η θερμοκρασία, η ενθαλπία και η πίεση του ατμού.



Εικόνα1.25. Οι μεταβολές του κύκλου μηχανικής συμπίεσης ατμών σε διάγραμμα T - s

Έτσι, στον εξατμιστή ψύχεται ο εσωτερικός αέρας. Πάνω στα στοιχεία του εναλλάκτη, παρατηρείται υγροποίηση των υδρατμών του αέρα, οπότε, γίνεται και αφύγρανση του αέρα. Σε όλες τις περιπτώσεις εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν αυτόν τον ψυκτικό κύκλο, πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για την απορροή των συμπυκνωμάτων.

Ο συντελεστής συμπεριφοράς, COP, του κύκλου ορίζεται ως:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\psi}}{w}, \quad (\text{Σχέση 1.25})$$

Όπου Q_{ψ} η ψυκτική ισχύς, δηλαδή η ανά μονάδα μάζας ψυκτικού μέσου απαγόμενη θερμότητα στον ατμοποιητή και w το μηχανικό έργο που προσδίδεται στην άτρακτο του μηχανικού συμπιεστή.

1.3.4. Αντλία Θερμότητας

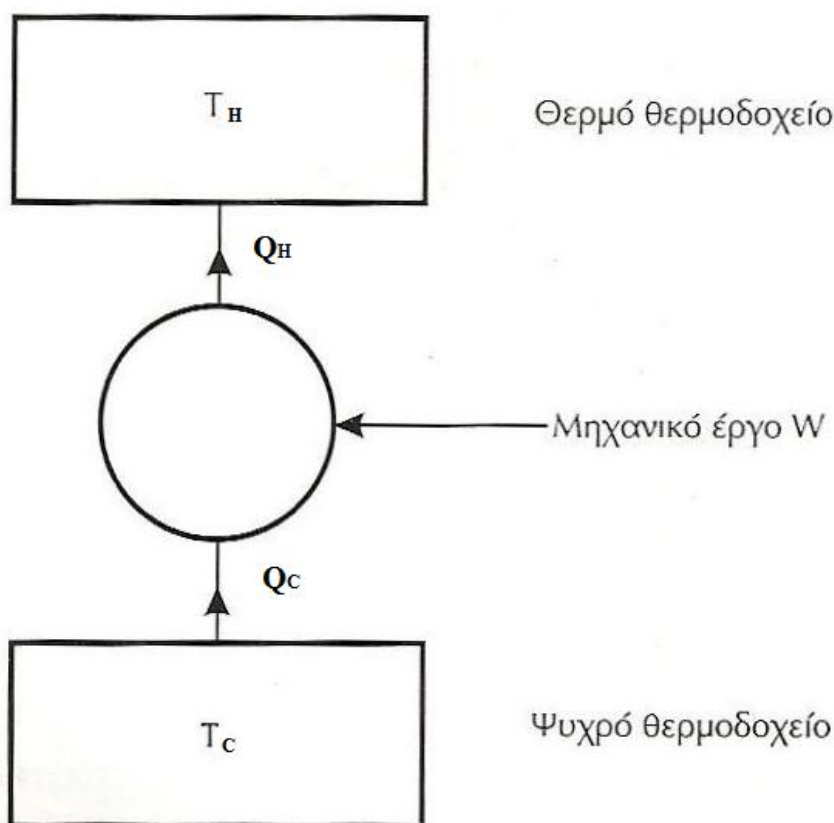
Η αντλία θερμότητας *κλιματίζει* ένα χώρο ακολουθώντας ψυκτικούς κύκλους, με επικρατέστερο αυτόν της συμπίεσης ατμών. Μπορεί άλλοτε να ψύχει και άλλοτε να τον θερμαίνει, με τη βοήθεια συγκεκριμένων τεχνικών και ελέγχων για την αντιστροφή της λειτουργίας της. Συνεπώς, οι μονάδες αντλίας θερμότητας καταργούν την ανάγκη άλλου συστήματος θέρμανσης και επιτρέπουν την ψύξη και θέρμανση του χώρου με την ίδια μονάδα, εξοικονομώντας παράλληλα κόστος και ενέργεια καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου.

Σύμφωνα με το 2ο θερμοδυναμικό αξίωμα, η θερμότητα μεταδίδεται από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η αντιστροφή της φυσικής αυτής κίνησης είναι εφικτή με την κατανάλωση κάποιας μορφής ενέργειας π.χ. ηλεκτρικής, και την προσφορά αυτής μέσω της αντλίας θερμότητας. Γι' αυτό μπορούμε να πούμε ότι 'αντλεί' θερμότητα από ένα χώρο και τη μεταφέρει σε έναν άλλο. Συγκεκριμένα το καλοκαίρι αφαιρεί θερμότητα από έναν κλιματιζόμενο χώρο και την αποβάλλει στο περιβάλλον, οπότε ψύχεται ο κλιματιζόμενος χώρος, ενώ το χειμώνα αφαιρεί θερμότητα από το περιβάλλον και την αποβάλλει μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο και τον θερμαίνει.

Έτσι λοιπόν, δεν αντιστρέφεται ο κύκλος, αλλά ο ρόλος του συμπυκνωτή με τον ρόλο του ατμοποιητή. Το καλοκαίρι ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος μέσα στον ψυχόμενο χώρο και τον ψύχει, ενώ τον χειμώνα ο ατμοποιητής είναι τοποθετημένος στο περιβάλλον και το ψύχει, και εφ' όσον αντλεί θερμότητα από αυτό. Αντί λοιπόν να μεταφέρονται οι συσκευές ατμοποιητής –συμπυκνωτής από τον χώρο στο περιβάλλον, η ΑΘ με τη χρήση τετράοδης βαλβίδας αντιστρέφει την ροή του ψυκτικού μέσου διατηρώντας φυσικά τον ψυκτικό κύκλο, στον οποίο συνεχίζεται κανονικά η προσφορά μηχανικού έργου, για την συμπίεση των ατμών του ψυκτικού μέσου.

Θεωρητική αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στη θεωρητική αρχή της ψυκτικής μηχανής.



Εικόνα 1.26. Αρχή λειτουργίας ψυκτικής μηχανής και αντλίας θερμότητας. Στην ΨΜ το ψυχρό θερμοδοχείο παίζει το ρόλο του ψυχόμενου χώρου και το θερμό θερμοδοχείο είναι το περιβάλλον ενώ στην ΑΘ το ψυχρό θερμοδοχείο είναι το περιβάλλον και το θερμό θερμοδοχείο παίζει το ρόλο του θερμαινόμενου χώρου.

Για τη λειτουργία της ψυκτικής μηχανής απαιτούνται όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, δύο θερμοδοχεία. Ένα θερμοδοχείο υψηλής T_H και ένα χαμηλής θερμοκρασίας T_C . Κατά τη λειτουργία της ψυκτικής μηχανής, το ψυκτικό μέσο απορροφά θερμότητα Q_C από τον ψυχόμενο χώρο με κατανάλωση έργου W και το συνολικό ποσό ενέργειας το απορρίπτει στο περιβάλλον με την μορφή θερμότητας Q_H . Μια άλλη θερμομηχανική διάταξη που χρησιμοποιείται, επίσης, για μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο χαμηλής θερμοκρασίας σε άλλον υψηλότερης, είναι η αντλία θερμότητας. Η λειτουργία της είναι ακριβώς η ίδια με εκείνη της ψυκτικής μηχανής, αλλά διαφέρει ως προς τον επιδιωκόμενο σκοπό. Συγκεκριμένα, ο σκοπός της ψυκτικής μηχανής είναι να ψύξει ένα χώρο ή να τον διατηρήσει σε θερμοκρασία μικρότερη από του περιβάλλοντος. Αντίθετα, ο σκοπός της αντλίας θερμότητας είναι να θερμάνει ένα χώρο ή να τον διατηρήσει σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή να εξασφαλίσει την απαιτούμενη

θέρμανση για ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες που πραγματοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, η μεν ψυκτική μηχανή χρησιμοποιεί το περιβάλλον ως θερμό θερμοδοχείο, η δε αντλία θερμότητας ως ψυχρό θερμοδοχείο.

Όπως βλέπουμε από το σχήμα:

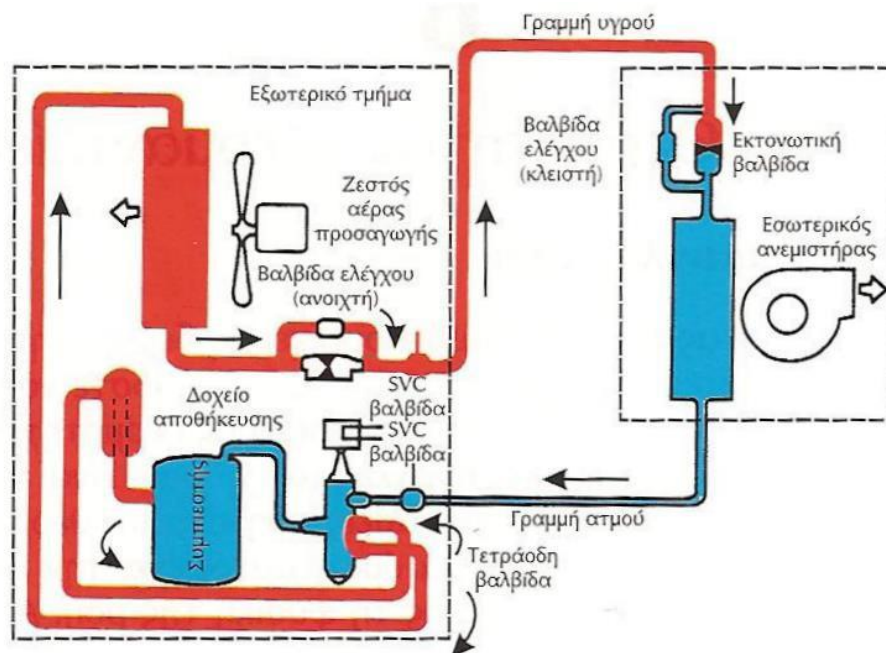
$$Q_H = Q_C + W \quad (\text{Σχέση 1.26})$$

Η παραπάνω σχέση δηλώνει ότι με την αντλία θερμότητας λαμβάνεται μεγαλύτερο ποσό ενέργειας από το έργο που καταναλώνεται κάτι που φαντάζει λογικό, αφού η θερμότητα δε παράγεται με το έργο που δαπανάται, αλλά αποσπάται από το εξωτερικό περιβάλλον ή από το χώρο και μεταφέρεται αντίστοιχα στο χώρο (θέρμανση) ή στο περιβάλλον (δροσισμός). Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η μεταφορά ποσού ενέργειας διπλάσιου ή και τριπλάσιου της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αποδοτικότητα των ψυκτικών μηχανών και των αντλιών θερμότητας εκφράζεται ποσοτικά με το συντελεστή λειτουργίας, ο οποίος ορίζεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Για δροσισμό, ο λόγος της μεταφερόμενης από τον ψυχόμενο χώρο θερμότητας προς το καταναλισκόμενο έργο στον συμπιεστή, ονομάζεται βαθμός ενεργειακής απόδοσης της αντλίας (EER, energy efficiency ratio) και είναι

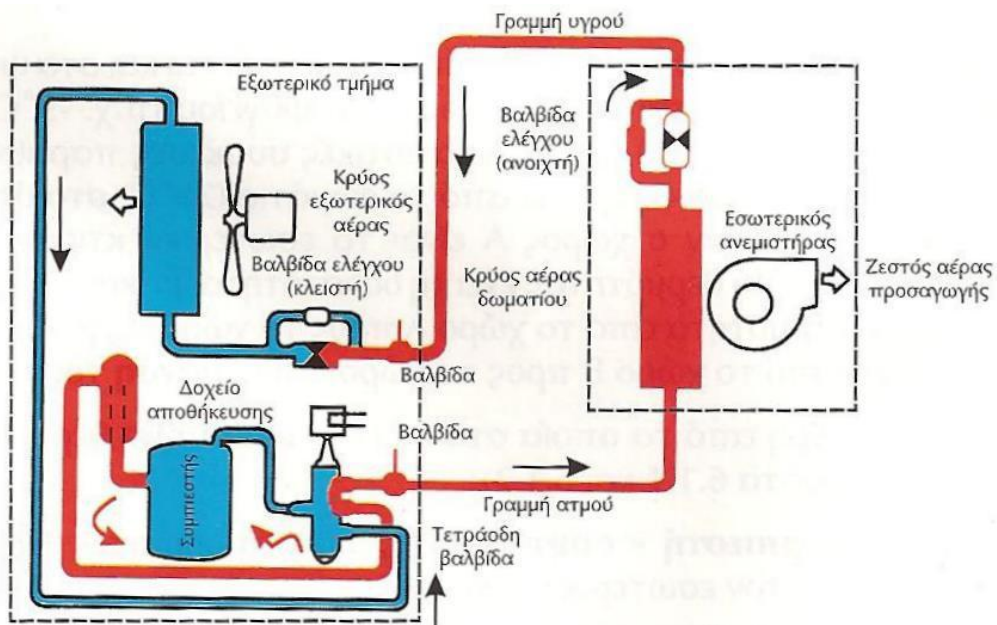
$$EER = \frac{Q_C}{W} \quad (\text{Σχέση 1.27})$$



Εικόνα1.27. Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας για ψύξη

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας κατά τους θερινούς μήνες, δηλαδή για ψύξη χώρου, φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Η αποβολή και απορρόφηση θερμότητας που πραγματοποιείται στον συμπυκνωτή και εξατμιστή αντίστοιχα, υποβοηθείται από ειδικούς ανεμιστήρες, οι οποίοι συντελούν στην ταχύτερη κυκλοφορία του περιβάλλοντος αέρα (νωπού ή εσωτερικού χώρου).

- Για ΑΘ, ο λόγος της μεταφερόμενης θερμότητας στο θερμαινόμενο χώρο προς το καταναλισκόμενο έργο στον συμπιεστή, ονομάζεται συντελεστής απόδοσης, αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία ως COP (coefficient of performance) και είναι
$$COP = \frac{Q_H}{W} \quad (\text{Σχέση 1.28})$$



Εικόνα 1.28. Λειτουργία Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση

Η λειτουργία της αντλίας θερμότητας για θέρμανση χώρου, φαίνεται στην παραπάνω εικόνα. Η λειτουργία του συμπυκνωτή και του εξατμιστή έχουν αντιστραφεί.

Επειδή

$$Q_H = Q_C + W$$

Η σχέση που συνδέει τους συντελεστές αυτούς είναι:

$$\text{COP} = \text{EER} + 1 \quad (\text{Σχέση 1.29})$$

Ο συντελεστής λειτουργίας της ΑΘ Carnot, δηλ, ο θεωρητικός COP, δίνεται από τη σχέση:

$$\text{COP}_{\text{th}} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (\text{Σχέση 1.30})$$

Η παραπάνω σχέση σημαίνει ότι:

- Για την ίδια θερμοκρασιακή διαφορά ο COP βελτιώνεται όσο υψηλότερης στάθμης είναι η θερμοκρασία του ζεστού θερμοδοχείου.
- Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του κλιματιζόμενου και του εξωτερικού χώρου, τόσο μεγαλύτερος είναι ο COP.

Οι δύο αυτές παρατηρήσεις έχουν ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας λόγω των ειδικών κλιματολογικών συνθηκών. Έχουμε ήπιο καιρό το χειμώνα με υψηλές σχετικά θερμοκρασίες περιβάλλοντος, δυνατότητα χρήσης της ηλιακής ενέργειας βοηθητικά στην αντλία θερμότητας, κατά την διάρκεια του χειμώνα και δυνατότητα σε ορισμένες περιπτώσεις της χρήσης της γεωθερμίας βοηθητικά στην ΑΘ.

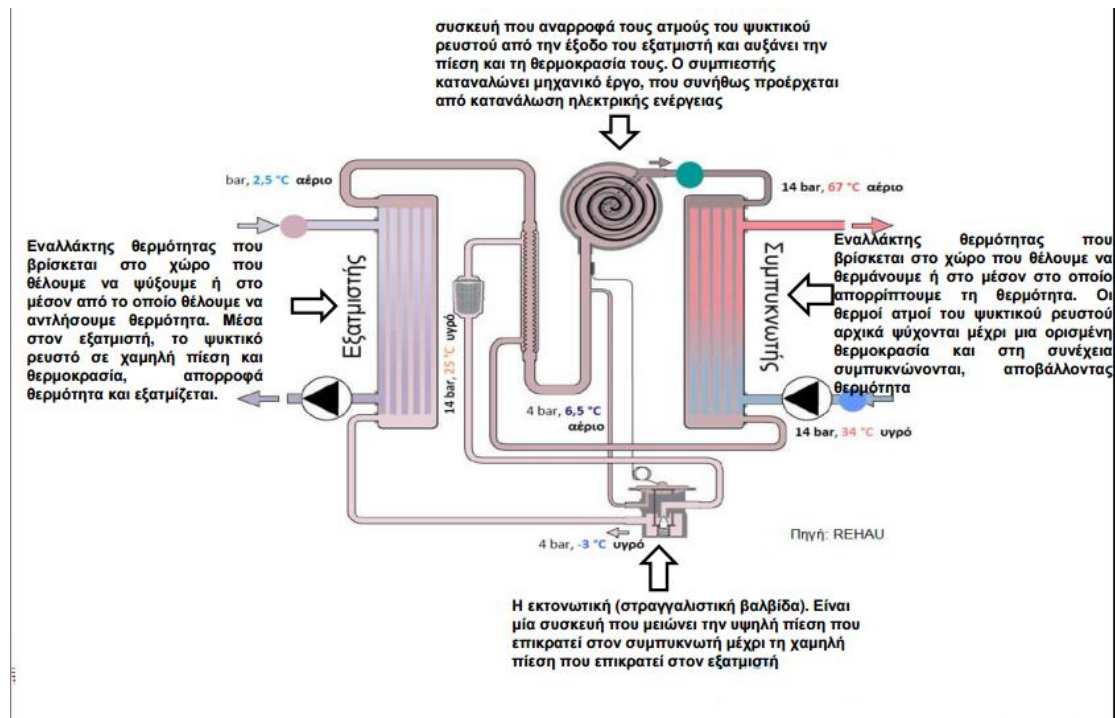
Συστατικά μέρη

Η αντλία θερμότητας αποτελείται από το *εσωτερικό τμήμα* της, το οποίο τοποθετείται στον *κλειστό χώρο* (δωμάτιο, γραφείο) και το *εξωτερικό* (που αποτελεί τον κύριο μηχανισμό της αντλίας θερμότητας), το οποίο βρίσκεται στο *εξωτερικό περιβάλλον* που είναι διαθέσιμη και ανεξάντλητη *ενεργειακή δεξαμενή*, όπως ο *αέρας*, το *έδαφος* ή το *νερό*. Οι φυσικές ενεργειακές δεξαμενές θεωρούνται ότι έχουν σταθερή θερμοκρασία σε κάθε δεδομένη χρονική στιγμή. Αυτό συμβαίνει γιατί ο ατμοσφαιρικός αέρας, το υγρό και ευθερμαγωγό έδαφος (σε κάποιο βάθος από την επιφάνεια), όπως και μια μεγάλη φυσική δεξαμενή νερού (πηγάδι, υπόγεια υγρή φλέβα, ποταμός ή λίμνη) πρακτικά δεν παρουσιάζουν αισθητή διαφορά θερμοκρασίας αν τους διοχετευτούν κάποιες σχετικά μικρές ποσότητες θερμότητας, που αντλούνται για τον κλιματισμό ενός χώρου, ή τους αφαιρέσουμε ανάλογες ποσότητες θερμότητας που χρειάζονται για τη θέρμανση του ίδιου χώρου το χειμώνα.

Τα τμήματα που αποτελείται, λοιπόν, είναι:

1. Το τμήμα συμπίεστη - συμπυκνωτή, που απορρίπτει θερμότητα στο περιβάλλον. Το έργο W καταναλώνεται στον συμπίεστη.
2. Το τμήμα ανεμιστήρα - ατμοποιητή, που απορροφά θερμότητα από τον εσωτερικό χώρο ή το περιβάλλον
3. Ο μηχανισμός αντιστροφής, που αποτελείται από μία τετράοδη βαλβίδα, η οποία μετατρέπει τον ψυκτικό κύκλο, σε 'θερμαντικό' και αντίστροφα.

4. Οι αυτοματισμοί για τον έλεγχο και την λειτουργία του συστήματος θέρμανσης ή ψύξης.
5. Η συμπληρωματική ηλεκτρική αντίσταση, που αυξάνει τη θερμική απόδοση του συστήματος, όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι πολύ μικρή.



Εικόνα 1.29. Συνοπτική παρουσίαση λειτουργίας αντλίας θερμότητας

Η κατηγοριοποίηση των αντλιών θερμότητας μπορεί να γίνει με βάση:

- Το μέσο από όπου αντλείται και το μέσο από όπου αποβάλλεται η θερμότητα
 - Αέρα-Αέρα (A-A)
 - Αέρα-Νερού (A-N)
 - Νερού-Νερού (N-N)
 - Νερού- Αέρα (N-A)
 - Εδάφους-Αέρα (E-A)
 - Εδάφους- Νερού (E-N)
- Το είδος της κινητήριας μηχανής
 - Ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές
 - Συμπιεστές κινούμενοι από μηχανές εσωτερικής καύσης (πετρέλαιο, ατμός, αέριο κ.λπ.)
 - Συμπιεστές απορρόφησης και προσρόφησης (θερμική ενέργεια χαμηλής και μέσης θερμοκρασίας).
- Τη θέση των διάφορων μηχανισμών της:
 - Ενιαίες ή αυτόνομες(Compact). Όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος
 - Διαιρούμενες ή διμερούς τύπου (Split units). Ο ατμοποιητής (ή ο συμπυκνωτής) είναι ανεξάρτητος του υπόλοιπου συστήματος [43].

1.3.5. Κλιματιστικές μονάδες δωματίου ή αυτόνομες κλιματιστικές μονάδες

Οι κλιματιστικές μονάδες δωματίου, οι οποίες αναφέρονται και ως αυτόνομες ή τοπικές κλιματιστικές μονάδες, είναι μονάδες μικρής ισχύος και εξυπηρετούν τις ανάγκες ενός μόνο συγκεκριμένου χώρου. Τέτοιες μονάδες κλιματισμού είναι οι *μονάδες τοίχου ή παραθύρου ενιαίες μονάδες ή monobloc*, οι οποίες τοποθετούνται σε τρύπα που ανοίγεται σε εξωτερικό τοίχο ενός δωματίου, καθώς επίσης και οι *μονάδες διαιρούμενου τύπου (split type units)*. Οι διαιρούμενες μονάδες μπορούν να παρέχουν μόνο ψύξη ή ψύξη και θέρμανση (αντλίες θερμότητας) και αποτελούν το συνηθέστερο τύπο που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Στην κατηγορία των διαιρούμενων μονάδων κατατάσσονται και οι *πολυδιαιρούμενες (Multiunit)*, στις οποίες μια *εξωτερική μονάδα (συμπιεστής – συμπυκνωτής)* μπορεί να συνδεθεί με περισσότερες από δυο εσωτερικές μονάδες (μέχρι και πέντε), που λειτουργούν ανεξάρτητα.

Ενιαία μονάδα (Monobloc)

Η ενιαία μονάδα τοποθετείται σε ένα άνοιγμα, έτσι ώστε η μια πλευρά της να επικοινωνεί με τον εσωτερικό χώρο και η άλλη με το εξωτερικό περιβάλλον. Συνήθως, τοποθετείται σε κάποιο παράθυρο ή είναι εντοιχισμένη σε εξωτερικό τοίχο. Η τοποθέτηση της στο παράθυρο μπορεί να δημιουργήσει πρακτικά προβλήματα στην λειτουργία του ίδιου του παραθύρου. Από την άλλη πλευρά, ο εντοιχισμός της μονάδας προϋποθέτει το άνοιγμα μιας μεγάλης τρύπας στον τοίχο οπότε, σε περίπτωση που αφαιρεθεί η μονάδα, τότε το κενό που θα δημιουργηθεί θα πρέπει να επισκευαστεί προσεκτικά. Μια ενιαία μονάδα να περιλαμβάνει (α) το ψυκτικό κύκλωμα (συμπιεστή, συμπυκνωτή και εξατμιστή), (β) φίλτρα αέρα, (γ) ανεμιστήρες, (δ) διατάξεις ύγρανσης και αφύγρανσης του αέρα, (ε) σύστημα ελέγχου και λειτουργίας και (στ) τετράοδο βαλβίδα αναστροφής του κύκλου λειτουργίας.

Οι πρώτες κλιματιστικές μονάδες που χρησιμοποιήθηκαν ανήκαν σε αυτή την κατηγορία και αρχικά, η λειτουργία τους αποσκοπούσε στην παραγωγή μόνο ψύξης, αλλά τώρα κυκλοφορούν και αντλίες θερμότητας για παραγωγή ψύξης/θέρμανσης. Ακολουθεί λοιπόν τον κύκλο μηχανικής συμπίεσης ατμών.

Το μέγεθος της μονάδας εξαρτάται από τη θερμική και την ψυκτική ικανότητα της, δηλαδή από τα φορτία που καλείται να καλύψει. Το γεγονός αυτό έχει άμεση σχέση με την ποσότητα της θερμότητας ή της ψύξης που πρέπει να αποδοθεί από τη μονάδα. Ανάλογα, λοιπόν, με το μέγεθος της μονάδας χρησιμοποιούνται και αντίστοιχου μεγέθους εναλλάκτες, ανεμιστήρες και συμπιεστές. Με το συνδυασμό πολλών τέτοιων μονάδων επιτυγχάνεται η κάλυψη μεγαλύτερων φορτίων θέρμανσης/ψύξης. Πάντως, για μικρούς χώρους, οι μονάδες έχουν συνήθως ισχύ από 1 έως 6 kW, ενώ για επαγγελματικούς χώρους, οι μονάδες φτάνουν μέχρι και 15 kW.

Μονάδες Διαιρούμενου Τύπου (split units)

Διαχωρίζοντας ορισμένα επιμέρους τμήματα της κλιματιστικής μονάδας που είναι τα πλέον θορυβώδη, όπως είναι ο συμπιεστής και ο κινητήρας της, είναι δυνατόν η μονάδα να διαιρεθεί σε δύο κομμάτια, την *εσωτερική* και *εξωτερική* μονάδα. Αυτή η κλιματιστική

μονάδα ονομάζεται μονάδα *διαιρούμενου τύπου* και τα δύο τμήματά της συνδέονται με σωλήνες όπου κυκλοφορεί το ψυκτικό μέσο σε κλειστό κύκλωμα. Το ψυκτικό υγρό που χρησιμοποιούταν ήταν το R-22 και αντικαταστάθηκε με τα R-410A και R-407C.

Οι μικρές κλιματιστικές μονάδες διαιρούμενου τύπου είναι οι πλέον διαδεδομένες μονάδες θέρμανσης και ψύξης, για μικρούς χώρους. Πρόκειται για το γνωστό 'κλιματιστικό'. Βασίζονται στην αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα και τοποθετούνται εύκολα, ακόμη και σε υπάρχοντα κτίρια, αφού δεν απαιτούν ιδιαίτερες επεμβάσεις στο εξωτερικό του κτιρίου ή στους εσωτερικούς χώρους του. Μια τέτοια κλιματιστική μονάδα περιλαμβάνει την *εξωτερική* και την *εσωτερική μονάδα*, των οποίων τα επιμέρους στοιχεία συνδέονται με *χαλκοσωλήνες*.

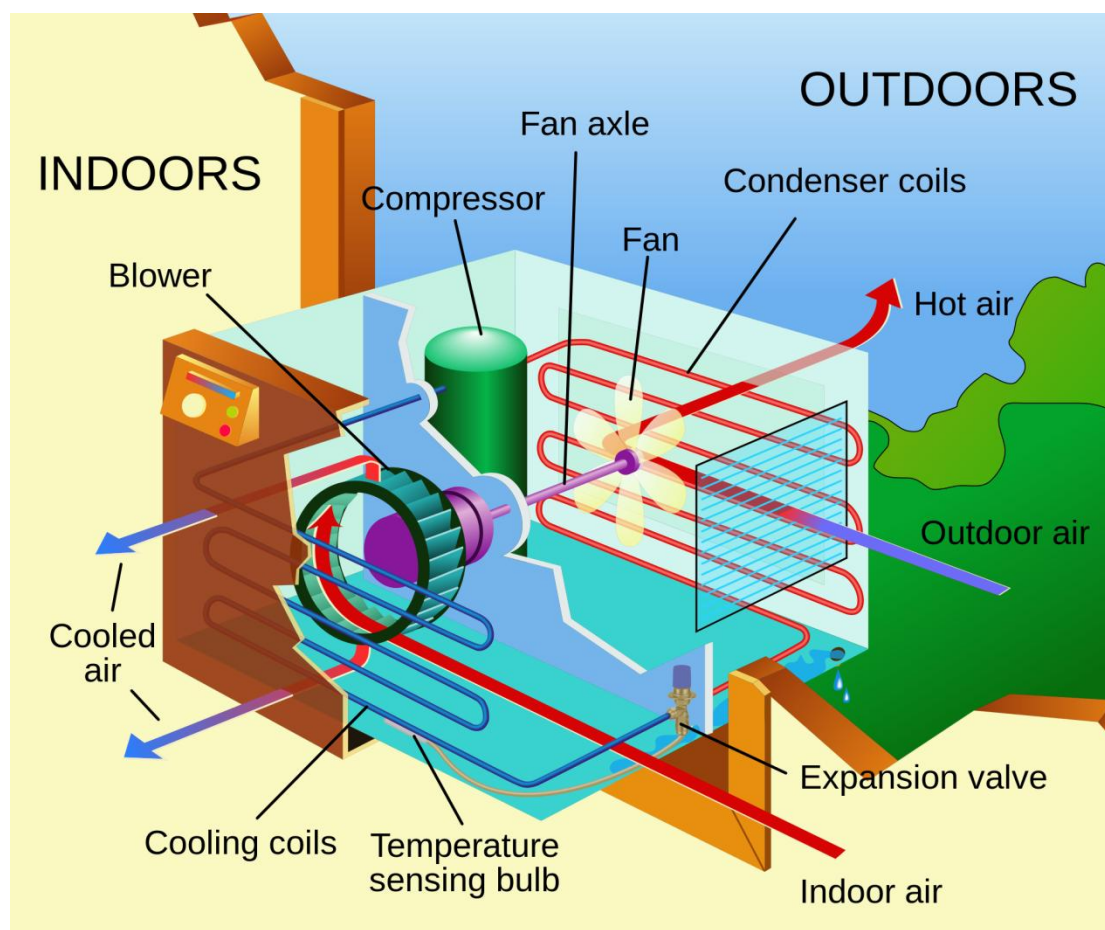


Εικόνα 1.30. Μέρη που αποτελείται το κλιματιστικό

Η *εξωτερική* μονάδα περιλαμβάνει (α) τον εναλλάκτη, ο οποίος λειτουργεί είτε σαν εξατμιστής είτε σαν συμπυκνωτής, (β) το συμπιεστή, (γ) τον ανεμιστήρα, (δ) τη βαλβίδα αντιστροφής του κύκλου, (ε) τον ηλεκτρικό πίνακα σύνδεσης με την εσωτερική μονάδα και (στ) τις βαλβίδες σύνδεσης εισόδου και εξόδου του ψυκτικού ρευστού. Το κάλυμμα της εξωτερικής μονάδας είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό έλασμα με πλαστική επένδυση, ενώ εμπρός από τον ανεμιστήρα διαθέτει άνοιγμα με προστατευτικό πλέγμα, για να κυκλοφορεί ο αέρας που περνά από τον εναλλάκτη. Στο κάτω μέρος της πλαϊνής πλευράς της εξωτερικής μονάδας υπάρχουν δύο αναμονές, για να συνδεθούν με τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του ψυκτικού που έρχονται από την εσωτερική μονάδα. Η βάση της μονάδας έχει πλαστικά στηρίγματα (ποδαράκια) τα οποία απορροφούν τους κραδασμούς.

Η εσωτερική μονάδα περιλαμβάνει (α) τον εναλλάκτη, ο οποίος λειτουργεί είτε σαν εξατμιστής είτε σαν συμπυκνωτής, (β) τον ανεμιστήρα, (γ) το φίλτρο αέρα που βρίσκεται πίσω από το προστατευτικό πλέγμα εισόδου του αέρα και (δ) το χειριστήριο για τον έλεγχο και τη ρύθμιση των λειτουργιών της μονάδας. Κάτω από τον ανεμιστήρα υπάρχει μια μικρή λεκάνη στην οποία συγκεντρώνεται το νερό από την υγροποίηση των υδατμών του αέρα (συμπυκνώματα) το οποίο έχει μια μικρή κλίση προς τη μια πλευρά του, όπου είναι συνδεδεμένος ο σωλήνας απορροής των συμπυκνωμάτων, μέσω του οποίου το νερό απομακρύνεται από τη μονάδα και αποβάλλεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Τα φίλτρα αφαιρούνται εύκολα, πρέπει να καθαρίζονται συστηματικά και να απολυμαίνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα γιατί διαφορετικά επιβαρύνεται η ποιότητα του εσωτερικού αέρα, μειώνεται η ροή του και κατ' επέκταση η δυνατότητα ψύξης/θέρμανσης, ενώ η λειτουργία της μονάδας κάνει περισσότερο θόρυβο.

Μπορεί να είναι: Τοίχου (Εμφανούς τύπου), δαπέδου (εμφανούς ή κρυφού τύπου) , οροφής (εμφανούς ή κρυφού τύπου. Τα κλιματιστικά οροφής κρυφού τύπου καλούνται ψευδοροφές.).



Εικόνα 1.31. Μέρη που αποτελείται το κλιματιστικό (split unit)

Η έρευνα και οι συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές των κλιματιστικών έχουν σαν αποτέλεσμα πιο αθόρυβη, οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία των split units.

Νέοι κινητήρες με τεχνολογία inverter επιτρέπουν τον έλεγχο των στροφών και κυρίως την ομαλή αυξομείωσή τους με καταπληκτικά αποτελέσματα στην οικονομική και αθόρυβη λειτουργία του κλιματιστικών μηχανημάτων. Μοντέρνος σχεδιασμός στην κατασκευή των εσωτερικών μονάδων και οικολογικά ψυκτικά μέσα ολοκληρώνουν τις βελτιώσεις στα κλιματιστικά αυτού του είδους μαζί με ειδικά φίλτρα και ιονιστές που βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα.

Σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος η εκτεταμένη χρήση κλιματιστικών δημιουργεί έναν φαύλο κύκλο που αφενός αυξάνει το ενεργειακό φορτίο και αφετέρου τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας. Γιατροί και τεχνικοί συντήρησης κλιματιστικών συσκευών, συχνά αναφέρονται στους κινδύνους που απορρέουν από την αλόγιστη χρήση τους. Οι κίνδυνοι για την υγεία συνοψίζονται στις πνευμονολογικές λοιμώξεις, στην ψύξη, δυσφορία και πονοκεφάλους, ενώ ο μη ανανεωμένος εισπνεόμενος αέρας δημιουργεί μακροπρόθεσμα σοβαρές πνευμονολογικές δυσλειτουργίες.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μονάδων τοίχου και διαιρούμενου τύπου

Οι μονάδες τοίχου ή παραθύρου τείνουν να καταργηθούν λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν (έλλειψη καλαισθησίας, θόρυβος κ.λπ.). Αντίθετα, οι μονάδες δωματίου διαιρούμενου τύπου προτιμούνται γιατί παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των μονάδων τοίχου. Μερικά από τα πλεονεκτήματα των διαιρούμενων μονάδων είναι:

- Εύκολη και χωρίς ζημιές τοποθέτηση των μονάδων.
- Τοποθετούνται σε οποιοδήποτε σημείο του κλιματιζόμενου χώρου και όχι μόνο σε εξωτερικούς τοίχους.
- Η λειτουργία τους είναι αθόρυβη μια και ο συμπιεστής και ο συμπυκνωτής, που προξενούν το θόρυβο, βρίσκονται έξω από τον κλιματιζόμενο χώρο.

1.3.6. Ημικεντρικές μονάδες κλιματισμού

Οι ημικεντρικές μονάδες κλιματισμού περιέχουν μέσα στο κέλυφος τους όλα εκείνα τα εξαρτήματα που απαιτούνται ώστε να ικανοποιηθούν οι στόχοι του κλιματισμού του αέρα και μπορούν να συνδεθούν σε δίκτυο αεραγωγών, στην περίπτωση που το μέσο κλιματισμού του αέρα του χώρου είναι ο αέρας, ή σε δίκτυο σωληνώσεων όταν ο κλιματισμός του χώρου γίνεται με σύστημα νερού ή με αντίστοιχο μικτό (νερού/αέρα). Οι μονάδες αυτές παρέχουν τη δυνατότητα αφενός της ανανέωσης του εσωτερικού αέρα με τη λήψη της αναγκαίας ποσότητας ατμοσφαιρικού αέρα- είτε απευθείας είτε μέσω κατάλληλων αεραγωγών και των αντίστοιχων ελεγχόμενων διαφραγμάτων αέρα- και αφετέρου της ύγρανσης του, μέσω υγραντήρων ψεκασμού ή υγραντήρων ατμού. Ανάλογα

με τον τύπο του εξατμιστή του ψυκτικού κυκλώματος της μονάδας, αν είναι δηλαδή υδρόψυκτος ή αερόψυκτος, οι ημικεντρικές κλιματιστικές μονάδες διακρίνονται σε

- αερόψυκτες
- υδρόψυκτες

Στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογών, προτιμώνται οι αερόψυκτες μονάδες λόγω του μικρού κόστους αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης τους. Οι *αερόψυκτες* ημικεντρικές κλιματιστικές μονάδες τοποθετούνται στο εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το κλιματιστικό μέσο, μετά την επεξεργασία του στη μονάδα, μεταφέρεται μέσα στο χώρο με τους ανάλογους αγωγούς. Έτσι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον κλιματισμό, κυρίως, μικρών κατοικιών και μικρών επαγγελματικών χώρων. Οι *υδρόψυκτες* ημικεντρικές κλιματιστικές μονάδες τοποθετούνται μέσα στον κλιματιζόμενο χώρο, ενώ για την ψύξη του συμπυκνωτή τους μπορεί να χρησιμοποιηθεί πύργος ψύξης ή πόσιμο νερό εφόσον αυτό είναι διαθέσιμο και η επίπτωση στο λειτουργικό κόστος της μονάδας δεν κρίνεται ασύμφορη. Οι μονάδες αυτού του τύπου αναρροφούν τον αέρα του χώρου από το κάτω μέρος τους και, αφού τον επεξεργαστούν, τον εισάγουν και πάλι στο χώρο από το επάνω μέρος τους. Οι ημικεντρικές μονάδες κλιματισμού εξυπηρετούν κατά κανόνα περισσότερους από έναν χώρους ή μεγάλους ενιαίους χώρους. Τέτοιες περιπτώσεις μπορεί να είναι ένα διαμέρισμα ή ένας επαγγελματικός χώρος (π.χ. ένα εστιατόριο, σουπερ μάρκετ κλπ.). Οι μονάδες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως σε περιπτώσεις που είναι δύσκολο να εφαρμοστεί ένα μεγάλο κεντρικό δίκτυο αεραγωγών και αντί γι' αυτό υπάρχουν πολλά μικρά τοπικά δίκτυα. Οι ημικεντρικές μονάδες μπορεί να είναι και πάλι αυτοτελείς (μονομπλόκ) ή διαιρούμενου τύπου, οι οποίες είναι γνωστές ως τύπου οροφής (rooftop) και τοποθετούνται στην οροφή του κτιρίου που κλιματίζουν. Οι ημικεντρικές μονάδες *διαιρούμενου* τύπου διακρίνονται περαιτέρω σε αυτές

(α) που συνδέονται σε δίκτυο αεραγωγών

(β) που προσάγουν τον κλιματισμένο αέρα απευθείας στο χώρο που κλιματίζουν (τύπου ντουλάπας).

Στην πρώτη κατηγορία η κατανομή του αέρα στο χώρο γίνεται με μικρό δίκτυο αεραγωγών και στομίων προσαγωγής, μέσω των οποίων γίνεται ισοκατανομή του κλιματισμένου αέρα στους διάφορους χώρους. Οι μονάδες τύπου ντουλάπας προσάγουν τον αέρα από ένα μόνο στόμιο προσαγωγής αέρα, που είναι τοποθετημένο στις μονάδες από το εργοστάσιο κατασκευής τους.



Εικόνα 1.32. Κλιματιστική μονάδα οροφής



Εικόνα 1.33. Κλιματιστική μονάδα τύπου ντουλάπας

1.3.7. Κεντρικές μονάδες κλιματισμού

Οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες περιλαμβάνουν εγκαταστάσεις κλιματισμού που μπορούν να καλύψουν μεγάλες απαιτήσεις (π.χ. ολόκληρου κτιρίου) και προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες, απαιτώντας όμως πολύπλοκες εσωτερικές εγκαταστάσεις. Η πιο

απλή εγκατάσταση κεντρικού κλιματισμού όμως είναι αυτή που διαθέτει ένα κεντρικό δίκτυο σωλήνων διανομής ζεστού ή/και κρύου νερού, ή ψυκτικού υγρού, που τροφοδοτεί τις διάφορες τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan coil) μέσα σε ένα κτίριο. Αυτού του τύπου οι κλιματιστικές μονάδες κλιματίζουν ολόκληρο το κτίριο στο οποίο είναι εγκατεστημένες και είναι κατά κανόνα μονάδες για όλο το χρόνο (ψύξη/ θέρμανση) και δεν παράγουν απευθείας θερμότητα ή ψύξη (συστήματα αέρα), αλλά συνδέονται με έναν ψύκτη και ένα λέβητα, ή με μια μεγάλη αντλία θερμότητας, που τροφοδοτούν με ζεστό και κρύο νερό ή με ψυκτικό ρευστό τους εναλλάκτες θερμότητας των μονάδων αυτών. Έτσι, οι κεντρικές κλιματιστικές μονάδες διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- στις μονάδες ή εγκαταστάσεις ψύξης - θέρμανσης με ψύκτη νερού και κλασσικό λέβητα ζεστού νερού ή ατμού
- στις μονάδες που δίνουν ψύξη- θέρμανση με αναστροφή του κύκλου λειτουργίας, γνωστές ως αντλίες θερμότητας

Οι εναλλάκτες θερμότητας που είναι και τα κυριότερα εξαρτήματα τους, είναι διαφορετικά κατασκευασμένοι από αυτούς των μονάδων δωματίου. Αν και εκ πρώτης όψεως μοιάζουν, το στοιχείο μίας τέτοιας μονάδας έχει διαφορετικό μέγεθος και υπάρχουν διαφορές στους συλλέκτες και στο σύστημα ροής που είναι αντιρροή. Η θερμομόνωσή τους είναι απαραίτητη διότι οι κεντρικές μονάδες κλιματισμού τοποθετούνται, συνήθως, σε μη κλιματιζόμενους χώρους και χωρίς την ισχυρή θερμομόνωση θα παρουσίαζαν μεγάλες απώλειες. Πιο συγκεκριμένα οι εξωτερικές μονάδες τους τοποθετούνται στην οροφή, στο περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου ή σε ειδικά διαμορφωμένο μηχανοστάσιο, ανάλογα με τον τύπο της μονάδας και πρέπει να υπάρχει δυνατότητα ελεύθερης κυκλοφορίας του εξωτερικού αέρα γύρω από τις εξωτερικές μονάδες. Σε κεντρικές εγκαταστάσεις που κυκλοφορεί νερό, απαιτούνται αντλίες οι οποίες κυκλοφορούν το ζεστό και το κρύο νερό από την εξωτερική μονάδα στους διάφορους τύπους εναλλακτών, που βρίσκονται στους εσωτερικούς χώρους, για να κλιματίσουν τον αέρα. Όταν χρησιμοποιείται ψυκτικό ρευστό μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών μονάδων, τότε το σύστημα είναι γνωστό σαν *μονάδα απευθείας εκτόνωσης* ή με την εμπορική ονομασία *VRV (Variable Refrigerant Volume)*. Το ψυκτικό ρευστό κυκλοφορεί μέσα σε μικρής διαμέτρου σωλήνες. Μια τέτοιου είδους εγκατάσταση είναι σχετικά εύκολη σε νέες κατασκευές, αφού δεν χρειάζονται μεγάλα ανοίγματα ώστε να περάσουν οι σωληνώσεις και έτσι, δεσμεύεται μικρός χώρος μέσα στο κτίριο. Σε υπάρχοντα, όμως, κτίρια είναι πιο δύσκολο να γίνει μια κεντρική εγκατάσταση, εκτός εάν, παράλληλα, γίνεται ανακαίνιση όλου του κτιρίου [41], [42].

1.3.8. Η ψύξη

Η ψύξη σήμερα κυρίως χρησιμοποιείται για την διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών σύμφωνα με τις απαιτήσεις βιομηχανικών διαδικασιών ή για την διατήρηση θερμοκρασιών άνεσης στους χώρους κατοικίας και εργασίας. Η χρήση της κρίνεται επίσης αναγκαία για

την συντήρηση τροφίμων - ποτών για μεγάλα χρονικά διαστήματα, ελαχιστοποιώντας συγχρόνως την υποβάθμιση της ποιότητάς τους.

Πριν προχωρήσει κανείς στην αγορά και λειτουργία ενός ψυκτικού μηχανήματος πρέπει να αναρωτηθεί αν χρειάζεται ψύξη. Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να διατηρηθεί ή να παραχθεί ψύξη χρησιμοποιώντας την από φυσικούς πόρους παρεχόμενη ψύξη ή δροσισμό, όπως για παράδειγμα η χρήση:

- Των πύργων ψύξης που μπορούν να ψύχουν το νερό στους 25°C και ακόμη χαμηλότερα και τις πιο ζεστές μέρες του καλοκαιριού.
- Του αερισμού με προϋποθέσεις ή η χρήση του νυχτερινού αερισμού κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.
- Του νερού από πηγάδια μικρού βάθους γεωτρήσεων ή πηγών που συνήθως είναι στους 10°C καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.
- Της μόνωσης που πλέον θεωρείται αναγκαία διότι λειτουργεί το ίδιο καλά στο να διατηρεί τη ζητούμενη θερμοκρασία εντός όσο και εκτός του χώρου που μας ενδιαφέρει.
- Εξωτερικών σκιάστρων (πατζούρια, ρολά) για τον έλεγχο της ηλιακής ακτινοβολίας συνήθως τους καλοκαιρινούς μήνες, κ.λπ..

Υποσύστημα παραγωγής ψύξης

Το υποσύστημα παραγωγής ψύξης αποτελείται από συσκευές που ονομάζονται ψύκτες. Οι ψύκτες είναι συσκευές που χρησιμοποιούνται στον κλιματισμό και παράγουν ψυχρό νερό, και, με βάση το λειτουργικό τους κύκλο, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

(α) στους ψύκτες συμπίεσης ατμών, και

(β) στους ψύκτες απορρόφησης ή προσρόφησης.

Πηγή ενέργειας: ηλεκτρισμός, ελαφρύ πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία κ.λπ.. Τα ψυκτικά μηχανήματα καταναλώνουν κυρίως ηλεκτρική ενέργεια εκτός από τα μηχανήματα απορρόφησης και προσρόφησης, τα οποία χρησιμοποιούν θερμότητα και παράγουν ψύχος.

Ανάλογα με το φορέα απόρριψης της θερμότητας στο συμπυκνωτή οι ψύκτες διακρίνονται σε:

- υδρόψυκτους, όταν η θερμότητα απορρίπτεται σε ένα κύκλωμα νερού-πύργου ψύξης, και
- Αερόψυκτους όταν η θερμότητα του συμπυκνωτή απορρίπτεται απευθείας στον ατμοσφαιρικό αέρα. Σύγχρονοι ψύκτες της τεχνολογίας αυτής, έχουν τη δυνατότητα, με κατάλληλη αναστροφή του λειτουργικού τους κύκλου, να εργαστούν και ως συσκευές παραγωγής θερμότητας (αντλίες θερμότητας).

Εκτός από τους ψύκτες, οι ψυκτικές εγκαταστάσεις περιλαμβάνουν για την απόρριψη της θερμότητας και πύργους ψύξης, αερόψυκτους ή υδρόψυκτους συμπυκνωτές, ή και συνδυασμό των μηχανημάτων αυτών [44].

1.3.9. Ηλιακή ψύξη

1.3.9.1. Εισαγωγή στην ηλιακή ψύξη

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, ζεστό νερό από ηλιακούς συλλέκτες μπορεί να τροφοδοτήσει τον ψύκτη (ηλιακή ψύξη) για τον κλιματισμό του κτιρίου αλλά και για την εξασφάλιση του ζεστού νερού χρήσης που χρειάζεται. Τους χειμερινούς μήνες το ζεστό νερό μπορεί να εξασφαλίσει τη θέρμανση του κτιρίου καθώς επίσης και τις ανάγκες για ζεστό νερό χρήσης.





Κατά καιρούς, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την αποφυγή της υπερθέρμανσης και τη μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών κτιρίων κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Στην περιοχή της Μεσογείου για παράδειγμα, τα κτίρια είναι βαμμένα με ανοιχτά χρώματα, προκειμένου να αντανακλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά κατά τη θερινή περίοδο. Οι εναλλακτικές μέθοδοι δροσισμού είναι βασισμένες σε διάφορες τεχνικές παθητικής ψύξης και ψύξης χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (προστασία με μέτρα στο σχεδιασμό του κτιρίου, χρήση ειδικού εξοπλισμού για τη μείωση των θερμικών κερδών ή για την απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον). Όλες αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στη μείωση των ψυκτικών φορτίων και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για κλιματισμό. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται λόγω της εκτενούς χρήσης του κλιματισμού χώρων (Heating Ventilation & Air Conditioning), αυξάνοντας το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής με αποτέλεσμα να προκαλούνται σημαντικά προβλήματα στην ηλεκτροδότηση. Η ενεργειακή έλλειψη είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια των 'ξηρών' ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής. Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτει με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂. Χάρη στα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι δυνατό να κλιματιστούν κτίρια μειώνοντας στο ελάχιστο τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Εντούτοις, παρόλο που η χρησιμοποιούμενη ενέργεια παρέχεται δωρεάν (ηλιακή ενέργεια), τα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι προς το παρόν ακριβότερα από τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αντίστοιχης ψυκτικής ισχύος. Επομένως, αν αποφασισθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος

ηλιακής ψύξης, πρέπει να γίνει προσεκτική ανάλυση των παραμέτρων του κτιρίου που θα κλιματίζεται και να υιοθετηθούν όλα τα μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών.

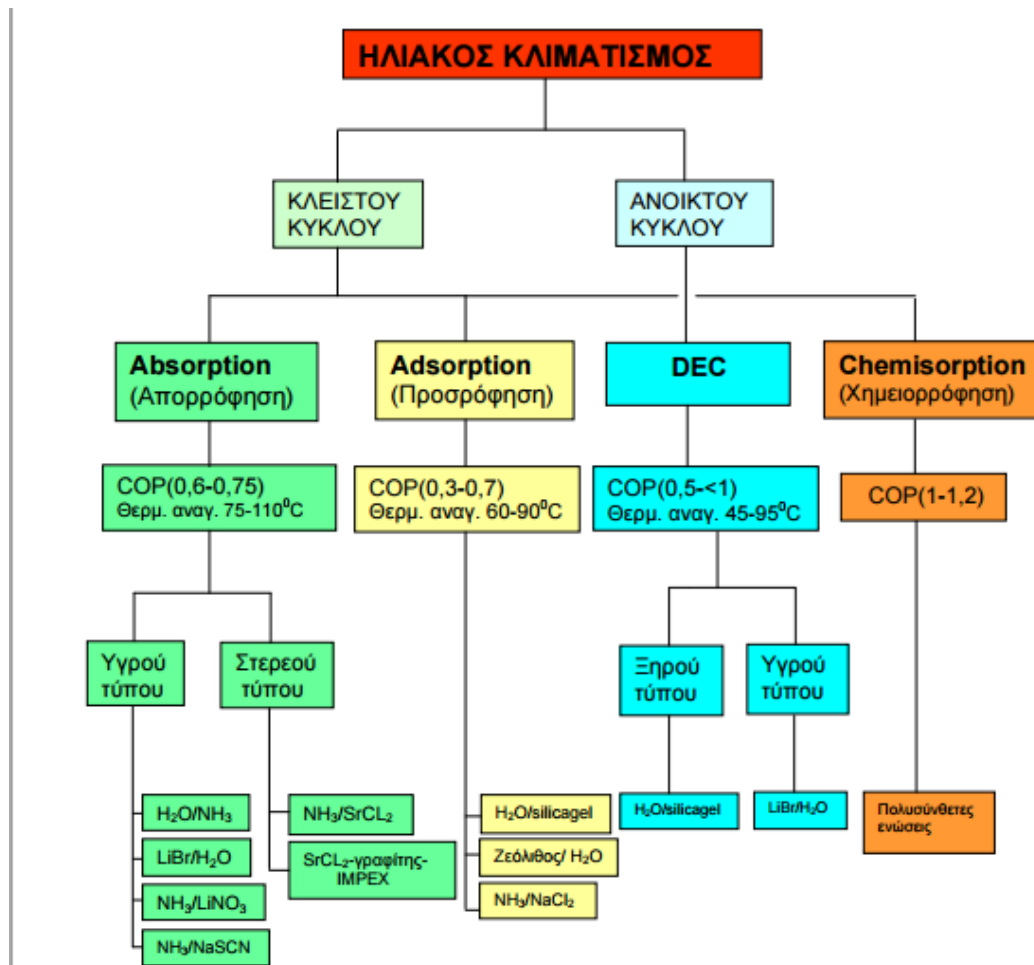
1.3.9.2. Κατηγορίες

Οι πιο κοινές τεχνολογίες κλιματισμού με χρήση της ηλιακής ενέργειας, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- *κλειστά συστήματα*: αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (fan coils). Στην αγορά σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι:
 - οι ψύκτες *απορρόφησης* (πιο κοινοί), όπου το μέσο απορρόφησης είναι υγρό, οπότε θα αραιώσει το ψυκτικό μέσο και θα μετακινηθεί από διάφορα διαχωριστικά.
 - οι ψύκτες *προσρόφησης* (σπανιότεροι, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για ηλιακό κλιματισμό), όπου το μέσο απορρόφησης είναι σε στερεά μορφή, οπότε δε μπορεί να μετακινηθεί και το διαμέρισμά του θα υπόκειται σε θέρμανση και ψύξη με σκοπό να απορροφήσει το ψυκτικό μέσο και να αναπαραχθεί.
- *ανοικτά συστήματα*: που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ξηρό και ψυχρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό και είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant), που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες ροφητικό υλικό.

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγνωση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό -βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα (kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

Εικόνα 1.34. Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού



Εικόνα 1.35. Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού (2)

1.3.9.3. Ψύξη με Απορρόφηση (Absorption cooling)

Η μέθοδος αυτή σε αντίθεση με τις κλασικές ψυκτικές διατάξεις μηχανικής συμπίεσης χρησιμοποιεί δυο εργαζόμενα μέσα. Αυτά είναι το καθαυτό ψυκτικό μέσο (*refrigerant*) και το μέσο απορρόφησης (*absorbent*). Δυο κλασικά ζεύγη παρομοίων μέσων είναι:

α) Αμμωνία - Νερό ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$)

β) Νερό - Διάλυμα Βρωμιούχου Λιθίου ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$)

Στην πρώτη περίπτωση το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία και το μέσο απορρόφησης το νερό. Στην δεύτερη περίπτωση ψυκτικό μέσο είναι το νερό και μέσο απορρόφησης το διάλυμα βρωμιούχου λιθίου. Οι ψυκτικές διατάξεις με απορρόφηση χρησιμοποιούν για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος το φαινόμενο της ατμοποίησης και επομένως για να έχουμε συνεχή λειτουργία με επαναχρησιμοποίηση του ψυκτικού μέσου απαιτείται να γίνει χρήση και της αντιστοίχου συμπύκνωσης. Η διαφορά των διατάξεων απορρόφησης έναντι των κλασικών διατάξεων με συμπίεση ατμού έγκειται στην μη χρήση συμπιεστή ατμού ψυκτικού μέσου οποιουδήποτε είδους. Για την μεταφορά του ψυκτικού μέσου από την χαμηλή πίεση ατμοποίησης στην υψηλή πίεση συμπύκνωσης γίνεται χρήση του φαινομένου της απορρόφησης. Λόγω της απορρόφησης αυτής του ατμοποιηθέντος ψυκτικού μέσου από το μέσο απορρόφησης έχουμε στην χαμηλή πίεση υγρό διάλυμα και όχι ατμό, το οποίο πρέπει να μεταφερθεί στην υψηλή πίεση. Η μεταφορά αυτή γίνεται είτε με την βοήθεια μηχανικής αντλίας είτε με χρήση κατάλληλης θερμοσιφωνικής αντλίας. Στην δεύτερη περίπτωση που εφαρμόζεται στις ψυκτικές διατάξεις δι' απορρόφησης με αδρανές αέριο δεν απαιτείται ουδεμία μηχανική ενέργεια. Αυτό συνεπάγεται την πλήρη έλλειψη κινουμένων μελών στις διατάξεις αυτές που τις καθιστά τελείως αθόρυβες κατά την λειτουργία τους. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται μηχανική αντλία στις διατάξεις με απορρόφηση η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια είναι σε σύγκριση προς την αντίστοιχη των ψυκτικών εγκαταστάσεων με μηχανικό συμπιεστή ατμού μηδαμινή.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ψυκτικών διατάξεων με απορρόφηση είναι ότι απαιτούν ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια και ότι παράγουν την ψυκτική ισχύ μόνο με χρήση θερμικής ενέργειας. Η θερμική ενέργεια απαιτείται για τον εκ νέου διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου από το μέσο απορρόφησης στην υψηλή πίεση όπου βρίσκονται. Ο διαχωρισμός αυτός επιτυγχάνεται με βρασμό και κλασματική απόσταξη.

Διακρίνονται σε:

- Εμμέσου Θέρμανσης (indirect fired) ψυκτικές μονάδες, όπου η τροφοδότηση της ατμογεννήτριας γίνεται από ένα boiler με ατμό ή ζεστό νερό και
- Αμέσου Θέρμανσης (direct fired) ψύκτες, όπου η θέρμανση της ατμογεννήτριας γίνεται απευθείας μέσω της καύσης υγρών ή κυρίως αερίων καυσίμων.
 - Μονοβάθμιες (single-stage) εγκαταστάσεις εάν έχουν μια ατμογεννήτρια και
 - Πολυβάθμιες (multi-stage) εγκαταστάσεις εάν έχουν μια κύρια (primary) και μια ή περισσότερες δευτερεύουσες ατμογεννήτριες (secondary).

Εάν η πρόσδοση γίνεται από υδρατμό (steam fired absorption unit) τότε η θερμοκρασία στην οποία διατίθεται η θερμότητα είναι καθορισμένη από την πίεση του παρεχόμενου ατμού. Στην περίπτωση που η θερμότητα προέρχεται από καύση αερίου (gas-fired absorption unit), ο περιορισμός αυτός δεν ισχύει και η θερμοκρασία διαθέσεως της θερμότητας είναι αρκετά υψηλή. Είναι αξιοσημείωτο ότι όσο υψηλότερη θερμοκρασία έχει η θερμότητα που προσδίδεται για την λειτουργία της ψυκτικής διάταξης με απορρόφηση, τόσο χαμηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης δύναται να επιτευχθεί.

1.3.9.4. Ψυκτικός Κύκλος NH₃/H₂O

Εγκαταστάσεις απορροφήσεως του είδους αυτού κατασκευάζονται σε μεγέθη διαφόρων ψυκτικών ισχύων που καλύπτουν όλη την κλίμακα από λίγες εκατοντάδες Watt μέχρι 2 και 3 MW. Οι μεγάλες εγκαταστάσεις ευρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε χημικές βιομηχανίες και ιδιαίτερα σε διυλιστήρια υγρών καυσίμων. Με μονοβάθμιες μονάδες του είδους αυτού παράγεται ευχερώς ψυκτική ισχύς στους 45°C ή ακόμα και στους 75°C. Την θερμοκρασία αυτή καμία μονοβάθμια διάταξη συμπίεσης ατμού δε μπορεί να πλησιάσει λόγω του εξαιρετικά μεγάλου λόγου συμπίεσης που απαιτείται.

Είναι γνωστή η τοξικότητα της αμμωνίας (NH₃) και αυτό οδηγεί στην εξωτερική εγκατάσταση των μηχανημάτων απορρόφησης που την χρησιμοποιούν. Χρησιμοποιείται σε διάλυμα 65-84% κατά βάρος.

Το βρωμιούχο λίθιο (LiBr) είναι ένα απορροφητικό άλας που παρουσιάζει μεγάλη συγγένεια με τον υδρατμό και χρησιμοποιείται σε συγκεντρώσεις 60-64% κατά βάρος. Δεν είναι τοξικό, αλλά ερεθίζει το δέρμα και τα μάτια και ιδιαίτερα, σε περίπτωση τυχαίας επαφής, είναι αναγκαίο να γίνει αμέσως πλύση με νερό. Στη χρήση, επιβραδύνεται με νιτρικό λίθιο σε αναλογία 0,4% για να περιοριστούν τα διαβρωτικά αποτελέσματα όταν υπάρχει αέρας στο κύκλωμα .

1.3.9.5. Ψυκτικός Κύκλος H₂O/LiBr

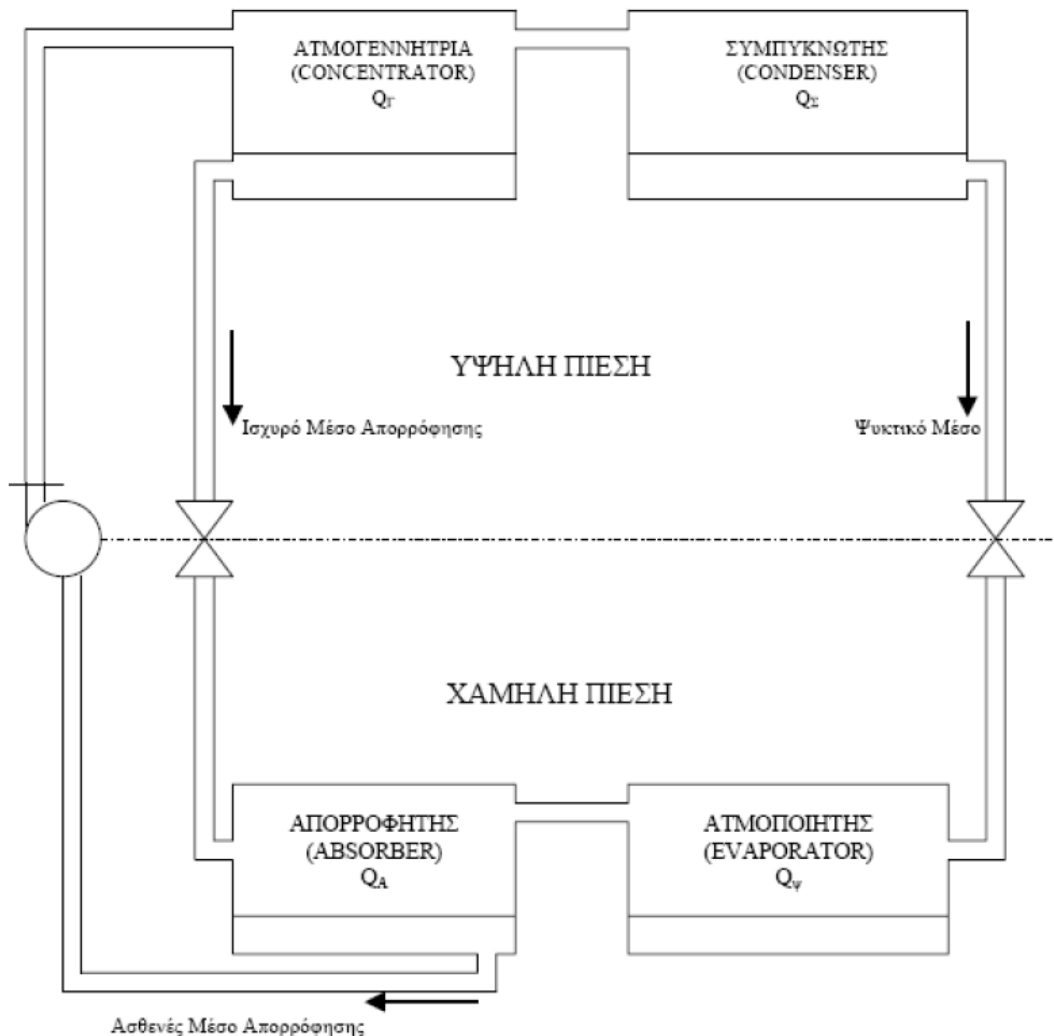
Αρχή Λειτουργίας Στοιχειώδους Ψυκτικής Διάταξης H₂O/LiBr

Η αρχή λειτουργίας των διατάξεων αυτών απεικονίζεται στο Σχήμα. Στην ατμογεννήτρια προσδίδεται έξωθεν η θερμική ενέργεια Q_r , που ατμοποιεί το ασθενές μέσο απορρόφησης το οποίο έχει προωθηθεί στην ατμογεννήτρια με την βοήθεια της αντλίας διαλύματος. Η ατμοποίηση έχει σαν αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό του διμερούς μίγματος και την παραγωγή υδρατμών που οδεύουν προς τον συμπυκνωτή.

Η σημαντική διαφορά μεταξύ των δυο διμερών μιγμάτων είναι η ακόλουθη: Στην περίπτωση του ζεύγους NH₃/H₂O το μέσο απορρόφησης (H₂O) έχει ίδια τάση ατμών και στην ατμογεννήτρια παράγεται μίγμα ατμών αμμωνίας και νερού, το οποίο απαιτεί αναβελτίωση για την παροχή προς τον συμπυκνωτή σχετικά αμιγούς ατμού ψυκτικού μέσου. Αντίθετα το μίγμα H₂O/LiBr χρησιμοποιεί ως μέσο απορρόφησης άλας (LiBr), το

οποίο στερείται ίδιας τάσης ατμών και έτσι στην ατμογεννήτρια παράγεται άμεσα μόνο ατμός ψυκτικού μέσου (υδρατμός) χωρίς να απαιτείται ουδεμία αναβελτίωση. Κατόπιν το ισχυρό μέσο απορρόφησης (LiBr) απομακρύνεται από την ατμογεννήτρια και μέσω της στραγγαλιστικής βαλβίδας επιστρέφει στον απορροφητή. Ο υδρατμός οδηγείται στον συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας την θερμότητα συμπύκνωσης. Το συμπύκνωμα πηγαίνει προς το τμήμα της εγκατάστασης με την χαμηλή πίεση μέσω δεύτερης βαλβίδας στραγγαλισμού και στην συνέχεια παράγει δι' ατμοποίησής του στον ατμοποιητή την ψυκτική ισχύ. Τέλος ο ατμός χαμηλής πίεσης που παράγεται στο στοιχείο ατμοποίησης ρέει προς τον απορροφητή όπου και απορροφάται από το ισχυρό μέσο απορρόφησης. Προϊόν της απορρόφησης αυτής είναι το ασθενές μέσο απορρόφησης το οποίο με την αντλία διαλύματος καταθλίβεται εκ νέου προς την ατμογεννήτρια.

Η θερμοκρασία παραγωγής ψυκτικής ισχύος εξαρτάται από την πίεση που επικρατεί στον ατμοποιητή. Περαιτέρω όμως η πίεση αυτή εξαρτάται από την σύνθεση του ισχυρού μέσου απορρόφησης στον απορροφητή καθώς και από την θερμοκρασία στον απορροφητή. Για να υπάρξει απορρόφηση των υδρατμών από το δ/μα άλατος LiBr πρέπει η πίεση ατμοποίησης να είναι μεγαλύτερη από την μερική πίεση των υδρατμών που βρίσκονται πάνω από το δ/μα LiBr στον απορροφητή. Μια πραγματική ψυκτική εγκατάσταση απορρόφησης με εργαζόμενο ζεύγος $H_2O/LiBr$ εκτός από τα στοιχεία που απεικονίζονται στο Σχήμα, περιλαμβάνει και έναν εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος μεταφέρει θερμότητα από το θερμό ισχυρό μέσο απορρόφησης προς το ασθενές που οδεύει προς την ατμογεννήτρια. Επίσης περιλαμβάνει και έναν δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας μεταξύ του θερμού συμπυκνώματος και του ψυχρού ατμού που εξέρχεται από τον ατμοποιητή. Ο δεύτερος αυτός εναλλάκτης λέγεται Εναλλάκτης Πρόψυξης.

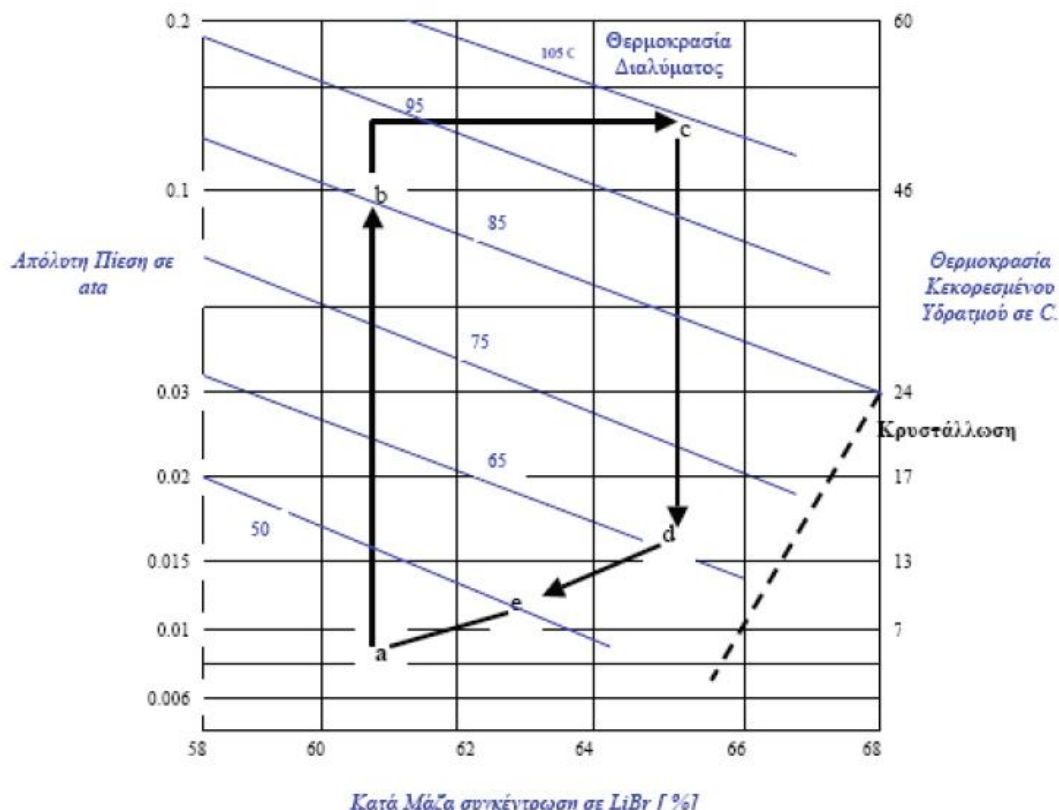


Εικόνα 1.36. Σύστημα ψύξης απορρόφησης

Θερμοδυναμική Απεικόνιση Ψυκτικού Κύκλου $H_2O/LiBr$

Η παράσταση των μεταβολών του διαλύματος γίνεται συνήθως σε διάγραμμα με άξονες την κατά μάζα συγκέντρωση και την πίεση. Ένα παράδειγμα παρόμοιου διαγράμματος δίνεται στο Σχήμα. Η μεταβολή ab απεικονίζει την θέρμανση του ασθενούς μέσου απορρόφησης στον εναλλάκτη θερμότητας. Η περαιτέρω θέρμανση από το σημείο b μέχρι την 'υψηλή' πίεση γίνεται εντός της ατμογεννήτριας, όπου στην συνέχεια έχουμε την παραγωγή ατμού ψυκτικού μέσου κατά μήκος της ισόθλιπτης μέχρι το σημείο c . Η ψύξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης παρίσταται δια της μεταβολής cd και η ακολουθούσα απορρόφηση δια της μεταβολής da . Οι μεταβολές αυτές λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαλυμάτων συγκέντρωσης 61% και 65%. Από το Σχήμα είναι εμφανές ότι το σημείο d βρίσκεται κοντά στην οριακή γραμμή κρυστάλλωσης του δ /τος $LiBr$ και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αποφυγή αυτής. Η εμφάνιση κρυστάλλων οι οποίοι προκαλούν ακόμα και διακοπή λειτουργίας είναι ένα από τα προβλήματα των διατάξεων αυτών. Τέλος για μεγαλύτερη ασφάλεια λειτουργίας χρησιμοποιείται ανάμιξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης, που προέρχεται από την ατμογεννήτρια με διάλυμα από τον απορροφητή προ της εισόδου αυτού στον απορροφητή. Είναι προφανές ότι η ανάμιξη εδώ επιτρέπει την

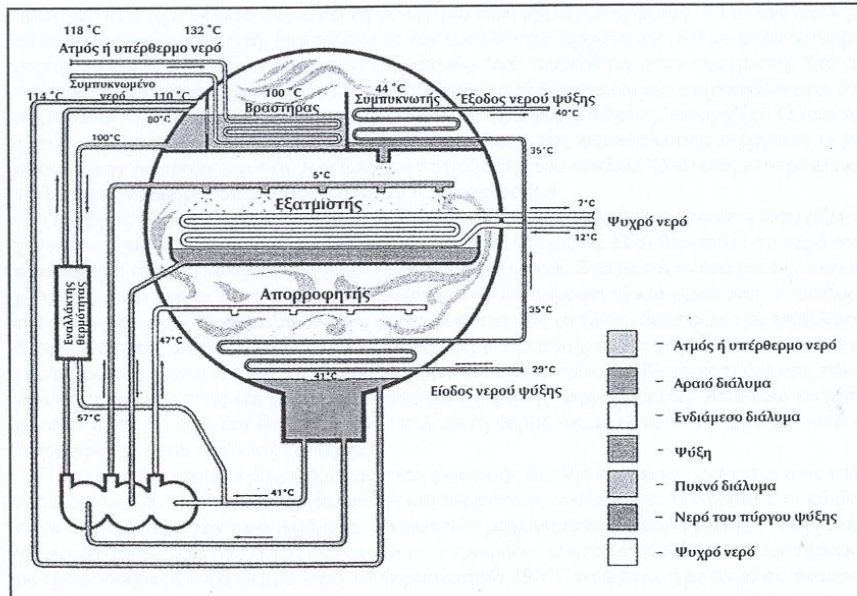
χρήση μεγαλύτερης συγκέντρωσης για το ισχυρό μέσο απορρόφησης παρά το ότι η πίεση ατμοποίησης παραμένει εξ ίσου χαμηλή όπως και προηγουμένως.



Εικόνα 1.37. Κύκλος ψυκτικού μέσου σε διάγραμμα πίεσης/κατά μάζας σύστασης σε LiBr

1.3.9.6. Κύκλος Απορρόφησης με Βρωμιούχο Λίθιο μονοβάθμιας εγκατάστασης

Ο κύκλος απορρόφησης με βρωμιούχο λίθιο λαμβάνει χώρα με πιέσεις κατώτερες από την ατμοσφαιρική και για αυτό το μηχάνημα λειτουργεί χωρίς φορτίο, αντίθετα από ότι συμβαίνει στον κύκλο νερού – αμμωνίας. Για την περιγραφή του κύκλου αναφερόμαστε στο διάγραμμα ενός μηχανήματος με μονό περίβλημα που υπάρχει στην αγορά και στην περίπτωση αυτή, ο κύκλος αρχίζει στη γεννήτρια ή βραστήρα που τροφοδοτείται από ατμό σε πίεση έως 1,5 atm ή με υπέρθερμο νερό έως 150°C. Το απεσταγμένο νερό (ψυκτικό) του διαλύματος εξατμίζεται και διαχωρίζεται από το βρωμιούχο λίθιο (απορροφητικό) προκαλώντας έτσι αύξηση της συγκέντρωσης. Ο υδρατμός μπαίνει στο συμπυκνωτή, στον οποίο υπάρχουν σωλήνες που διαρρέονται από νερό ψύξης, το οποίο προέρχεται από ένα πύργο ψύξης. Γεννήτρια και συμπυκνωτής αποτελούν την περιοχή υψηλής πίεσης του κυκλώματος (πάντως κατώτερη κατά 0,1bar από την ατμοσφαιρική πίεση).



Εικόνα 1.38. Κύκλος απορρόφησης απλής ενέργειας με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου-νερού για ψυκτική μονάδα μεγάλης ισχύος που τροφοδοτείται από θερμό νερό ή ατμό.

Ερχόμενος σε επαφή με τους σωλήνες του συμπυκνωτή ο υδρατμός συμπυκνώνεται και το νερό που παράγεται περνάει στο κάτω μέρος του μηχανήματος μέσω στομιών και ψεκάζεται στους σωλήνες του εξατμιστή. Αυτό αφαιρεί τη θερμότητα από το νερό που προέρχεται από τα σημεία χρήσης και εξατμίζεται περνώντας σε κατάσταση ψυχρού ατμού. Ο εξατμιστής και ο απορροφητής αποτελούν την περιοχή χαμηλής πίεσης του κυκλώματος (0,01 bar απόλυτη).

Η πίεση στον εξατμιστή αντιστοιχεί σε μια θερμοκρασία κορεσμού ίση με 4,5°C περίπου. Ο υδρατμός περνάει από τον εξατμιστή στον απορροφητή, στο κάτω μέρος του μηχανήματος, εξαιτίας της διαφοράς πίεσης. Στον εξατμιστή το ενδιάμεσο διάλυμα του βρωμιούχου λιθίου ψεκάζεται στη δέσμη των σωλήνων για να αυξήσει την ικανότητα απορρόφησης του υδρατμού. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας παράγεται θερμότητα που αφαιρείται από το νερό που προέρχεται από τον πύργο ψύξης. Το αραιό διάλυμα του βρωμιούχου λιθίου που παράγεται, εναποτίθεται στον πυθμένα του μηχανήματος και από εδώ επαναφέρεται στη γεννήτρια, με σκοπό τη διατήρηση του κύκλου, περνώντας από ένα εναλλάκτη θερμότητας.

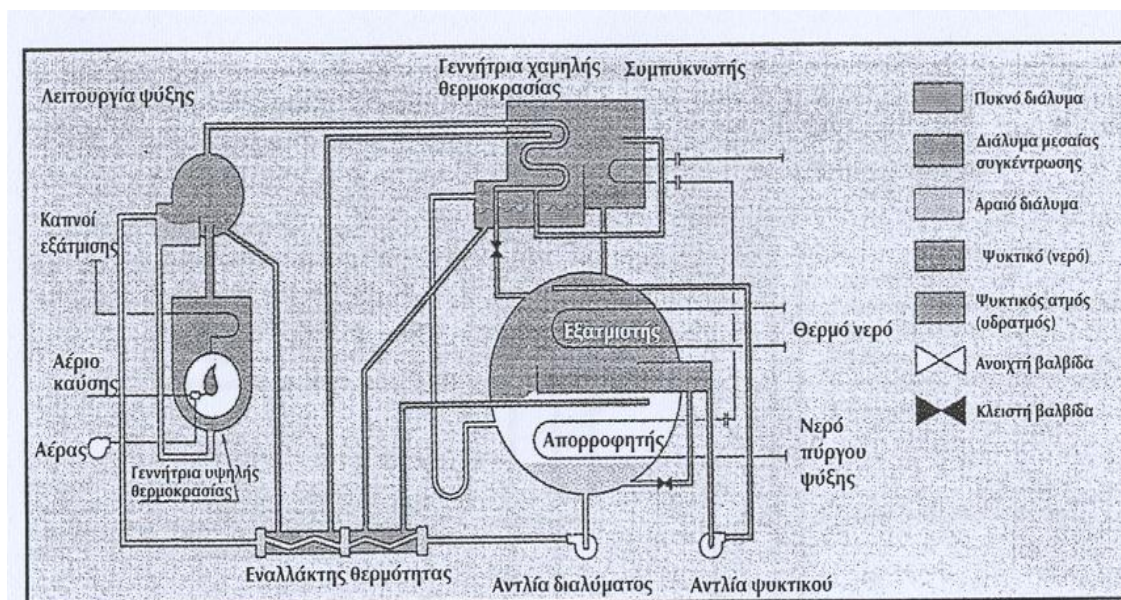
1.3.9.7. Κύκλος Απορρόφησης με Βρωμιούχο Λίθιο πολυβάθμιας εγκατάστασης

Το πλεονέκτημα του κύκλου συνίσταται, κυρίως, στη μεγαλύτερη θερμική απόδοση που μεταφράζεται σε μικρότερη κατανάλωση ατμού ή υπέρθερμου ατμού. Για τον σκοπό αυτό το κύκλωμα των μηχανημάτων *διβάθμιας εγκατάστασης* διαθέτει δύο γεννήτριες και δύο εναλλάκτες θερμότητας του διαλύματος. Υπάρχει μια γεννήτρια υψηλής πίεσης και μια

χαμηλής πίεσης (όροι σχετικοί, γιατί η λειτουργία γίνεται πάντοτε σε πίεση χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική).

Με τον ίδιο τρόπο υπάρχει ένας εναλλάκτης θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία και ένας σε χαμηλή.

Ένας κύκλος απορρόφησης διπλής ενέργειας, που βρίσκει εφαρμογή σε έναν απορροφητή με καυστήρα αερίου απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, σε λειτουργία ψύξης.



Εικόνα 1.39. Κύκλος απορρόφησης διπλής ενέργειας με διάλυμα θρωμιούχου λιθίου νερού για ψυκτική μονάδα μεγάλης ισχύος με καυστήρα αερίου (λειτουργία ψύξης)

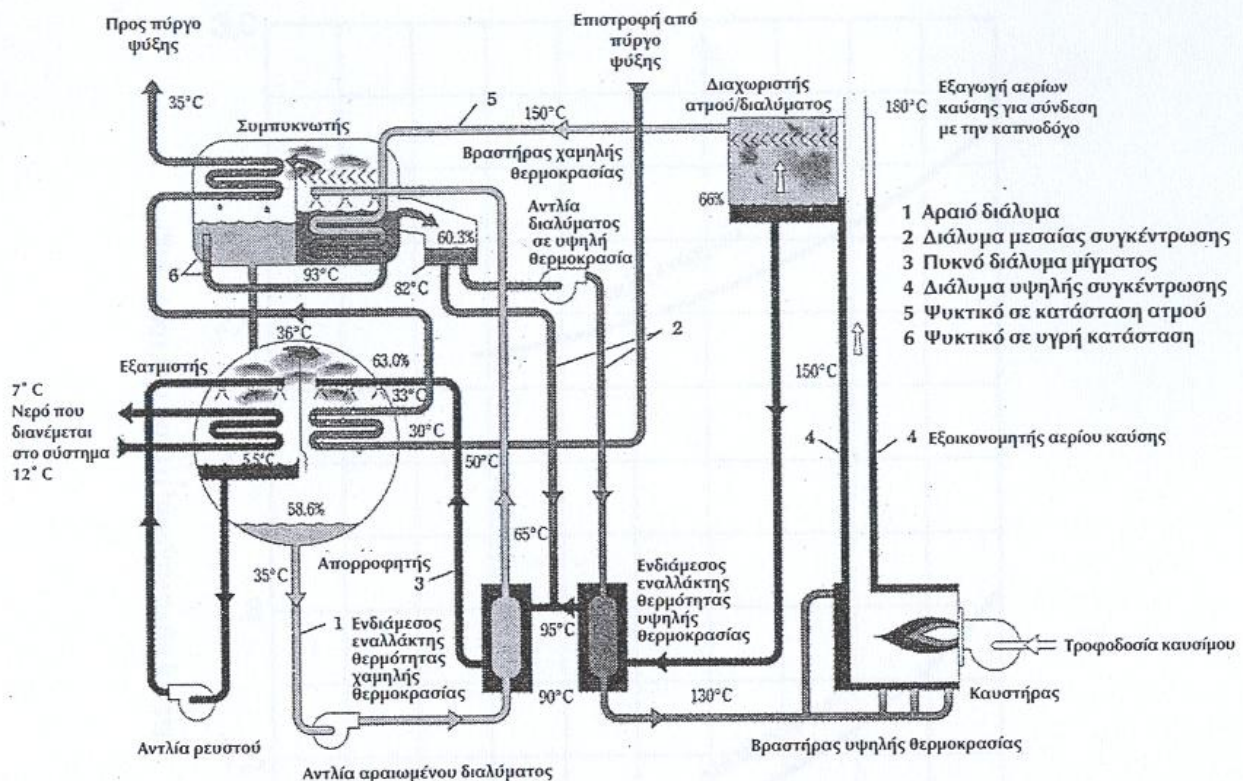
Το ψυκτικό νερό εξατμίζεται μέσα στον εξατμιστή, εξαιτίας της χαμηλής πίεσης που υπάρχει εκεί και ψύχει το νερό που κυκλοφορεί και που προέρχεται από την εγκατάσταση. Ο υδρατμός μεταφέρεται στον απορροφητή και απορροφάται από το διάλυμα, αραιώνοντάς το. Το αραιωμένο διάλυμα, με τη βοήθεια της αντλίας, διασχίζει τον εναλλάκτη θερμότητας και αυξάνει την θερμοκρασία του. Από εδώ φθάνει στη γεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας όπου εξαιτίας της θερμότητας που παράγεται από τον καυστήρα, συγκεντρώνεται σε μια ενδιάμεση τιμή (διάλυμα μέσης συγκέντρωσης). Διασχίζει ξανά τον εναλλάκτη θερμότητας, προς αντίθετη κατεύθυνση, και φθάνει στη γεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας, όπου υφίσταται μια περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης (πυκνό διάλυμα), εξαιτίας του θερμού υδρατμού που έχει φθάσει εκεί από την γεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας.

Το πυκνό διάλυμα φθάνει στον απορροφητή, διασχίζοντας τον εναλλάκτη θερμότητας. Μέσα στον απορροφητή απορροφά εκ νέου το ψυκτικό (υδρατμός) που παράγεται στον εξατμιστή. Στο μεταξύ, ο υδρατμός στη γεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας ψύχεται και συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή. Από εδώ επιστρέφει στον εξατμιστή, όπου ο κύκλος ξαναρχίζει. Ο σκοπός των εναλλακτών θερμότητας συνίσταται στη μείωση της κατανάλωσης

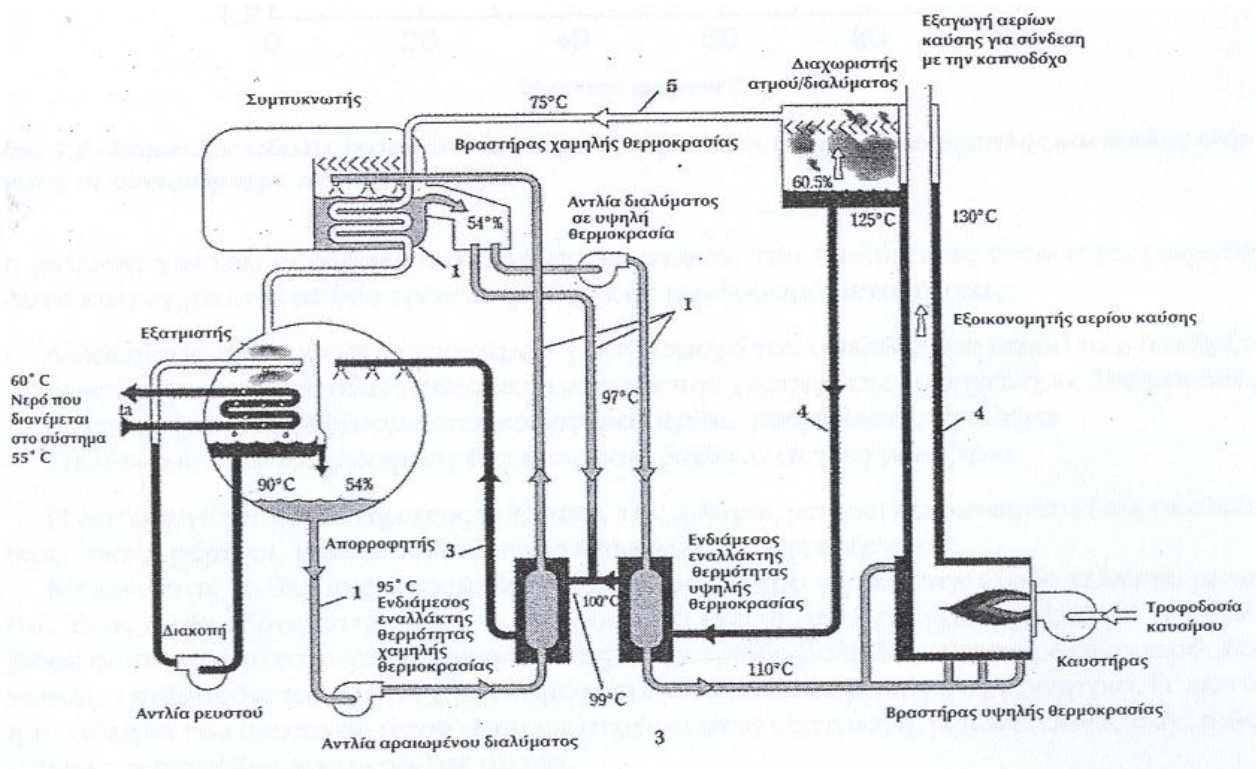
ενέργειας εκ μέρους των γεννητριών και στη βελτίωση της απόδοσης του κύκλου. Ο κύκλος επιτρέπει και τη λειτουργία της θέρμανσης.

Ο θερμός υδρατμός που παράγεται στη γεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας διασχίζει τη γεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας και φτάνει στον εξατμιστή. Εδώ θερμαίνει το νερό που κυκλοφορεί στους σωλήνες, ψύχεται και συμπυκνώνεται. Στο μεταξύ, ένα μέρος του συμπυκνωμένου νερού στον εξατμιστή φθάνει στον απορροφητή και αραιώνει το διάλυμα που υπάρχει εκεί. Το αραιό διάλυμα, με τη βοήθεια της αντλίας, διασχίζει τον εναλλάκτη θερμότητας και φθάνει στην γεννήτρια υψηλής θερμοκρασίας, όπου χωρίζεται από το νερό με τη μορφή θερμού ατμού. Το πυκνό διάλυμα διασχίζει με αντίθετη κατεύθυνση τον εναλλάκτη θερμότητας και φθάνει τη γεννήτρια χαμηλής θερμοκρασίας. Από εδώ κατόπιν βγαίνει προς τα έξω και διασχίζει τον εναλλάκτη θερμότητας ώσπου να φθάσει στον απορροφητή, όπου ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ένα άλλο διάγραμμα μηχανήματος απορρόφησης διπλής ενέργειας για τη λειτουργία ψύξης και θέρμανσης απεικονίζεται παρακάτω. Η πορεία του ψυκτικού είναι παρόμοια με προηγουμένως. Τα ψυκτικά μηχανήματα απορρόφησης διπλής ενέργειας κατασκευάζονται, εκτός από αυτά που τροφοδοτούνται από αέριο με καυστήρα και με τροφοδοσία με υπέρθερμο νερό, σε θερμοκρασία 190°C περίπου, ή με ατμό σε πιέσεις 8 atm περίπου.



Εικόνα 1.40. Κύκλος απορρόφησης διπλής ενέργειας με διάλυμα θρωμιούχου λιθίου –νερού, σε λειτουργία ψύξης, για ψυκτική μονάδα μεγάλης ισχύος που τροφοδοτείται από αέριο με καυστήρα.



Εικόνα 1.41. Κύκλος απορρόφησης διπλής ενέργειας με διάλυμα βρωμιούχου λιθίου –νερού , σε λειτουργία θέρμανσης , για θερμική μονάδα μεγάλης ισχύος που τροφοδοτείται από αέριο με καυστήρα.

Ένα σύστημα απορρόφησης τριπλής ενέργειας βρίσκεται σε στάδιο ανάπτυξης. Αυτό θα πρέπει να επιτρέψει την επίτευξη ακόμη πιο υψηλών COP, γύρω στο 1,5.

1.3.9.8. Ρύθμιση της ψυκτικής ικανότητας

Η ρύθμιση της ψυκτικής ικανότητας γίνεται αναγκαία για να ακολουθήσουν οι μεταβολές των θερμικών φορτίων σε κλιματιζόμενο περιβάλλον. Στα μηχανήματα απορρόφησης η ρύθμιση γίνεται, μεταβάλλοντας τη συγκέντρωση του διαλύματος στον απορροφητή. Αυτό επιτυγχάνεται με δύο τρόπους , συχνά σε συνδυασμό μεταξύ τους :

-Αλλάζοντας την ποσότητα του ατμού ή την παροχή του υπέρθεμου νερού που διασχίζει τη γεννήτρια και αποτελεί τη θερμική ενέργεια που χορηγείται στο μηχανήμα. Στις μονάδες με καυστήρα επεμβαίνουμε στον καυστήρα αερίου, ρυθμίζοντας τη φλόγα.

-Στέλνοντας στον απορροφητή ένα πιο αραιό διάλυμα από τη γεννήτρια.

Η λειτουργία του συστήματος ρύθμισης της φλόγας μπορεί να συνοψιστεί ως ακολούθως, αναφερόμενοι, για διευκόλυνση, σε ένα κύκλο απλής ενέργειας.

Μειώνοντας το θερμικό φορτίο και η θερμοκρασία του νερού στην έξοδο τείνει να μειωθεί.

Ένας αισθητήρας στην έξοδο του νερού που έχει ψυχθεί, ελέγχει το κλείσιμο της βαλβίδας συντονισμού στον ατμό τροφοδοσίας ή την τρίοδο βαλβίδα στον υπέρθερμο νερό. Συνεπώς, επιβραδύνεται ο ανασχηματισμός του πυκνού διαλύματος στη γεννήτρια. Γι'αυτό η ποσότητα του ψυκτικού (νερό) που επιστρέφει στον εξατμιστή μειώνεται και συνεπώς μειώνεται η στάθμη του νερού σε αυτόν.

Αν η στάθμη αυτή πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, ένα μέρος του αραιού διαλύματος αποστέλλεται στον εξατμιστή, με κύριο σκοπό την εξασφάλιση της φυσιολογικής λειτουργίας της αντλίας του ψυκτικού. Αν το φορτίο μειωθεί κατά 50%, σε μερικά μηχανήματα μειώνεται η παροχή του διαλύματος του βρωμιούχου λιθίου στη γεννήτρια.

Η μικρότερη ποσότητα διαλύματος στη γεννήτρια μπορεί να θερμανθεί με μικρότερη κατανάλωση ατμού με εξοικονόμηση στην κατανάλωση ενέργειας.

Το τελευταίο αποτέλεσμα της ρύθμισης της ψυκτικής ικανότητας συνίσταται, λοιπόν, στη μείωση της συγκέντρωσης του απορροφητικού διαλύματος με τη μείωση του θερμικού φορτίου, επιτυγχάνοντας έτσι μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

1.3.9.9. Ανάλυση θεωρίας

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται μερικά διμερή μείγματα που χρησιμοποιούνται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης.

Μέσο απορρόφησης	Ψυκτικό μέσο
Διάλυμα (LiBr/H ₂ O)	H ₂ O
H ₂ O	NH ₃
LiBr	NH ₃
Γλυκερίνη	NH ₃
H ₂ O	CH ₃ OH
H ₂ SO ₄	H ₂ O

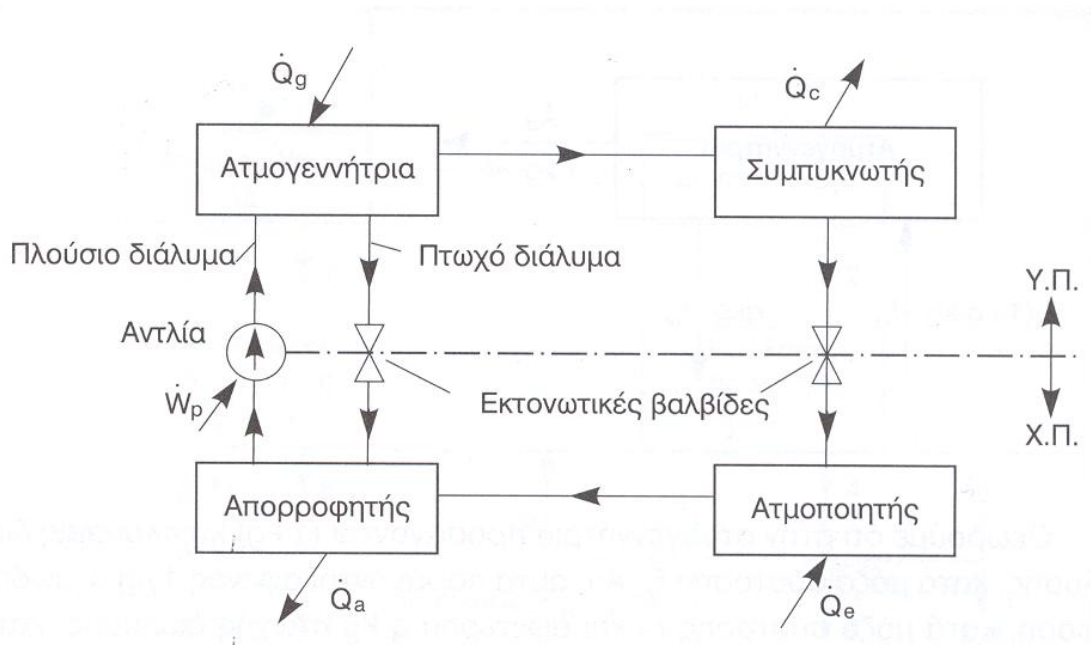
Πίνακας 1.10. Διμερή μείγματα μονάδων απορρόφησης

Στην πράξη συνήθως χρησιμοποιείται το μίγμα (LiBr/H₂O) σε κλιματιστικές εγκαταστάσεις και το μίγμα (NH₃/H₂O) σε βιομηχανική ψύξη. Και τούτο διότι στην περίπτωση του μείγματος (LiBr/H₂O) το ψυκτικό μέσο είναι νερό, το οποίο στερεοποιείται στους 0°C και επομένως οι εγκαταστάσεις αυτές δεν εργάζονται ποτέ σε θερμοκρασίες κάτω από 4 °C, ενώ στην περίπτωση του μείγματος (NH₃/H₂O) το ψυκτικό μέσο είναι η αμμωνία και οι εγκαταστάσεις αυτές επιτρέπουν την παραγωγή ψυκτικής ισχύος μέχρι -70 °C με μονοβάθμια εγκατάσταση, πράγμα αδύνατο να επιτευχθεί με μονοβάθμια εγκατάσταση συμπίεσης ατμών, λόγω του απαιτούμενου μεγάλου λόγου συμπίεσης.

Στις εγκαταστάσεις αυτές, λόγω του φαινομένου της απορρόφησης, το ατμοποιηθέν ψυκτικό μέσο στον ατμοποιητή απορροφάται από το μέσο απορρόφησης στη χαμηλή πίεση διατηρούμενο στην υγρή φάση και όχι στην ατμώδη: έτσι έχουμε μεταφορά του διαλύματος από την χαμηλή στην υψηλή πίεση με την βοήθεια μηχανικής αντλίας ή κατάλληλης θερμοσιφωνικής αντλίας. Στην πρώτη περίπτωση η απαιτούμενη μηχανική ενέργεια είναι μηδαμινή σε σχέση με την ενέργεια του μηχανικού συμπιεστή στις ψυκτικές εγκαταστάσεις συμπίεσης ατμών. Στην δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται αδρανές αέριο π.χ. H₂ και δεν απαιτείται μηχανική ενέργεια.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των ψυκτικών μονάδων απορρόφησης είναι ότι για την λειτουργία τους απαιτείται θερμική ενέργεια (καύση αερίων ή υγρών καυσίμων, γεωθερμία, θερμικά απόβλητα βιομηχανιών ή ηλιακή ενέργεια) και ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής μια απλής ψυκτικής εγκατάστασης απορρόφησης.



Εικόνα 1.42. Διάγραμμα ροής ψυκτικής εγκατάστασης απορρόφησης

Στην ατμογεννήτρια προσδίδεται θερμική ενέργεια Q_g που ατμοποιεί μερικώς το πλούσιο διάλυμα του διμερούς μείγματος. Προϊόν της μερικής ατμοποίησης είναι αφενός ατμός και αφετέρου το υπόλοιπο διάλυμα το οποίο παραμένει και το οποίο περιέχει λιγότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου. Αυτό καλείται πτωχό (ή ασθενές) διάλυμα σε ψυκτικό μέσο.

Το πτωχό διάλυμα μέσω της εκτονωτικής βαλβίδας (πτώση πίεσης) καταλήγει στον απορροφητή. Ο παραγόμενος ατμός στην ατμογεννήτρια οδηγείται στην συνέχεια στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας θερμότητα Q_c . Το συμπύκνωμα καταλήγει μέσω της δεύτερης εκτονωτικής βαλβίδας στον ατμοποιητή όπου με την απορρόφηση της θερμότητας από το περιβάλλον ατμοποιείται και παράγει την ψυκτική ισχύ Q_e .

Ο ατμός χαμηλής πίεσης που παράγεται στον ατμοποιητή οδεύει στη συνέχεια στον απορροφητή όπου και απορροφάται από το πτωχό διάλυμα. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή πλούσιου διαλύματος, το οποίο με την βοήθεια της αντλίας καταθλίβεται στην ατμογεννήτρια. Η διεργασία απορρόφησης είναι μια διεργασία αποβολής θερμότητας Q_a προς το περιβάλλον.

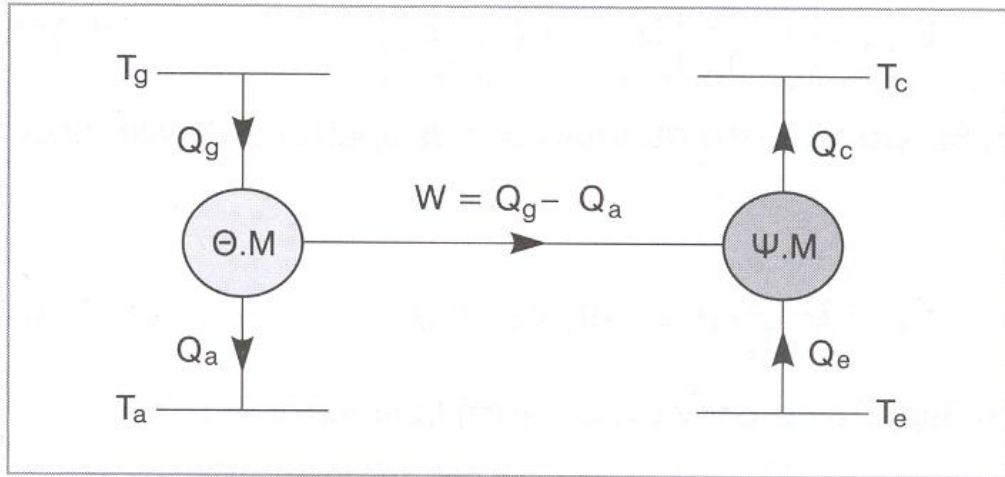
Επειδή η απορρόφηση του ψυκτικού μέσου αυξάνει με τη μείωση της θερμοκρασίας στον απορροφητή, θα πρέπει αυτή να διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα.

Κατόπιν αυτών, ο θεωρητικός συντελεστής συμπεριφοράς της ψυκτικής εγκατάστασης απορρόφησης είναι:

$$COP_{th} = \frac{Q_e}{Q_g + W_p} \quad (\text{Σχέση 1.31})$$

Η ισχύς της αντλίας W_p είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τη θερμική ισχύ της ατμογεννήτριας και του ατμοποιητή και μπορεί να παραλειφθεί χωρίς καμία ουσιαστική συνέπεια.

Στην απλουστευμένη περίπτωση του κύκλου Carnot, μιας μονάδας απορρόφησης, θεωρούμε το συνδυασμό δύο κύκλων. Ένα θερμικό κύκλο Carnot που παράγει έργο W και ενός ψυκτικού κύκλου Carnot που απορροφάει έργο από αυτό. Ο μεν θερμικός κύκλος εργάζεται μεταξύ των θερμοκρασιών T_g της ατμογεννήτριας και της θερμοκρασίας T_a του απορροφητή, ο δε ψυκτικός κύκλος εργάζεται μεταξύ της θερμοκρασίας T_c του συμπυκνωτή και της θερμοκρασίας T_e του ατμοποιητή (βλ. Εικόνα 1.43).



Εικόνα 1.43. Σχηματική διάταξη ψυκτικού κύκλου απορρόφησης

Από το Α θερμοδυναμικό νόμο για κυκλικές διεργασίες λαμβάνουμε αντίστοιχα για τη θερμική και ψυκτική μηχανή :

$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

$$Q_g - Q_a = W - W_p \quad (\text{Σχέσεις 1.32})$$

$$Q_e - Q_c = -W$$

Από το Β θερμοδυναμικό νόμο και για αντιστρεπτές διεργασίες λαμβάνουμε για τις δύο μηχανές ,αντίστοιχα :

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \oint dS = 0$$

$$\frac{Q_g}{T_g} - \frac{Q_a}{T_a} = 0 \quad (\text{Σχέσεις 1.33})$$

$$\frac{Q_e}{T_e} - \frac{Q_c}{T_c} = 0$$

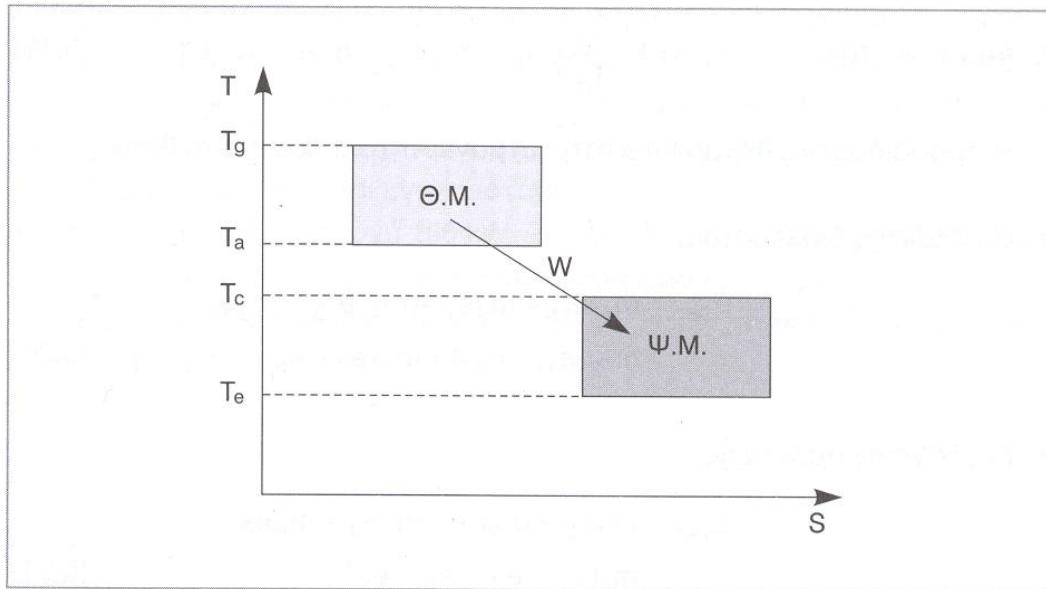
Διαιρώντας αφενός την πρώτη εξίσωση 1.32 με τη θερμοκρασία T_a και αφετέρου τη δεύτερη εξίσωση με T_c και συνδυάζοντας στη συνέχεια τις προκύπτουσες εξισώσεις με τις εξισώσεις 1.33 λαμβάνουμε :

$$\frac{Q_e}{Q_g} = \frac{T_g - T_a}{T_g} \cdot \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (\text{Σχέση 1.34})$$

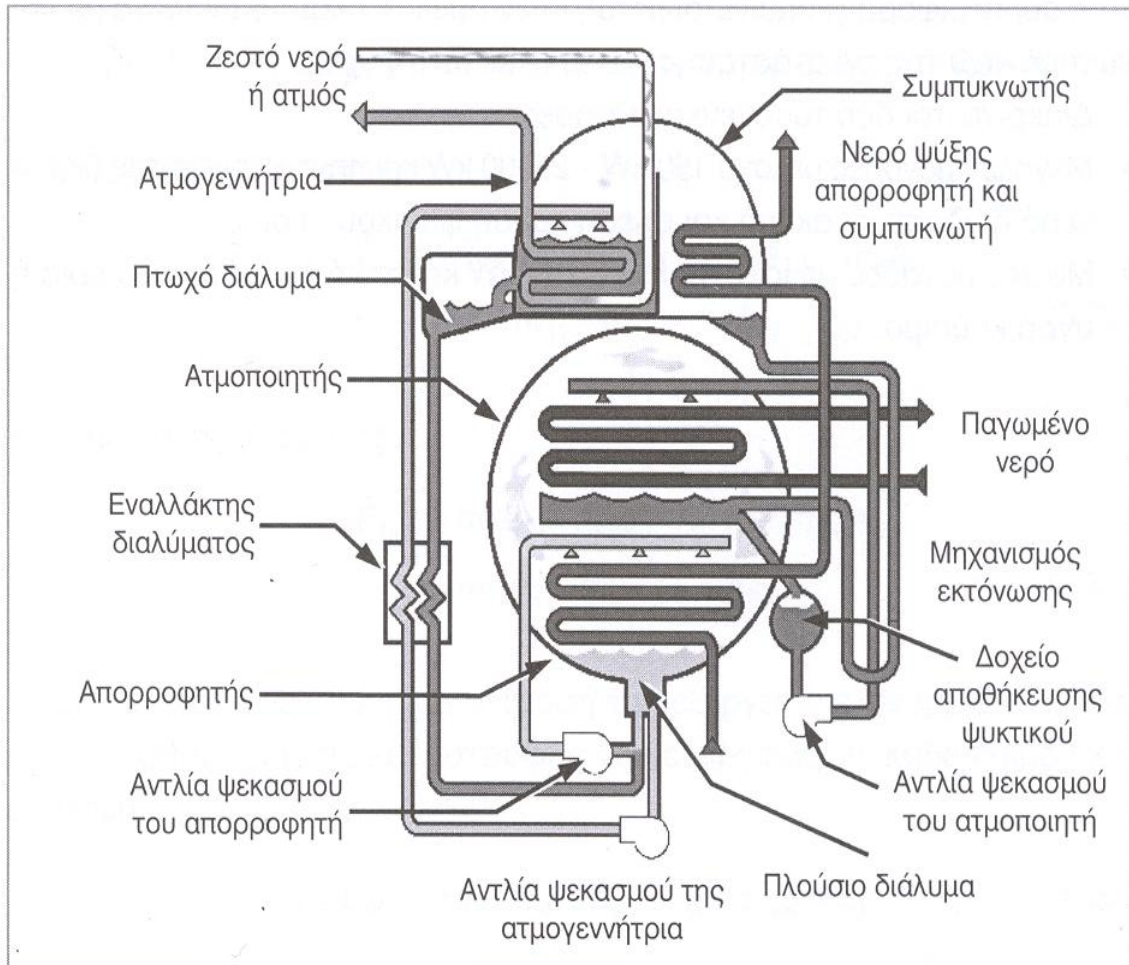
Η εξίσωση 1.34 αποτελεί και το συντελεστή συμπεριφοράς του ψυκτικού κύκλου απορρόφησης που ακολουθεί τον κύκλο Carnot.

$$COP_C = \frac{T_g - T_a}{T_g} \cdot \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (\text{Σχέση 1.35})$$

Στην εικόνα 1.43 οι δύο κύκλοι Carnot εκτελούνται σε αντίθετες φορές και επειδή δεν απαιτείται μηχανικό έργο, θα πρέπει τα εμβαδά των δύο κύκλων στο διάγραμμα (T-s) στην εικόνα 1.44 να είναι ίσα μεταξύ τους .



Εικόνα 1.44. Διάγραμμα (T-s) ψυκτικού κύκλου απορρόφησης που ακολουθεί τον κύκλο Carnot



Εικόνα 1.45. Διάγραμμα ροής ψυκτικής μονάδας απορρόφησης δύο κελυφών με (LiBr/H₂O) της εταιρίας TRANE

1.3.9.10. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ψυκτών απορρόφησης – σύγκριση με ηλεκτρικούς ψύκτες

Πλεονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν ελάχιστη ηλεκτρική κατανάλωση σε αντίθεση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης που έχουν αυξημένες απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι ψύκτες απορρόφησης να εμφανίζουν σημαντικά ενεργειακά πλεονεκτήματα κυρίως όταν τροφοδοτούνται από απορριπτόμενη θερμότητα. Οι ψυκτικές μονάδες απορρόφησης που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μονάδες τρι-παραγωγής (παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής και ψυκτικής ισχύος). Έτσι προσφέρουν την δυνατότητα σημαντικής αύξησης του συνολικού βαθμού απόδοσης της μονάδας συμπαραγωγής. Με άλλα λόγια αυτές οι μονάδες συνεισφέρουν τα μέγιστα σε οποιαδήποτε προσπάθεια εξοικονόμησης ενέργειας, μειώνοντας παράλληλα το συνολικό κόστος λειτουργίας.

- Οι ψύκτες απορρόφησης είναι φιλικότεροι προς το περιβάλλον σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες. Συγκεκριμένα αφού η αρχή λειτουργίας τους δεν στηρίζεται στην χρήση κανενός είδους συμβατικού ψυκτικού μέσου (CFCs, HCFCs και HFCs), έχουν μηδενική επίδραση στην καταστροφή του όζοντος: ODP = 0 (Ozone Depletion Potential) και μικρή συνεισφορά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ειδικά οι ψύκτες που τροφοδοτούνται με ατμό ή θερμό νερό έχουν αρκετά μικρότερο GWP (Global Potential Warming) από τους ψύκτες που καίνε αέριο (gas-fired chillers) και εκπέμπουν CO₂, αν και η καύση αερίου και ειδικά φυσικού αερίου θεωρείται φιλική προς το περιβάλλον αφού δεν παράγονται SO₂, SO, αιθάλη και στερεά σωματίδια, ρύποι ιδιαίτερα ζημιογόνοι για τον ανθρώπινο παράγοντα.
- Οι ψύκτες άμεσης θέρμανσης έχουν την δυνατότητα χρησιμοποίησης διαφόρων καυσίμων μέσων (Diesel θέρμανσης, φυσικό αέριο, LPG, βιοαέριο κ.ά.). Το γεγονός αυτό καθιστά ιδανική την εγκατάσταση τέτοιων μονάδων για την παραγωγή ψυκτικής ισχύος σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει επαρκής ηλεκτρικής ισχύος για τους παραδοσιακούς ηλεκτρικούς ψύκτες. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κτίρια με ήδη επιβαρυσμένη εγκατεστημένη ηλεκτρική εγκατάσταση από άλλες ενεργοβόρες διεργασίες. Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι, πολλοί από τους καυστήρες που συνοδεύουν τις μηχανές απορρόφησης είναι 'διπλού καυσίμου' (dual fuel) και μπορούν να τροφοδοτηθούν είτε με φυσικό αέριο είτε με πετρέλαιο. Αυτή η ευελιξία είναι ιδιαίτερα ελκυστική σε εφαρμογές όπου το πετρέλαιο είναι εύκολα διαθέσιμο π.χ. απομακρυσμένες περιοχές.
- Οι ψυκτικές εγκαταστάσεις απορρόφησης έχουν ελάχιστα κινούμενα μέρη (αντλίες ανακυκλοφορίας ψυκτικού μέσου/απορροφητή). Για παράδειγμα ένας ψύκτης απορρόφησης 500 RT έχει 3 αντλίες που καταναλώνουν περίπου 5 hr (3.7 KW) ανά ώρα. Επομένως έχουν μεγάλο μηχανικό βαθμό απόδοσης, μικρές απαιτήσεις εποπτείας και συντήρησης και υψηλή αξιοπιστία.
- Τέλος παρουσιάζουν χαμηλά επίπεδα θορύβου και κραδασμών. Ένας absorption chiller ακούγεται όπως ένας ιδίου μεγέθους λέβητας με θορύβους σπηλαιώσης. Οπότε λόγω ανυπαρξίας ταλαντώσεων και θορύβου δεν απαιτείται απομόνωση των κραδασμών και ηχομόνωση του χώρου εγκατάστασης της ψυκτικής μηχανής.

Μειονεκτήματα Ψυκτών Απορρόφησης

- Έχουν χαμηλό συντελεστή συμπεριφοράς (COP) σε σχέση με τους ηλεκτρικούς ψύκτες: Ο ψύκτης απορρόφησης έχει COP = 0,6-1,23 ενώ ο συμβατικός ψύκτης έχει COP = 2,37.
- Οι ψύκτες απορρόφησης αποβάλλουν μεγαλύτερο ποσό θερμότητας προς το περιβάλλον από ότι οι συμβατικές μονάδες ψύξης. Αυτό αποδεικνύεται ως εξής :
 1. Η θερμική ισχύς που παρέχεται μέσω του ατμού στην ατμογεννήτρια του ψύκτη απορρόφησης είναι : $Q_{\text{ατμού}} = Q_{\psi} / \text{COP}$ όπου Q_{ψ} είναι η παραγόμενη ψυκτική ισχύς και COP είναι ο συντελεστής συμπεριφοράς της ψυκτικής μονάδας.
 2. Η θερμότητα συμπύκνωσης που απορρίπτεται στο περιβάλλον μέσω του πύργου ψύξης είναι : $Q_{\Sigma} = Q_{\text{ατμού}} + Q_{\psi}$. Οπότε αντικαθιστώντας στην 2η σχέση το $Q_{\text{ατμού}}$ από την 1η σχέση ροκύτεται ότι : $Q_{\Sigma} = Q_{\psi} * [1 + (1 / \text{COP})]$
 3. Άρα για τις ανωτέρω τιμές του COP στους ψύκτες απορρόφησης, το απορριπτόμενο ποσό θερμότητας είναι από 1,8 έως 2,5 φορές μεγαλύτερο από την παραγόμενη ψυκτική ισχύ. Αντίθετα στους συμβατικούς ψύκτες το ποσό θερμότητας που απορρίπτεται στο περιβάλλον είναι 30 - 40% μεγαλύτερο από την ψυκτική ισχύ. Επομένως απαιτείται η εγκατάσταση μεγαλύτερων πύργων ψύξης στις εγκαταστάσεις με απορρόφηση.

- Έχουν σημαντικά μεγαλύτερο μέγεθος σε σχέση με τις κλασικές ψυκτικές διατάξεις. Ένας ψύκτης απορρόφησης καταλαμβάνει 50% μεγαλύτερη επιφάνεια από ότι ένας ηλεκτρικός ψύκτης ίδιας ισχύος, με αποτέλεσμα την κάλυψη μεγάλου μέρους του μηχανοστασίου.
- Τέλος έχουν μεγαλύτερο κόστος αγοράς και εγκατάστασης ανά KW σε σχέση με τους συμβατικούς ψύκτες συμπίεσης [45], [46], [47], [63].

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τον κλιματισμό κτιρίων με τη χρήση ψυκτών απορρόφησης. Οι ψύκτες απορρόφησης αποτελούν συσκευές οι οποίες μπορούν να μειώσουν κατά πολύ την απαιτούμενη ενέργεια για παραγωγή ψύξης, βοηθώντας έτσι σημαντικά και στον περιορισμό της εκπομπής ρύπων στο περιβάλλον. Μάλιστα αν συνδυαστούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την τροφοδοσία τους μπορούν να αποτελέσουν φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για τον κλιματισμό κτιρίων αλλά και οικονομικά βιώσιμες επενδύσεις για την πλήρη κάλυψη των ψυκτικών φορτίων των κτιρίων.

1.3.10. Ανάγκες κτιρίου

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας στα κτίρια είναι μείζονος σημασίας για την επίλυση του ενεργειακού προβλήματος. Το ποσοστό της συνολικά παραγόμενης ενέργειας που αντιστοιχεί στον κτιριακό τομέα είναι περίπου 35%. Παράλληλα, οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από τα κτίρια αντιστοιχεί στο 45% των συνολικών εκπομπών, άρα ο στόχος του περιορισμού της καταναλισκόμενης ενέργειας γίνεται επιτακτικός.

Η τελική ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι της τάξης των 350 Mtoe ανά έτος, χωρίς να υπολογίζεται η συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων καλύπτεται από το φυσικό αέριο, 116 Mtoe, το πετρέλαιο 99 Mtoe, τον ηλεκτρισμό 91 Mtoe, και τα στερεά καύσιμα με 11 Mtoe.

Η Ευρωπαϊκή ένωση λαμβάνοντας υπόψιν την αυξανόμενη ζήτηση σε ενέργεια και ταυτόχρονα την εξάντληση των πόρων οι οποίοι μας την παρέχουν, έχει δώσει τις κατευθυντήριες γραμμές στα κράτη μέλη μέσα από κατάλληλες οδηγίες για την εξοικονόμηση και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Παράλληλα, η αύξηση της θερμοκρασίας στις μεγαλουπόλεις έχει συντελέσει στην δραματική αύξηση της απαιτούμενης ενέργειας για τον δροσισμό των κτιρίων κατά την καλοκαιρινή περίοδο.

Για να γίνουν περισσότερο κατανοητά τα παραπάνω ζητήματα, αξίζει να αναφερθεί πως η κατανάλωση τελικής ενέργειας στην Ελλάδα ήταν σταθερή την περίοδο 1990-1994 και η ποσότητα κατανάλωσης ήταν στα 15 Mtoe. Μεταξύ των ετών 1995-1996 η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 6,5%, ενώ από τότε ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης είναι γύρω στο 2,5%. Συνολικά, η κατανάλωση τελικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 50%

περίπου, την περίοδο 1990-2006, κυρίως ως συνέπεια της οικονομικής ανάπτυξης. Όσον αφορά τα κτίρια, η ετήσια ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων στην Ελλάδα, είναι της τάξης των 4,6 Mtoe, και αντιστοιχούν 0,55 Mtoe ενέργειας ανά κάτοικο το έτος. Η διαχρονική μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων στην Ελλάδα είναι καθαρά αυξητική και ο ετήσιος ρυθμός αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων είναι περίπου 4,5%, μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας της χώρας (2,5%) Ο πρωταρχικός τρόπος αντιμετώπισης του ενεργειακού ζητήματος στα κτίρια είναι η κατασκευή λιγότερο ενεργοβόρων σπιτιών, με την ένταξη παθητικών συστημάτων σε αυτά. Επειδή η κατασκευή κτιρίου μηδενικής ενέργειας είναι πολύ δύσκολη, ο κλιματισμός είναι απαραίτητος, και ο ηλιακός κλιματισμός έρχεται για να μειώσει ουσιαστικά τις ενεργειακές απαιτήσεις και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, χρησιμοποιώντας την δωρεάν ανανεώσιμη ενέργεια του ήλιου.

Όσον αφορά στη χώρα μας αναμένεται να αντιμετωπίσει έντονα ενεργειακά προβλήματα τα επόμενα 50 χρόνια με άμεση σχέση με τις κλιματικές αλλαγές. Οι πιο ενεργοβόροι μήνες είναι οι καλοκαιρινοί. Την εποχή αυτή η ζήτηση σε ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται κατακόρυφα με άμεση συνέπεια την εξάντληση όλων των μονάδων εφεδρείας και την αναγκαστική αγορά ισχύος από τις γειτνιάζουσες χώρες. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι η Ελλάδα είναι μια χώρα και υψηλό δείκτη ηλιοφάνειας, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι ο ηλιακός κλιματισμός θα μπορούσε να περιορίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός σπιτιού σε συμβατικά καύσιμα. Μάλιστα, λόγω της σύμπτωσης των κορυφών ζήτησης ψύξης και διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι, έχουμε, η ηλιακή ψύξη καθίσταται ιδιαίτερα ελπιδοφόρα δυνατότητα.

Ας πούμε λοιπόν ορισμένα στοιχεία για τον *ηλιακό κλιματισμό*, και συγκεκριμένα την *ψύξη απορρόφησης*, εφαρμογές της οποίας αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας [48].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ TRNSYS

2.1. Γενικά για το TRNSYS

Το λογισμικό με τη βοήθεια του οποίου εξάγονται τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας είναι το TRNSYS (Transient Systems Simulation program), ένα πρόγραμμα που αναπτύχθηκε στο πανεπιστήμιο του Wisconsin πριν περίπου 35 χρόνια. Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων και των πολυζωνικών κτιρίων (multi-zone buildings). Χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Ενδεικτικά αναφέρονται κάποιες: συστήματα θέρμανσης νερού, σχεδιασμός και προσομοίωση κτιρίων και εξοπλισμού τους, συστήματα HVAC, συμπαραγωγή, συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κ.λπ.) [49].

Ένα από τα στοιχεία του TRNSYS που συνέβαλε στην μεγάλη του επιτυχία είναι το ότι ο πηγαίος κώδικας, ο πυρήνας του προγράμματος, καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS δίνονται στον χρήστη, ο οποίος μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα έτσι ώστε να εξυπηρετούνται καλύτερα οι δικές του ανάγκες.

Επίσης, λόγω της αρχιτεκτονικής του προγράμματος, η οποία είναι βασισμένη στα αρχεία DLL, υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας νέων μοντέλων από τον χρήστη χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.λπ.). Ακόμη, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με άλλες εφαρμογές για την επεξεργασία πριν, μετά, ή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης (Microsoft Excel, Matlab κ.λπ.).

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι οι εφαρμογές στο TRNSYS δημιουργούνται ενώνοντας γραφικά τα στοιχεία (components) ή αλλιώς μοντέλα (types) στο στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio). Αυτοί οι όροι εκφράζουν ένα κομμάτι εξοπλισμού ή μια ενότητα που περιλαμβάνεται στο TRNSYS. Κάθε τύπος στοιχείου περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο στην μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS τα οποία συνδέονται με το στούντιο προσομοίωσης μέσω των 'αιτήσεων'(Proformas). Η Proforma λειτουργεί σαν ένα 'μαύρο κουτί' περιγραφής ενός στοιχείου που περιέχει τα εισαγόμενα και τα εξαγόμενα μεγέθη (inputs-outputs), τις μεταβλητές κ.λπ..

Τα προγράμματα που περιέχονται στο TRNSYS είναι τα εξής:

- Το στούντιο προσομοίωσης (*TRNSYS Simulation Studio*) και το εκτελέσιμο αρχείο του (*TRNExe.exe*)
- Το γραφικό περιβάλλον επεξεργασίας κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (*TRNBuild.exe*)

- τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (*TRNEdit.exe*).

2.2. Στούντιο προσομοίωσης (Simulation studio)

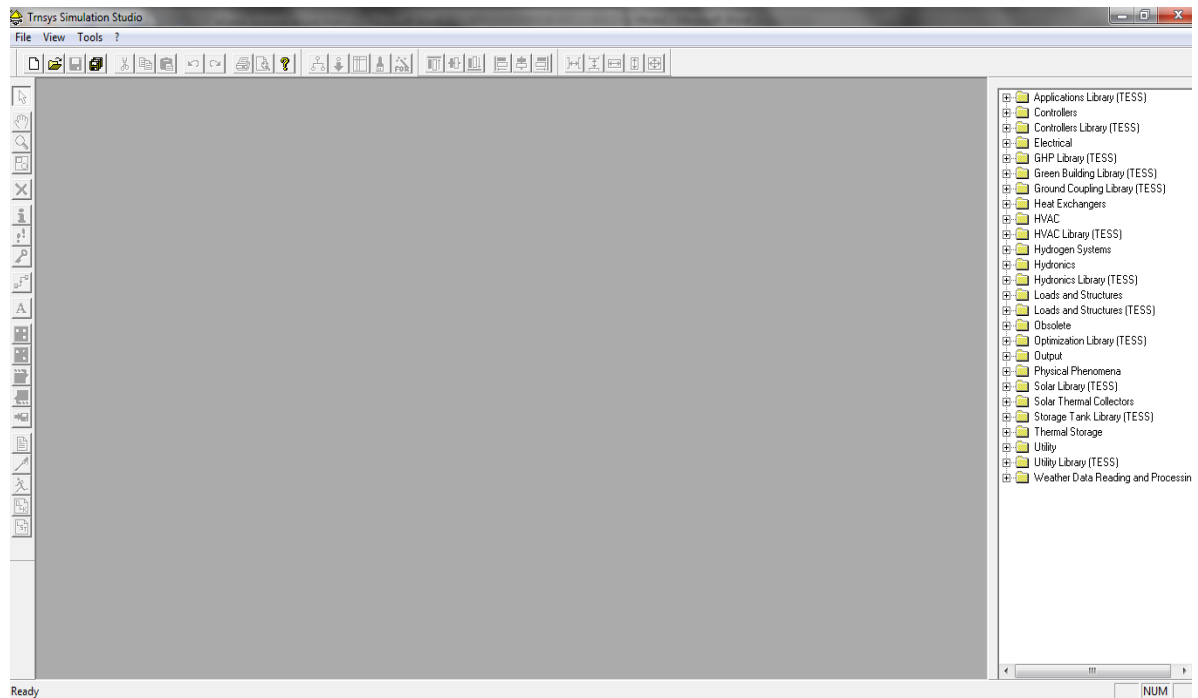
Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό “ρίχνουμε” με το ποντίκι (drag and drop) στο παράθυρο εργασίας τα επιλεγόμενα μοντέλα, συνδέοντάς τα και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Τα μοντέλα παριστάνονται με τα εικονίδια τους στο παράθυρο εργασίας.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη (*.trf). Επίσης δημιουργεί αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.

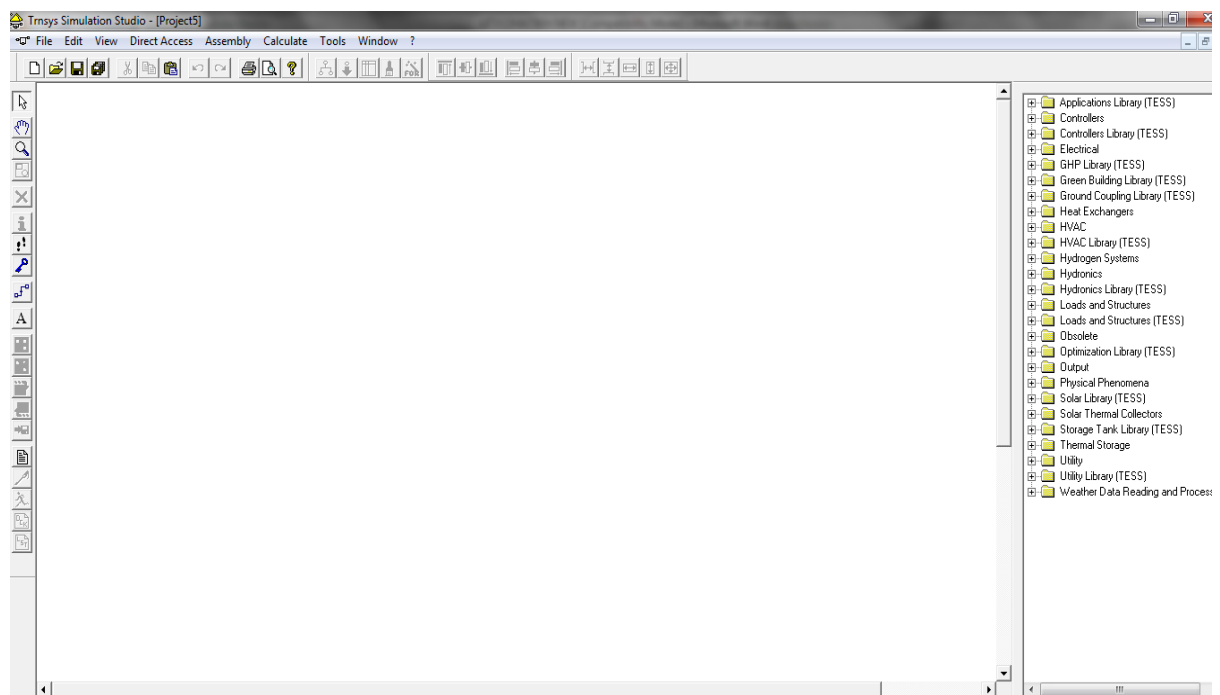
Στο Studio προσομοίωσης ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιες μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιες θα εκτυπωθούν και ποιες θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

2.2.1. Κεντρικό παράθυρο

Το κεντρικό παράθυρο (main window) είναι αυτό που βλέπει ο χρήστης όταν ανοίξει το στούντιο προσομοίωσης. Όπως συμβαίνει και σε άλλα προγράμματα των Microsoft Windows, το κεντρικό παράθυρο περιέχει το κεντρικό μενού (με τις επιλογές File, Edit, View κ.τ.λ.) , διάφορες μπάρες εργαλείων (toolbars) και ένα ή περισσότερα ενεργά παράθυρα (active windows). Στην αρχή το κεντρικό παράθυρο είναι άδειο. Σ’αυτό το σημείο, ο χρήστης έχει την επιλογή να ανοίξει μία μελέτη (project) που υπάρχει ήδη ή να δημιουργήσει ένα νέο project, με τις επιλογές open και new της βασικής γραμμής εργαλείων. Στο άνοιγμα της new, υπάρχουν οι κάτωθι επιλογές: Νέο στοιχείο (new component), άδεια μελέτη (empty project), σύστημα ηλιακών για θέρμανση νερού (solar hot water system), μελέτη πολυζωνικού κτιρίου (building project – multizone), μελέτη απλού κτιρίου (building project – simplified). Όταν ο χρήστης δημιουργεί μία καινούρια μελέτη ή ανοίγει μία που υπάρχει ήδη (με τις επιλογές new και open της γραμμής εργαλείων αντίστοιχα), εμφανίζεται στο κεντρικό παράθυρο ο πίνακας σύνταξης (*assembly panel*), το παράθυρο εργασίας δηλαδή, όπου ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει να τροποποιήσει και να ‘τρέξει’ τις εφαρμογές προσομοίωσης.



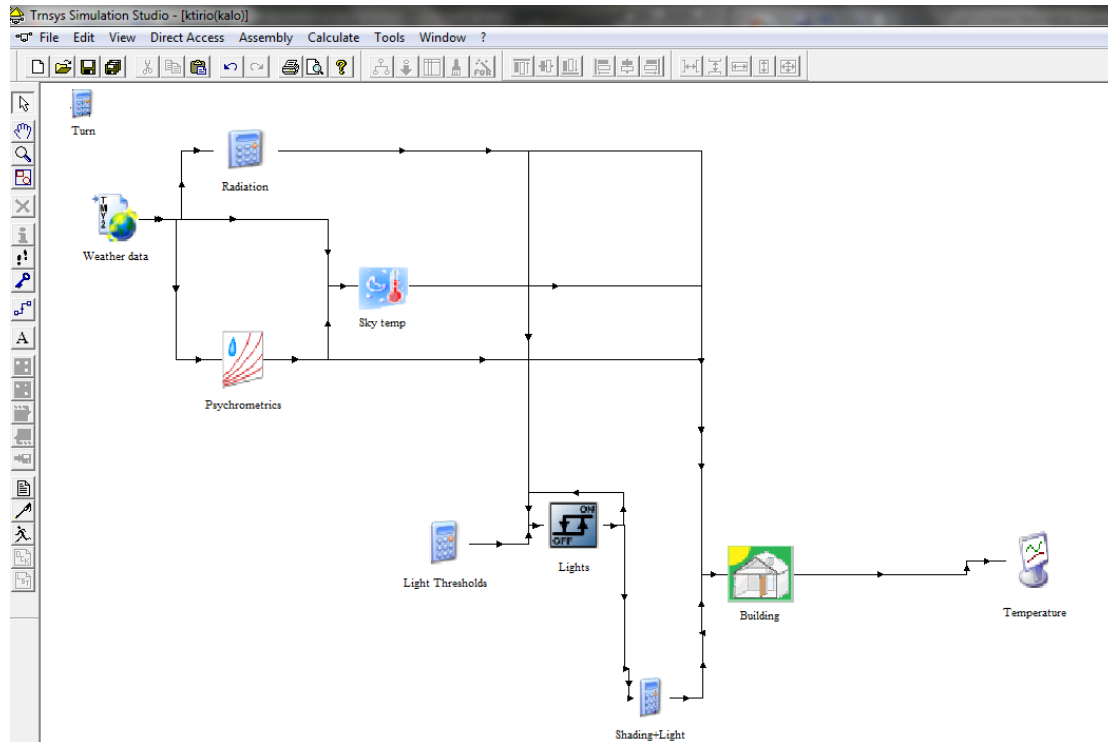
Εικόνα 2.1. Άδειο κεντρικό παράθυρο



Εικόνα 2.2. Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel) για την επιλογή empty project

Για την επιλογή building project (multizone) ακολουθούμε 10 απλά βήματα (επιλέγουμε, ονομάζουμε και διαστασιοποιούμε τις ζώνες, επιλέγουμε το ποσοστό των παραθύρων σε σχέση με των εξωτερικό τοίχο και τον προσανατολισμό του κτιρίου, ρυθμίζουμε τον

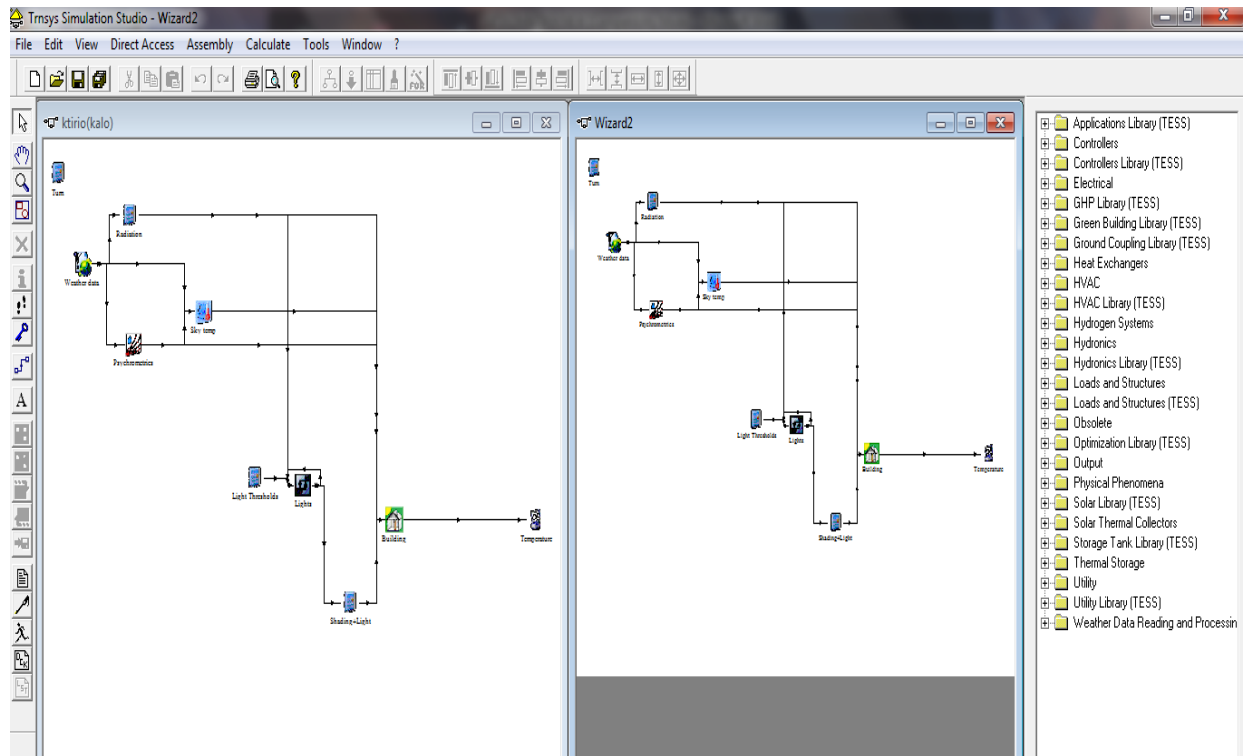
αερισμό του κτιρίου, τα θερμικά και ψυκτικά συστήματά του, τις πηγές ενέργειας, τον φωτισμό, τις διαστάσεις των παραθύρων και τη σκίαση), δημιουργούμε μία πρώτη προσομοίωση πολυζωνικού κτιρίου [50].



Εικόνα 2.3. Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel) μετά την επιλογή building project (multizone) και τις απαιτούμενες στα βήματα ρυθμίσεις

Οι περισσότερες επιλογές που κάναμε σε κάθε βήμα καθώς και άλλες λεπτομέρειες μπορούν να τροποποιηθούν μετά μέσω του TRNBUILD.

Στο κεντρικό παράθυρο, μπορούν να ανοιχτούν ταυτόχρονα 2 ή και περισσότερα projects. Μπορούν να ελαχιστοποιηθούν, να μεγιστοποιηθούν και να φαίνονται το ένα δίπλα στο άλλο, όπως στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.4. Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel) με δύο project να απεικονίζονται παράλληλα

Βλέπουμε εδώ ότι το μενού έχει εμπλουτιστεί ενώ οι άλλες γραμμές εργαλείων έχουν πλέον ενεργοποιημένες (clickable) τις επιλογές τους.

Βασικό μενού

Η **επιλογή file του μενού** περιλαμβάνει κλασικές λειτουργίες προγραμμάτων των windows όπως άνοιγμα αρχείου (open), αποθήκευση ως (save as), εκτύπωση (print).

Η **επιλογή edit του μενού** περιέχει τις ενέργειες Αναίρεση (Undo) και Επανάληψη (Redo) δράσης, Αντικατάσταση (Replace), Αποκοπή (Cut), Αντιγραφή (Copy) και Επικόλληση (Paste) στοιχείου και Διαγραφή (Delete) και Ιδιότητες (Properties) στοιχείου ή σύνδεσης .

Η **επιλογή view του μενού** παρέχει δυνατότητες, όπως ζουμ ή προσθήκη πλέγματος στο παράθυρο εργασίας, για καλύτερη επόπτευση.

Ο **Κατάλογος Άμεσης Πρόσβασης (Direct Access) του μενού** περιλαμβάνει όλα τα μοντέλα που είναι διαθέσιμα για την εκπόνηση των μελετών – εφαρμογών, τα οποία εμφανίζονται στο δεξί μέρος του κεντρικού παραθύρου σε δενδροειδή μορφή. Με την εγκατάσταση της βιβλιοθήκης - επέκτασης TESS Library, προσφέρονται στο χρήστη ακόμη περισσότερα διαθέσιμα μοντέλα προς χρήση. Έτσι, οι επιλογές που περιέχει ο Κατάλογος Άμεσης Πρόσβασης είναι η ανανέωση του δέντρου των μοντέλων (refresh tree) και η εισαγωγή των μοντέλων (insert model), η οποία φυσικά μπορεί να γίνει και με την μέθοδο ‘drag and drop’ από το δέντρο.

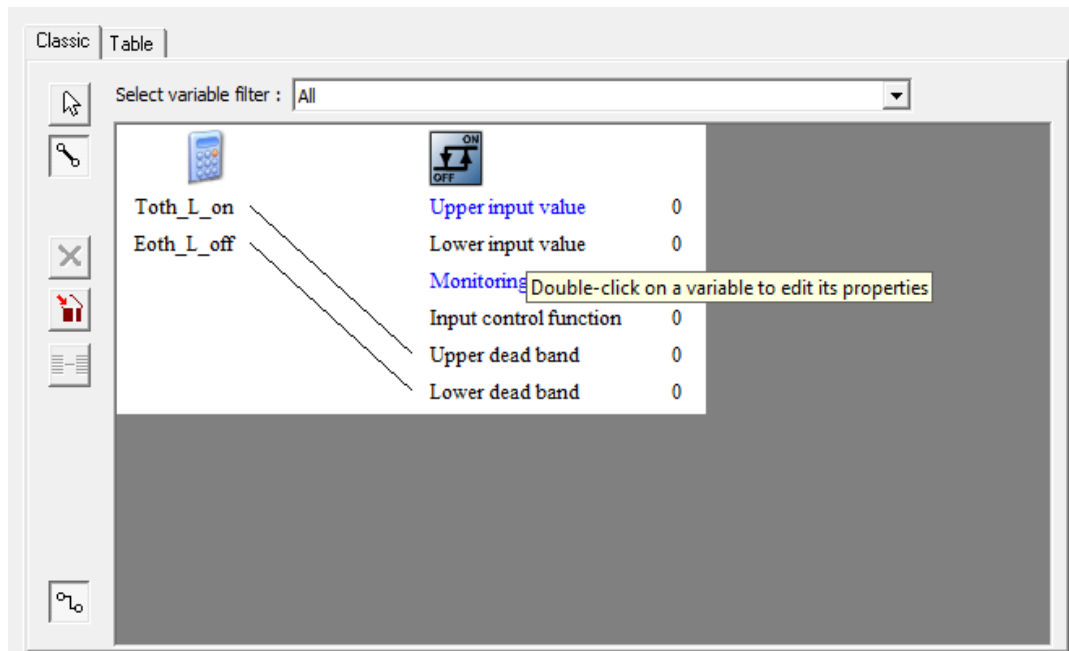
Η επιλογή Assembly του μενού περιέχει τις εξής επιλογές:

- Εισαγωγή εξίσωσης (insert new Equation). Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο του TRNSYS είναι η δυνατότητα δημιουργίας εξισώσεων μέσα στο αρχείο εισόδου, οι οποίες δεν βρίσκονται μέσα σε κάποιο μοντέλο. Οι εξισώσεις αυτές μπορεί να είναι συναρτήσεις των εξόδων κάποιων στοιχείων, αριθμητικές τιμές, ή εξισώσεις που έχουν προκαθοριστεί. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εισοδοί σε κάποιο μοντέλο, σαν παράμετροι, αρχικές τιμές εισόδων, ή παράγωγοι. Συμβολίζεται με το παρακάτω εικονίδιο:



Equation

- Σύνδεση (link mode). Κάνοντας κλικ σε αυτή την επιλογή μας επιτρέπεται η ροή πληροφοριών από το ένα στοιχείο σε ένα άλλο. Έχοντάς την επιλεγμένη, επιλέγουμε στη συνέχεια το πρώτο στοιχείο που επιθυμούμε να συνδέσουμε και φέρνουμε τη γραμμή της σύνδεσης στο δεύτερο. Κάνοντας διπλό κλικ στην γραμμή σύνδεσης μεταξύ των δύο μοντέλων ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο μπορούν να επιλεγούν ποιές έξοδοι του ενός μοντέλου θα συνδεθούν με τις εισόδους του άλλου. Η πληροφορία μεταφέρεται από το ένα στοιχείο στο άλλο. Οι έξοδοι του πρώτου είναι οι εισοδοί για το δεύτερο. Το TRNSYS επιτρέπει τη σύνδεση μεταβλητών του ίδιου μεγέθους (π.χ. θερμοκρασία με θερμοκρασία). Το παράθυρο των συνδέσεων αποτελείται από 2 καρτέλες (Classic, Table), κάθε μια από τις οποίες περιέχει 2 στήλες με μεταβλητές. Η πρώτη στήλη περιέχει τις εξόδους από το πρώτο στοιχείο ενώ η δεύτερη περιέχει τις εισόδους στο δεύτερο στοιχείο. Εάν κάποια είσοδος ενός στοιχείου μείνει ασύνδετη τότε θα λαμβάνει μια σταθερή τιμή η οποία είναι προκαθορισμένη. Πρέπει να σημειώσουμε ότι στο TRNSYS οι εισοδοί μπορούν να συνδεθούν μόνο μια φορά ενώ οι έξοδοι παραπάνω. Δεξιά από την στήλη των εισόδων υπάρχει μια άλλη στήλη η οποία περιέχει τις αρχικές τιμές για κάθε μεταβλητή, οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν από εδώ ή από το παράθυρο των μεταβλητών (Variables window).



Εικόνα 2.5. Παράθυρο σύνδεσης ανάμεσα σε δυο στοιχεία του παραπάνω απλού building project

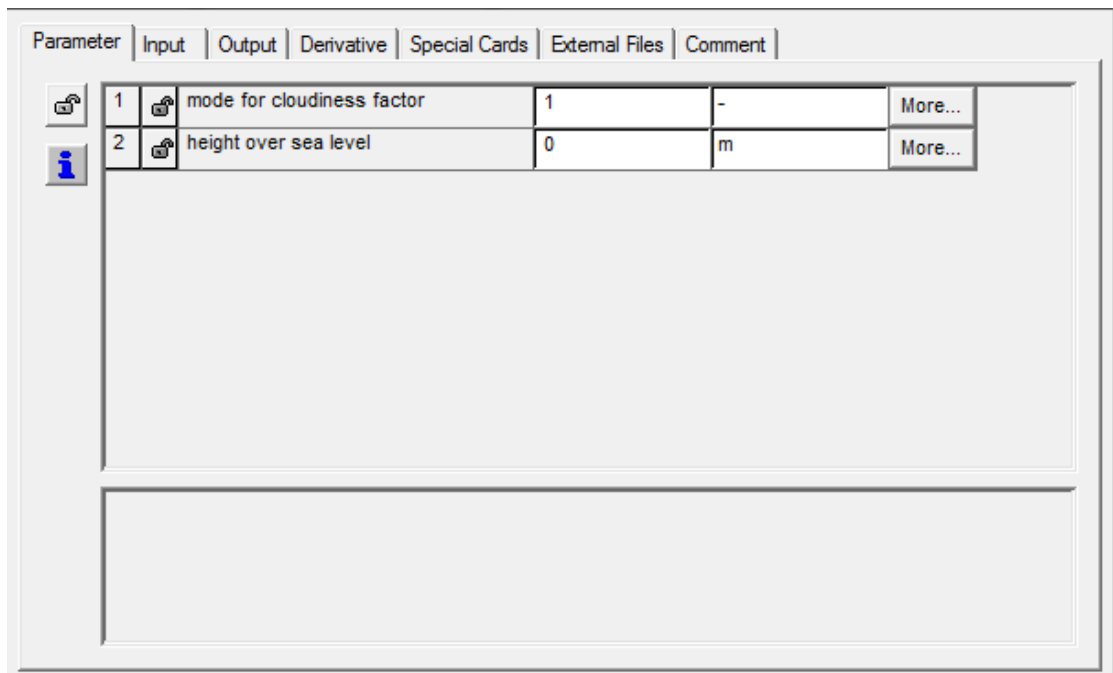
- Κλείδωμα και Ξεκλείδωμα στοιχείων (lock/unlock). Η εντολή αυτή επιτρέπει στον δημιουργό μιας μελέτης να 'κλειδώσει' συγκεκριμένα στοιχεία στον Πίνακα Σύνταξης. Τα κλειδωμένα στοιχεία δεν μπορούν να διαγραφούν ή να τροποποιηθούν.
- Proforma. Το αρχείο proforma (*.tmf- TRNSYS model file) είναι το πρότυπο τεκμηρίωσης των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στο στούντιο προσομοίωσης. Όλα τα στοιχεία που δημιουργούνται ή προστίθενται στο στούντιο προσομοίωσης πρέπει να έχουν μία ολοκληρωμένη proforma έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια εφαρμογή προσομοίωσης. Τα αρχεία proforma στο στούντιο προσομοίωσης αποτελούνται από τέσσερις καρτέλες, οι οποίες περιέχουν όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για να διευκολύνουν τη μεταφορά των πληροφοριών σχετικά με τα στοιχεία, και επιτρέπουν στα μοντέλα να χρησιμοποιούνται στη σωστή διάταξη. Η πρώτη καρτέλα περιέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία του στοιχείου (βλ. Εικόνα 2.4). Η δεύτερη καρτέλα περιέχει μια σύντομη περιγραφή και μια αναλυτική περιγραφή του μοντέλου. Η Τρίτη καρτέλα περιλαμβάνει μια αναλυτική περιγραφή της κάθε μεταβλητής (παράμετροι, είσοδοι, έξοδοι και παράγωγοι) η οποία είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του μοντέλου καθώς και της σύνδεσης του με τα άλλα στοιχεία. Η τέταρτη και τελευταία καρτέλα περιέχει συνδέσεις και εργαλεία για την συνεργασία με τα αρχεία που σχετίζονται με το μοντέλο. Αυτό περιλαμβάνει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα και σε άλλα αρχεία περιγραφής καθώς και την ικανότητα των εξωτερικών αρχείων με το μοντέλο. Τα αρχεία αυτά μπορούν να ανοιχτούν με το κατάλληλο πρόγραμμα.

Εικόνα 2.6. Πρώτη καρτέλα αρχείου Proforma του μοντέλου 109 με τα μετεωρολογικά δεδομένα

- **Μεταβλητές (Variables).** Εδώ γίνεται η ρύθμιση των μοντέλων της προσομοίωσης. Πρέπει να επιλεγθεί το μοντέλο για να είναι clickable αυτή η επιλογή. Εναλλακτικά μπορεί να γίνει διπλό κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου. Έτσι ανοίγει ένα παράθυρο με τις μεταβλητές του μοντέλου (Variables window). Όλα τα μοντέλα έχουν τις εξής καρτέλες: παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγώγων. Από τις καρτέλες αυτές ρυθμίζονται οι τιμές όλων των στοιχείων του μοντέλου. Οι τιμές των εισόδων παραβλέπονται αν το μοντέλο συνδεθεί με κάποιο άλλο μοντέλο. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι στο παράθυρο των εξόδων δε μπορούμε να κάνουμε ρυθμίσεις, είναι δηλαδή για πληροφοριακούς λόγους. Οποιαδήποτε παράλειψη προσδιορισμού κάποιας από τις παραπάνω πληροφορίες θα έχει σαν αποτέλεσμα η συγκεκριμένη πληροφορία να πάρει την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή.

Οι διάφορες ετικέτες των μεταβλητών περιέχουν κάποια μοναδικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όμως όλες μοιάζουν στην εμφάνιση και στον τρόπο λειτουργίας. Κάθε μεταβλητή περιέχει σημαντικές πληροφορίες οργανωμένες σε σειρές δεδομένων. Κάθε σειρά περιλαμβάνει:

- Τον αριθμό των εισόδων, των εξόδων και των παραμέτρων.
- Ένα σύμβολο που δείχνει εάν η συγκεκριμένη μεταβλητή είναι κλειδωμένη ή ξεκλειδωτή.
- Την ονομασία της μεταβλητής.
- Ένα περιθώριο με την τρέχουσα τιμή της μεταβλητής.
- Την μονάδα μέτρησης της μεταβλητής.



Εικόνα 2.7. Παράθυρο μεταβλητών για το μοντέλο 69 με τις θερμοκρασίες του ουρανού (Effective sky temperature for long-wave radiation exchange)

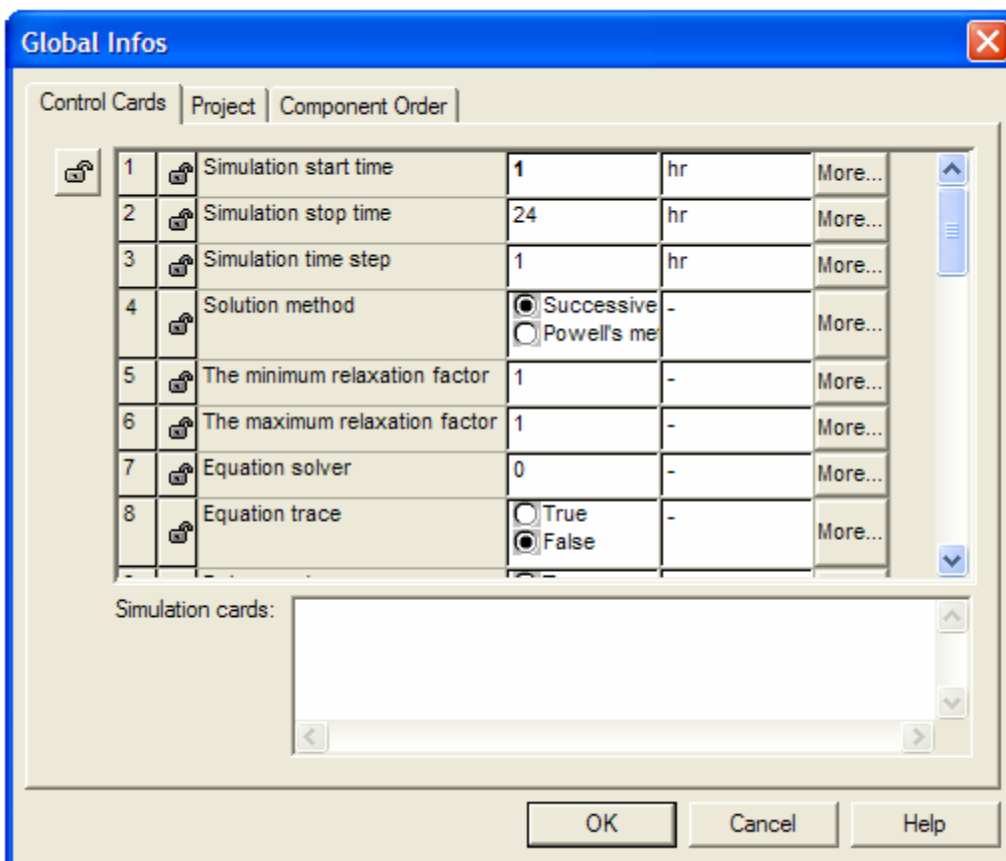
- Άνοιγμα/κλείσιμο/δημιουργία/αποθήκευση Macro-Στοιχείου (open/close/create/explode/save Macro Component). Η ιδέα του macro επιτρέπει στον χρήστη να αντικαταστήσει επιλεγμένα στοιχεία και τις μεταξύ τους συνδέσεις με ένα macro-στοιχείο, το οποίο θα έχει:
- Σαν παραμέτρους, τις παραμέτρους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό.
 - Σαν εξόδους, τις εξόδους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό.
 - Σαν εισόδους, τις μη συνδεδεμένες εισόδους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό.
 - Σαν μεταβλητές, τις μεταβλητές όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό.
 - Σαν εξωτερικά αρχεία, τα εξωτερικά αρχεία όλων των στοιχείων περιέχονται σε αυτό.
 - Σαν ειδικές κάρτες, τις ειδικές κάρτες όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό.

Το macro-στοιχείο συμπεριφέρεται όπως και κάθε άλλο στοιχείο. Μπορεί να μετακινηθεί, να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κάποιου άλλου macro-στοιχείου, να διαγραφεί κ.λπ.. Για τη δημιουργία του macro-στοιχείου επιλέγουμε αρχικά όλα τα στοιχεία που θέλουμε να αντικαταστήσουμε, και στην συνέχεια

επιλέγουμε την εντολή Create Macro. Το πρόγραμμα αυτόματα αντικαθιστά τα επιλεγμένα στοιχεία με ένα macro-στοιχείο.

Με την εντολή Assembly/Explode Macro αντικαθιστούμε το macro-στοιχείο με τα στοιχεία και τις συνδέσεις που χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία του. Ουσιαστικά είναι η αντίστροφη ενέργεια αυτής που αναφέραμε πιο πάνω. Επίσης, μπορούμε να αποθηκεύσουμε το macro-στοιχείο για μελλοντική του χρήση και να το ανοίξουμε μόνο του.

- Κάρτες Ελέγχου της Προσομοίωσης (Control Cards). Η εντολή αυτή επιτρέπει στον χρήστη να προσδιορίσει τις καρτέλες ελέγχου που απαιτούνται από το πρόγραμμα TRNSYS. Βασικές ρυθμίσεις είναι ο καθορισμός της αρχής και του τέλους του χρόνου προσομοίωσης και του χρονικού βήματος. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κλειδώσει και να ξεκλειδώσει οποιοσδήποτε από τις καρτέλες ελέγχου για μια προσομοίωση πατώντας το κατάλληλο εικονίδιο. Οι κλειδωμένες κάρτες ελέγχου δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι οι κάρτες ελέγχου θα καταγράφονται στο αρχείο εισόδου του TRNSYS το οποίο καθορίζεται στο περιθώριο με την ετικέτα 'deck file name'.



Εικόνα 2.8. Κάρτες ελέγχου (Control Cards)

- Αλλαγή κατηγορίας των στοιχείων (send to layer). Κάθε στοιχείο είναι καταχωρημένο σε layers(κατηγορίες) και στις οποίες εμφανίζονται όλα τα στοιχεία της ίδιας κατηγορίας. Στο TRNSYS υπάρχουν συγκεκριμένες κατηγορίες:

Μετεωρολογικά Δεδομένα, Κυκλοφορία Ύδατος, Κεντρικοί Αγωγοί, Κυκλοφορία Αέρα, Έξοδοι, και Κείμενο (weather/data files, water loop, main, air loop, outputs, text). Ο χρήστης μπορεί να μετακινήσει οποιοδήποτε στοιχείο από ένα layer σε ένα άλλο. Επίσης είναι δυνατός οποιοσδήποτε συνδυασμός κατηγοριών (layers) οποιαδήποτε στιγμή.

- Άλλες επιλογές είναι η εισαγωγή ή η διαγραφή ίχνους (add/remove trace), η προσθήκη κειμένου (add text) κ.ά..

Η **επιλογή Calculate του μενού** περιέχει τις εξής επιλογές:

- Παραγωγή μόνο του αρχείου εισόδου (Create Input File). Με την εντολή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μόνο το αρχείο εισόδου χωρίς να γίνει η προσομοίωση. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη για τον χρήστη διότι μπορεί να ελέγξει εάν όλα τα στοιχεία είναι σωστά συνδεδεμένα μεταξύ τους, χωρίς να ξεκινήσει η προσομοίωση. Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αλλαγές που μπορεί να γίνουν από τον χρήστη στο αρχείο εισόδου δεν προσομοιώνονται.
- Εκτέλεση της Προσομοίωσης (Run simulation). Αυτή η εντολή εκτελείται σύντομα με F8. Έτσι τίθεται σε εφαρμογή το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS για την τρέχουσα μελέτη. Με επιλογή της, συμβαίνουν τα εξής:
 - Η μελέτη αποθηκεύεται και γίνεται έλεγχος για λάθη ή παραλείψεις τις οποίες μπορεί να εντοπίσει το Στούντιο Προσομοίωσης.
 - Δημιουργείται το αρχείο εισόδου του TRNSYS.
 - Εκτελείται η προσομοίωση με το καινούριο αρχείο εισόδου.

Μόλις τελειώσει η προσομοίωση, ο έλεγχος της μελέτης επιστρέφει στο Στούντιο Προσομοίωσης όπου μπορούν να αναλυθούν τα αποτελέσματα, να δημιουργηθούν γραφήματα ή να εκτελεστούν πρόσθετες προσομοιώσεις. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πρέπει να γίνεται με προσοχή διότι ούτε το TRNSYS ούτε το Στούντιο Προσομοίωσης διαγράφει αυτόματα τα αρχεία εξόδου και τα διαγράμματα όταν εκτελείται μια νέα προσομοίωση. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, εάν μια καινούρια προσομοίωση αποτύχει, οι έξοδοι καθώς και τα διαγράμματα να είναι από την προηγούμενη πετυχημένη προσομοίωση. Ο χρήστης πρέπει πάντα να ελέγχει το αρχείο καταλόγου του TRNSYS (*TRNSYS list file*) για προειδοποιήσεις ή σφάλματα πριν την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

- Πρόσβαση στο αρχείο εισόδου (Open input file). Εδώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να έχει πρόσβαση στο αρχείο εισόδου.
- Πρόσβαση στο Αρχείο Καταλόγου (*.lst) μέσω Διαχειριστή Σφαλμάτων (Error Manager) (open list file). Με την εντολή αυτή επιτρέπεται στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στον Διαχειριστή Σφαλμάτων, ο οποίος αναλύει το αρχείο καταλόγων που δημιουργείται από το TRNSYS κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο Διαχειριστής Σφαλμάτων περιέχει όλα τα παραγόμενα μηνύματα σφαλμάτων από

το TRNSYS και είναι το πρώτο μέρος που πρέπει να κοιτάξουμε όταν η προσομοίωση αποτυγχάνει.

- Πρόσβαση στα αρχεία εξόδου (Open external files). Στην περίπτωση που έχει προστεθεί μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι εκτυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο μπορεί να ανοιχθεί με αυτή την εντολή.

Η επιλογή Εργαλεία (Tools) του μενού περιέχει κάποιες πιο εξειδικευμένες ενέργειες για επεξεργασία στο TRNSYS.

Η επιλογή Παραθύρο (Window) του μενού χρησιμεύει στη διαρρύθμιση των ανοιχτών παραθύρων.

Η επιλογή Βοήθεια (?) του μενού περιέχει το manual του TRNSYS για το simulation studio και κάποιες πληροφορίες για την τρέχουσα έκδοση (version) του TRNSYS.

Κατακόρυφη γραμμή εργαλείων

Πρόκειται για την toolbar στην αριστερή άκρη του κεντρικού παραθύρου, η οποία παρέχει τις ακόλουθες δυνατότητες :

- Επιλογή (Select). Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ο,τιδήποτε είναι μέσα στον πίνακα σύνταξης. Έτσι , μπορεί και να μετακινήσει π.χ. στοιχεία ή/και συνδέσεις με σκοπό να γίνεται ο Πίνακας Σύνταξης ευκολότερος στην κατανόηση. Ακόμη, ο χρήστης μπορεί να κάνει δεξί κλικ στα στοιχεία, στις συνδέσεις ή στον κενό χώρο για να δει διάφορες ιδιότητές τους (π.χ. τις μεταβλητές (Variables), τις παραμέτρους (parameters), τις εισόδους (inputs), τις εξόδους (outputs), τις παραγώγους (derivatives)) ή να επιτελέσει κάποιες από τις ενέργειες που γίνονται και από το μενού ή από συντομεύσεις ή ακόμη και κάποιες που γίνονται μόνο εδώ (π.χ. προσθήκη πλέγματος στον κενό χώρο).
- Ολίσθηση (Pan). Μετακινούμαστε στο χώρο εποπτεύοντας το project μας.
- Zoom
- Ζουμ για συνολική επόπτευση (Zoom to fit)
- Σβήσιμο (Erase). Γίνεται και με το Del.
- Πρόσβαση στην Proforma του στοιχείου (Proforma Editor)
- Ίχνος (Trace)
- Κλείδωμα/ξεκλείδωμα (Lock/Unlock)
- Δημιουργία Σύνδεσης (Link)
- Εισαγωγή κειμένου (Text object)

- Δημιουργία macro/καταστροφή macro/μπαίνω μέσα' στο macro/βγαίνω από' το macro/αποθηκεύω το macro (Create/explode/go in /go up/save macro). 'Μπαίνω μέσα' στο macro σημαίνει ότι με το κλικάρισμα αυτής της επιλογής, βλέπω μόνο τα στοιχεία από τα οποία αποτελείται το macro, απομονωμένα από τα υπόλοιπα στοιχεία του project, με τα οποία είναι συνδεδεμένο το macro. 'Βγαίνω από' το macro σημαίνει ότι βλέπω πλέον το συνολικό project, με τα στοιχεία του macro να αποκρύπτονται και να έχουν αντικατασταθεί από αυτό.
- Κάρτες ελέγχου (Control Cards)
- Επεξεργασία αρχείου εισόδου (Write input file)
- Τρέξιμο προσομοίωσης (Run)
- Deck file. Πρόκειται για αρχείο στο οποίο καταγράφονται τα δεδομένα από τις κάρτες ελέγχου καθώς και όλοι οι παράμετροι και οι εισοδοί όλων των μοντέλων.
- List file. Στο αρχείο αυτό εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις που προέκυψαν καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία στις 3 πρώτες καρτέλες. Στην τέταρτη, μπορεί να ανοιχθεί το αρχείο 'Lst file', το οποίο δημιουργείται κατά την προσομοίωση και περιέχει και αυτό όλα τα σφάλματα που προκύπτουν καθώς και μια επανάληψη του αρχείου εισόδου του TRNSYS (deck) μαζί με επιπρόσθετες εξόδους.

Simulation log : C:\Program Files\Trnsys16\MyProjects\Wizard2\Wizard2.log

Messages | Units stats | Types stats | Lst file... | Collapse

20 message(s) found (total: 20 message(s))

id	Severity	Time (h)	Unit	Type	Message
1	Notice	0,000	0	0	Message : The TRNSYS Executable (TRNExe.exe) and main DLL (TRNDll.dll) are located in "C:\Program F
2	Notice	0,000	0	0	Message : The following Types were loaded from TRNDll.dll: Type65, Type56, Type69, Type109, Type2,
3	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSApplicationsLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any compo
4	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSControlsLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any component
5	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSGHLLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any components fr
6	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSGreenBuildingLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any comp
7	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSGroundCouplingLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any co
8	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSHVACLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any components f
9	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSHydronicsLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any compone
10	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSLoadsAndStructuresLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain an
11	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSOptimizationLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any compon
12	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSSolarLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any components fr
13	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSStorageLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any component
14	Notice	0,000	0	0	Message : "TESSUtilityLibrary_ReleaseVersion201.dll" was found but did not contain any components fr
15	Notice	0,000	0	0	Message : "Type155.dll" was found but not loaded since Type 155 is not used in the input file.
16	Notice	0,000	0	0	Message : "Type62.dll" was found but did not contain any components from the input file.
17	Notice	0,000	0	0	TRNSYS Message 199 : TRNSYS found at least one user DLL in the UserLib directory. (Note: Only DLL's includ
18	Notice	0,000	56	56	Message : TRNFLOW multi zone air flow model integrated
19	Notice	0,000	56	56	Message : Active layers and internal window calculations integrated
20	Notice	0,000	56	56	Message : No internal humidity calculations are performed and no condensation warnings are printed. if

Message filter

Severity

Time (h) from to

Unit number

Type number

Εικόνα 2.9. Άνοιγμα list file

Βλέπουμε πως πολλές από αυτές παρέχονται και από το βασικό μενού και έχουν αναλυθεί παραπάνω.

2.2.2. Τρέξιμο και ανάγνωση αποτελεσμάτων

Η μηχανή προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Engine) είναι προγραμματισμένη σε FORTRAN και ο κώδικάς της είναι διανεμημένος. Η μηχανή είναι συνταγμένη σε μια Windows Dynamic Link Library (DLL), TRNDLL. Ο πυρήνας του TRNSYS διαβάζει όλες τις πληροφορίες στην προσομοίωση (ποια στοιχεία χρησιμοποιούνται και πως συνδέονται) στο αρχείο εισόδων, γνωστό ως αρχείο deck (*.dck). Επίσης, ανοίγει πρόσθετα αρχεία εισόδων (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα) και δημιουργεί αρχεία εξόδων με τα αποτελέσματα (external files). Η μηχανή προσομοίωσης καλείται από ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα, το TRNexe, το οποίο θέτει σε εφαρμογή και τον online plotter, δηλαδή το μοντέλο άμεσης δημιουργίας διαγραμμάτων, εάν και εφόσον υπάρχει. Η λειτουργία του θα εξηγηθεί παρακάτω μαζί με τα άλλα μοντέλα.

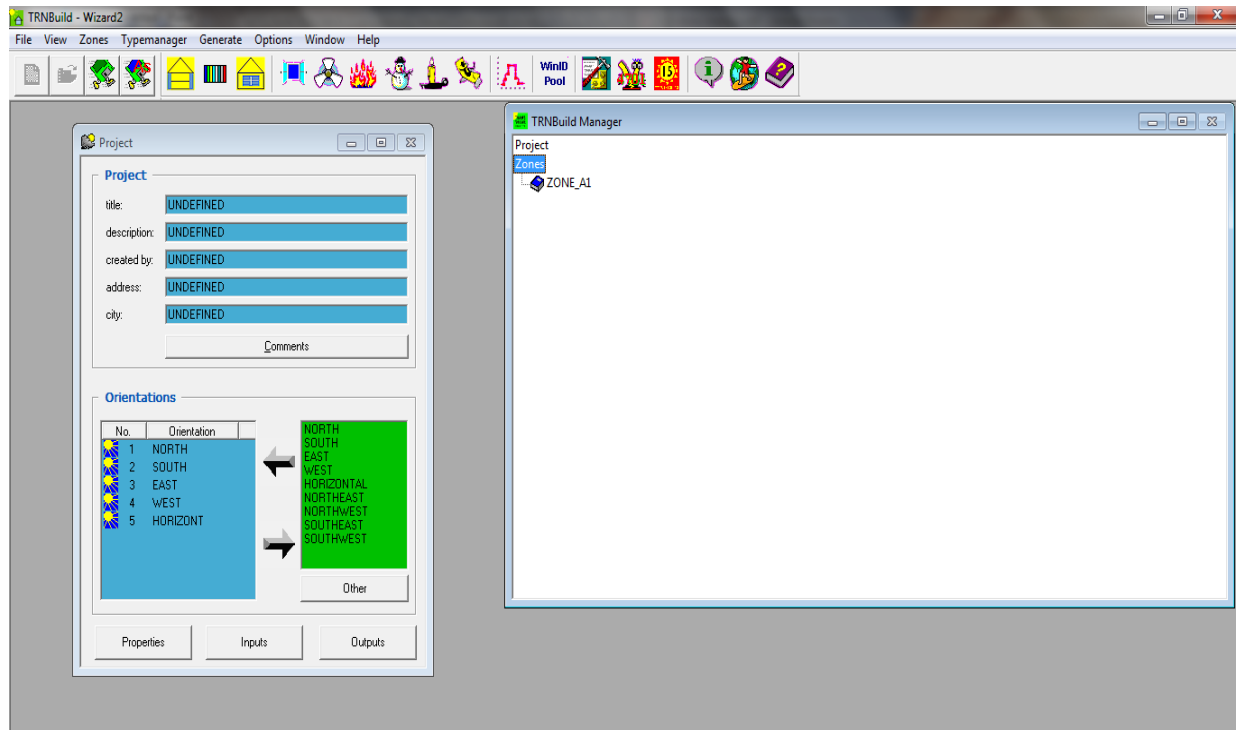
2.3. TRNBuild

2.3.1. Γενικά για το TRNBuild

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός μονοζωνικού ή πολυζωνικού κτιρίου. Στα πολυζωνικά κάθε υποχώρος μπορεί έχει διαφορετικές συνθήκες και πρέπει να μελετηθεί ξεχωριστά. Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Πρόκειται για το type 56, στο οποίο με δεξί κλικ, υπάρχει η επιλογή επεξεργασία κτιρίου (edit building), που ανοίγει το TRNBuild. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτηρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς.

2.3.2. Αρχική μορφή του TRNBuild

Το αρχικό παράθυρο-περιβάλλον του TRNBuild απεικονίζεται παρακάτω:



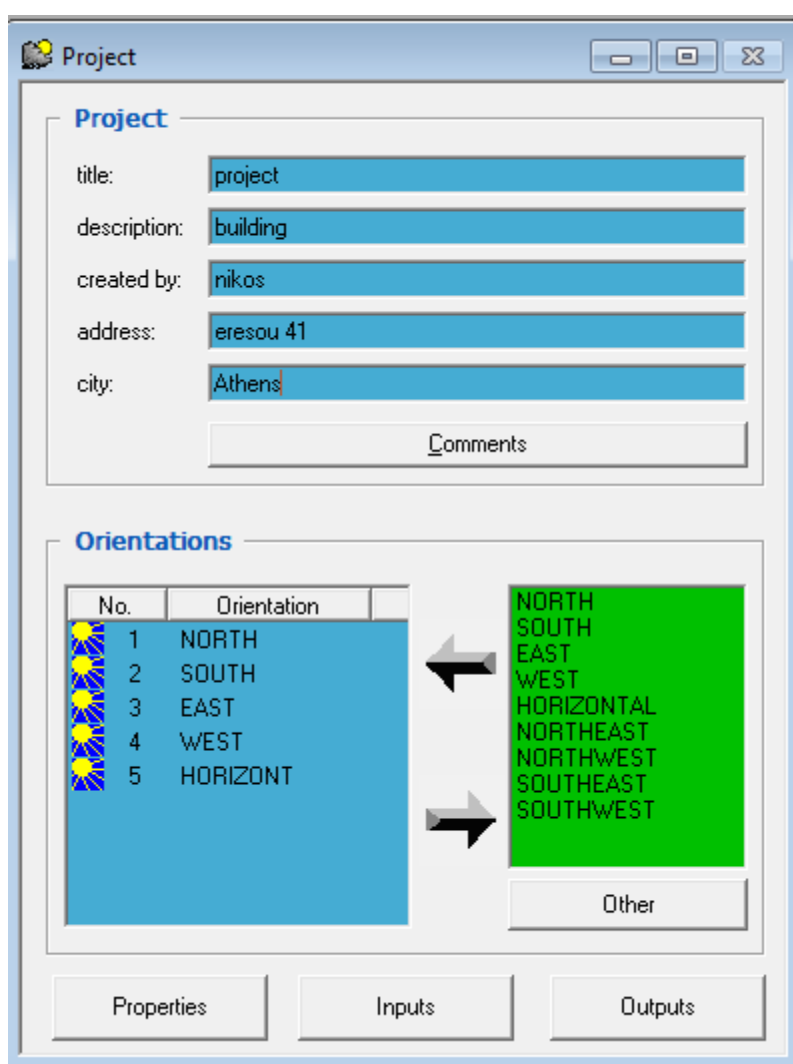
Εικόνα 2.10. Αρχικό παράθυρο του TRNBuild

Βλέπουμε ότι υπάρχει το κεντρικό μενού, μία γραμμή εργαλείων, όπου κάθε επιλογή δείχνει σχηματικά στο εικονίδιο της περί τίνος πρόκειται, και 2 παράθυρα. Το ένα έχει τίτλο

TRNBuild Manager και το άλλο project. Στον TRNBuild Manager υπάρχει η δυνατότητα ανοίγματος του παραθύρου του project (αν αυτό έχει ελαχιστοποιηθεί) και του παραθύρου Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window).

2.3.3. Παράθυρο μελέτης (Project window)

Εδώ ορίζονται οι γενικές παράμετροι του κτιρίου. Στην παρακάτω εικόνα, βλέπουμε ότι συμπληρώνονται τα στοιχεία περιγραφής της μελέτης (τίτλος, περιγραφή, δημιουργός, διεύθυνση, πόλη και σχόλια) και ότι ορίζονται προσανατολισμοί (orientations), οι ιδιότητες (properties), οι εισοδοί(inputs) και οι έξοδοι(outputs).



Εικόνα 2.11. Παράθυρο Μελέτης με συμπληρωμένα τα στοιχεία περιγραφής της μελέτης

Προσανατολισμοί (Orientations)

Όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων πρέπει να προσδιορίζονται με μοναδικά ονόματα. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν συνήθεις προσανατολισμοί που

ήδη υπάρχουν, οι οποίοι παρουσιάζονται και στον πίνακα στο δεξί μέρος της καρτέλας, ή να καθοριστούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.

Ιδιότητες (Properties)

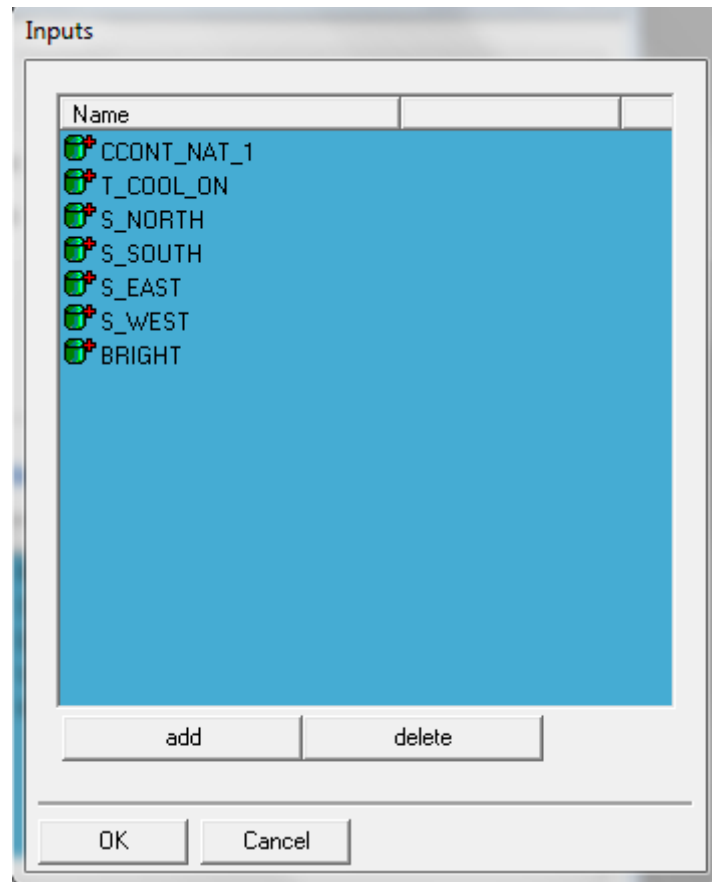
Property	Value	Unit
density of air :	1.204	kg / m ³
specific heat of air:	1.012	kJ / kg K
heat of vaporization of water:	2454	kJ / kg
Stefan Boltzmann Constant:	2.041e-007	kJ / h m ² K ⁴
approx. average surface temp.:	293.15	K

Parameters for internal calculation of heat transfer coefficients		
constant heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	7.2	kJ / m ² K
exponent heated floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) > 0	0.31	-
constant cooled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	3.888	kJ / m ² K
exponent cooled floor, if (T _{surf} floor-T _{air} floor) < 0	0.31	-
constant cooled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	3.888	kJ / m ² K
exponent cooled ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) < 0	0.31	-
constant heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	7.2	kJ / m ² K
exponent heated ceiling, if (T _{surf} ceiling-T _{air} ceiling) > 0	0.31	-
constant vertical surface:	5.76	kJ / m ² K
exponent vertical surface	0.3	-

Εικόνα 2.12 Παράθυρο Ιδιοτήτων με τιμές σταθερών

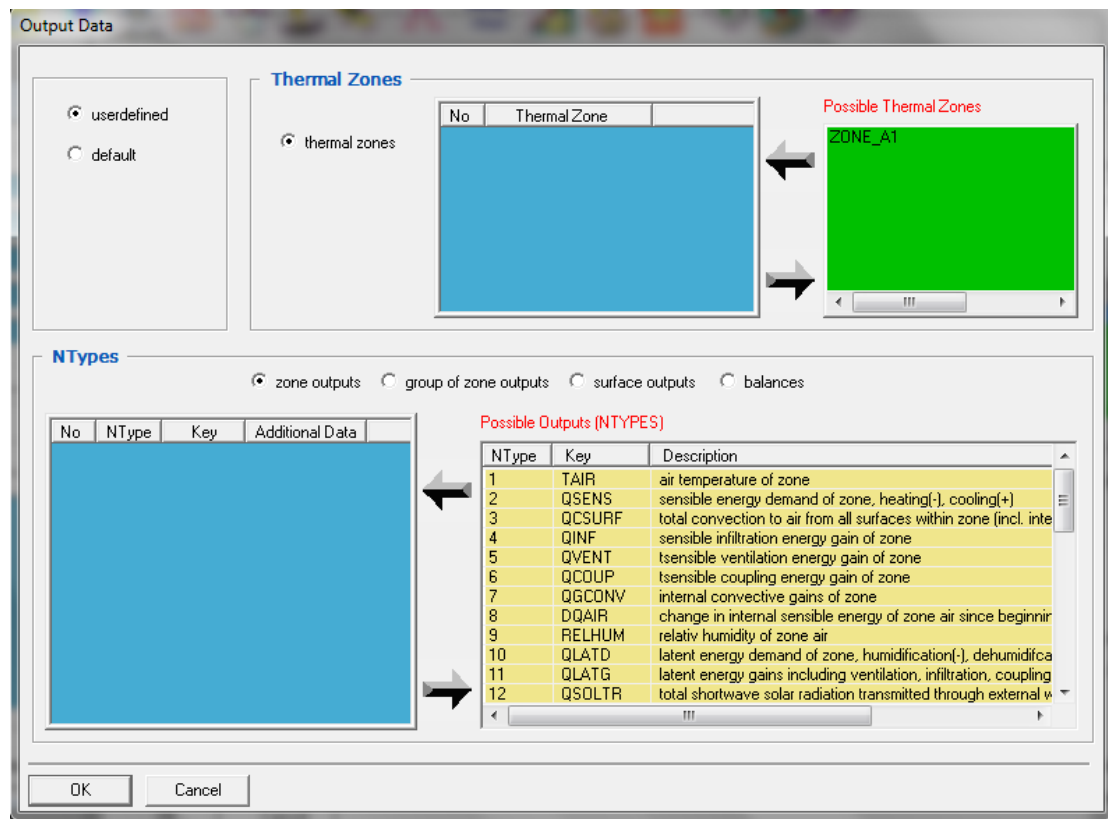
Οι ιδιότητες του κτιρίου περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Ο χρήστης μπορεί να τους δώσει άλλες τιμές για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.

Είσοδοι – Έξοδοι (Inputs – Outputs)



Εικόνα 2.13. Παράθυρο εισόδων του project

Εδώ, όπως βλέπουμε, μπορούμε να προσθέσουμε νέες εισόδους και να διαγράψουμε ήδη υπάρχουσες. Οι επιπλέον εισοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση.

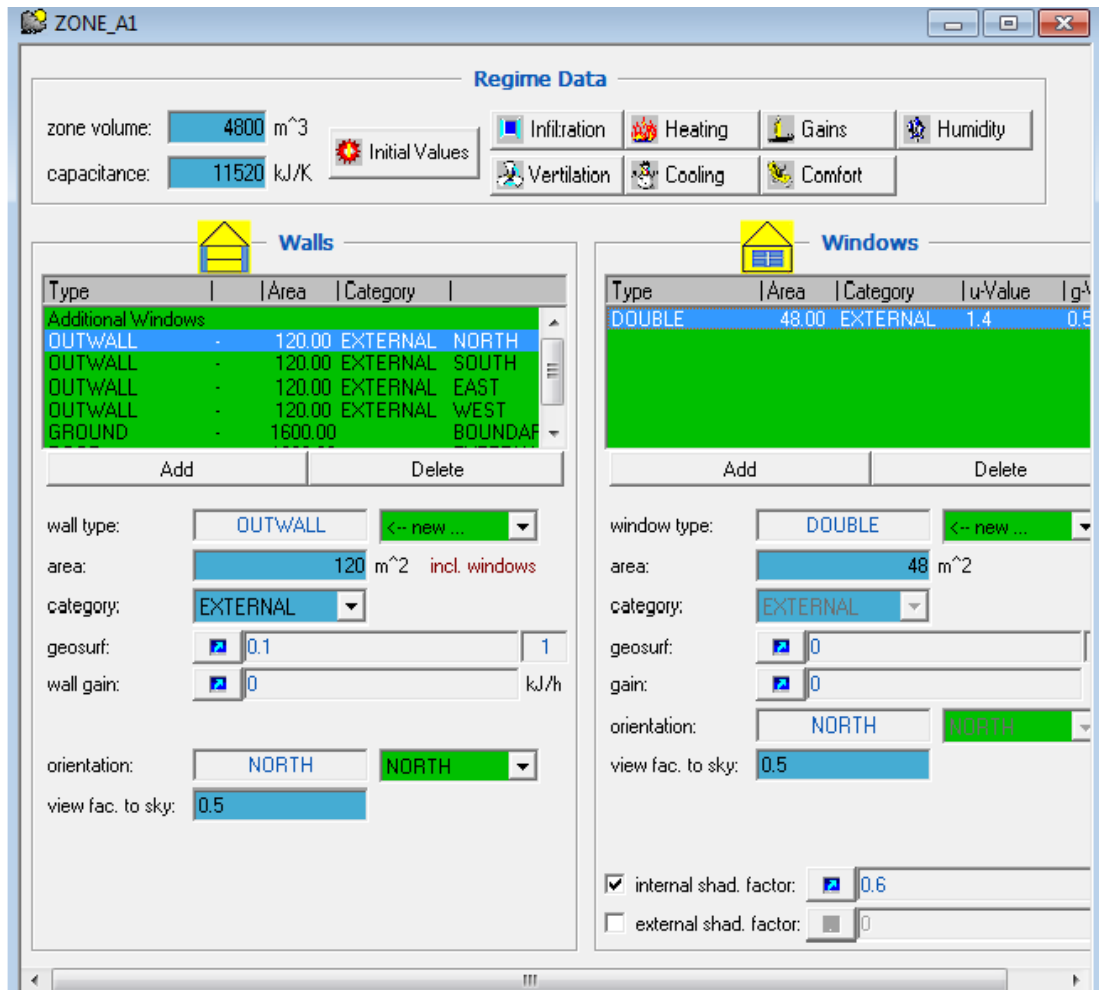


Εικόνα 2.14. Παράθυρο εξόδων του project

Οι πιθανές εξόδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους. Με τα χοντρά βέλη που απεικονίζονται στην παραπάνω εικόνα, μπορούμε να εισαγάγουμε ή να εξαγάγουμε εξόδους σε κάθε ζώνη, επιλέγοντας πάντα από τις διαθέσιμες εξόδους στα δεξιά.

2.3.4. Παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης (Zone window)

Κλικάροντας πάνω στο όνομα της ζώνης στον TRNBuild Manager, ανοίγει το Παράθυρο Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window), το οποίο έχει την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 2.15. Παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης

Το παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή μιας θερμικής ζώνης του κτιρίου. Τα δεδομένα που περιγράφουν την κάθε ζώνη αφορούν τα κύρια δεδομένα (Regime data), τα δεδομένα των τοίχων (Walls) και τα δεδομένα των παραθύρων (Windows).

Κύρια Δεδομένα (Regime Data)

Τα κύρια δεδομένα (Regime data) είναι τα εξής:

- Όγκος της ζώνης (zone volume)
- Ολική θερμική αγωγιμότητα του αέρα της ζώνης (capacitance)
- Αρχικές τιμές θερμοκρασίας του αέρα της ζώνης (initial zone temperature) και σχετικής υγρασία της ζώνης (initial relative humidity)

Στις ακόλουθες 5 κατηγορίες δεδομένων μπορεί ο χρήστης να ορίσει και να δώσει όνομα σε μεθόδους για τη διείσδυση του αέρα, τον αερισμό, τη θέρμανση, την ψύξη και τη θερμική άνεση. Σε αντιστοιχία με αυτές τις 5 κατηγορίες, υπάρχουν 5 εικονίδια στην γραμμή εργαλείων, ο διαχειριστής διείσδυσης του αέρα (Infiltration Type Manager), διαχειριστής αερισμού (Ventilation Type Manager), διαχειριστής θέρμανσης (Heating Type Manager), διαχειριστής ψύξης (Cooling Type Manager) και διαχειριστής θερμικής άνεσης (Comfort Type Manager), όπου μπορεί να επιλέξει ποια μέθοδος θα χρησιμοποιείται, να διαχειριστεί τις μεθόδους, δηλαδή να τις μετονομάσει (rename), να τις διαγράψει (delete), να τις αντιγράψει (copy) και να δημιουργήσει νέες (new) και να επαναρυθμίσει τα στοιχεία της κάθε μεθόδου.

- Διείσδυση του αέρα (Infiltration). Εδώ καθορίζεται η ροή του αέρα από έξω προς τα μέσα στη ζώνη. Η επιλογή της διείσδυσης είναι προαιρετική και στην αρχική (default) ρύθμιση είναι ανενεργή.
- Αερισμός (Ventilation). Εδώ μπορεί να καθοριστεί η εισροή του αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο προσδιορισμός της μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα.
- Θέρμανση (Heating). Στον ορισμό νέου τύπου θέρμανσης (New heating type) ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίνεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη. Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό γίνεται με τον Schedule Type Manager. Οι επιλογές για καθορισμό θερμοκρασίας είναι να είναι σταθερή (constant), να δίνεται ως είσοδος από κάπου αλλού (input) ή να ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή (schedule).

Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης, η οποία καθορίζεται από την μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 (type 56) τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να οριστούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να οριστούν ως κέρδη της ζώνης η θερμοκρασία δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Με τη μέθοδο θέρμανσης υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας του εξοπλισμού.

- Ψύξη (Cooling). Στον ορισμό νέου τύπου ψύξης (New Cooling type) καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη

του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για την ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη. Κι εδώ, όπως στη θέρμανση, ισχύει ότι αν ο εξοπλισμός ψύξης μοντελοποιείται έξω από το μοντέλο 56, τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να οριστούν ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού.

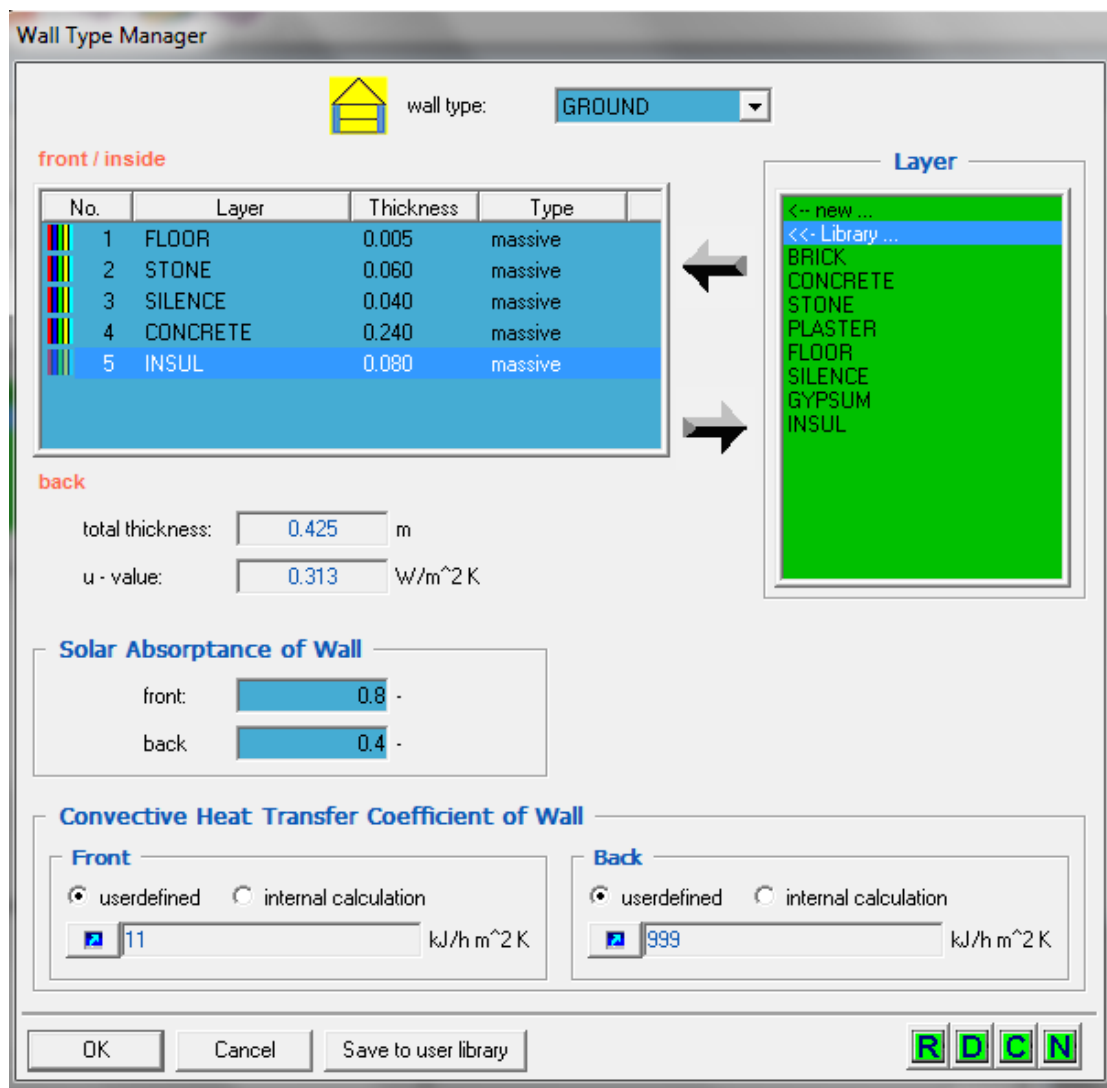
- Θερμική άνεση (Comfort). Στην κατηγορία αυτή, μπορεί στον Comfort Type Manager να οριστεί νέος τύπος θερμικής άνεσης. Εκεί υπάρχουν και πάλι οι επιλογές Rename, Delete, Copy και New. Επίσης απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης (clothing factor) ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού (Metabolic rate) ανάλογα με την δραστηριότητα στο χώρο, του εξωτερικού έργου (external work), το οποίο είναι συνήθως περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα (Relative air velocity) με τα άτομα στο χώρο. Τυπικές τιμές για τα μεγέθη ακολουθούν τις προδιαγραφές ISO 7730 και μπορούν να βρεθούν και μέσω της επιλογής Help.
- Εσωτερικά φορτία (Gains). Στον Gain Type Manager μπορούν πάλι να μετονομαστούν, να διαγραφούν, να αντιγραφούν ή να δημιουργηθούν νέες μέθοδοι εσωτερικών φορτίων-gain types. Ακόμη απαιτείται η εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής (convective power), ακτινοβολίας (radiative power) και της απόλυτης υγρασίας (absolute humidity) που παράγεται. Όλες οι βασικές ρυθμίσεις όμως γίνονται από την επιλογή Gains του Regime Data. Περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και παίζει ρόλο αν πρόκειται για απλό εκτυπωτή, απλό τερματικό χωρίς οθόνη, αν έχουν οθόνη και αν είναι έγχρωμη ή όχι. Τέλος, για τον τεχνητό φωτισμό καθορίζεται η τιμή της φωτιζόμενης επιφάνειας εδάφους και επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε Watt/m^2 και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο 'scale' αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων ή των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική ελέγχου από το αντίστοιχο πεδίο 'control strategy'. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο 'Add'.

Κατά τον ορισμό κάθε μιας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μια σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας

να διαβάζεται η τιμή από μια είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους.

Δεδομένα των τοίχων

Όσον αφορά στα δεδομένα για τους τοίχους, καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (εξωτερικός, εσωτερικός, παρακείμενος σε άλλη ζώνη ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων (orientation) και το είδος του τοίχου (wall type), δηλαδή αν πρόκειται για οροφή, έδαφος, εσωτερικό δάπεδο, εξωτερικό ή εσωτερικό τοίχο. Επιπλέον, πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό (view fac. to sky), ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου (wall gain). Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις βιβλιοθήκες που είναι στο TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων (Wall Type Manager) στη γραμμή εργαλείων.



Εικόνα 2.16. Διαχειριστής τοίχων (Wall Type Manager)

Στην παραπάνω εικόνα, βλέπουμε ότι για τον προσδιορισμό ενός καινούριου τοίχου εκτός από την εισαγωγή ενός μοναδικού ονόματος του τοίχου, την ικανότητα του τοίχου για απορρόφηση ηλιακών ακτινών και τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει την κατασκευή του τοίχου. Η κατασκευή του τοίχου προσδιορίζεται από μια σειρά στρωμάτων δομικών υλικών από μέσα προς τα έξω. Υπάρχουν διάφορα υλικά όπως πέτρα (stone), plaster (σοβάς), insul (μόνωση), τούβλο (brick) καθώς και πάρα πολλά άλλα στις βιβλιοθήκες (libraries) του TRNSYS. Μπορούμε να ορίσουμε το πάχος (total thickness) και το συντελεστή θερμικής διαπερατότητας (u-value) του κάθε υλικού καθώς και την ηλιακή απορροφητικότητα (solar absorptance) και το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής (convective heat transfer coefficient) του τοίχου.

Δεδομένα των παραθύρων

Παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα των παραθύρων αφορούν η θέση, τις διαστάσεις, το είδος των παραθύρων (window type) και το μηχανισμό σκίασης (internal shading factor). Επίσης, καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό (view fac. to sky), τυχόν επιπρόσθετα φορτία (gain) και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακειμένων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη.

Στην δημιουργία νέου τύπου παραθύρου είναι απαραίτητα τα δεδομένα που εμφανίζονται στην παρακάτω εικόνα.

New Window Type

new window type: WINDOW001

Glazing

ID number: 10001 WinID Pool Lib
 slope of window: 90 degree
 For 1 glazing module width: 0.77 m height: 1.08 m
 u - value: 0 W/m² K
 g - value: 0 %/100
 ID spacer: 1 Aluminum - ASHREA Metallic

Convective Heat Transfer Coefficient of Window

Front (inside)
 userdefined internal calculation
 11 kJ/h m² K

Back (outside)
 userdefined internal calculation
 64 kJ/h m² K

Optional Properties of Shading Devices

Additional Heat Resistance
 internal device: 0 h m² K/kJ
 external device: 0 h m² K/kJ

Reflection Coefficient of Internal Device
 towards window: 0.5 % / 100
 towards zone: 0.5 % / 100

Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)
 0.5 % / 100

Frame
 area frame/window: 0.15 % / 100
 solar absorptance: 0.6
 u - value (1/ R): 8.17 kJ/h m² K

OK Cancel Save to user library

Εικόνα 2.17. Παράθυρο δημιουργίας νέου τύπου παραθύρου

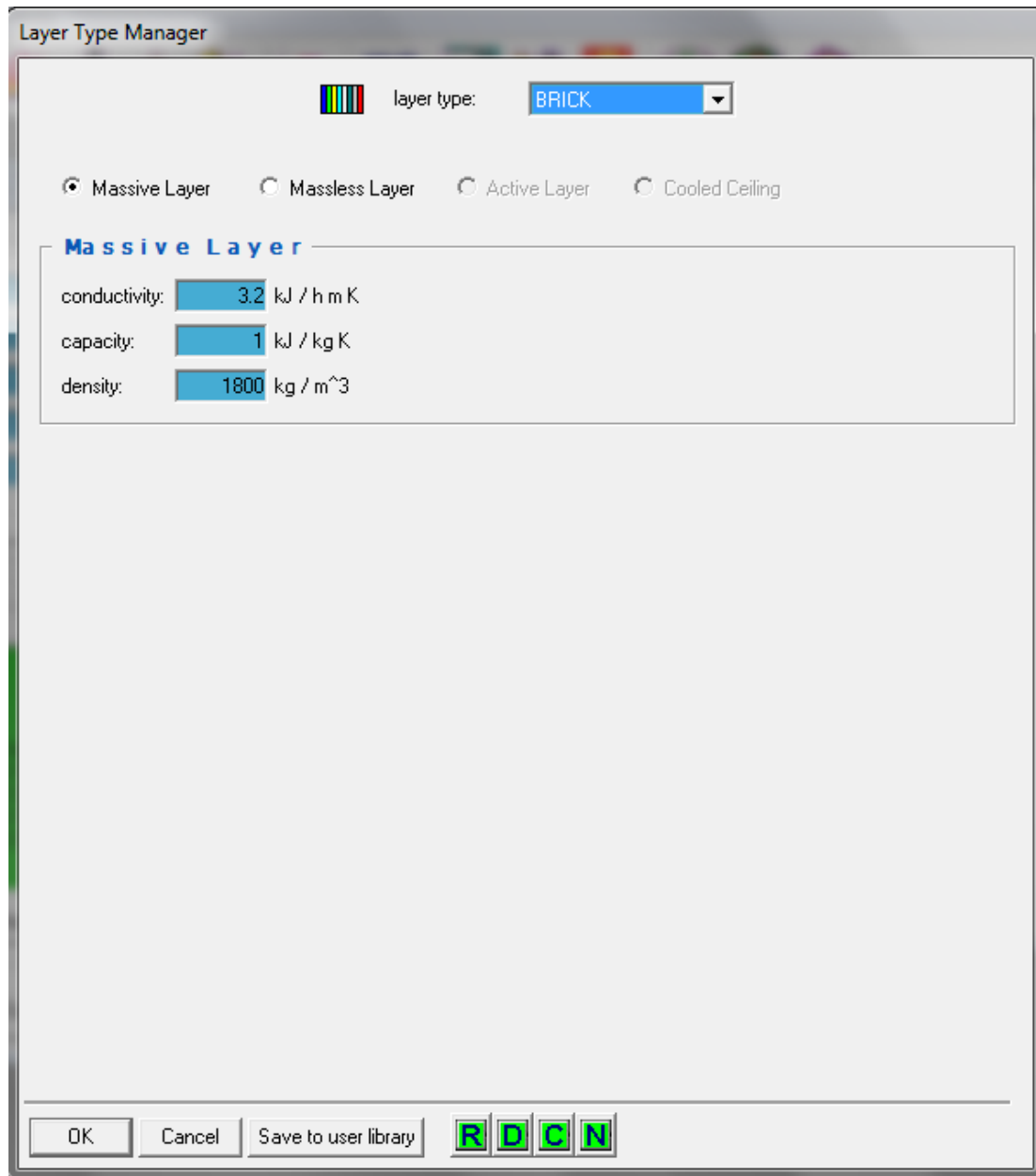
Οι ιδιότητες των παραθύρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης χρειάζεται να προσδιοριστούν. Θα ακολουθούν ένα από τα εξής μοντέλα:

- δεδομένα από αρχείο W4-LIB.DAT
- Aluminum ASHREA Metallic Stainless steel (dual seal)
- Βουτυλεστέρας/Μέταλλο π.χ. υαλονήματα (Butyl/Metal e.g. fiberglass etc)
- Μονωμένα (Insulated)
- Χωρίς διαχωριστήρα (No spacer)

2.3.5. Γραμμή εργαλείων

Εδώ, εκτός από τους Type Manager που προαναφέρθηκαν, υπάρχουν ακόμη οι επιλογές νέο αρχείο (new), άνοιγμα αρχείου (open), αποθήκευση (save) και αποθήκευση ως (save as). Ακόμη υπάρχει

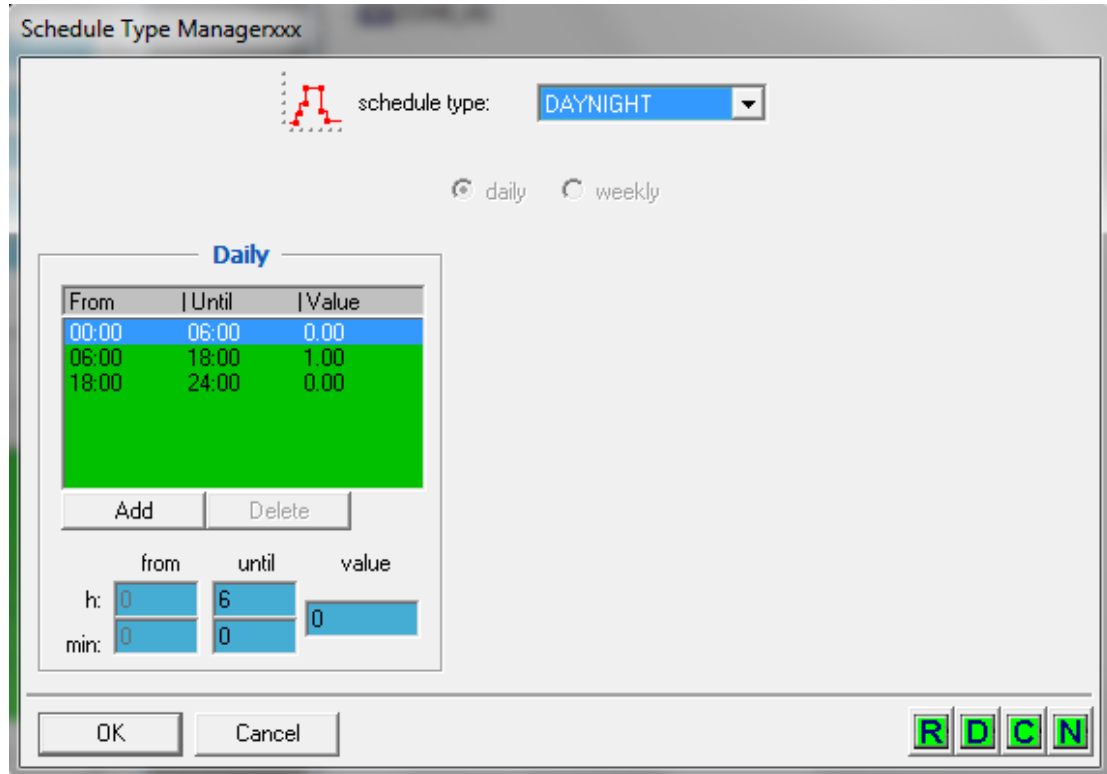
- ο διαχειριστής στρώσεων υλικών (Layer Type Manager). Στο παράθυρο του διαχειριστή επιλέγεται ένα υλικό και καθορίζεται η αγωγιμότητα του υλικού (conductivity), η θερμοχωρητικότητα (capacity) και η πυκνότητα (density). Η μετονομασία στρώσης, η διαγραφή, η αντιγραφή και η δημιουργία νέας, γίνονται και πάλι μέσω των εικονιδίων R,D,C,N. Ακριβώς η ίδια λειτουργία γίνεται και από την επιλογή new layer του διαχειριστή τοίχων.



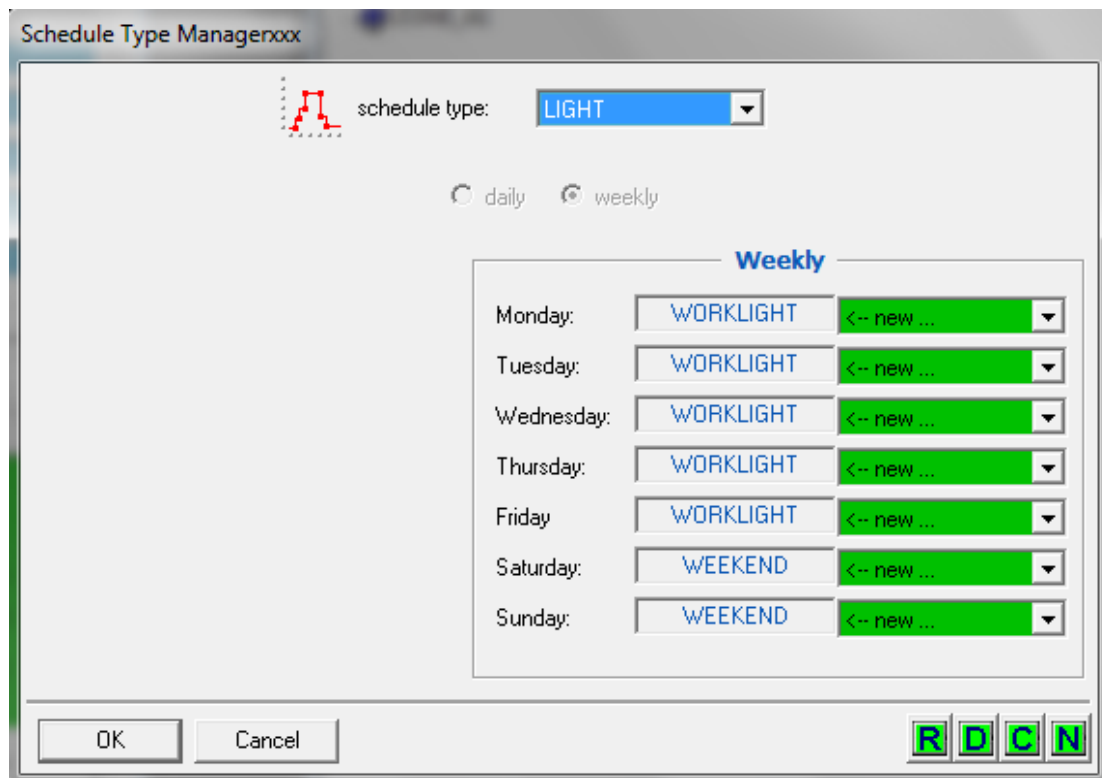
Εικόνα 2.18. Παράθυρο διαχειριστή στρώσεων

- ο διαχειριστής χρονοδιαγράμματος (Schedule Type Manager). Εδώ καθορίζεται χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης και χρονοδιάγραμμα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Μπορούν να ορισθούν ημερήσια και εβδομαδιαία προγράμματα. Στα ημερήσια επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά την διάρκεια της ημέρας όπου λαμβάνεται η τιμή 1 ή

0. Στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας εβδομάδας. Στο κάτω μέρος του παραθύρου του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία χρησιμεύουν αντίστοιχα στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.



Εικόνα 2.19. Παράθυρο διαχειριστή χρονοδιαγράμματος για μία ημέρα



Εικόνα 2.20. Παράθυρο διαχειριστή χρονοδιαγράμματος για μία εβδομάδα

2.4. TRNSED και TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής , ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης , μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές.

Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να του παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης .Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες [51].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ TRNSYS

3.1. Βιβλιογραφική σύνοψη

Πολλές μελέτες για ηλιακή ψύξη απορρόφησης έχουν γίνει στο TRNSYS αλλά και σε άλλα λογισμικά.

Οι Roland Winston, Lun Jiang και Bennett Widjolar στην εργασία τους Performance of a 23KW Solar Thermal Cooling System Employing a Double Effect Absorption Chiller and Thermodynamically Efficient Non-tracking Concentrators συνδύασαν εξωτερικούς Compound Parabolic Collectors (XCPC) με ψύκτη απορρόφησης και έδειξαν ότι οι καλές αποδόσεις αυτού του συστήματος το καθιστούν ευνοϊκό για ψύξη το καλοκαίρι, όπου οι απαιτήσεις για ψύξη είναι αυξημένες.

Οι Z.S. Lu και R.Z. Wang στην εργασία Experimental performance investigation of small solar air-conditioning systems with different kinds of collectors and chillers μελέτησαν διάφορα είδη συλλεκτών σε συνδυασμό με διαφορετικούς τύπους ψυκτών απορρόφησης. Συγκεκριμένα συλλέκτες κενού, CPC και PTC συνδυάστηκαν με ψύκτη προσρόφησης με υλικό ζεόλιθο, μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης βρωμιούχου Λιθίου και διβάθμιο ψύκτη απορρόφησης βρωμιούχου Λιθίου αντίστοιχα και το τελευταίο σύστημα (με τους PTC) αποδείχθηκε να έχει μεγαλύτερο COP και να είναι οικονομικά πιο συμφέρον.

Οι Zhang Xingjuan, Song Bojie, Bai Qingyuan και Yang Chunxin στην εργασία τους Performance analysis on a new type of solar air conditioning system προσθέτουν αντλία θερμότητας στο απλό σύστημα ηλιακού κλιματισμού για αύξηση της ψυκτικής απόδοσης και του COP. Συγκεκριμένα, μέρες με υψηλή ακτινοβολία (800 W/m^2) το νέο σύστημα έχει ψυκτική ισχύ 1,7 φορές μεγαλύτερη από το απλό. Ακόμη το απλό σύστημα δε μπορεί να λειτουργήσει καθόλου σε μέρες με χαμηλή ακτινοβολία (200 W/m^2) ενώ το νέο λειτουργεί με 70% μικρότερη ψυκτική ισχύ. Τέλος το νέο σύστημα μειώνει τις απαιτήσεις για υψηλής απόδοσης συλλέκτες, διότι μπορεί να επιτευχθεί σταθερή λειτουργία με ρυθμίσεις στην παροχή υγρού του κυκλώματος των ηλιακών ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία.

Αυτό το νέο σύστημα, μαζί με κάποια ακόμη, θα προσομοιαστούν στο TRNSYS στην παρούσα εργασία.

3.2. Μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν

Στην προσομοίωση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής μοντέλα:

Από την κατηγορία Φυσικά Φαινόμενα (Physical Phenomena):

- Ψυχομετρικό Διάγραμμα (μοντέλο 33)



Psychrometrics

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα 'Psychrometrics'. Έχει ως εισόδους: 1) θερμοκρασία ξηρού βολβού και μια ακόμα ιδιότητα αναλόγως την ορισμένη λειτουργία του μοντέλου. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να είναι: θερμοκρασία υγρού βολβού, σχετική υγρασία, θερμοκρασία σημείου δρόσου, λόγος υγρασίας, ενθαλπία. Οι έξοδοι του μοντέλου είναι οι ακόλουθες ιδιότητες: λόγος υγρασίας, θερμοκρασία υγρού βολβού, ενθαλπία, πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, πυκνότητα ξηρού αέρα, ποσοστό σχετικής υγρασίας, θερμοκρασία ξηρού βολβού και θερμοκρασία σημείου δρόσου. Η πρώτη παράμετρος του μοντέλου καθορίζει ποιό ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί ή όχι η θερμοκρασία υγρού βολβού. Αν δεν απαιτείται ο υπολογισμός της τότε η δεύτερη παράμετρος πρέπει να είναι 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος (error mode). Αν η παράμετρος τεθεί ίση με 1, αναφέρεται μόνο μια ειδοποίηση ανά σφάλμα. Αν η παράμετρος λάβει την τιμή 2, εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα.

- Θερμοκρασία Ουρανού (μοντέλο 69)



Sky temp

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό.

Από την κατηγορία Ανάγνωσης Μετεωρολογικών Δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας (Weather Data Reading and Processing):

- Μετεωρολογικά Δεδομένα (μοντέλο 109)



Weather data

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων. Αυτό το αρχείο επιλέγεται ανάμεσα σε πολλά, καθένα από τα οποία περιέχει στοιχεία από μετρήσεις ετών για την ηλιακή ακτινοβολία για διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία καθώς και διάφορα άλλα ηλιακά μεγέθη για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση.

Από την κατηγορία Υδραυλικά (Hydronics):

- Αντλία (μοντέλο 3)



pump

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει τη ροή μάζας πολλαπλασιάζοντας την είσοδο control signal (μία συνάρτηση ελέγχου), η οποία μεταβάλλεται από 0 έως 1, και τη μέγιστη χωρητικότητα μάζας, η οποία προσδιορίζεται από το χρήστη. Η ενέργεια που καταναλώνεται μπορεί επίσης να υπολογιστεί, είτε ως γραμμική συνάρτηση της ροής μάζας είτε ως σχέση, προσδιοριζόμενη από το χρήστη, μεταξύ της ροής και της ενεργειακής κατανάλωσης.

Από την κατηγορία Παροχές (Utility):

- Ολοκληρωτής (μοντέλο 24)



Integrator

Το μοντέλο αυτό είναι ανάλογο με κάποιο μηχανισμό σε ένα φυσικό σύστημα το οποίο ολοκληρώνει μία ποσότητα σε μία περίοδο. Για παράδειγμα ένας μετρητής kWh που συνεχώς αθροίζει την ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται. Πρέπει να οριστεί η περίοδος ολοκλήρωσης, δηλαδή το χρονικό διάστημα, μετά το πέρας του οποίου ξανααρχίζει η ολοκλήρωση (integration period ή reset time), σε συνδυασμό με την σχετική ή απόλυτη χρονική στιγμή εκκίνησης. Έτσι, όταν η δεύτερη πάρει την τιμή 0, η ολοκλήρωση γίνεται σε χρονικά διαστήματα αντίστοιχα του χρόνου εκκίνησης της προσομοίωσης. Το μοντέλο 24 μπορεί να ολοκληρώσει μέχρι και 250 μεταβλητές και δεν υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία προσομοίωση.

- Περιοδικός Ολοκληρωτής (μοντέλο 55)



Periodic Integrator

Με αυτό το μοντέλο, μπορούμε να ολοκληρώσουμε σε σχέση με το χρόνο ή να αθροίσουμε απλώς τις τιμές μίας εισόδου. Για τη δεύτερη λειτουργία, πρέπει η παράμετρος integrate or sum input, να πάρει ως τιμή τον αντίθετο αριθμό της αύξουσας θέσης της μεταβλητής εισόδου (δηλ. αν πρόκειται για τη δεύτερη μεταβλητή, να πάρει την τιμή -2). Αν θέλαμε να ολοκληρώσουμε, αντί για -2 π.χ. θα έπαιρνε την τιμή 2. Επίσης, ακόμη κι αν δε γίνει καμία από αυτές τις λειτουργίες, υπάρχει η δυνατότητα στις εξόδους της, να υπολογιστούν διάφορα στατιστικά

μεγέθη της μεταβλητής εισόδου, όπως η μέση τιμή (mean value of input) και μέγιστη τιμή (maximum value of input).

- Εξαναγκασμένη συνάρτηση (μοντέλο 14)



Forcing Function

Πρόκειται για μία συνάρτηση που δίνει τιμές (0, 1 κ.τ.λ.) σε μεγέθη για διάφορες περιοχές ωρών, είναι δηλαδή χρονικά εξαρτώμενη.

Από την κατηγορία Θερμικοί Ηλιακοί Συλλέκτες (Solar Thermal Collectors):

- Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης (μοντέλο 1)



Flat Plate Collector

Ο συλλέκτης αυτός μοντελοποιεί τη θερμική συμπεριφορά μιας πληθώρας επίπεδων συλλεκτών χρησιμοποιώντας τη θεωρία. Η θερμική συμπεριφορά του πεδίου καθορίζεται από τον αριθμό των συλλεκτών σε σειρά και από τα χαρακτηριστικά τους. Ο χρήστης πρέπει να εισάγει τα αποτελέσματα από τυποποιημένους ελέγχους της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος της θερμοκρασίας του ρευστού μείον της θερμοκρασίας περιβάλλοντος δια της ακτινοβολίας ($\Delta T/IT$). Η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να είναι εισόδου, εξόδου ή μέση. Το μοντέλο υποθέτει ότι η καμπύλη της απόδοσης συναρτήσει του κλάσματος $\Delta T/IT$, μπορεί να προσεγγισθεί από μία δευτεροβάθμια εξίσωση.

Η γενική εξίσωση για την απόδοση του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη μπορεί να ληφθεί από την εξίσωση

$$n = \frac{Q_u}{A_C G_T} = m \frac{C_p (T_o - T_i)}{A_C G_T} = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (\text{Σχέση 3.1})$$

Ο συντελεστής απωλειών U_L δεν είναι ακριβώς σταθερά, επομένως μια καλύτερη προσέγγιση μπορεί να γίνει αν λάβουμε υπόψη τη γραμμική εξάρτηση του U_L με τη διαφορά $(T_i - T_a)$:

$$n = \frac{Q_u}{A_C G_T} = F_R (\tau \alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} - F_R U_{L/T} \frac{(T_i - T_a)^2}{G_T} \quad (\text{Σχέση 3.2})$$

$$n = \alpha_0 - \alpha_1 \frac{\Delta T}{G_T} - \alpha_2 \frac{\Delta T^2}{G_T} \quad (\text{Σχέση 3.3})$$

Η οποία είναι η γενική εξίσωση που χρησιμοποιείται στο μοντέλο. Η θερμική απόδοση του συλλέκτη λοιπόν προσδιορίζεται από τις 3 παραμέτρους: α_0 , α_1 και α_2 .

Από την κατηγορία Βιβλιοθήκη για ηλιακά (Solar Library):

- Γραμμικός παραβολικός συλλέκτης (μοντέλο 536) (Linear Parabolic Concentrator)

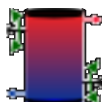


Linear Parabolic Concentrator

Με το μοντέλο αυτό προσομοιάζεται ο συλλέκτης παραβολικού κατόπτρου, ένα σύστημα, το οποίο συγκεντρώνει την άμεση ηλιακή ακτινοβολία στον κεντρικό άξονα, ενώ αγνοεί τη διάχυτη ακτινοβολία. Υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης του άξονα για παρακολούθηση του ήλιου. Το συνολικό πεδίο μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά αλλά και παράλληλα.

Από την κατηγορία Θερμική Αποθήκευση (Thermal Storage):

- Δεξαμενή Αποθήκευσης ** (μοντέλο 4) (Stratified Storage Tank)



Stratified Storage Tank

Το μοντέλο αυτό προσομοιάζει μια δεξαμενή αποθήκευσης με 2 πλευρές εισόδου ρευστού και 2 πλευρές εξόδου, η οποία είναι διαστρωματωμένη σε N , με $N \leq 15$, τμήματα, στο καθένα από τα οποία το ρευστό θεωρείται πλήρως αναμεμιγμένο και έχει ίσες απώλειες με τα άλλα.

Από την κατηγορία Έξοδοι (Outputs):

- Εκτυπωτής (μοντέλο 25)



System Printer

Το μοντέλο 25 χρησιμοποιείται για να εξάγει σε αρχεία ή να εκτυπώνει τις επιλεγμένες μεταβλητές του συστήματος σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Ο μέγιστος αριθμός μεταβλητών έχει ορισθεί στις 500 και δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των μοντέλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια μιας προσομοίωσης.

- Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων (μοντέλο 65)



Online Plotter

Το άνωθεν εικονιζόμενο μοντέλο είναι online plotter with file (μοντέλο 65c), δημιουργείται δηλαδή ταυτόχρονα με το διάγραμμα και ένα αρχείο με τα δεδομένα όπως στην περίπτωση του printer. Υπάρχει και το μοντέλο 65d, ο online plotter without file, που δεν δημιουργείται έξτρα αρχείο.

Το μοντέλο αυτό παρέχει πολλές δυνατότητες που χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και αφού αυτή περατωθεί. Ενδεικτικά κάποιες από αυτές τις δυνατότητες είναι η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η απόκρυψη και η εμφάνιση μιας μεταβλητής στο διάγραμμα, η επιλογή χρωμάτων και η προσαρμογή των αξόνων του διαγράμματος καθώς και η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος.

Από την κατηγορία Ελεγκτές (Controllers):

- Διαφορικός ελεγκτής (μοντέλο 2)



Lights

Ο ελεγκτής παράγει μια συνάρτηση ελέγχου γ_0 η οποία μπορεί να έχει τιμές 0 ή 1. Η τιμή της γ_0 καθορίζεται αναλόγως με τη διαφορά των άνω και κάτω θερμοκρασιών, T_H και T_L , συγκρινόμενη με δύο όρια, ΔT_H και ΔT_L . Η νέα τιμή της γ_0 εξαρτάται από το αν $\gamma_i=0$ ή 1. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται έχοντας συνδεδεμένες τις τιμές γ_0 και γ_i δίνοντας έτσι υστέρηση. Για λόγους ασφαλείας καθορίζεται ένα άνω όριο λειτουργίας στον ελεγκτή, το οποίο αν ξεπεραστεί η τιμή της συνάρτησης ελέγχου είναι μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων ΔT_H και ΔT_L . Ο ελεγκτής αυτός είναι γενικού τύπου και μπορεί να αναφέρεται σε οποιοδήποτε μέγεθος εκτός των θερμοκρασιών.

Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως σε λειτουργία, τότε:

Αν $\gamma_i=1$ και $\Delta T_L \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$

Αν $\gamma_i=1$ και $\Delta T_L > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

Στην περίπτωση που ο ελεγκτής ήταν προηγουμένως εκτός λειτουργίας, τότε:

Αν $\gamma_i=0$ και $\Delta T_H \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$

Αν $\gamma_i=0$ και $\Delta T_H > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

Και από την κατηγορία Ελεγκτές από τη Βιβλιοθήκη TESS (Controllers Library TESS):

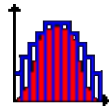
- N-βάθμιος διαφορικός ελεγκτής για θέρμανση (Μοντέλο 671)



Differential Controller - Heating Mode

Χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να θέσουμε ένα κατώτατο όριο (setpoint) σε ένα μέγεθος (value to watch). Όσο το μέγεθος αυτό έχει τιμή μεγαλύτερη από το setpoint, ο controller δίνει σήμα 1 (αν οι παράμετροι staged heating control mode και number of levels τεθούν ίσοι με 1).

- *N-βάθμιος διαφορικός ελεγκτής για ψύξη (Μοντέλο 671)*



Differential Controller - Cooling Mode

Χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να θέσουμε ένα ανώτατο όριο (setpoint) σε ένα μέγεθος (value to watch). Όσο το μέγεθος αυτό έχει τιμή μικρότερη από το setpoint, ο controller δίνει σήμα 1 (αν οι παράμετροι staged cooling και number of levels τεθούν ίσοι με 1).

Από την κατηγορία Θέρμανση/Αερισμός/Κλιματισμός από τη Βιβλιοθήκη TESS (HVAC library TESS):

- *Μονοβάθμιος ψύκτης απορρόφησης τροφοδοτούμενος με ζεστό νερό (μοντέλο 107)*



Hot-Water Fired Absorption Chiller, Single Effect

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί ένα κατάλογο δεδομένων για να προσεγγίσει τη λειτουργία ενός μονοβάθμιου ψύκτη απορρόφησης, ο οποίος πρέπει να παίρνει την απαιτούμενη θερμότητα από ζεστό νερό. Στις παραμέτρους του ρυθμίζεται η ονομαστική του ισχύς και ο COP του. Αν το chiller control signal παίρνει τιμή από 0,5 έως 1, λειτουργεί με τη μέγιστη ισχύ του ενώ αν παίρνει τιμή από 0 έως 0,5, δε λειτουργεί.

- *Ψυκτικό σώμα (μοντέλο 52)*



Cooling Coil

Reactangular Fins (τετράγωνα πτερύγια) 52b

Πρόκειται για μία αφυγραντική κλιματιστική μονάδα, του οποίου πρέπει να ρυθμιστούν οι παράμετροι που αφορούν τη γεωμετρία του. Η μοντελοποίηση αυτή δε περιλαμβάνει σχηματισμό πάγου στα πτερύγιά του.

- Βοηθητικός λέβητας υγρού (μοντέλο 659)



Auxiliary Heater (Fluid)

Στις εισόδους υπάρχει η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου (set point temperature) του ρευστού. Αυτή επιτυγχάνεται εάν υπάρχει η διαθέσιμη ισχύς. Όσο αυτό το όριο δεν υπερβαίνεται, είναι σε ισχύ το σήμα εισόδου (control function), όπου το 0 αντιστοιχεί σε διακοπή λειτουργίας και το 1 σε πλήρη ισχύ, ενώ μπορούν να παρθούν όλες οι ενδιάμεσες τιμές.

- Αντλία Θερμότητας Νερού-Νερού (μοντέλο 668)



Water-to-Water Heat Pump

Αυτό το στοιχείο μοντελοποιεί μια μονοβάθμια αντλία θερμότητας υγρού-υγρού. Αυτή αντλεί θερμότητα από ένα υγρό (σε λειτουργία θέρμανσης) ή απορρίπτει θερμότητα σε ένα ρευστό (σε λειτουργία ψύξης) κλιματίζοντας έτσι ένα άλλο ρευστό. Αν το cooling control signal ή το heating control signal παίρνει τιμή από 0,5 έως 1, λειτουργεί με τη μέγιστη ισχύ της σε λειτουργία ψύξης ή θέρμανσης αντίστοιχα. Αν παίρνει τιμή από 0 έως 0,5, δε λειτουργεί.

Από την κατηγορία Φορτία και Κτίσματα (Loads and Structures):

- Κτίριο (μοντέλο 56)



Building

Το πολυζωνικό κτήριο προσομοιώνεται με το μοντέλο 56 του προγράμματος TRNSYS. Στο μοντέλο αυτό κάθε ζώνη περιγράφεται από την θερμοχωρητικότητα της, τον όγκο αέρα που περικλείει και την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν (π.χ. επίπλωση). Κάθε ζώνη αποτελεί ένα ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους [37], [52], [53].

3.3. Πρότυπο κτίριο

Ακολουθώντας τα 10 απλά βήματα που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 2.2.1, και μετά από ρυθμίσεις στον οδηγό TRNBuild, έχουμε κατασκευάσει στο TRNSYS το πρώτο πρότυπο κτίριο με στοιχεία:

Διαστάσεις $40\text{m} \times 40\text{m} \times 3\text{m} = 4800\text{m}^3$

Έκταση παραθύρων σε τοίχους:

- 48 m^2 στο βόρειο τοίχο
- 48 m^2 στο νότιο τοίχο
- 36 m^2 στον ανατολικό τοίχο
- 36 m^2 στο δυτικό τοίχο

Τα φώτα ανάβουν όταν η συνολική οριζόντια ακτινοβολία είναι μικρότερη από 120 W/m^2 και σβήνουν όταν γίνει μεγαλύτερη από 200 W/m^2 .

Διείσδυση αέρα (*infiltration*) = 1 εναλλαγή αέρα/h

Κέρδη:

Ειδικά κέρδη

- Δραστηριότητα καθιστοί, ελαφρύ γράψιμο
- Πυκνότητα ατόμων $0,1\text{ άτομα/m}^2$ ($1600\text{m}^2 \times 0,1 = 160$ άτομα σύνολο)
- Είδος υπολογιστή 230W , έγχρωμη οθόνη
- Τεχνητός φωτισμός 19W/m^2 KVG άμεσος

Αρχικά φορτία συσκευών 14W/m^2

Παράθυρα:

- διπλά τζάμια
- u-value = $1,4\text{ W/m}^2\text{K}$
- Συντελεστής εσωτερικής σκίασης $S_c = 0,6$

Τοίχοι (4 εξωτερικοί, οροφή, έδαφος):

- Υλικά εξωτερικών τοίχων: σοβάς (plaster) $0,015\text{m}$, τούβλο (brick) $0,1\text{m}$, μόνωση $0,05\text{m}$, τούβλο (brick), σοβάς (plaster) $0,015\text{m}$. U-value = $0,6\text{ W/m}^2\text{K}$
- Υλικά οροφής (από πάνω προς τα κάτω): τσιμέντο (concrete) $0,15\text{m}$, μόνωση (insul) $0,1\text{m}$, σοβάς (plaster) $0,015\text{m}$. U-value = $0,363\text{ W/m}^2\text{K}$

- Υλικά εδάφους (από πάνω προς τα κάτω): πάτωμα (floor) 0,005m, πέτρα (stone) 0,06m, ηχομόνωση (silence) 0,04m, τσιμέντο (concrete) 0,24m, μόνωση(insul) 0,08m. U-value = 0,313 W/m²K

Ρύθμιση ψύξης (με απεριόριστη ισχύ, χωρίς αφύγρανση) από τον Cooling type Manager στους 26°C

Έτσι τρέχουμε την προσομοίωση για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου, τα οποία καταγράφονται αυτόματα στο αρχείο, από τα external files, T56_std-q.prn. Το μέγιστο ψυκτικό φορτίο είναι 120kW.

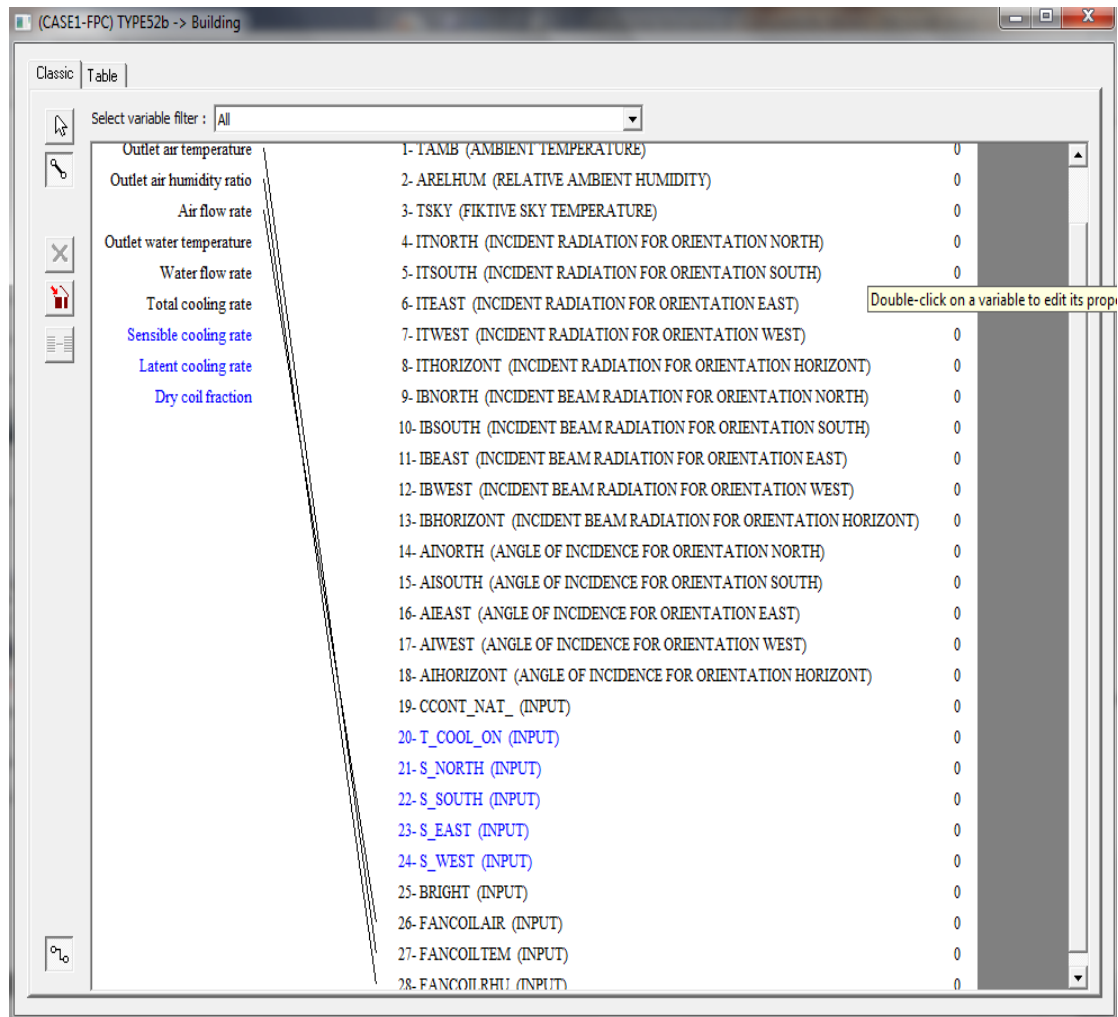
Στον παρακάτω πίνακα, απεικονίζονται οι μηνιαίες ενέργειες ψύξης.

Μήνας	Cooling load (kWh)
Μάιος	41630
Ιούνιος	48990
Ιούλιος	56110
Αύγουστος	55800
Σεπτέμβριος	46130
Οκτώβριος	37820
Σύνολο	286500

Πίνακας 3.1

3.4. Σύνδεση πρότυπου κτιρίου με fancoil και ψύκτη απορρόφησης (Σύστημα 0)

Εδώ απενεργοποιούμε το cooling που ορίζει το TRNBuild της προηγούμενης περίπτωσης με την απεριόριστη ισχύ και πετυχαίνουμε κλιματισμό μέσω του Ventilation. Συγκεκριμένα ορίζουμε στις εισόδους του κτιρίου 3 νέες μεταβλητές: FANCOILAIRFLOW, FANCOILTEMP και FANCOILRHUM, που αντιστοιχούν στην παροχή του αέρα, τη θερμοκρασία του και την υγρασία του, τις οποίες συνδέουμε με τις εξόδους του Fancoil ως εξής:

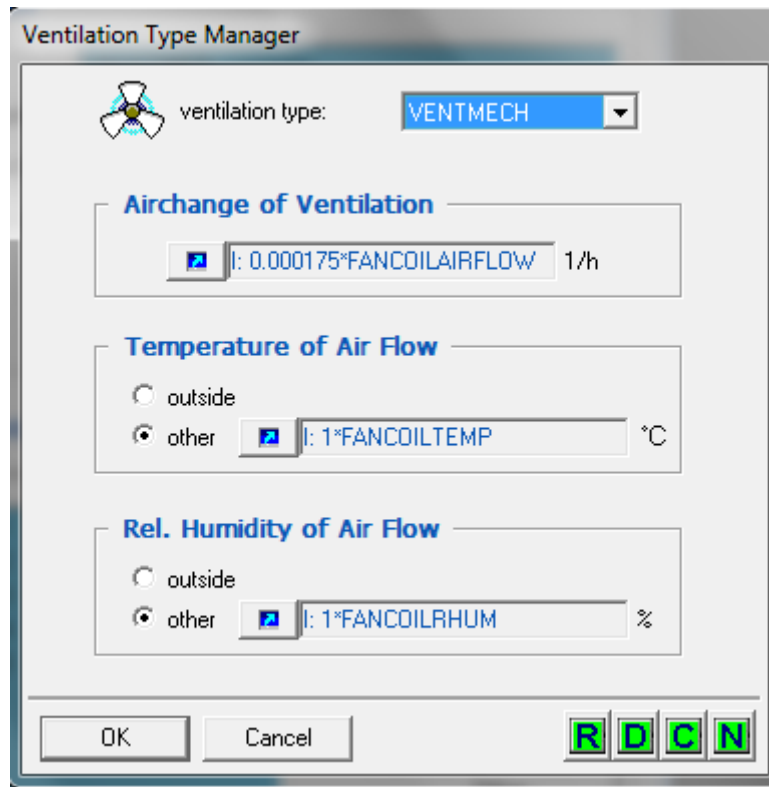


Εικόνα 3.1. Σύνδεση εξόδων Fancoil με εισόδους κτιρίου

και ορίζουμε νέο τύπο Ventilation, μέσω του οποίου πραγματοποιείται ταυτόχρονα η ψύξη και ο εξαερισμός του κτιρίου, γι'αυτό και απενεργοποιούμε Cooling και Infiltration. Θέλουμε, μέσω του Ventilation να μπαίνει φρέσκος αέρας με παροχή 1/h.

$$\frac{1}{h} = \frac{dV/dt[\frac{m^3}{h}]}{V[m^3]} = \frac{m[\frac{kg}{s}]}{\rho[\frac{kg}{m^3}]V[m^3]} = \frac{m}{1,18.4800} = 0,000175. m, \quad (\text{Σχέση 3.4})$$

Συνεπώς γίνονται οι ακόλουθες ρυθμίσεις στον Ventilation Type Manager:

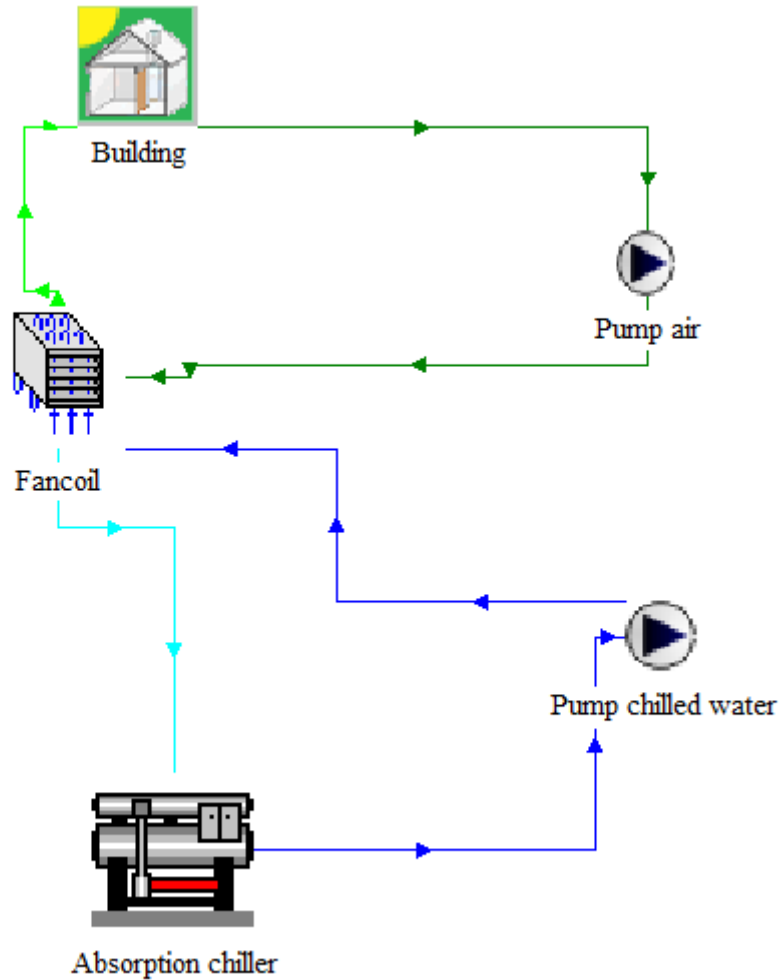


Εικόνα 3.2. Τύπος εξαερισμού για επίτευξη κλιματισμού

Μιάς και το μέγιστο ψυκτικό φορτίο είναι 120kW, κάνουμε κάποιες δοκιμές για τον ψύκτη απορρόφησης και τον διαστασιοποιούμε στα 200kW ώστε να έχουμε καλά αποτελέσματα.

Στο Fancoil μετά από δοκιμές για καλύτερη συναλλαγή θερμότητας ρυθμίζουμε 18 rows 8 tubes, τιμές για τις οποίες έχουμε καλύτερα αποτελέσματα.

Το σύστημά μας είναι το παρακάτω:



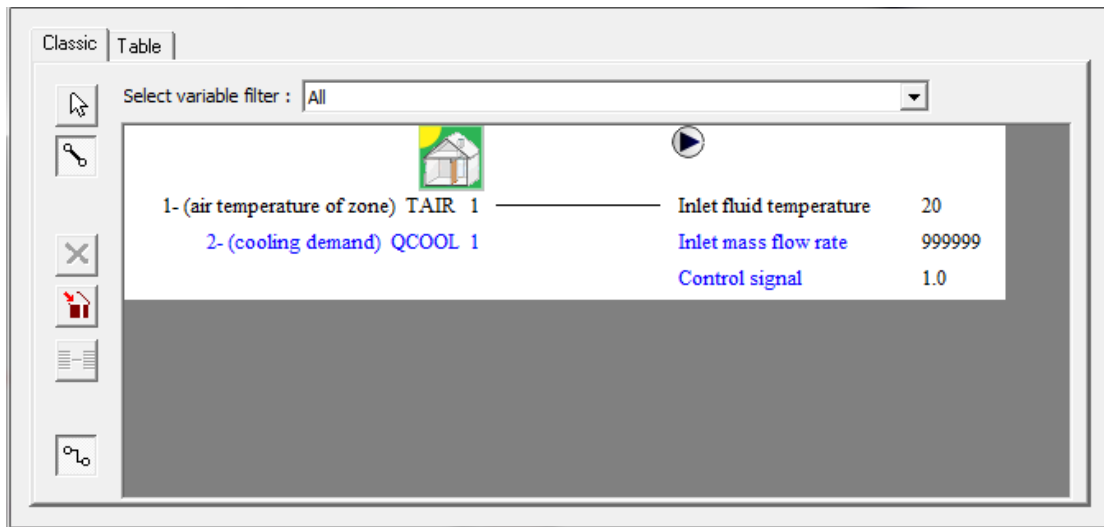
Εικόνα 3.3. Σύστημα 0 – Κτίριο συνδεδεμένο με fancoils και ψύκτη απορρόφησης

Για να έχουμε σωστή τάξη μεγέθους στη σχέση για τη μετάδοση θερμότητας:

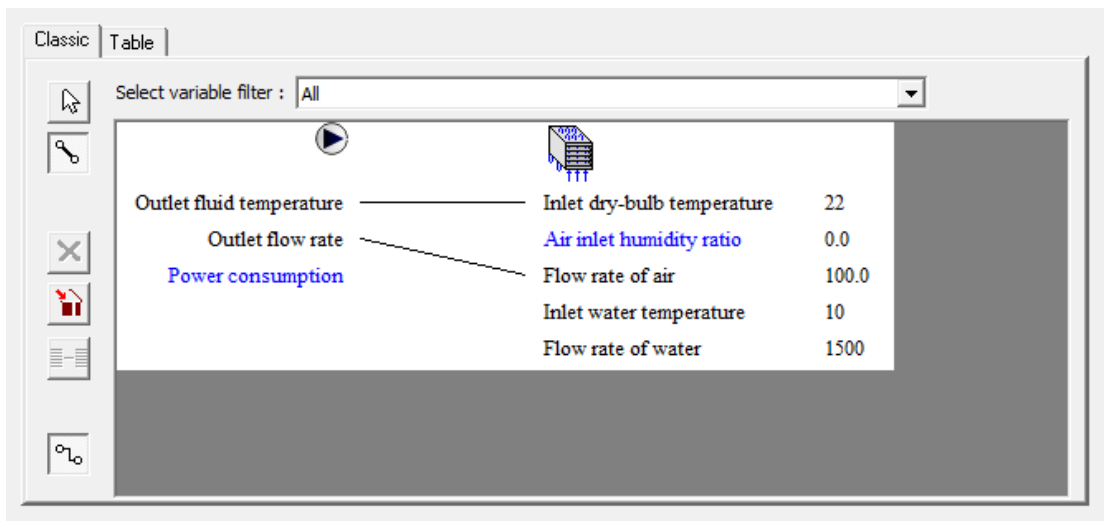
$$Q_{\psi\kappa\iota\kappa\omicron} = m_{\text{air}} \cdot C_{p\text{air}} \cdot \Delta T_{\text{air}} = m_{\text{water}} \cdot C_{p\text{water}} \cdot \Delta T_{\text{water}} \quad (\text{Σχέση 3.5})$$

,ρυθμίστηκε, μετά από δοκιμές, η παροχή στον κυκλοφορητή αέρα του σπιτιού στα 10kg/s και στον κυκλοφορητή του ψυχρού νερού στα 2,1kg/s, μιας και το νερό έχει 4 φορές μεγαλύτερο C_p από τον αέρα.

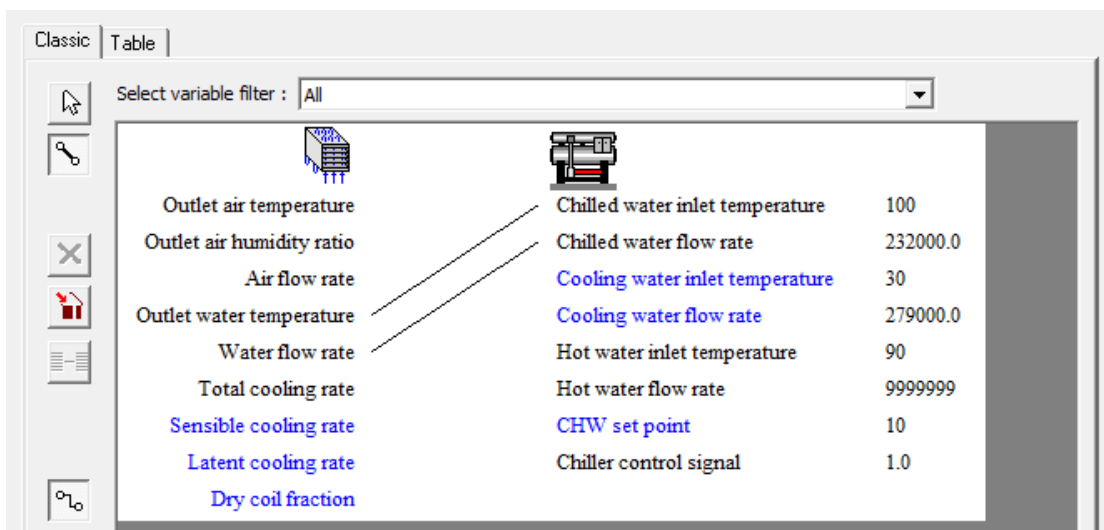
Οι συνδέσεις είναι οι εξής:



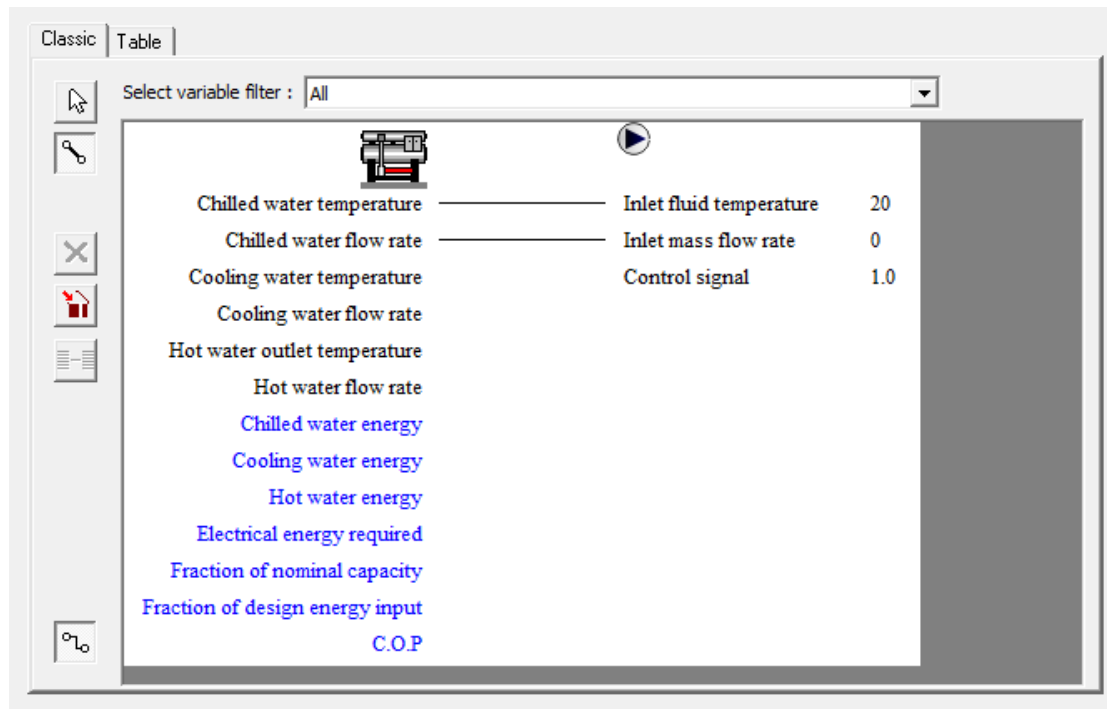
Εικόνα 3.4. Σύνδεση εξόδων κτιρίου με εισόδους κυκλοφορητή αέρα



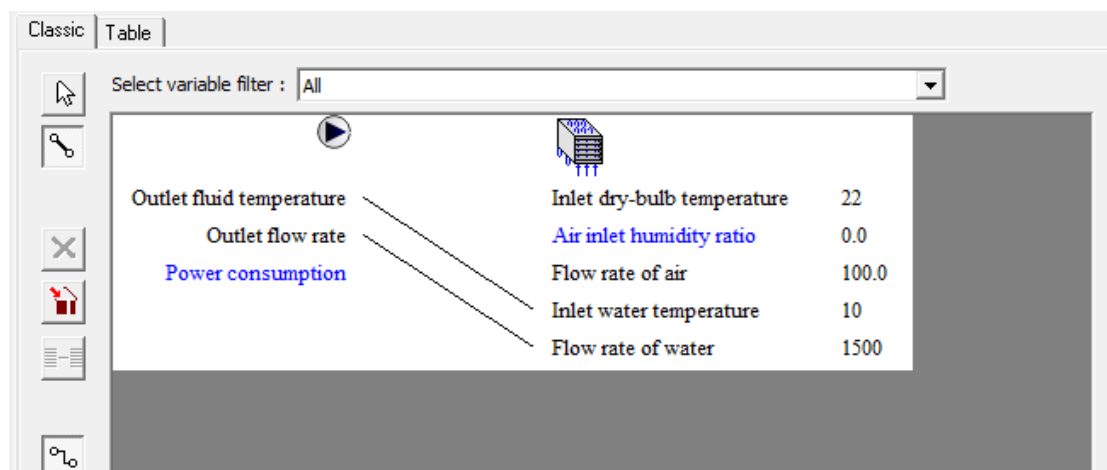
Εικόνα 3.5. Σύνδεση εξόδων κυκλοφορητή αέρα με εισόδους Fancoil



Εικόνα 3.6. Σύνδεση εξόδων Fancoil με εισόδους ψύκτη απορρόφησης



Εικόνα 3.7. Σύνδεση εξόδων ψύκτη απορρόφησης με εισόδους κυκλοφορητή ψυχρού νερού



Εικόνα 3.8. Σύνδεση εξόδων κυκλοφορητή ψυχρού νερού με εισόδους Fancoil

Τα διαγράμματα για τη θερμοκρασία του κτιρίου που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης προέκυψαν από online plotter συνδεδεμένο στην έξοδο του κτιρίου, air temperature of zone.

3.5. Σύνδεση Συστήματος 0 με ηλιακά (FPC) (Σύστημα 1)

Στοιχεία

Αρχικά δοκιμάζουμε το πιο απλό σύστημα ηλιακής ψύξης, όπου είναι συνδεδεμένο το σπίτι με τον ψύκτη απορρόφησης (μονοβάθμιος, ον.ισχύς 200kW, COP=0,6), ενώ αυτός παίρνει

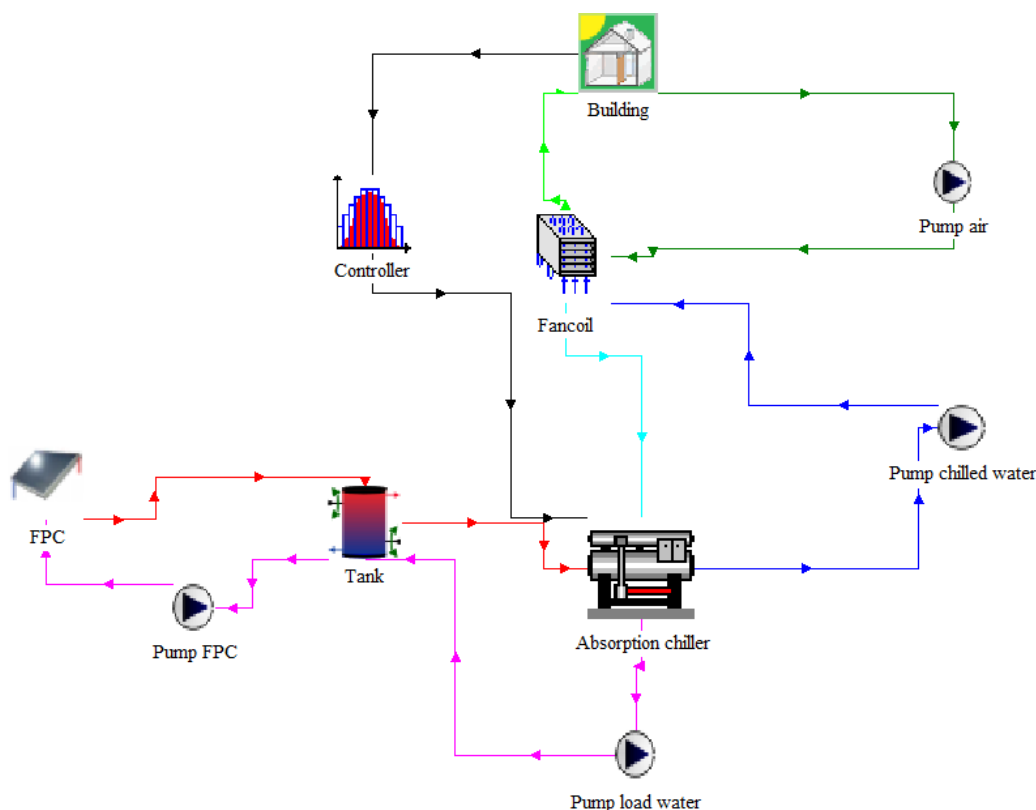
την απαραίτητη θερμότητα απ'ευθείας από το δοχείο που περιέχει το ζεστό νερό από τα ηλιακά.

Η ανηγμένη παροχή του αντιπηκτικού υγρού που κυκλοφορεί στις σωληνώσεις των συλλεκτών είναι συνήθως γύρω στα $50\text{lt}/\text{m}^2\text{h}=0,014\text{kg}/\text{sm}^2$. Στην περίπτωση μας, τη θεωρούμε 0,01, έτσι ώστε π.χ. για 6000m^2 να δίνει ο κυκλοφορητής παροχή $60\text{kg}/\text{s}$.

Βασικός Έλεγχος (θερμοστάτης χώρου)

Ο βασικός έλεγχος που χρειαζόμαστε σε όλες τις περιπτώσεις πραγματοποιείται με έναν controller (type672), ο οποίος δέχεται ως είσοδο τη θερμοκρασία του αέρα του χώρου μας, και δίνει σήμα λειτουργίας στους κυκλοφορητές των κυκλωμάτων κτίριο-fancoil και fancoil-chiller, όταν η θερμοκρασία του σπιτιού είναι πάνω από 24°C . Στην πράξη, ρυθμίζοντας τον controller αυτόν του σπιτιού σε ανώτατο όριο θερμοκρασίας χώρου 24°C , πετυχαίνουμε να εμποδίζουμε τη θερμοκρασία του σπιτιού να ανέβει πάνω από $26-27^\circ\text{C}$. Πρόκειται για ένα ικανοποιητικό επίπεδο θερμικής άνεσης.

Έτσι βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, το βασικό (απλοποιημένο) κύκλωμα της περίπτωσης αυτής.



Εικόνα 3.9. Σύστημα 1 – Ηλιακός κλιματισμός σπιτιού με FPC (απλοποιημένο)

Η λειτουργία του συλλέκτη, θεωρώντας την απλουστευμένη προσέγγιση, διέπεται από την εξίσωση:

$$n = \frac{Q_u}{A_C G_T} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (\text{Σχέση 3.6})$$

$$n = \frac{Q_u}{A_C G_T} = 0,8 - 3,61 \frac{(T_i - T_a)}{G_T} \quad (\text{Σχέση 3.7})$$

Δηλαδή στις παραμέτρους του συλλέκτη, έχουμε:

α_0 (intercept efficiency) = 0,8

α_1 (efficiency slope) = 3,61W/m²K

Οι παραπάνω τιμές δείχνουν ότι πρόκειται για επιλεκτικό συλλέκτη.

Στη δεξαμενή αποθήκευσης αλλάζουμε τον αριθμό των nodes και των υψών τους ώστε να έχουμε πιο ομαλή θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση. Κάνουμε δοκιμές. Με 1 και 2 έχουμε σχεδόν πλήρη ανάμιξη, δεν είναι καλή η προσέγγισή μας και γι'αυτό δεν έχουμε και ικανοποιητικά-ρεαλιστικά αποτελέσματα στην προσομοίωσή μας. Για την προσέγγισή μας θέτουμε τελικά 6 nodes με ύψος 0,6m το καθένα, 6 θεωρητικές λωρίδες δηλαδή όπου στην καθεμία έχουμε πλήρη ανάμιξη του υγρού.

Οι συνδέσεις είναι οι εξής:

Variable	Value
Outlet temperature	90
Outlet flowrate	10800
Useful energy gain	90
Hot-side temperature	90
Hot-side flowrate	10800
Cold-side temperature	90
Cold-side flowrate	10000
Environment temperature	30
Control signal for element-1	0.0
Control signal for element-2	0.0

Εικόνα 3.10. Σύνδεση εξόδων FPC με εισόδους δεξαμενής αποθήκευσης

Classic		Table	
Select variable filter : All			
Temperature to heat source	Inlet fluid temperature	20	
Flowrate to heat source	Inlet mass flow rate	100	
Temperature to load	Control signal	1	
Flowrate to load			
Thermal losses			
Energy rate to load			
Internal energy change			
Auxiliary heating rate			
Element 1 power			
Element 2 power			
Energy rate from heat source			
Average tank temperature			
Temperature of node 1+			

Εικόνα 3.11. Σύνδεση εξόδων δεξαμενής αποθήκευσης με εισόδους κυκλοφορητή FPC

Classic		Table	
Select variable filter : All			
Outlet fluid temperature	Inlet temperature	20	
Outlet flow rate	Inlet flowrate	100.000799	
Power consumption	Ambient temperature	10	
	Incident radiation	0	
	Total horizontal radiation	0	
	Horizontal diffuse radiation	0	
	Ground reflectance	0.200000	
	Incidence angle	45	
	Collector slope	0	

Εικόνα 3.12. Σύνδεση εξόδων κυκλοφορητή FPC με εισόδους FPC

Επιπλέον έλεγχοι

1. Ο μονοβάθμιος ψύκτης της περίπτωσης μας δεν λειτουργεί καλά για T_{in} μικρότερη από 80°C , γι'αυτό και έχουμε συνδέσει έναν ακόμη controller (type671) ο οποίος δίνει σήμα για να λειτουργήσει ο ψύκτης, μόνο όταν:
 - η θερμοκρασία του νερού που παίρνει από το δοχείο είναι πάνω από 80°C και ταυτόχρονα
 - η θερμοκρασία του σπιτιού είναι πάνω από 24°C (δηλαδή το σήμα του controller του βασικού ελέγχου).

Συνεπώς, ο ψύκτης λειτουργεί όταν το σπίτι έχει ανάγκη από ψύξη και το νερό στο δοχείο έχει ζεσταθεί αρκετά ώστε να μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά η διαδικασία της απορρόφησης.

2. Ο type 14 ρυθμίζεται να δίνει σήμα 1 από τις 08:00 μέχρι τις 18:00 και 0 τις υπόλοιπες ώρες.

Στον type 2b συνδέουμε τη θερμοκρασία εξόδου των συλλεκτών με την άνω θερμοκρασία εισόδου (T_H) του controller, τη θερμοκρασία εξόδου του δοχείου προς τους συλλέκτες με την κάτω θερμοκρασία εισόδου (T_L) του controller, τη θερμοκρασία εξόδου του δοχείου προς τον ψύκτη με τη θερμοκρασία για τον έλεγχο του άνω ορίου (T_{in}) του controller.

- Έχει ανώτατο όριο (high limit cut-out) 100°C , το οποίο αν ξεπεράσει η T_{in} , ο controller δίνει έξοδο σήμα 0. Έτσι, όταν η θερμοκρασία εξόδου του δοχείου προς τον ψύκτη γίνει μεγαλύτερη από 100°C , κόβεται η λειτουργία των συλλεκτών.
- Έχει άνω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς (upper deadband) 10°C και κάτω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς (lower deadband) 2°C . Έτσι, συγκρίνουμε τη διαφορά $T_H - T_L$, δηλ. πρακτικά τη $T_{out} - T_{in}$ των συλλεκτών, με τα δύο παραπάνω νούμερα. Σύμφωνα με όσα ειπώθηκαν για το μοντέλο αυτό στο προηγούμενο κεφάλαιο

Αν προηγουμένως λειτουργούσαν οι συλλέκτες, δηλ. $\gamma_i=1$ και

- $2^{\circ}\text{C} \leq (T_{out} - T_{in})$, τότε $\gamma_0=1$, δηλ. συνεχίζουν να λειτουργούν
- $2^{\circ}\text{C} > (T_{out} - T_{in})$, τότε $\gamma_0=0$, δηλ. σταματάει η λειτουργία τους

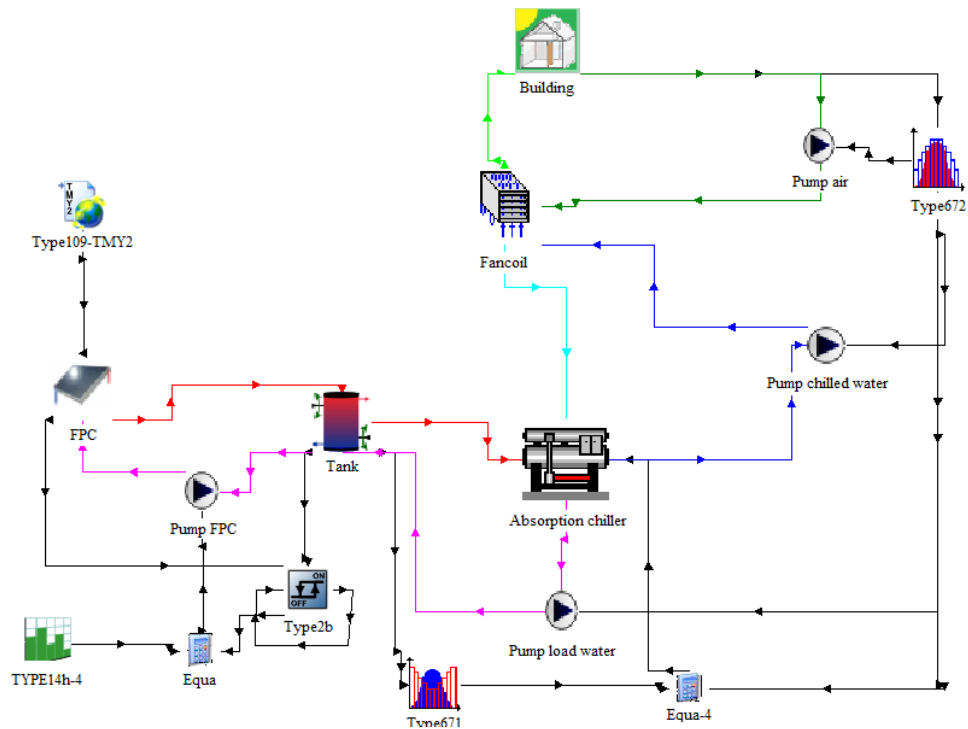
Αν προηγουμένως δε λειτουργούσαν οι συλλέκτες, δηλ. $\gamma_i=0$ και

- $10^{\circ}\text{C} \leq (T_{out} - T_{in})$, τότε $\gamma_0=1$, δηλ. ξαναρχίζουν να λειτουργούν
- $10^{\circ}\text{C} > (T_{out} - T_{in})$, τότε $\gamma_0=0$, δηλ. συνεχίζουν να μένουν εκτός λειτουργίας

Πρακτικά αν αυτή η διαφορά πέσει χαμηλότερα από 2°C , τότε πρέπει οι συλλέκτες να ξαναρχίσουν να λειτουργούν (χρειάζεται ζεστό νερό) και αν αυξηθεί περισσότερο από 10°C , πρέπει οι συλλέκτες να σταματήσουν (δε χρειάζεται, είναι αρκετά ζεστό ήδη).

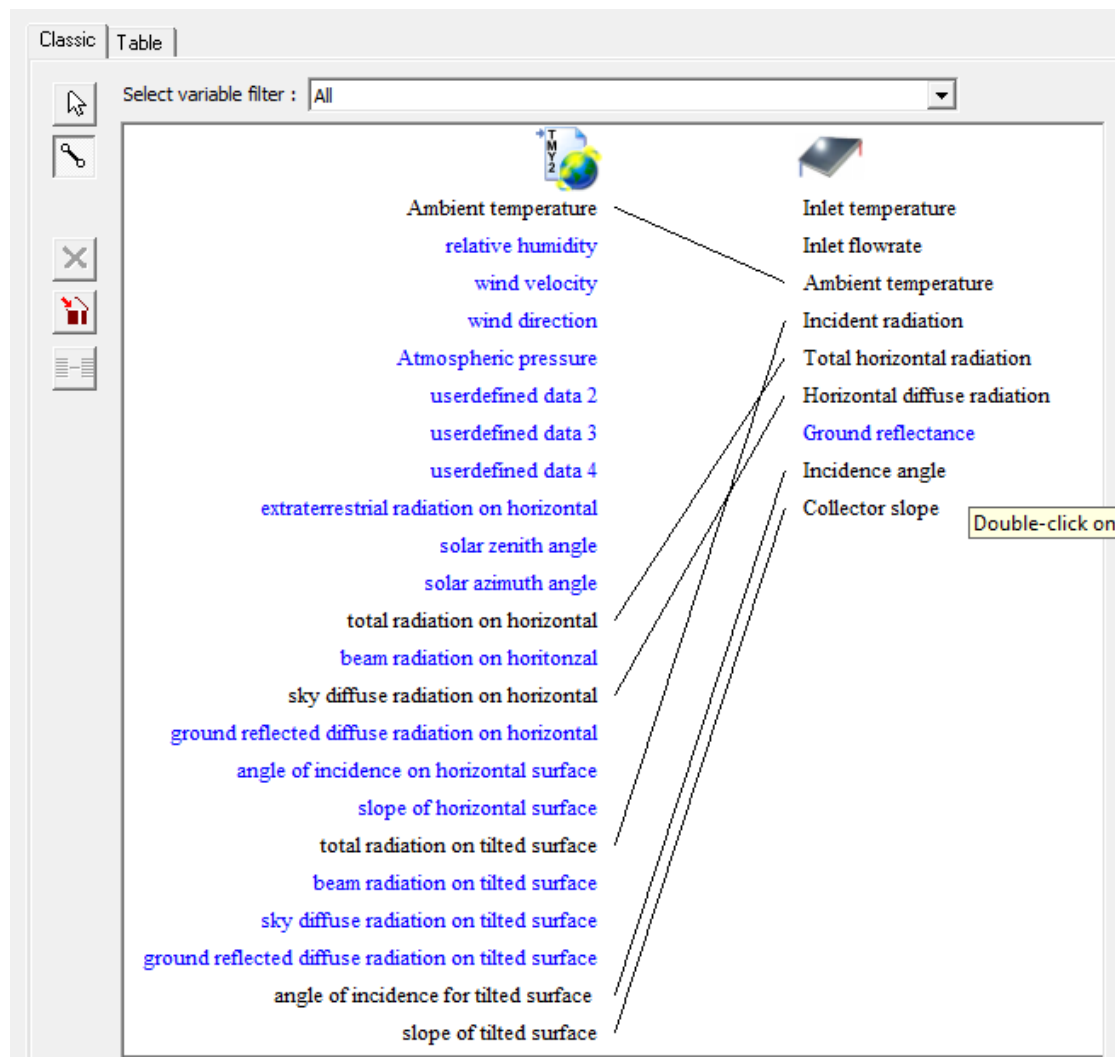
Το κύκλωμα των συλλεκτών, ο κυκλοφορητής του δηλαδή, παίρνει σήμα από την έξοδο ενός Equation, του οποίου η έξοδος είναι το γινόμενο των σημάτων εξόδου των 2 προηγούμενων ελεγκτών. Άρα οι συλλέκτες τίθενται σε λειτουργία μόνο όταν δίνουν και οι 2 ελεγκτές σήμα 1.

Το πλήρες κύκλωμα, συμπεριλαμβανομένων και των παραπάνω ελέγχων, απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 3.13. Σύστημα 1 – Ηλιακός κλιματισμός σπιτιού με FPC (κανονικό)

Εδώ, έχουμε ακόμα ότι το μοντέλο 109 με τα μετεωρολογικά ρυθμίζεται να παίρνει δεδομένα από αρχείο από τα external files με όνομα GR-Athinai-167140.tm2 , για την περιοχή της Αθήνας. Ακόμη, στις εισόδους του, ρυθμίζεται κλίση της επιφάνειας στις 25° , μιάς και θέλουμε βέλτιστα αποτελέσματα για καλοκαίρι (οπότε γεωγραφικό πλάτος Αθήνας $- 15^\circ = 38^\circ - 15^\circ = 23^\circ \approx 25^\circ$), και αζιμούθιο επιφάνειας στους 0° , ώστε να είναι οι συλλέκτες μας προσανατολισμένοι προς Νότο, αφού είμαστε στο βόρειο ημισφαίριο. Η σύνδεσή του με τους συλλέκτες είναι η εξής:



Εικόνα 3.14. Σύνδεση εξόδων μοντέλου 109 με εισόδους FPC

Επίσης, το μοντέλο 55 υπολογίζει μέση τιμή (mean value of input), T_{av} , και μέγιστη τιμή (maximum value of input) της θερμοκρασίας του κτιρίου T_{max} , συνδεδεμένο με την έξοδο του κτιρίου air temperature of zone.

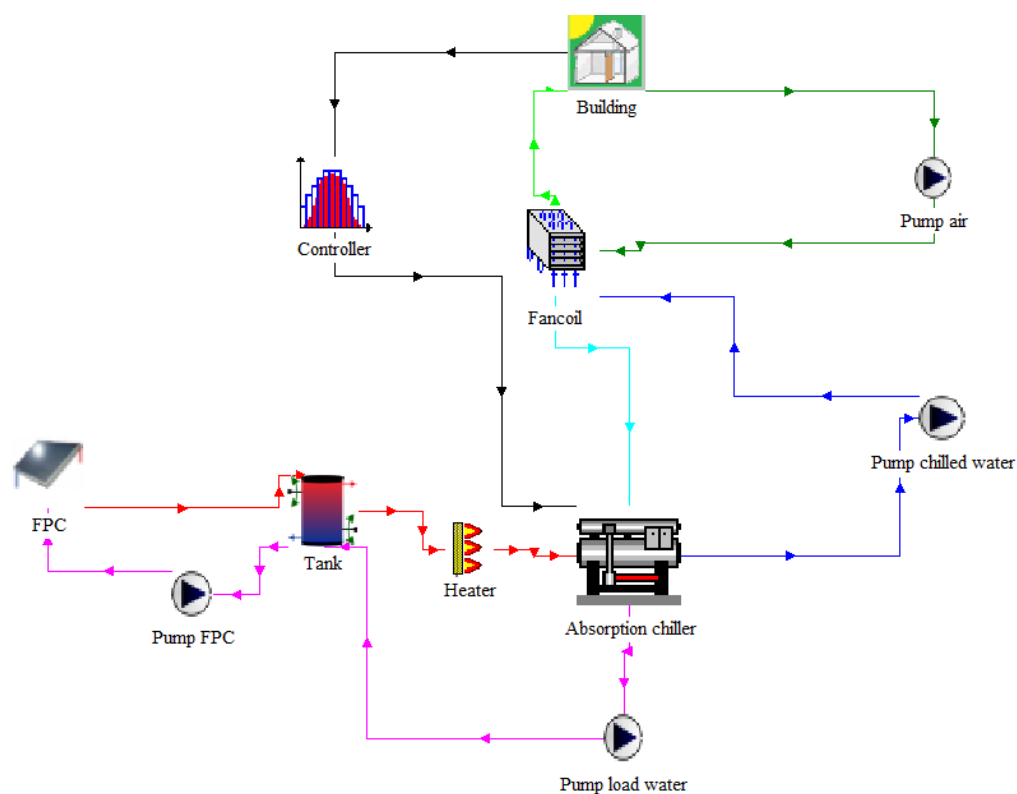
Τέλος, ο θερμοστάτης του κτιρίου, ο οποίος χρειάζεται για να κρατάει τη θερμοκρασία του κάτω από 26°C δίνει προφανώς σήμα για να λειτουργήσουν και οι κυκλοφορητές των κυκλωμάτων κτίριο-fancoil και fancoil-chiller.

Τα παραπάνω ισχύουν σε όλες τις υπόλοιπες περιπτώσεις.

3.5. Προσθήκη auxiliary heater στο Σύστημα 1 (Σύστημα 2)

Στοιχεία

Στην περίπτωση αυτή συνδέουμε ανάμεσα στο δοχείο και τον ίδιο μονοβάθμιο ψύκτη απορρόφησης και έναν ηλεκτρικό auxiliary heater. Το βασικό (απλοποιημένο) σύστημα παρουσιάζεται παρακάτω:



Εικόνα 3.15. Σύστημα 2 – Ηλιακός κλιματισμός με PFC υποβοηθούμενος από ηλεκτρικό λέβητα (απλοποιημένο)

Μιάς και το μέγιστο ψυκτικό φορτίο είναι 120kW, κάνουμε κάποιες δοκιμές για την ισχύ του heater. Στα 150kW δεν επαρκεί η ισχύς πάντα και δεν έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έτσι τον διαστασιολογούμε τελικά στα 200kW.

Οι συνδέσεις είναι οι εξής:

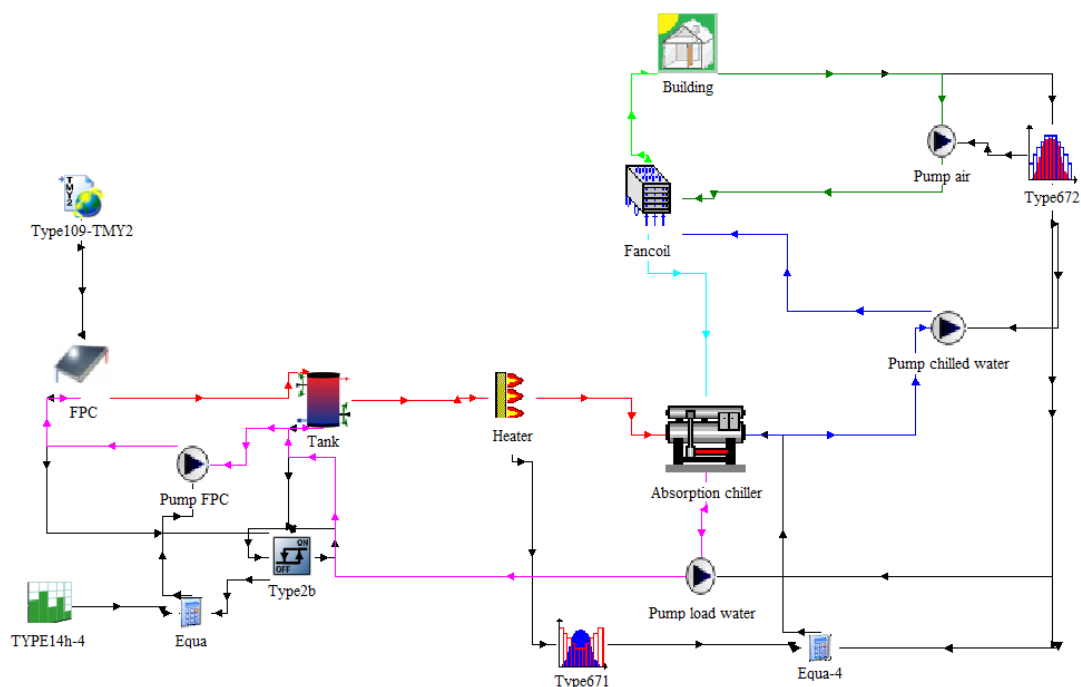
Variable	Value
Inlet fluid temperature	40.0
Inlet flow rate	36000000
Control function	1
Set point temperature	80
Overall loss coefficient	0.0
Boiler efficiency	1.0
Temperature of surroundings	20.0

Εικόνα 3.15. Σύνδεση εξόδων δεξαμενής αποθήκευσης με εισόδους heater

Variable	Value
Chilled water inlet temperature	100
Chilled water flow rate	232000.0
Cooling water inlet temperature	30
Cooling water flow rate	279000.0
Hot water inlet temperature	90
Hot water flow rate	9999999
CHW set point	10
Chiller control signal	1.0

Εικόνα 3.16. Σύνδεση εξόδων heater με εισόδους ψύκτη απορρόφησης

Το πλήρες κύκλωμα είναι το κάτωθι:



Εικόνα 3.17. Σύστημα 2 – Ηλιακός κλιματισμός με PFC υποβοηθούμενος από ηλεκτρικό λέβητα (κανονικό)

Η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού από τον heater είναι αυτή που ελέγχεται πλέον από τον controller (type671) αντί της θερμοκρασίας του εξερχόμενου νερού από το δοχείο.

Τα αποτελέσματα για τη συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε στον ηλεκτρικό λέβητα που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο προέκυψαν από online plotter (με δημιουργία ταυτόχρονα αρχείου) συνδεδεμένο σε ολοκληρωτή (με παραμέτρους integration period=STOP και relative or absolute start time=0), ο οποίος με τη σειρά του είναι συνδεδεμένος στην έξοδο-output του λέβητα, ρυθμός μεταφοράς ενέργειας στη ροή του υγρού (rate of energy delivery to fluid stream) σε kJ/h. Ολοκληρώνοντας ισχύ, με μια μετατροπή των kJ σε kWh με τη βοήθεια ενός equation, έχουμε τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο λέβητα σε kWh.

3.7. Προσθήκη αντλίας θερμότητας στο Σύστημα 1 (Σύστημα 3)

Στοιχεία

Στην περίπτωση αυτή, θέλουμε να συνδέσουμε ανάμεσα στα ηλιακά και τον chiller, αντί για heater, μια αντλία θερμότητας. Το μοντέλο στο TRANSYS που αναπαριστά την αντλία θερμότητας δίνει σταθερή ισχύ. Για να την ισοσταθμίσουμε με την ισχύ που δίνουν τα ηλιακά και με αυτήν που απαιτεί το σπίτι, τοποθετούμε 2 δοχεία, ένα ανάμεσα στους

συλλέκτης και την αντλία θερμότητας και ένα ανάμεσα στην αντλία θερμότητας και τον chiller. Λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών που αναπτύσσονται μετά την αντλία θερμότητας, λειτουργούμε το κύκλωμά της με το δεύτερο δοχείο και το κύκλωμα δεύτερο δοχείο – chiller με λάδι. Στο δεύτερο δοχείο ρυθμίζουμε το σημείο βρασμού του στους 250°C, ώστε να μπορεί να κρατήσει το ζεστό λάδι μέχρι τους 250°C χωρίς αυτό να βράσει. Ακόμη, ο chiller στην περίπτωση αυτή είναι διβάθμιος, ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν καλύτερη αξιοποίηση της αυξημένης θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου λάδι. Το πρώτο δοχείο αποθηκεύει το ζεστό νερό από τα ηλιακά και το δεύτερο το ζεστό λάδι.

Το λάδι που χρησιμοποιήσαμε είναι το Therminol VP-3 και έχει χαρακτηριστικά [54]:

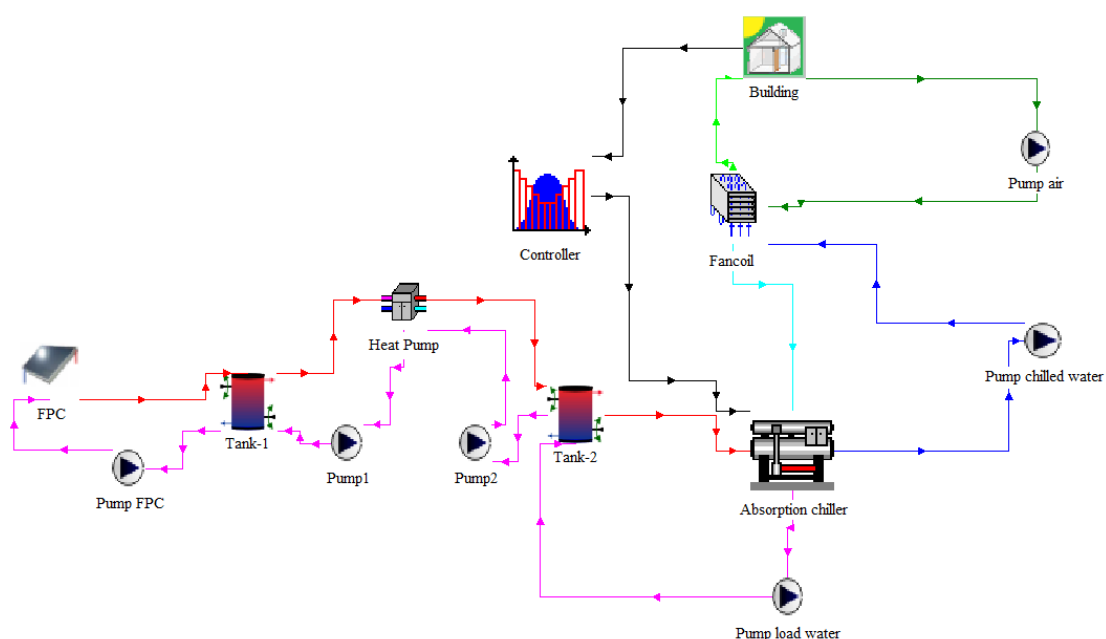
Πυκνότητα $\rho = 950\text{kg/m}^3$

Ειδική θερμοχωρητικότητα $C_p = 2,1\text{ kJ/kgK}$

Σημείο βρασμού 243°C

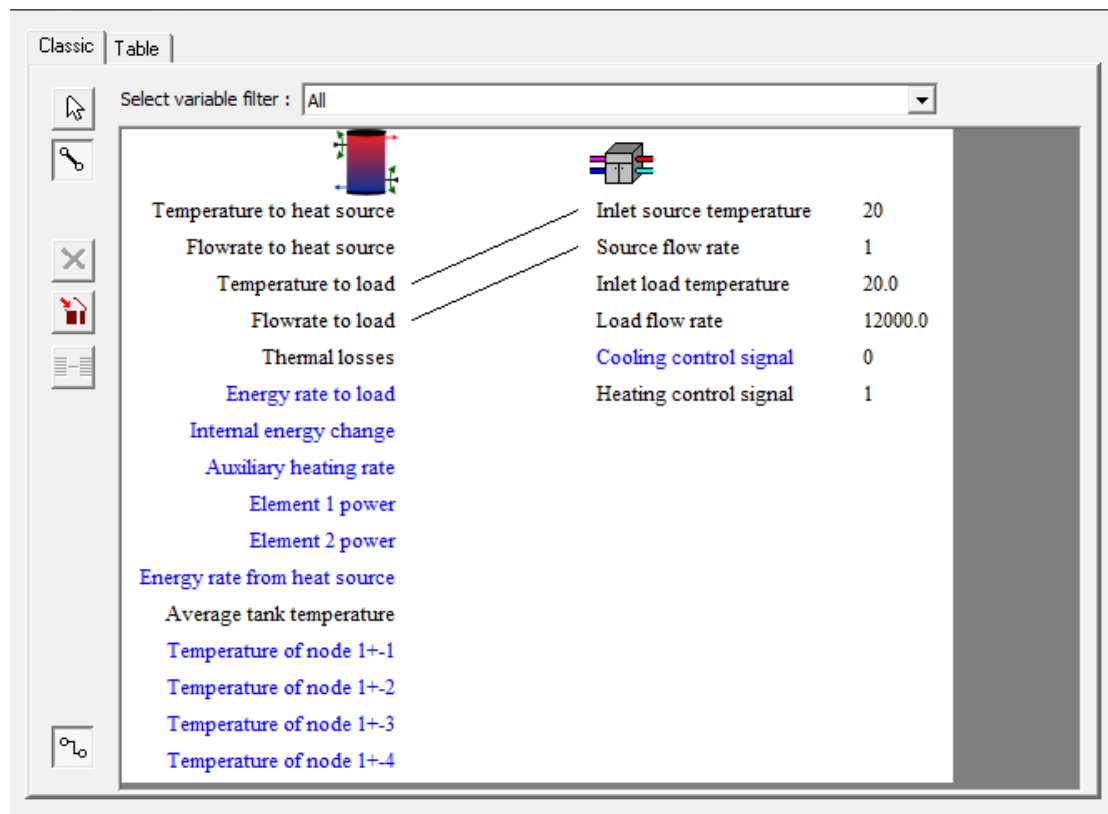
Γι'αυτό ρυθμίζουμε το δοχείο 2 με το λάδι να έχει boiling point 250°C.

Το βασικό (απλοποιημένο) κύκλωμα είναι το εξής:

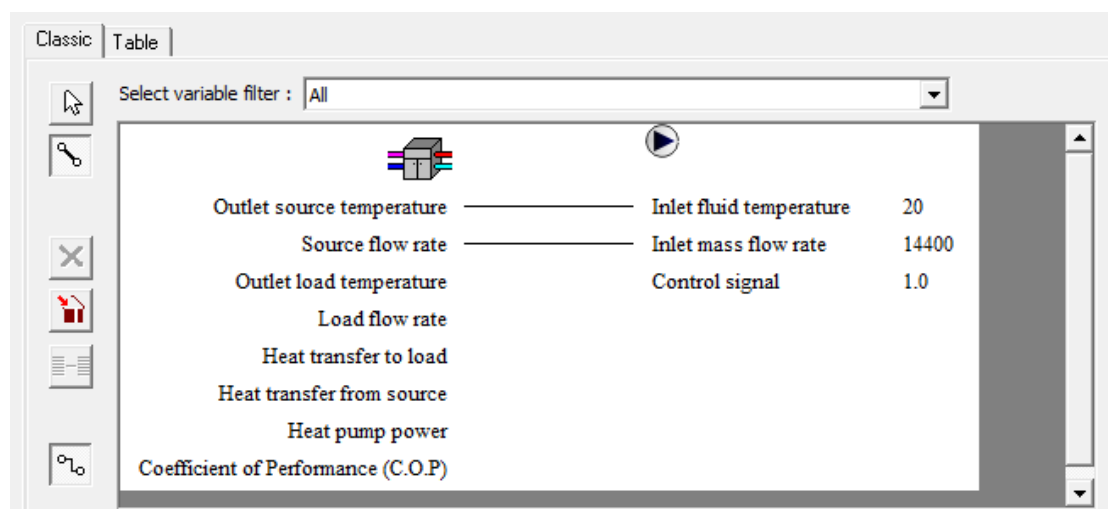


Εικόνα 3.18. Σύστημα 3 – Ηλιακός κλιματισμός με FPC υποβοηθούμενος από αντλία θερμότητας (απλοποιημένο)

Οι συνδέσεις είναι οι εξής:



Εικόνα 3.19. Σύνδεση εξόδων πρώτης δεξαμενής αποθήκευσης (ζεστού νερού) με εισόδους αντλίας θερμότητας



Εικόνα 3.20. Σύνδεση εξόδων αντλίας θερμότητας με εισόδους κυκλοφορητή ζεστού νερού

Classic Table

Select variable filter : All

Outlet fluid temperature	Hot-side temperature	100
Outlet flow rate	Hot-side flowrate	10800
Power consumption	Cold-side temperature	20.0
	Cold-side flowrate	10000
	Environment temperature	22.0
	Control signal for element-1	0.0
	Control signal for element-2	0.0

Double-click on a variable to edit its property

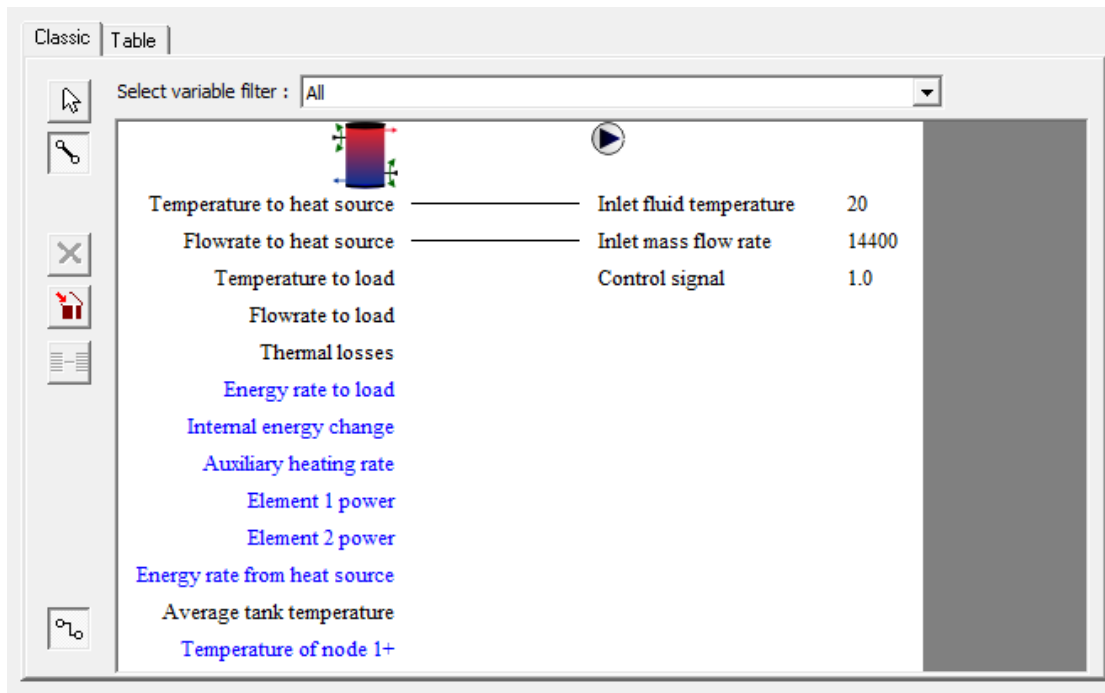
Εικόνα 3.21. Σύνδεση εξόδων κυκλοφορητή ζεστού νερού με εισόδους πρώτης δεξαμενής αποθήκευσης (ζεστού νερού)

Classic Table

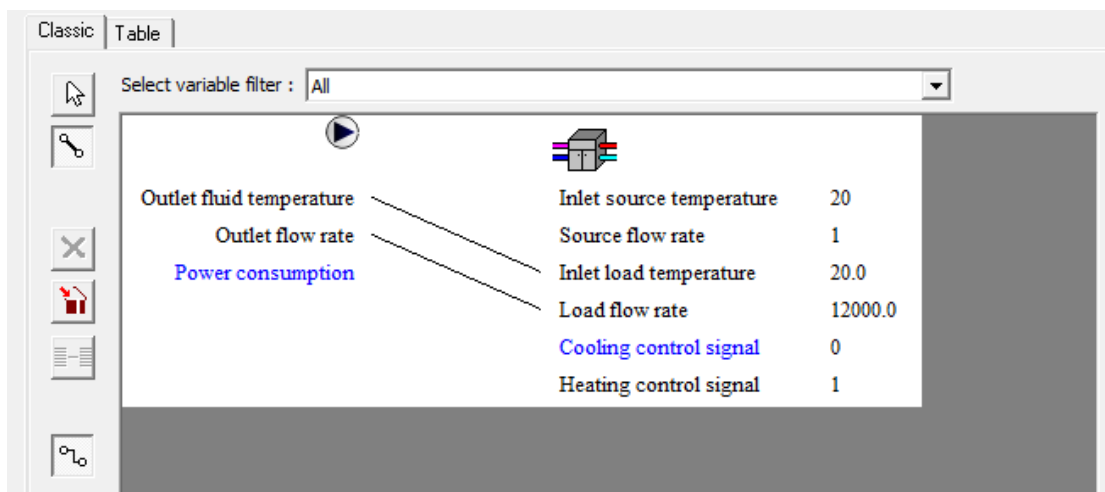
Select variable filter : All

Outlet source temperature	Hot-side temperature	100
Source flow rate	Hot-side flowrate	10800
Outlet load temperature	Cold-side temperature	20.0
Load flow rate	Cold-side flowrate	10000
Heat transfer to load	Environment temperature	22.0
Heat transfer from source	Control signal for element-1	0.0
Heat pump power	Control signal for element-2	0.0
Coefficient of Performance (C.O.P)		

Εικόνα 3.22. Σύνδεση εξόδων αντλίας θερμότητας με εισόδους δεύτερης δεξαμενής αποθήκευσης (ζεστού λαδιού)



Εικόνα 3.23. Σύνδεση εξόδων δεύτερης δεξαμενής αποθήκευσης (ζεστού λαδιού) με εισόδους κυκλοφορητή ζεστού λαδιού



Εικόνα 3.24. Σύνδεση εξόδων κυκλοφορητή ζεστού λαδιού με εισόδους αντλίας θερμότητας

Επιπλέον έλεγχος

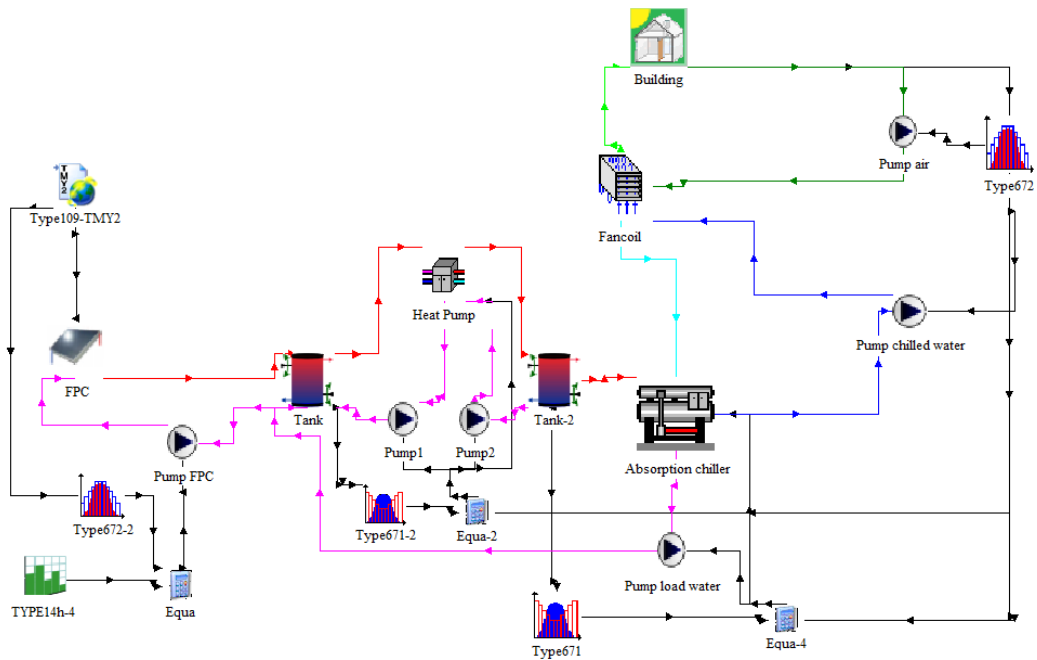
1. Η θερμοκρασία του εξερχόμενου νερού από τον δεύτερο δοχείο είναι αυτή που ελέγχεται πλέον από τον controller (type671) αντί της θερμοκρασίας του εξερχόμενου νερού από το δοχείο. Έχουμε διβάθμιο ψύκτη και άρα μπορεί η θερμοκρασία εισόδου σε αυτόν να είναι πιο μεγάλη από πριν. Από πίνακες, 2-βάθμιος chiller λειτουργεί με COP=1,2 και $T_{in}=140^{\circ}\text{C}$. Οπότε ο controller ρυθμίζεται να έχει set point 140°C , δηλ. να δίνει σήμα 0 όταν η θερμοκρασία εξόδου του δοχείου πέφτει κάτω από 140°C .
2. Οι κυκλοφορητές των κυκλωμάτων αντλία θερμότητας-δοχείο 1, αντλία θερμότητας-δοχείο 2 καθώς και η ίδια η αντλία θερμότητας παίρνουν σήμα για να

λειτουργήσουν από την έξοδο ενός equation. Αυτή είναι το γινόμενο του σήματος εξόδου από το θερμοστάτη του κτιρίου και της ποσότητας (1-σήμα εξόδου από controller type 671). Αυτός ο δεύτερος ελεγκτής δέχεται ως είσοδο τη θερμοκρασία εξόδου του δοχείου 1 και ρυθμίζεται το set point του στους 35°C , δηλ., αφού πρόκειται για heating mode, να δίνει σήμα 1 όταν η προαναφερθείσα θερμοκρασία πέφτει κάτω από 35°C και 0 όταν αυτή τους ξεπερνάει. Τελικά λοιπόν, τα κυκλώματα που σχετίζονται με την αντλία θερμότητας λειτουργούν μόνο όταν το κτίριο έχει ανάγκη από ψύξη και ταυτόχρονα η θερμοκρασία του πρώτου δοχείου είναι πάνω από 35°C. Αυτό συμβαίνει διότι το μοντέλο της αντλίας θερμότητας του TRNSYS τραβάει σταθερή ισχύ από την πηγή θερμότητάς της (source) και δίνει στο φορτίο της (load) και έχει σταθερό COP=2,5. Προφανώς αυτή δεν είναι μια πραγματική κατάσταση αλλά μπορούμε, για τις ανάγκες της προσομοίωσης, να κάνουμε την απλούστευση ότι θέλουμε να υπολογίσουμε πόση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνεται στο συμπιεστή της αντλίας θερμότητας για αυτό το κύκλωμα, αν τα μεγέθη αυτά της αντλίας θερμότητας παίρνουν σε μία πραγματική κατάσταση αυτές τις τιμές κατά μεσό όρο.

Ο έλεγχος με το μοντέλο 2 της προηγούμενης περίπτωσης αντικαταστάθηκε από έναν ελεγκτή ,τύπο 672, ο οποίος δίνει σήμα 1 όταν η συνολική ακτινοβολία κεκλιμένου (total radiation on tilted surface) είναι μεγαλύτερη από 150 kJ/h. Αυτό συμβαίνει για να εκμεταλλευόμαστε τις μέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια γενικά, μιας και σε αυτήν την περίπτωση, με την αντλία θερμότητας και τον διβάθμιο ψύκτη, στοχεύουμε σε υψηλότερες θερμοκρασίες και αυξημένο COP [55].

Έτσι, τελικά σε αυτήν την περίπτωση ο κυκλοφορητής των συλλεκτών λειτουργεί μόνο όταν πληρείται η παραπάνω συνθήκη ανάμεσα στις ώρες 07:00 - 18:00, που έχει ρυθμιστεί το μοντέλο 14.

Το πλήρες κύκλωμα απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:



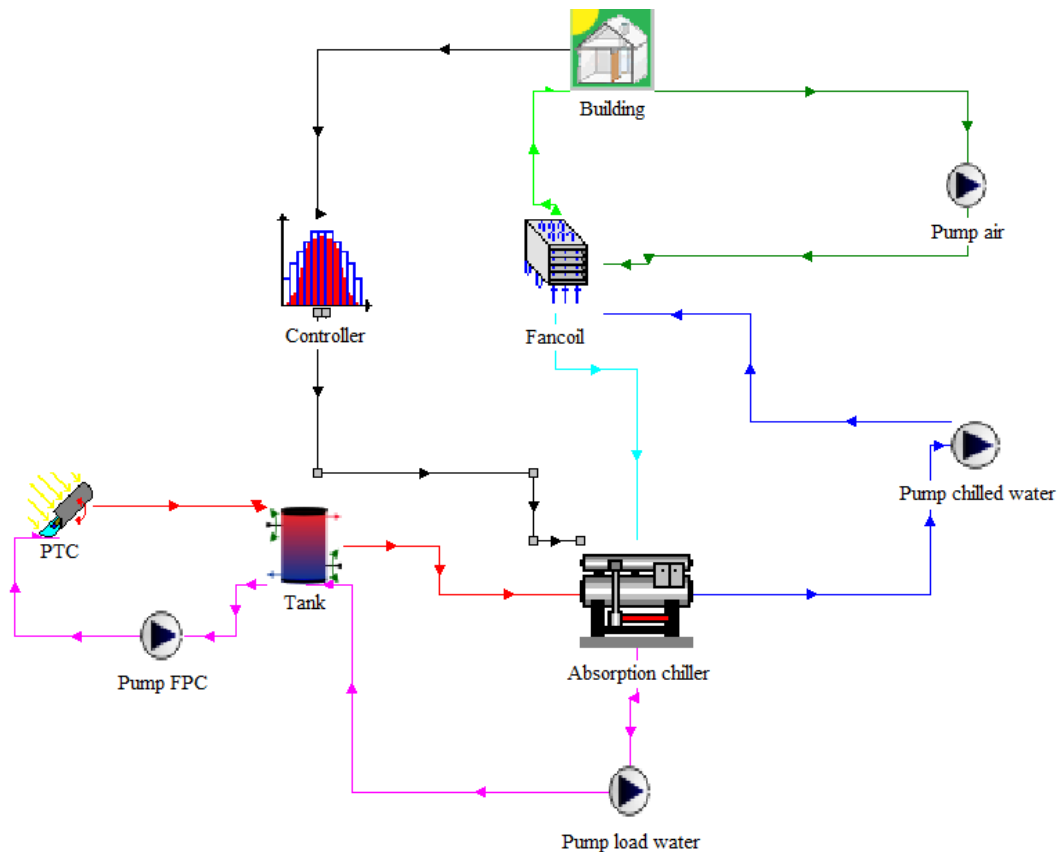
Εικόνα 3.25. Σύστημα 3 – Ηλιακός κλιματισμός με FPC υποβοηθούμενος από αντλία θερμότητας (κανονικό)

Τα αποτελέσματα για τη συνολική ενέργεια που καταναλώθηκε στην αντλία θερμότητας, που θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο, προέκυψαν από online plotter (με δημιουργία ταυτόχρονα αρχείου) συνδεδεμένο σε ολοκληρωτή (με παραμέτρους integration period=STOP και relative or absolute start time=0), ο οποίος με τη σειρά του είναι συνδεδεμένος με την έξοδο-output της αντλίας θερμότητας, ισχύς αντλίας θερμότητας (*heat pump power*) σε kJ/h. Ολοκληρώνοντας ισχύ, με μια μετατροπή των kJ σε kWh με τη βοήθεια ενός equation, έχουμε τη συνολική καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια στην αντλία θερμότητας σε kWh.

3.7. Σύνδεση Συστήματος 0 με ηλιακά (PTC) (Σύστημα 4)

Στοιχεία

Εδώ αντικαθιστούμε τους Flat plate collectors της πρώτης περίπτωσης με παραβολικούς. Η μόνη διαφορά είναι ότι έχουμε τον διβάθμιο chiller της προηγούμενης περίπτωσης με τον controller για λάδι εισόδου σε αυτόν ρυθμισμένο στους 140°C ώστε να εκμεταλλευτούμε τις υψηλές θερμοκρασίες που μπορούν να δώσουν οι FPC.

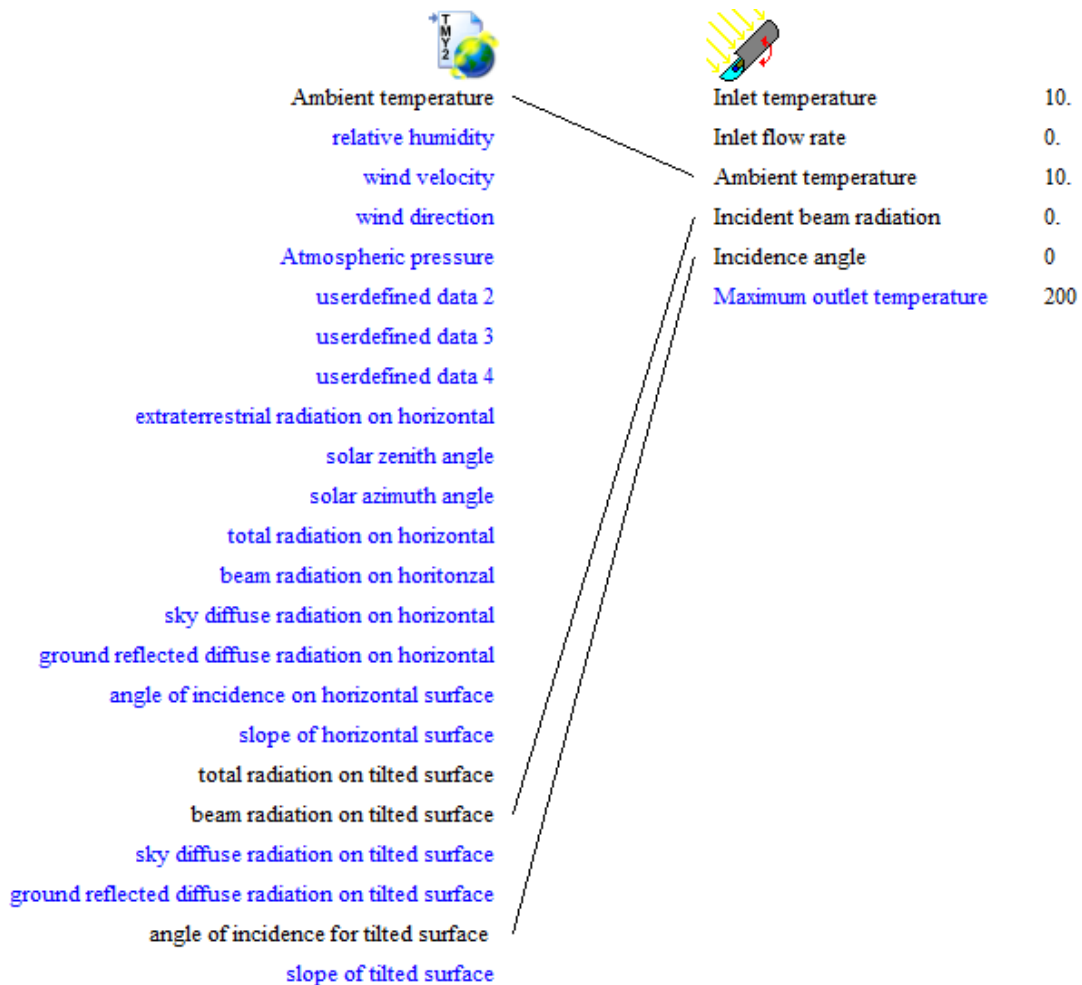


Εικόνα 3.26. Σύστημα 4 – Ηλιακός κλιματισμός με PTC (απλοποιημένο)

Έχουμε τον ίδιο διβάθμιο ψύκτη με την προηγούμενη περίπτωση, μιάς κι εδώ μπορούμε να πετύχουμε ψηλότερες θερμοκρασίες.

Στις παραμέτρους του μοντέλου 109 με τα μετεωρολογικά δεδομένα πρέπει, για να έχουμε παρακολούθηση του ήλιου, να πάρει η παράμετρος tracking mode την τιμή 2 ή 3. Έτσι ρυθμίζεται η παράμετρος tracking mode να πάρει την τιμή 3, δηλαδή έχουμε παρακολούθηση μονού άξονα, με τον άξονα να είναι στο επίπεδο της επιφάνειας του συλλέκτη (Single-axis tracking, axis is in the plane of the surface).

Στην κατηγορία External Files των PTC, ρυθμίζουμε να παίρνουν δεδομένα από το αρχείο Tess Models\SampleCatalogData\Single-Axis IAM's\Iam_1d.dat που περιλαμβάνει τροποποιητές της γωνίας πρόσπτωσης (incidence angle modifiers - IAM) ως συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης, η οποία είναι συνδεδεμένη όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 3.27. Σύνδεση εξόδων μετεωρολογικών δεδομένων με εισόδους PTC

Οι υπόλοιπες συνδέσεις είναι όπως στο Σύστημα 1.

Ο λόγος συγκέντρωσης (Concentration ratio) είναι 35.

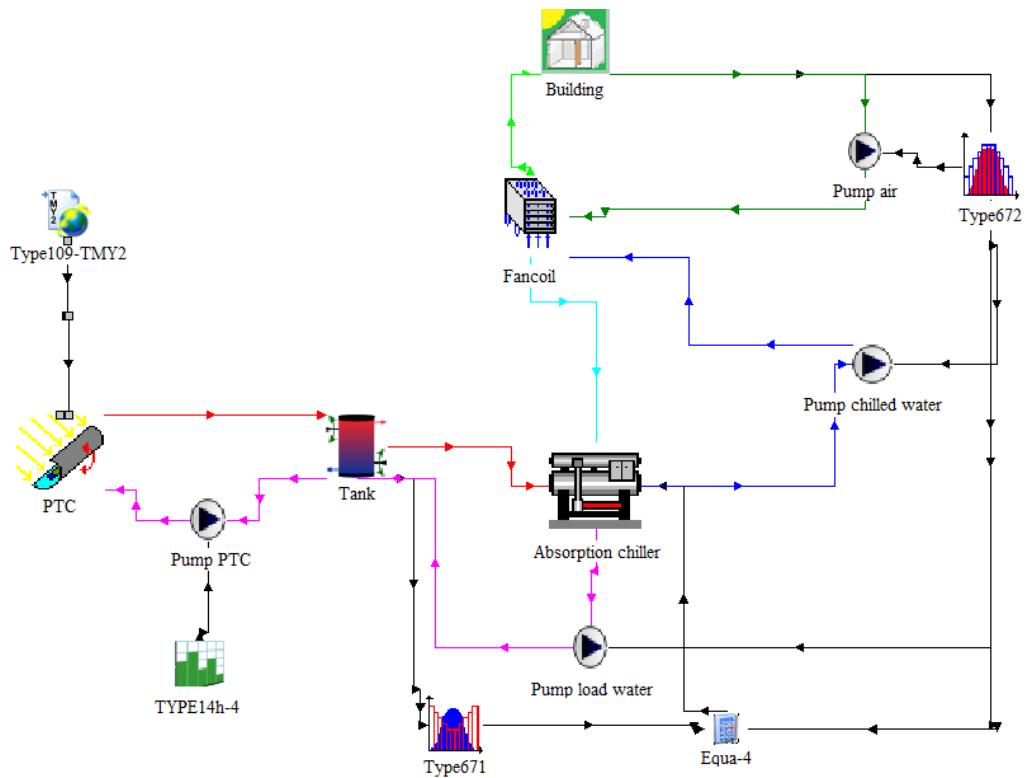
Το λάδι που χρησιμοποιήσαμε είναι το Therminol VP-3 και έχει χαρακτηριστικά:

Πυκνότητα $\rho = 950 \text{ kg/m}^3$

Ειδική θερμοχωρητικότητα $C_p = 2,1 \text{ kJ/kgK}$

Σημείο βρασμού 243°C

Το boiling point του δοχείου ρυθμίζεται στους 190°C για λόγους ασφαλείας. Η θερμοκρασία του λαδιού δε ξεπερνάει αυτή την τιμή, ούτως ή αλλιώς.

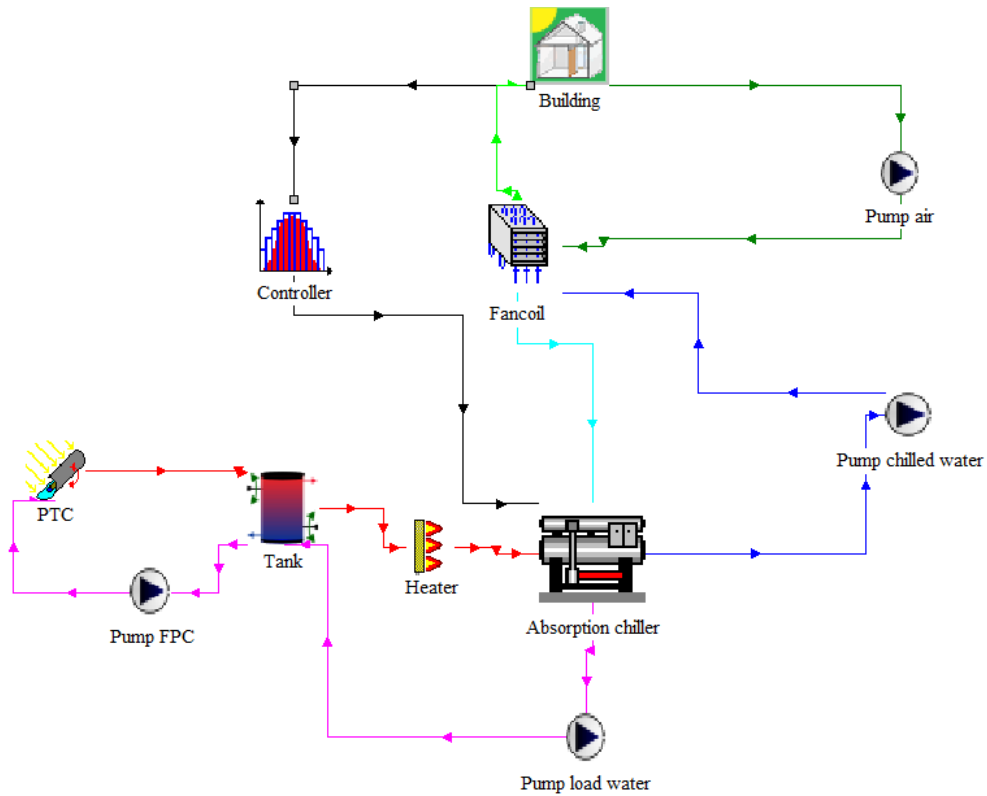


Εικόνα 3.28. Σύστημα 4 – Ηλιακός κλιματισμός με PTC (κανονικό)

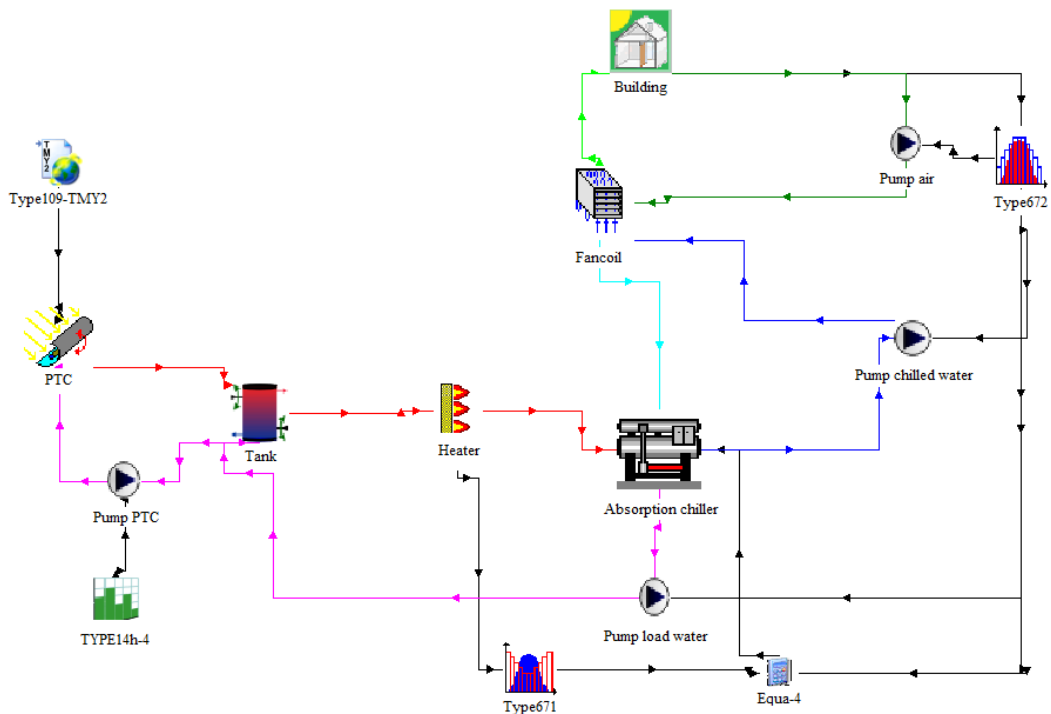
3.8. Προσθήκη auxiliary heater στο Σύστημα 4 (Σύστημα 5)

Στοιχεία

Εδώ αντικαθιστούμε τους Flat plate collectors της δεύτερης περίπτωσης με παραβολικούς. Οι έλεγχοι και οι συνδέσεις είναι ίδια με την προηγούμενη περίπτωση, ενώ έχει προστεθεί ο auxiliary heater.



Εικόνα 3.29. Σύστημα 5 – Ηλιακός κλιματισμός με PTC υποβοηθούμενος από ηλεκτρικό λέβητα (απλοποιημένο)



Εικόνα 3.30. Σύστημα 5 – Ηλιακός κλιματισμός με PTC υποβοηθούμενος από ηλεκτρικό λέβητα (κανονικό)

Οι συνδέσεις είναι όπως στο Σύστημα 2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όλα τα διαγράμματα από το TRANSYS έχουν γίνει για το εαρινό εξάμηνο 1^η Μαΐου-31^η Οκτωβρίου, δηλαδή τις ώρες 2880h – 7296h, με βήμα 0,1h. Οι ώρες που αντιστοιχούν σε κάθε μήνα είναι οι εξής:

Μάιος	2880 - 3624
Ιούνιος	3624 - 4344
Ιούλιος	4344 - 5088
Αύγουστος	5088 - 5832
Σεπτέμβριος	5832 - 6552
Οκτώβριος	6552 - 7296

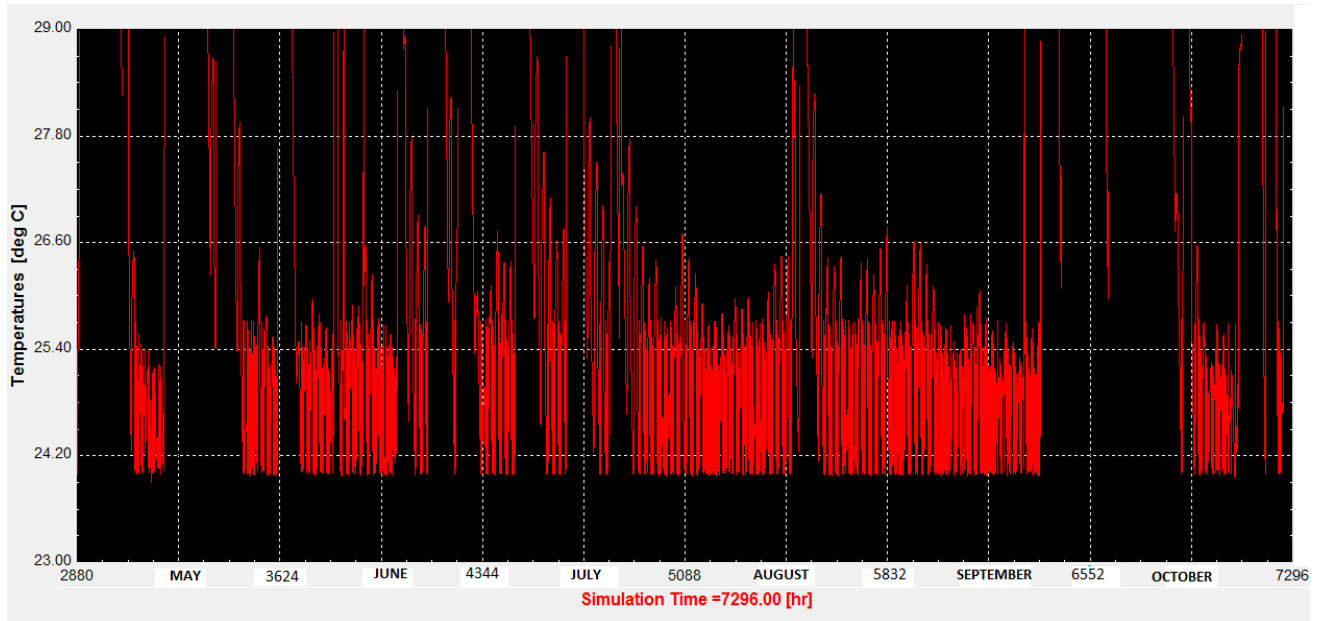
Πίνακας 4.1

και είναι σημειωμένες στον άξονα των τετμημένων των διαγραμμάτων για να υπάρχει μια πιο καθαρή εικόνα για το θερμοκρασιακό προφίλ κάθε μήνα.

4.1. Σύστημα 1 – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC)

Βελτιστοποίηση

Θέλουμε τώρα να δούμε πόσα τετραγωνικά συλλεκτών και πόσα κυβικά δοχείο αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή. Για λιγότερα από 5000-6000m² παρατηρούμε ότι, όσο μεγάλο δοχείο και να χρησιμοποιηθεί, δεν εμφανίζεται καλό θερμοκρασιακό προφίλ. Για παράδειγμα, παρουσιάζεται παρακάτω το θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=3000\text{m}^2$ και $V=700\text{m}^3$:

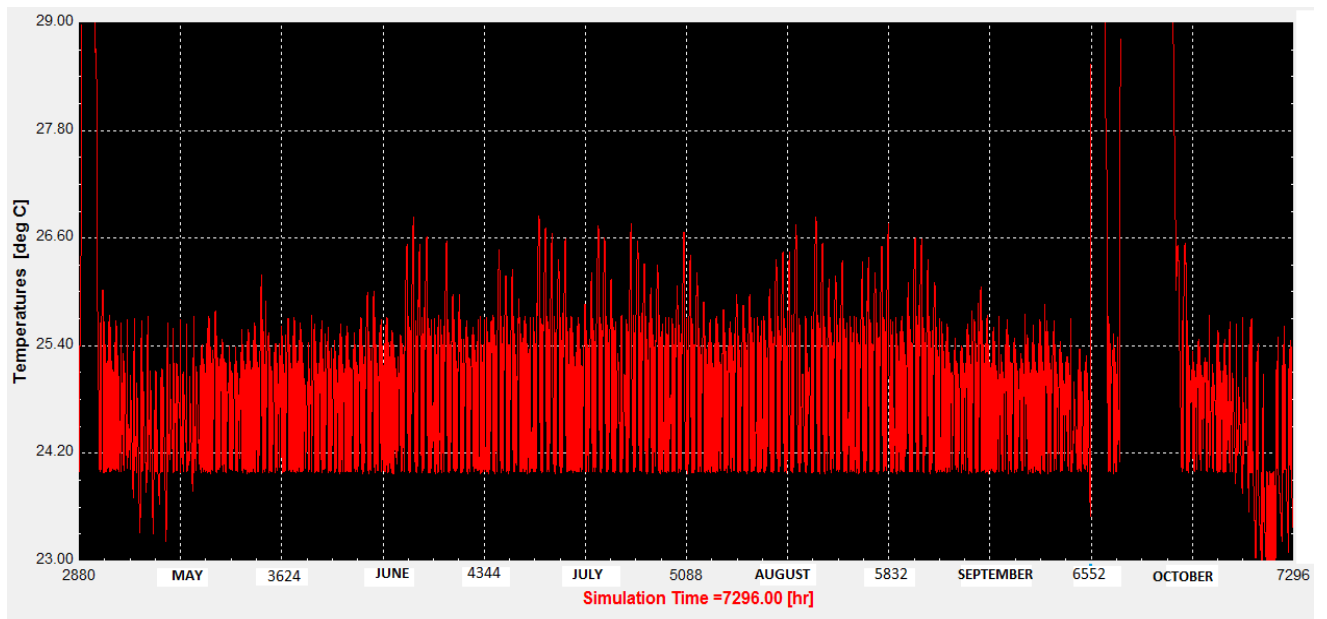


Διάγραμμα 4.1.1. Θερμοκρασιακό προφίλ εξαμήνου για $A_c=3000m^2$ και $V=700m^3$

Από,τι βλέπουμε, τους πρώτους μήνες καθώς και τον Οκτώβριο, η θερμοκρασία του σπιτιού ξεπερνάει πολλές φορές τους 28-29°C. Για περισσότερα τετραγωνικά συλλεκτών και συγκεκριμένες χωρητικότητες δοχείων, πετυχαίνεται ένα βέλτιστο θερμοκρασιακό προφίλ (Διάγραμμα 4.1.2), στο οποίο έχουν εξαλειφθεί οι αυξημένες θερμοκρασίες σε όλες τις περιόδους εκτός από:

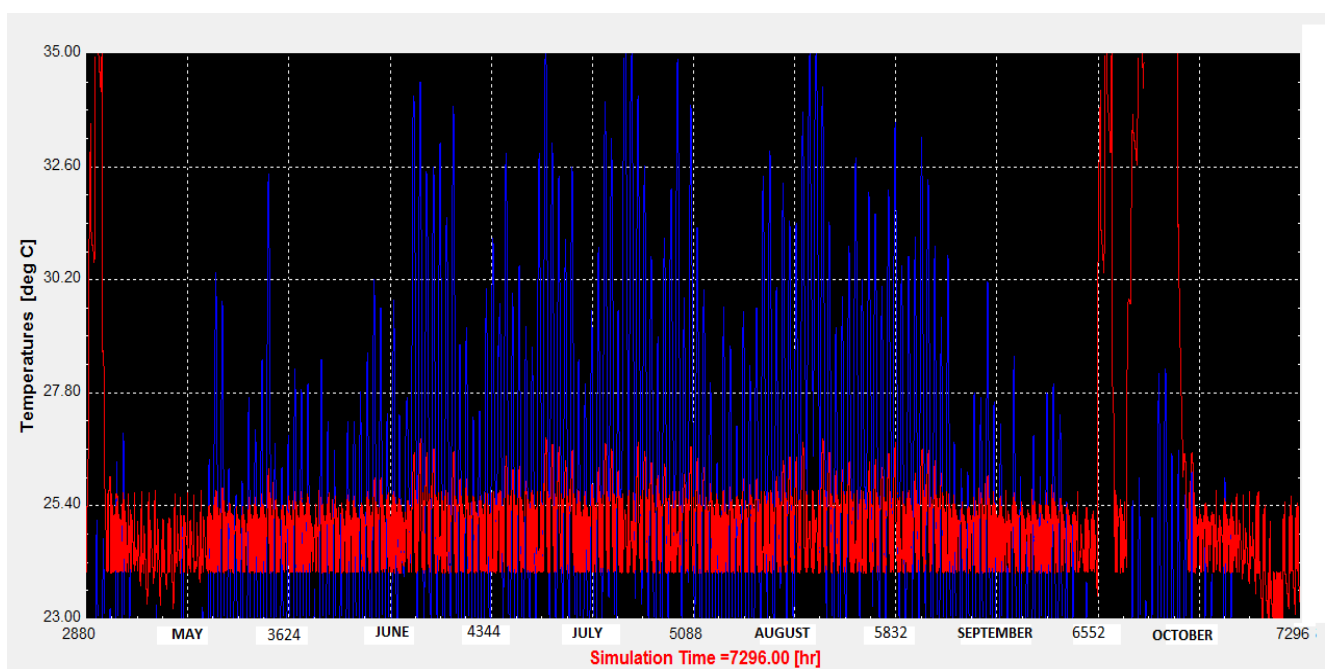
- τις πρώτες δεκάδες ώρες του εξαμήνου. Πρόκειται για το χρόνο που είναι απαραίτητος για να ζεσταθεί το εργαζόμενο μέσο επαρκώς για να λειτουργήσει ο chiller, δηλ. να φτάσει η θερμοκρασία του δοχείου τους 80°C.
- κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου. Αυτό είναι λογικό, μιάς και τον Οκτώβριο ο διαθέσιμος ήλιος είναι μειωμένος. Από,τι φαίνεται λοιπόν, όσα ηλιακά και να τοποθετηθούν, κάποιες χρονικές περιόδους δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια για να επιτευχθεί η ηλιακή ψύξη και το σπίτι ζεσταίνεται.

Το βέλτιστο προφίλ έχει μια τέτοια μορφή:



Διάγραμμα 4.1.2. Θερμοκρασιακό προφίλ εξαμήνου για $A_c=7000m^2$ και $V=500m^3$ (βέλτιστη περίπτωση)

Παρακάτω βλέπουμε τη θερμοκρασία του χώρου σε αντιπαράβολή με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος:

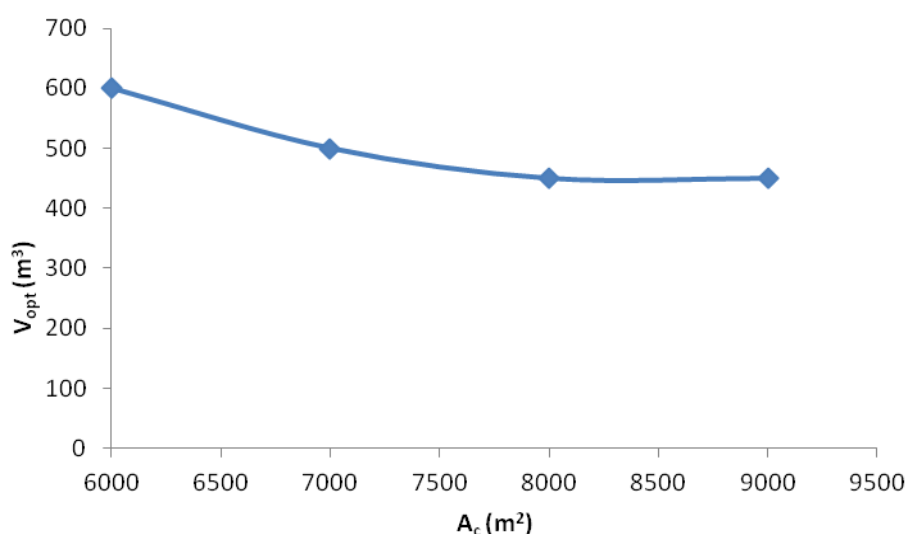


Διάγραμμα 4.1.2.b. Βέλτιστη περίπτωση Θερμοκρασιακού προφίλ (κόκκινο) σε αντιπαράβολή με θερμοκρασία περιβάλλοντος (μπλε)

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι τον Οκτώβριο, κατά τον οποίο ο χώρος μας ζεσταίνεται, η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δε ξεπερνά τους 28°C. Συνεπώς,

πιθανότατα, εκτός του ότι δεν γίνεται να λειτουργήσει η ηλιακή ψύξη, δεν είναι και απαραίτητη, αφού το πρόβλημα της υπερθέρμανσης μπορεί να λυθεί π.χ. με μεγαλύτερα ανοίγματα στο κτίριο, άνοιγμα παραθύρων ή με free cooling, την προσθήκη δηλ. ενός free cooling coil, όπου το νερό ψύχεται από τον εισερχόμενο ψυχρό αέρα, χωρίς τη βοήθεια του chiller, γλιτώνοντας έτσι την ηλεκτρική κατανάλωση αυτού και καταναλώνοντας ηλεκτρική ενέργεια μόνο για τον ανεμιστήρα [56].

Στο ακόλουθο διάγραμμα, παρουσιάζεται ο ελάχιστος δυνατός όγκος δοχείου για κάθε συλλεκτική επιφάνεια, ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν πιο ικανοποιητικό προφίλ (δηλ. με ανωμαλίες μόνο στην αρχή και στην περιοχή του Οκτωβρίου).



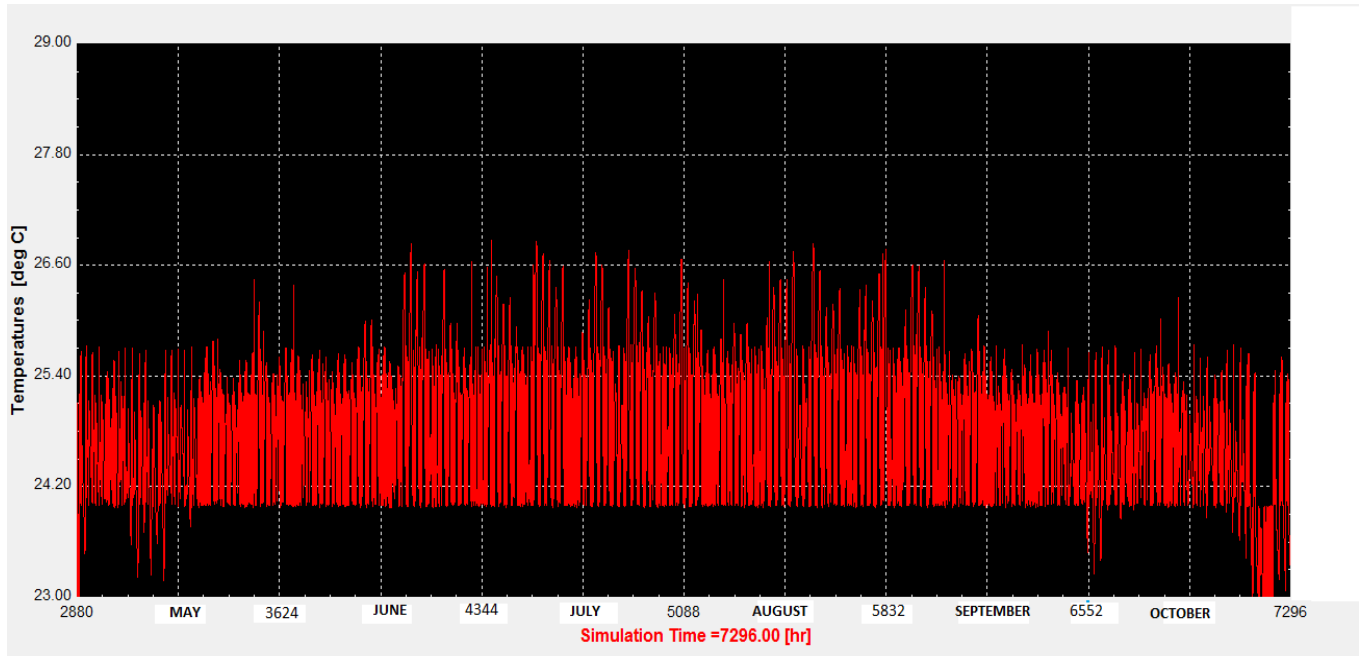
Διάγραμμα 4.1.3. Ελάχιστος όγκος δοχείου ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια για ικανοποιητικό προφίλ

Βλεπουμε ότι, αν αυξήσουμε τα ηλιακά πάνω από 7000m², δεν έχουμε έντονη μείωση του βέλτιστου όγκου του δοχείου, άρα δεν έχουμε κάποιο όφελος να αντισταθμίσει τα παραπάνω έξοδα για τα έξτρα τετραγωνικά συλλεκτών. Διαλέγουμε λοιπόν ως βέλτιστη την περίπτωση των 7000m² με $V=500\text{m}^3$ (Διάγραμμα 4.1.2), για να έχουμε και ένα κάπως πιο ρεαλιστικό μέγεθος δοχείου, από π.χ. $V=600\text{m}^3$, που αντιστοιχεί στα 6000m².

4.2. Σύστημα 2 – Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) με λέβητα (heater)

Εδώ μειώνουμε σημαντικά τον αριθμό των συλλεκτών που απαιτούνται για ένα ικανοποιητικό θερμοκρασιακό προφίλ, πληρώνοντας ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας στον heater. Επισημαίνεται, ότι τις περιόδους του εξαμήνου χωρίς αρκετή

ηλιοφάνεια, όπως τον Οκτώβριο, λειτουργεί περισσότερο ο heater από ότι κάποιες άλλες, όπου τα ηλιακά παρέχουν αυξημένη κάλυψη. Οι αυξημένες θερμοκρασίες που υπήρχαν κατά τη διάρκεια του Οκτωβρίου ή οπουδήποτε αλλού έχουν εδώ εξαλειφθεί. Το θερμοκρασιακό προφίλ παίρνει πλέον την παρακάτω ικανοποιητική μορφή:



Διάγραμμα 4.2.1. Θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=1600m^2$ και όγκο δοχείου $V=200m^3$

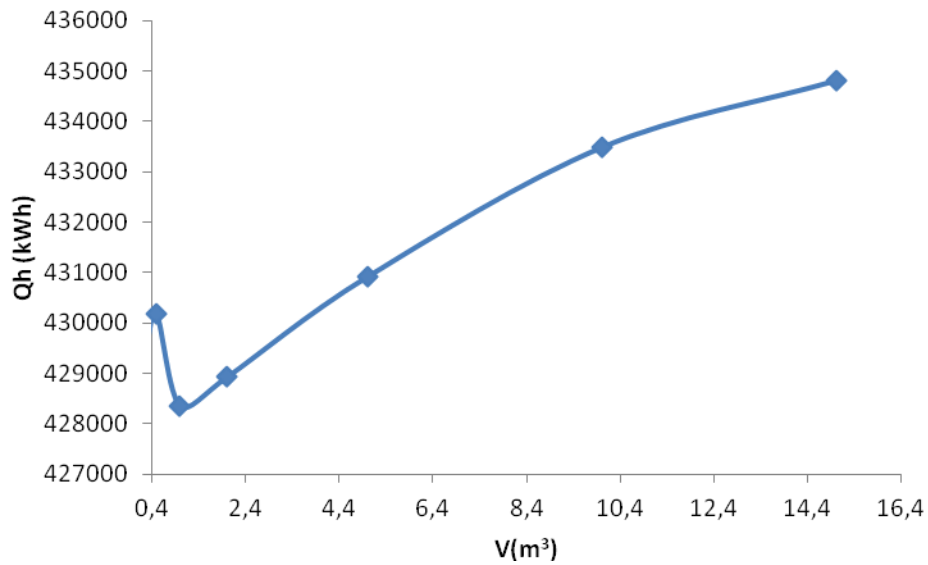
Βελτιστοποίηση

Θέλουμε να βρούμε πάλι τον βέλτιστο συνδυασμό συλλεκτικής επιφάνεια και μεγέθους δοχείου. Η ρύθμιση στην παροχή αντιπηκτικού υγρού στο κύκλωμα των ηλιακών δε μπορεί να βοηθήσει σε βελτιστοποίηση του συστήματος, μιάς και αν αυξηθεί πάνω από $0,01kg/sm^2$, αυξάνεται η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς, ενώ το να μειωθεί δε θα ήταν λειτουργικό. Δοκιμάζουμε λοιπόν ποιοι όγκοι δοχείων δίνουν την ελάχιστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον heater ενώ ταυτόχρονα έχουμε ικανοποιητικό θερμοκρασιακό προφίλ (θερμοκρασία σπιτιού όλο το εξάμηνο κάτω από $26-26,5^{\circ}C$). Για τις παρακάτω συλλεκτικές επιφάνειες, βρέθηκαν οι βέλτιστοι όγκοι δοχείων:

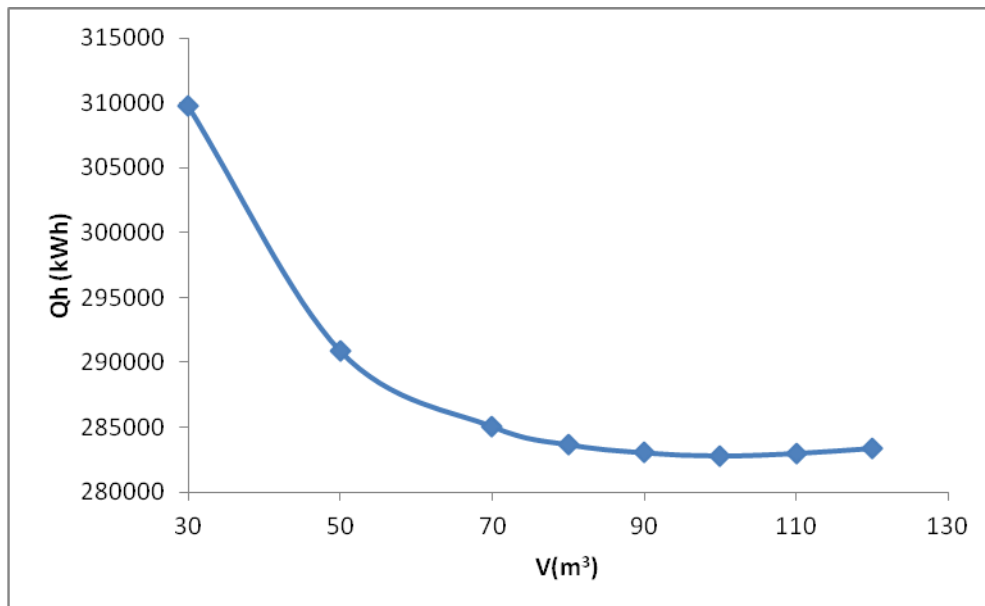
$A_c (m^2)$	$V_{tank}(m^3)$
200	1
600	50
1000	100
1400	160
1800	240
2200	310
2500	400
3000	490
5000	650

Πίνακας 4.2.1 Βέλτιστοι όγκοι δοχείων για κάποιες συλλεκτικές επιφάνειες

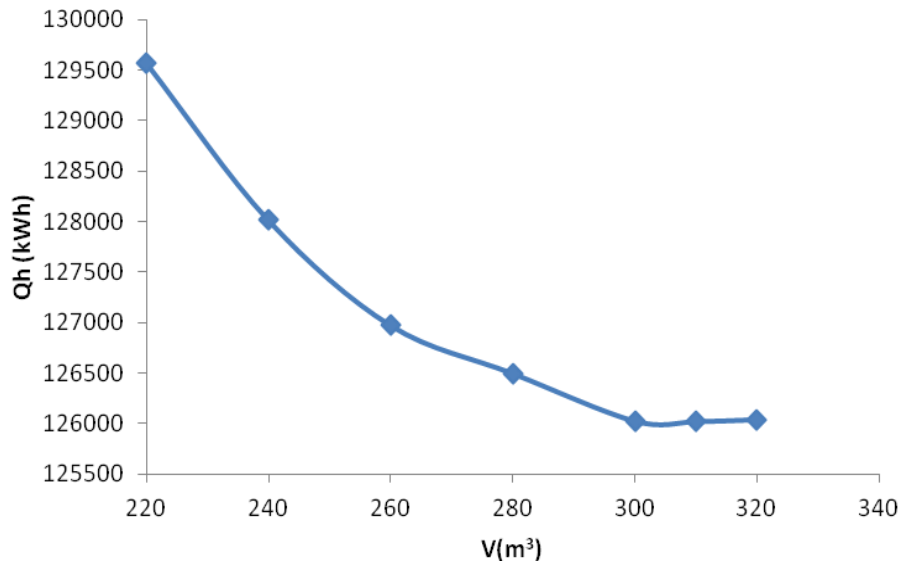
Ενδεικτικά παρουσιάζονται παρακάτω 3 διαγράμματα για 3 διαφορετικές συλλεκτικές επιφάνειες όπου φαίνεται για ποια τιμή της χωρητικότητας του δοχείου έχουμε τη λιγότερη καταναλισκόμενη ενέργεια.



Διάγραμμα 4.2.2. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=200m^2$)

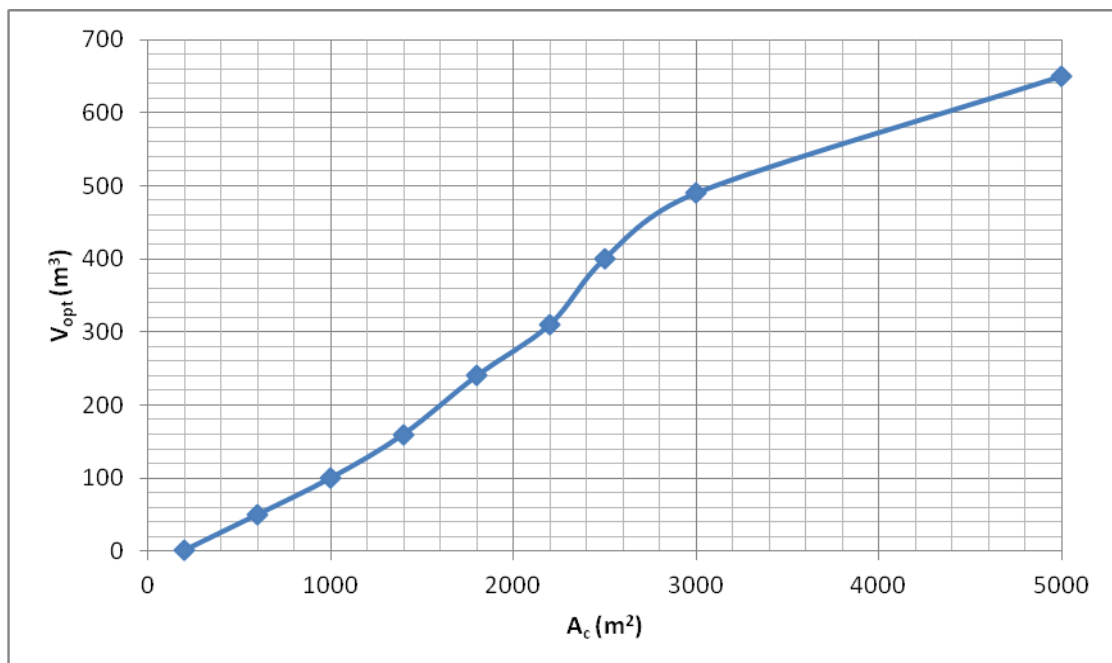


Διάγραμμα 4.2.3. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=1000m^2$)



Διάγραμμα 4.2.4. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=2200\text{m}^2$)

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η καμπύλη που δείχνει ποια είναι η βέλτιστη χωρητικότητα δοχείου ανάλογα με τη συλλεκτική επιφάνεια.



Διάγραμμα 4.2.5. Βέλτιστοι όγκοι δοχείων σε σχέση με συλλεκτική επιφάνεια

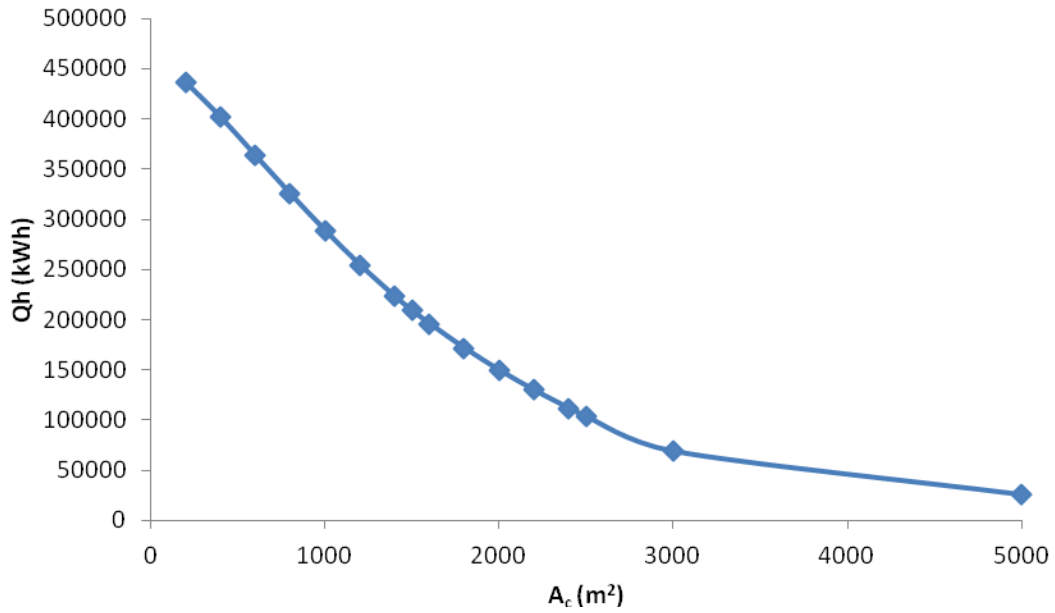
Τα σημεία της καμπύλης που είναι εμφανή αποτελούν τις περιπτώσεις που δοκιμάσαμε (Πίνακας 4.2.1) ενώ με τη βοήθεια της, βρήκαμε τις ενδιάμεσες περιπτώσεις, π.χ. σε $A_c=800\text{m}^2$ αντιστοιχεί $V_{\text{TANK}}=75\text{m}^3$. Έτσι, εμπλουτίζοντας τον Πίνακα 4.2.1., συμπληρώνεται ο παρακάτω πίνακας για τα μεγέθη των δοχείων για συλλεκτικές επιφάνειες από 200 - 5000 m^2 :

Βέλτιστοι όγκοι δοχείων για διάφορες συλλεκτικές επιφάνειες

$A_c (\text{m}^2)$	$V_{\text{TANK}}(\text{m}^3)$
200	1
400	25
600	50
800	75
1000	100
1200	130
1400	160
1500	180
1600	200
1800	240
2000	275
2200	310
2400	370
2500	400
3000	490
5000	650

Πίνακας 4.2.2 (εμπλουτισμένος)

Στη συνέχεια, για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις, τρέχουμε το TRANSYS για το εξάμηνό μας και βρίσκουμε μία καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater Qh. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα παρακάτω διάγραμμα:

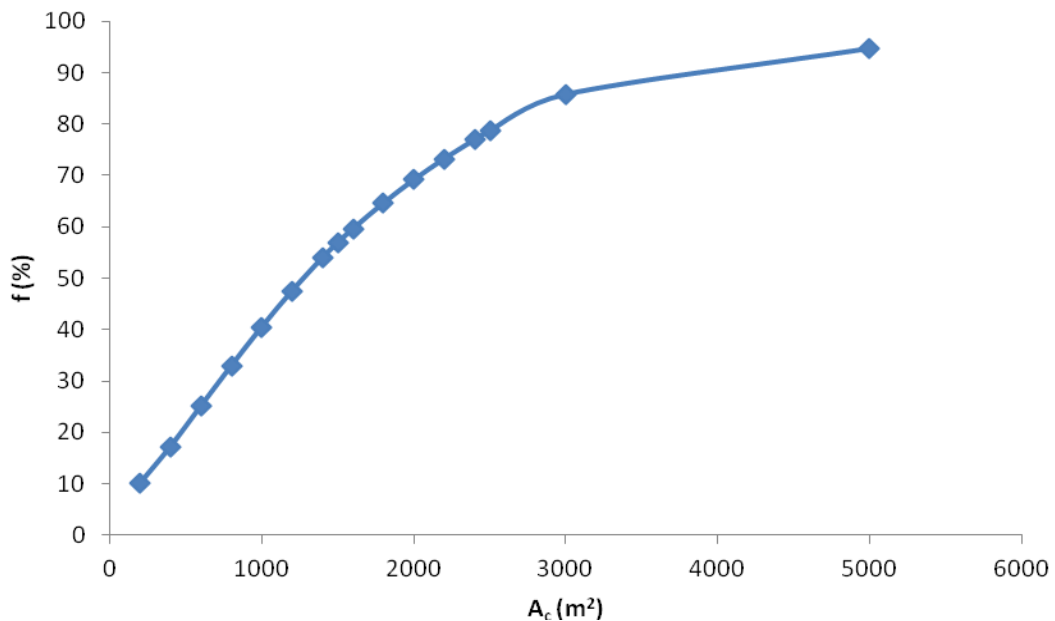


Διάγραμμα 4.2.6. Εξάρτηση της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τη συλλεκτική επιφάνεια (με βέλτιστα κάθε φορά μεγέθη δοχείων)

Με χρήση της σχέσης:

$$f = 1 - \frac{Q_{heater}}{Q_{refrig}} \quad (\text{Σχέση 4.1})$$

για την κάλυψη από τα ηλιακά, σχεδιάζεται το ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.2.7. Εξαμηνιαία κάλυψη ηλιακών ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια

Παρατηρούμε ότι, μετά από ένα ορισμένο σημείο, η αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας δεν οδηγεί σε τόση εξοικονόμηση ενέργειας όση προηγουμένως. Βλέπουμε ότι περίπου για 1600m² και για 2500m², οι 2 παραπάνω καμπύλες γίνονται πιο ομαλές, καθιστώντας κάθε φορά όλο και λιγότερο αποδοτική την αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας. Διαλέγουμε λοιπόν για την περαιτέρω ανάλυσή μας αυτές τις 2 ακραίες περιπτώσεις. Για αυτές, έχουμε:

A _c (m ²)	m _{coll} (kg/s)	V _{opt} (m ³)	Q _h (kWh)	T _{av} (°C)	T _{max} (°C)	f (%)
1600	16	200	196104	24,817	26,879	59,62
2500	25	400	103455	24,819	26,916	78,7

Οι T_{av} και T_{max} είναι η μέση και η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα του χώρου αντίστοιχα και αποτελούν ένα δείκτη για το πόσο ικανοποιητικό είναι το προφίλ, αν δεν έχουμε την ακριβή εικόνα του. Αυτές εμφανίζονται σε ένα αρχείο με τη βοήθεια ενός printer στο TRANSYS, ο οποίος είναι συνδεδεμένος με έναν αθροιστή (periodic integrator, στου οποίου τις παραμέτρους ρυθμίσαμε absolute starting και stopping hour την πρώτη και την τελευταία ώρα του εξαμήνου που τρέχουμε αντίστοιχα).

4.3. Σύστημα 3 - Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) με αντλία θερμότητας (heat pump)

Βελτιστοποίηση

Στην περίπτωση αυτή, η βελτιστοποίηση δε μπορεί να γίνει με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της καταναλισκόμενης ενέργειας στην αντλία θερμότητας, μιας και αυτή είναι πάντα σταθερή. Θα προσπαθήσουμε λοιπόν να μειώσουμε όσο πιο πολύ μπορούμε τη συλλεκτική επιφάνεια και τις χωρητικότητες των δοχείων με κριτήριο ικανοποιητικό θερμοκρασιακό προφίλ. Οι T_{av} και T_{max} υπολογίζονται κι εδώ με τον ίδιο τρόπο, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Ξεκινάμε τις δοκιμές μας για την πρώτη από τις 2 συλλεκτικές επιφάνειες που κρατήσαμε στην προηγούμενη περίπτωση, δηλ. 1600m², με παροχή αντληκτικού στους συλλέκτες 16kg/s και παροχές στους άλλους 2 κυκλοφορητές, τυχαία αρχικά, m₁ = 10kg/s και m₂ = 10kg/s.

Μειώνοντας την παροχή του πρώτου κυκλοφορητή χαμηλότερα από 1kg/s, χρειάζεται μεγαλύτερο ΔT για την ίδια ενέργεια ηλιακών με πριν. Έτσι, η θερμοκρασία του πρώτου δοχείου πέφτει πολλές φορές πολύ χαμηλά, ακόμη και υπό το μηδέν, κατάσταση ανεπιθύμητη. Η μορφή του θερμοκρασιακού προφίλ δεν αλλάζει. Ρυθμίζουμε λοιπόν m₁ = 1kg/s. Μειώνοντας την παροχή του δεύτερου κυκλοφορητή, δεν παίρνουμε σε όλες τις περιόδους από την αντλία θερμότητας την απαιτούμενη από το κτίριο, και κατά συνέπεια από τον chiller, ισχύ. Ρυθμίζεται σε m₂ = 8kg/s. Μεγαλύτερες παροχές δεν προσφέρουν κάτι παραπάνω όσον αφορά στα υπό μελέτη αποτελέσματα.

Για διάφορες, όχι ακραίες, τιμές όγκων δοχείων, δηλ. ανάμεσα σε 10 και 200m³, το προφίλ είναι ικανοποιητικό (βλ. π.χ. Διάγραμμα 4.3.3), ενώ σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρούνται κάπως αυξημένες θερμοκρασίες στην αρχή ή/και σε κάποιου άλλους μήνες, κατά βάση στους τελευταίους, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο (βλ. Διαγράμματα 4.3.2 και 4.3.1).

Για παράδειγμα, με

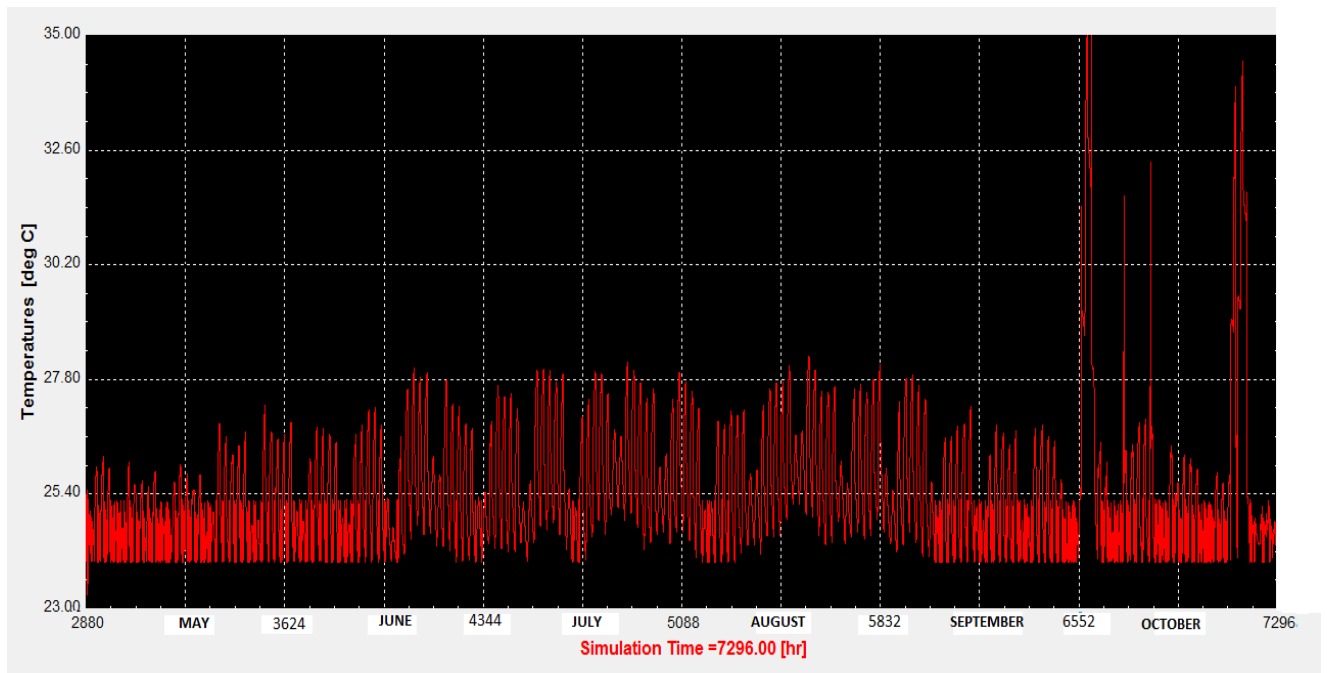
m ₁ (kg/s)	m ₂ (kg/s)	A _c (m ²)	m _{coll} (kg/s)	V ₁ (m ³)	V ₂ (m ³)
1	8	1600	16	40	140

, έχουμε T_{av} = 25,412°C, T_{max} = 33,534°C (βλ. Διάγραμμα 4.3.3). Αυτή η T_{max} όμως, φαίνεται, στην περίπτωση αυτή, ότι εμφανίζεται μόνο στις πρώτες λίγες ώρες του εξαμήνου και από κει και πέρα η θερμοκρασία δεν ξεπερνά τους 28°C. Έτσι λοιπόν, θεωρούμε ότι, στην πραγματικότητα, για το παραπάνω παράδειγμα, έχουμε T_{av} = 25,412°C, T_{max} = 28°C. Η μέση θερμοκρασία του χώρου της προηγούμενης περίπτωσης ήταν T_{av} = 24,817°C και η μέγιστη T_{max} = 26,879°C. Μιλάμε δηλ. για μία αύξηση στην T_{av} της τάξης του 2,4% και στην T_{max} της τάξης του 4%. Μπορούμε να θεωρήσουμε έτσι, ότι κάνουμε σύγκριση για παρόμοιες, σχεδόν ίδιες, συνθήκες, θερμικής άνεσης στο χώρο μας για τις περιπτώσεις 2 και 3. Στη βελτιστοποίησή μας λοιπόν, θα προσπαθήσουμε να μειώσουμε όσο γίνεται την T_{av}, ώστε να είναι ακόμη καλύτερη η σύγκριση, αλλά κυρίως να εξαφανίσουμε τις αυξημένες θερμοκρασίες, τις «μύτες» μέσα στο εξάμηνο, χωρίς να μας απασχολήσουν οι αυξημένες θερμοκρασίες στις πρώτες λίγες ώρες της προσομοίωσής μας. Αυτές οι πρώτες ώρες αντιστοιχούν στο χρόνο που απαιτείται για να ζεσταθεί επαρκώς το εργαζόμενο μέσο του δεύτερου δοχείου. Ας μην ξεχνάμε πως ο chiller είναι διβάθμιος και λειτουργεί με μεγαλύτερο COP και άρα μεγαλύτερη θερμοκρασία εισόδου του μέσου, T_{in} = 140°C, η οποία χρειάζεται κάποιο χρόνο για να φταστεί. Στο Διάγραμμα 4.3.1 μπορούμε να δούμε την επίδραση που έχει στο προφίλ, και συγκεκριμένα στις αρχικές αυξημένες θερμοκρασίες, η ελάττωση του όγκου του δεύτερου δοχείου: Όσο πιο μικρό είναι, τόσο πιο γρήγορα και έγκαιρα ζεσταίνεται επαρκώς (δηλ. 140°C και άνω) το εργαζόμενο μέσο και τόσο πιο γρήγορα αρχίζει να ψύχεται αποτελεσματικά το κτίριο. Βέβαια, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, βλέπουμε ότι, εξ' αιτίας του μικρού μεγέθους του δοχείου, δεν έχει περισσέψει αρκετό ζεστό λάδι για το Σεπτέμβριο και τον Οκτώβριο από προηγούμενους μήνες. Σε αυτούς, η χαμηλή σχετικά θερμοκρασία περιβάλλοντος δε μπορεί να δώσει πολλή ενέργεια στα ηλιακά με αποτέλεσμα και η αντλία θερμότητας να μη μπορεί πάντα να παρέχει τόσο ζεστό λάδι, ώστε να λειτουργεί ο chiller αποτελεσματικά.

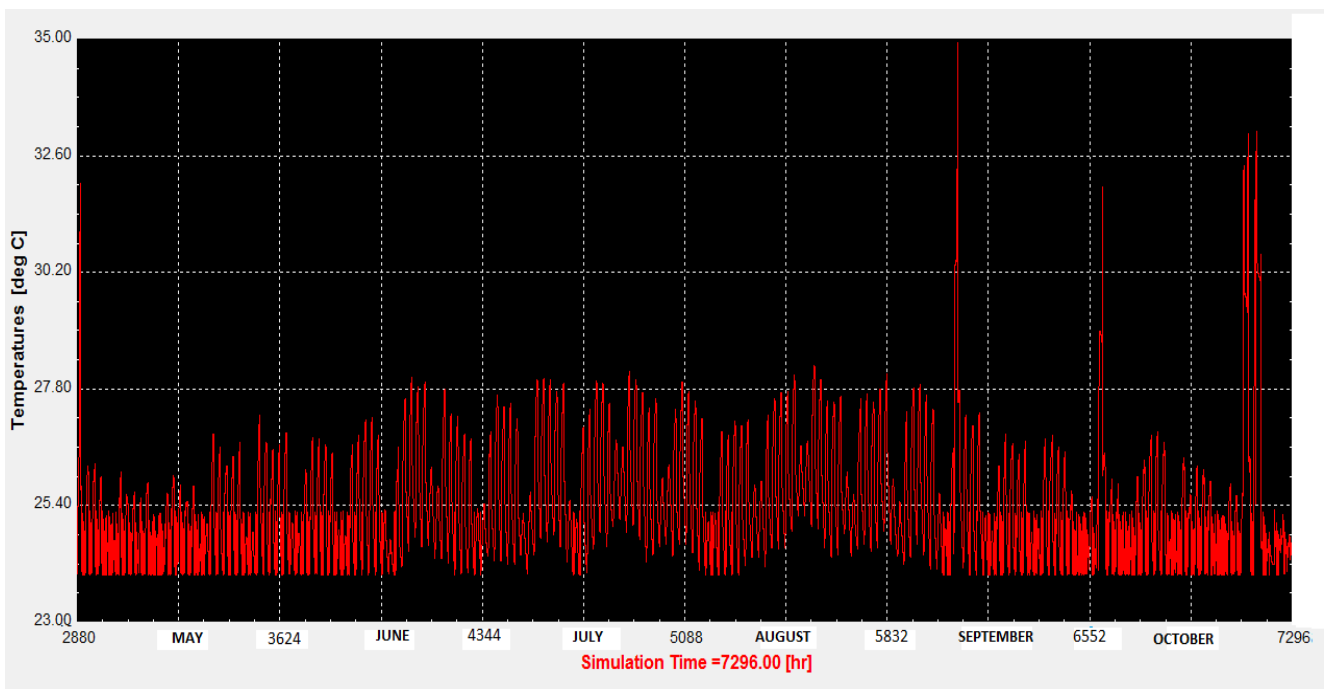
Εδώ παρατηρείται ακόμη και μία εμφάνιση «μύτης», δηλ. αυξημένων θερμοκρασιών άνω των 30°C για 1-10 ώρες κάπου μέσα στο εξάμηνο.

Στο Διάγραμμα 4.3.2. βλέπουμε πάλι «μύτες» καθώς επίσης και αυξημένες θερμοκρασίες τις πρώτες ώρες του εξαμήνου.

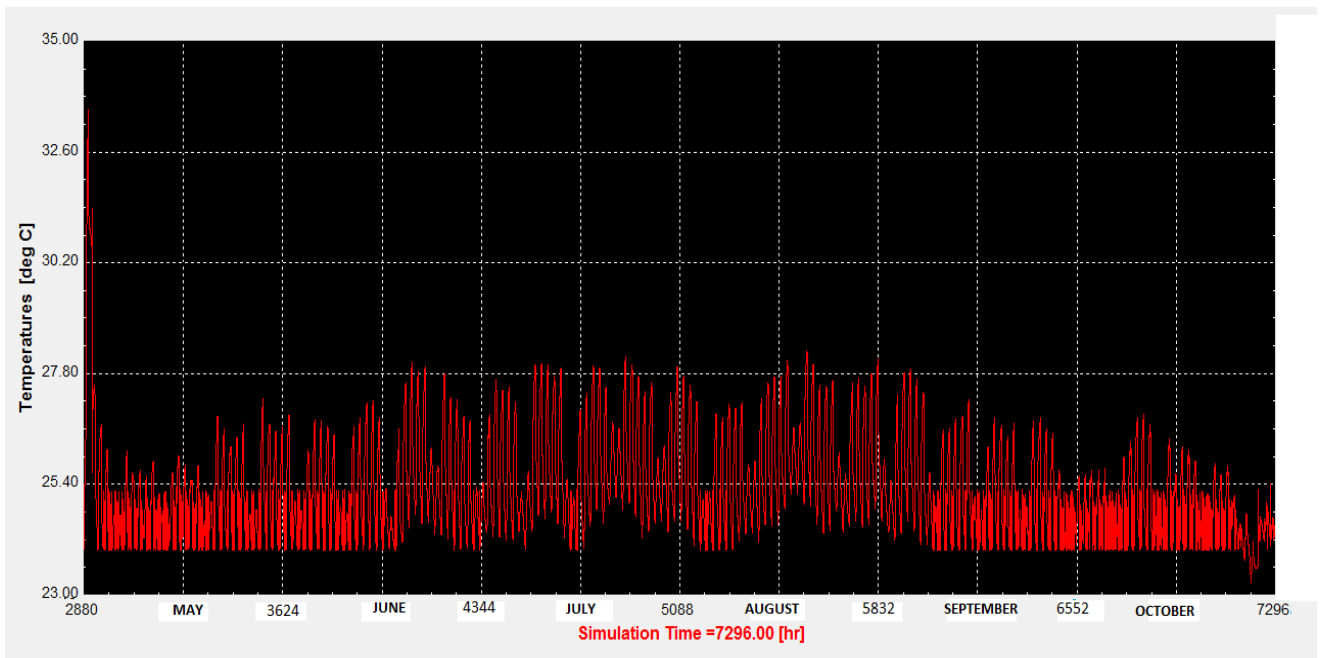
Στο Διάγραμμα 4.3.3. δεν υπάρχουν «μύτες», ενώ υπάρχουν αυξημένες θερμοκρασίες για αρκετές από τις πρώτες ώρες του εξαμήνου, λόγω του μεγάλου όγκου του δοχείου.



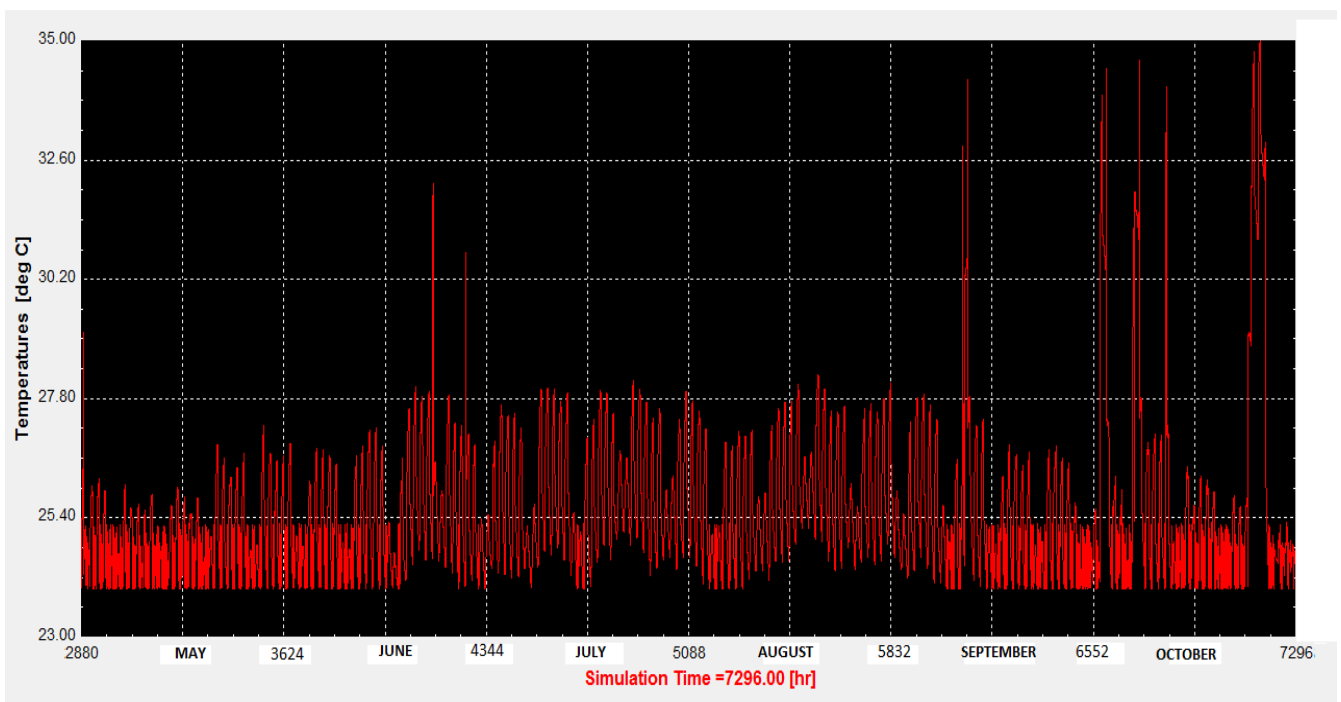
Διάγραμμα 4.3.1. Θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=1600m^2$ και όγκους δοχείων $V_1=100m^3$ και $V_2=20m^3$



Διάγραμμα 4.3.2. Θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=1600m^2$ και όγκους δοχείων $V_1=10m^3$ και $V_2=40m^3$

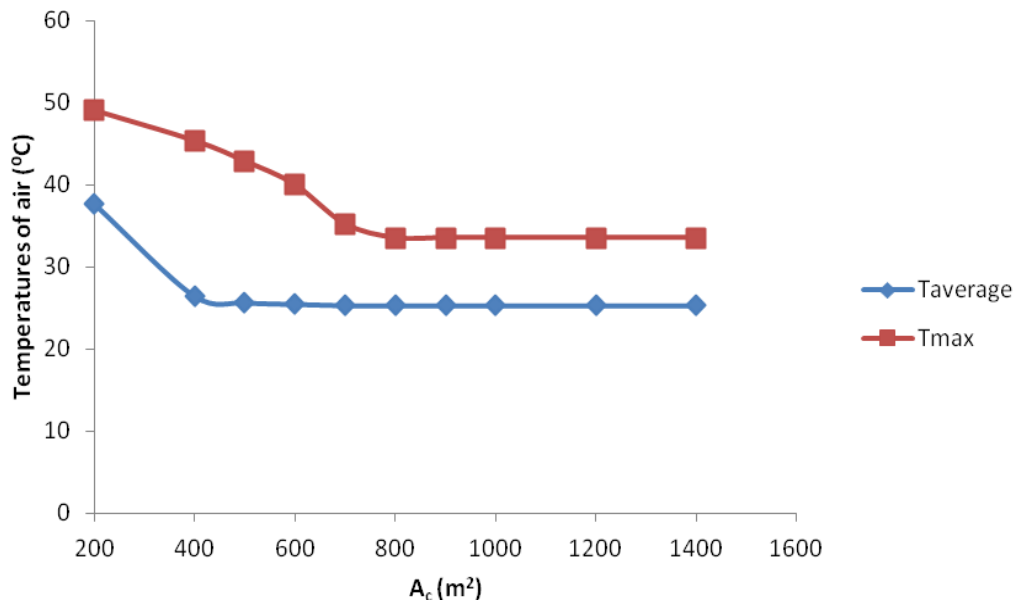


Διάγραμμα 4.3.3. Θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=1600m^2$ και όγκους δοχείων $V_1=40m^3$ και $V_2=140m^3$



Διάγραμμα 4.3.4. Θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=800m^2$ και όγκους δοχείων $V_1=100m^3$ και $V_2=40m^3$

Έτσι, για χωρητικότητες δοχείων $V_1 = V_2 = 100\text{m}^3$ (και παροχές κυκλοφορητών $m_1 = 1\text{kg/s}$ και $m_2 = 8\text{kg/s}$), βρίσκουμε τη μέση και τη μέγιστη θερμοκρασία χώρου του σπιτιού σε σχέση με τη συλλεκτική επιφάνεια, οι οποίες απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



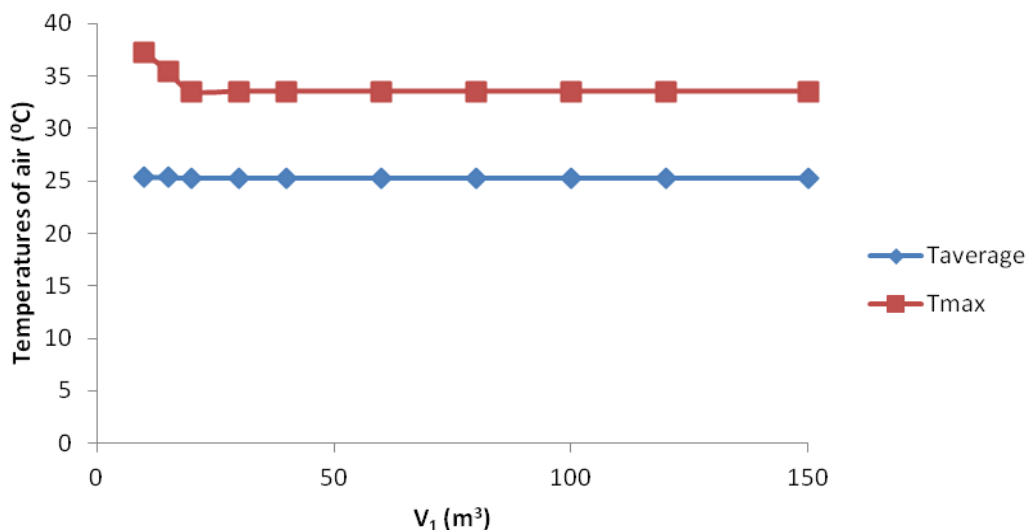
Διάγραμμα 4.3.5. Μέση και μέγιστη θερμοκρασία αέρα σπιτιού ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια για $V_1=V_2=100\text{m}^3$

Παρατηρούμε ότι από τα 800m^2 και μετά σταθεροποιείται και η μέση και η μέγιστη θερμοκρασία στους $25,279^\circ\text{C}$ και στους $33,534^\circ\text{C}$ αντίστοιχα, θερμοκρασίες ικανοποιητικές όσον αφορά στη θερμική άνεση στο κτίριο.

Στη συνέχεια, δοκιμάζουμε, για τα ίδια δεδομένα, διαφορετικές χωρητικότητες:

- στο πρώτο δοχείο.

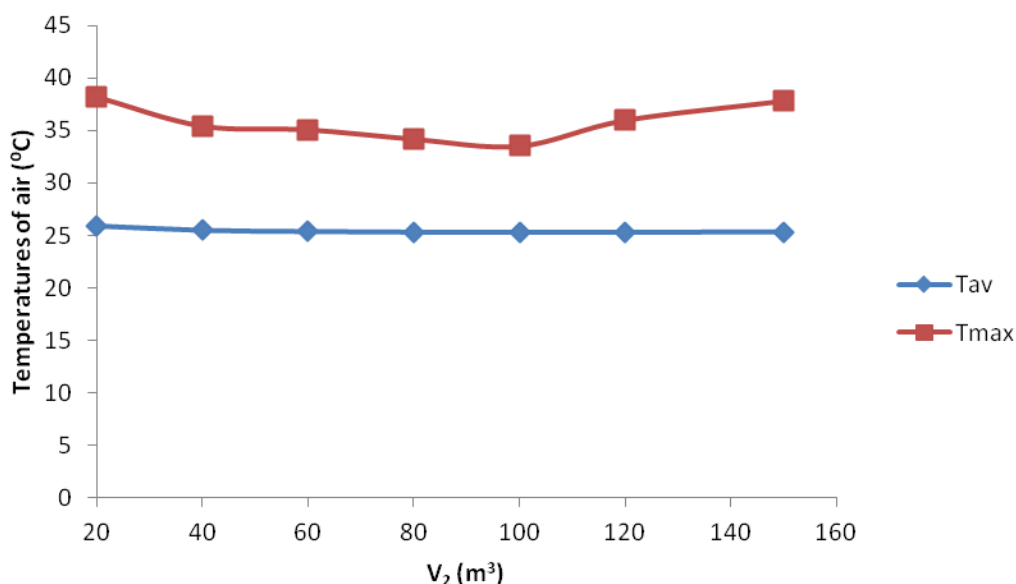
Οι θερμοκρασίες παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



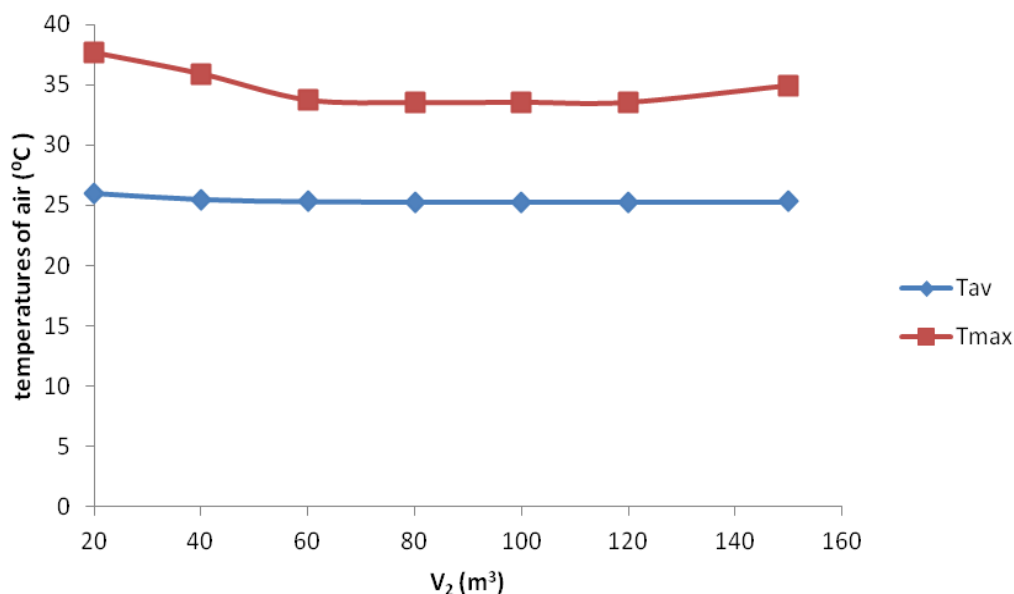
Διάγραμμα 4.3.6. Μέση και μέγιστη θερμοκρασία αέρα σπιτιού ανάλογα με V_1 για $A_c=800m^2$ και $V_2=100m^3$

Παρατηρούμε ότι δε χρειάζεται δοχείο μεγαλύτερο από $20m^3$ για να πετύχουμε καλές θερμοκρασίες. Όσο και να το αυξήσουμε πέρα από $20m^3$, αυτές παραμένουν σταθερές. Για $V_1 = 20m^3$ και $V_2 = 100m^3$ λοιπόν, έχουμε $T_{av} = 25,288^\circ C$ και $T_{max} = 33,534^\circ C$.

➤ στο δεύτερο δοχείο.



Διάγραμμα 4.3.7. Μέση και μέγιστη θερμοκρασία αέρα σπιτιού ανάλογα με V_2 για $A_c=800m^2$ και $V_1=20m^3$



Διάγραμμα 4.3.8. Μέση και μέγιστη θερμοκρασία αέρα σπιτιού ανάλογα με V_2 για $A_c=800m^2$ και $V_1=100m^3$

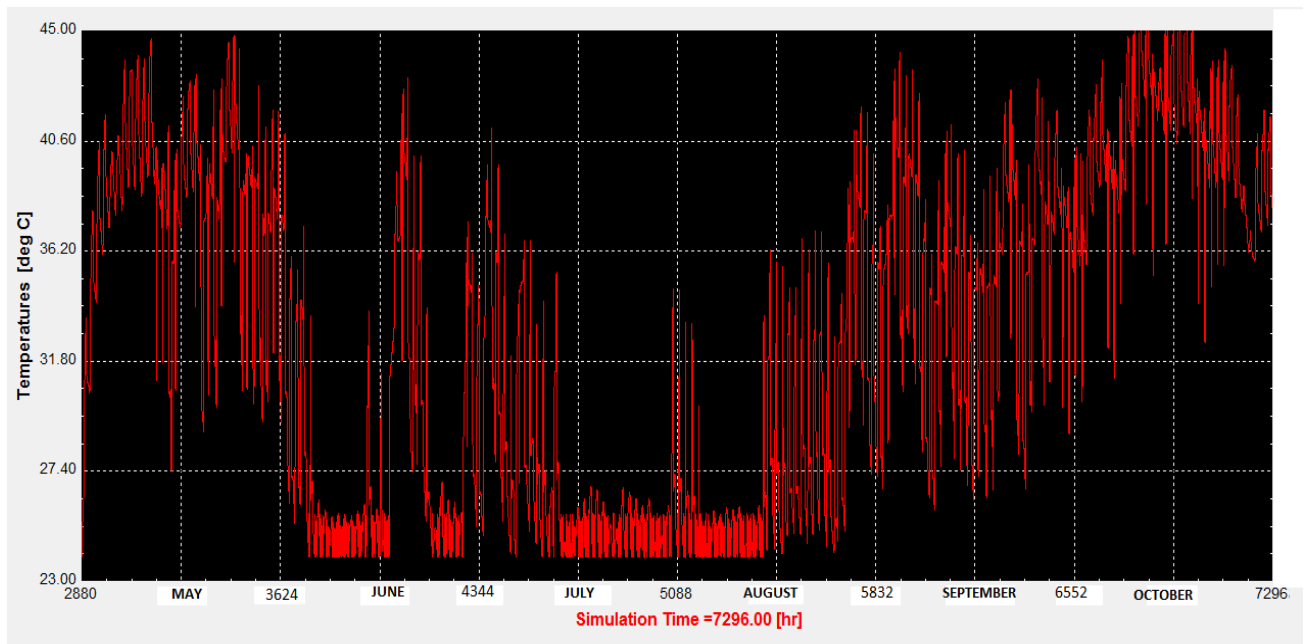
Στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται, ότι, κρατώντας σταθερή τη χωρητικότητα του πρώτου δοχείου, η αλλαγή στη χωρητικότητα του δεύτερου δοχείου ελάχιστα επηρεάζει τη μέση θερμοκρασία ενώ αυξάνει κάπως τη μέγιστη για ακραίες τιμές (20 ή 160m³). (Αυτή η άυξηση της T_{max} γίνεται αμέσως φανερή και από τη μορφή του διαγράμματος, όπου παρατηρούνται πολύ περισσότερες μύτες (βλ. Διάγραμμα 4.3.4).) Και για τις 2 περιπτώσεις εκλέγεται βέλτιστη περίπτωση $V_2 = 100m^3$. Στο σύστημά μας, λοιπόν, η βέλτιστη περίπτωση είναι η ακόλουθη:

A_c (m ²)	m_{coll} (kg/s)	V_1 (m ³)	m_1 (kg/s)	V_2 (m ³)	m_2 (kg/s)	Qh(kWh)	T_{av} (°C)	T_{max} (°C)
800	8	20	1	100	8	344625	25,288	33,534

4.4. Σύστημα 4 - Συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC)

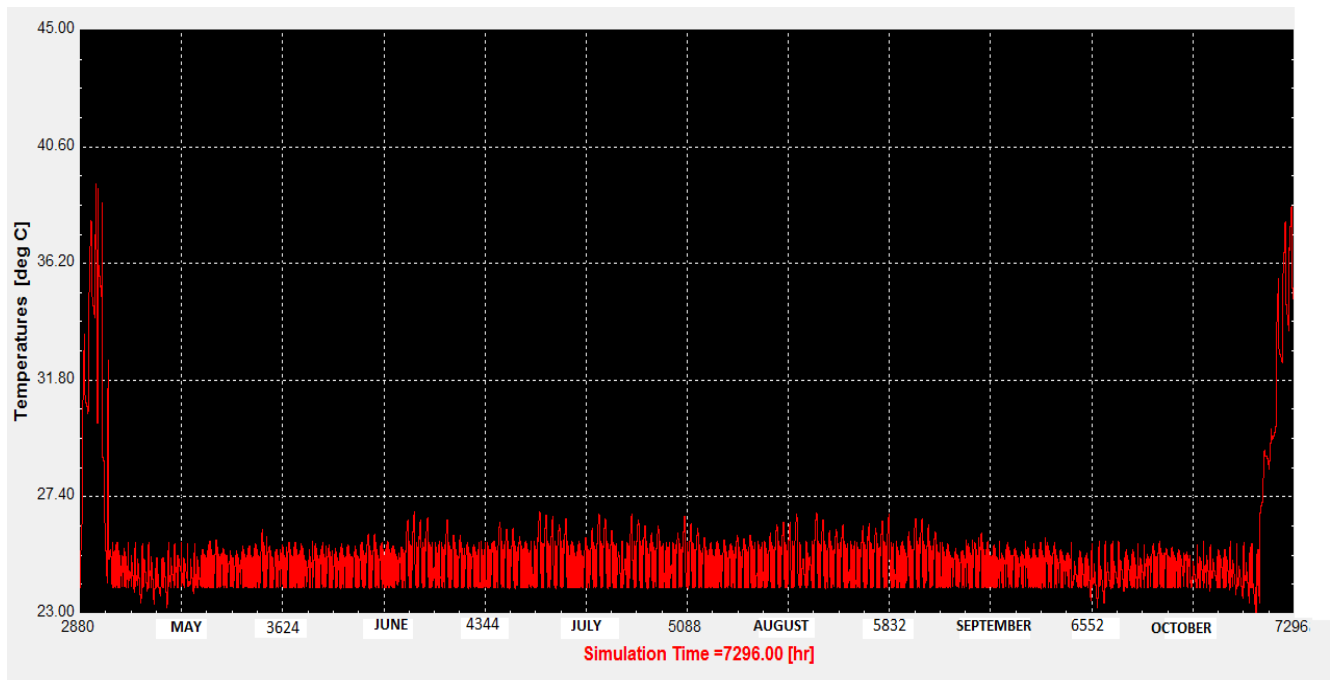
Βελτιστοποίηση

Θέλουμε πάλι να δούμε πόσα τετραγωνικά συλλεκτών και πόσα κυβικά δοχείο αποτελούν τη βέλτιστη επιλογή. Για λιγότερα από 1500-2000m² παρατηρούμε ότι, όσο μεγάλο δοχείο και να χρησιμοποιηθεί, δεν εμφανίζεται καλό θερμοκρασιακό προφίλ. Για παράδειγμα, παρουσιάζεται παρακάτω το θερμοκρασιακό προφίλ για $A_c=1000m^2$ και $V=300m^3$:



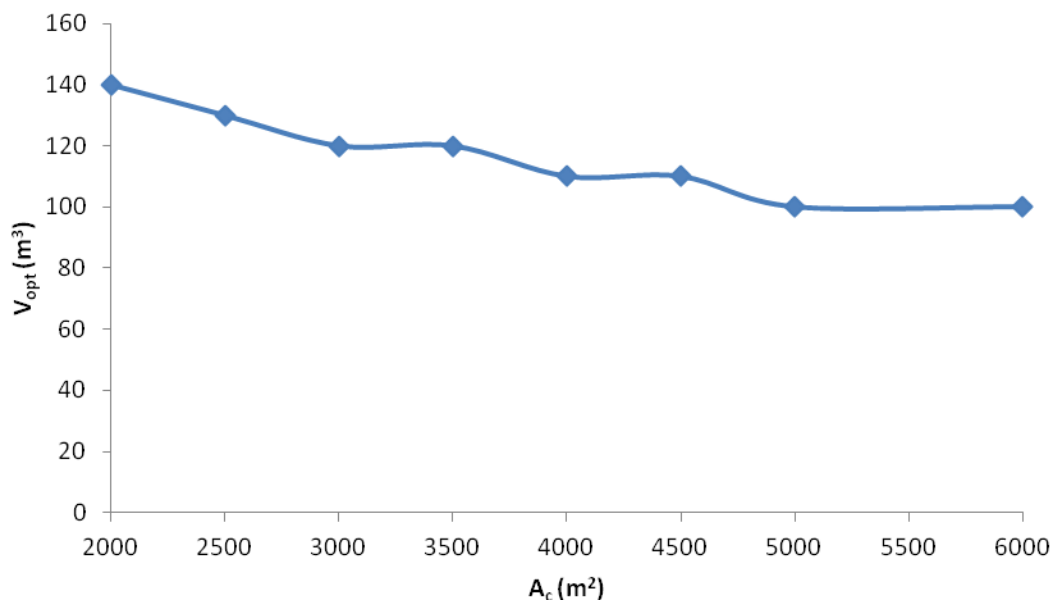
Διάγραμμα 4.4.1. Θερμοκρασιακό προφίλ εξαμήνου για $A_c=1000m^2$ και $V=300m^3$

Κι εδώ, για τους ίδιους λόγους, κάποιους μήνες, η θερμοκρασία του σπιτιού ξεπερνάει πολλές φορές τους 28-29°C (εμφανίζονται «μύτες» στο διάγραμμα). Για περισσότερα τετραγωνικά συλλεκτών και συγκεκριμένες χωρητικότητες δοχείων, πετυχαίνεται να εξαλείψουμε τις αυξημένες θερμοκρασίες σε όλες τις περιόδους εκτός από την αρχή (χρόνος απαραίτητος για να ζεσταθεί το εργαζόμενο μέσο επαρκώς για να λειτουργήσει ο chiller), και τις τελευταίες ώρες του Οκτωβρίου. Αυτό παρουσιάζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 4.4.2. Θερμοκρασιακό προφίλ εξαμήνου για $A_c=2000m^2$ και $V=140m^3$ (βέλτιστη περίπτωση)

Στο ακόλουθο διάγραμμα, παρουσιάζεται ο ελάχιστος δυνατός όγκος δοχείου για κάθε συλλεκτική επιφάνεια, ώστε να έχουμε ικανοποιητικό προφίλ, παρόμοιο με εκείνο του διαγράμματος 4.4.2 (δηλ. με ανωμαλίες μόνο στην αρχή και στις τελευταίες ώρες του Οκτωβρίου).



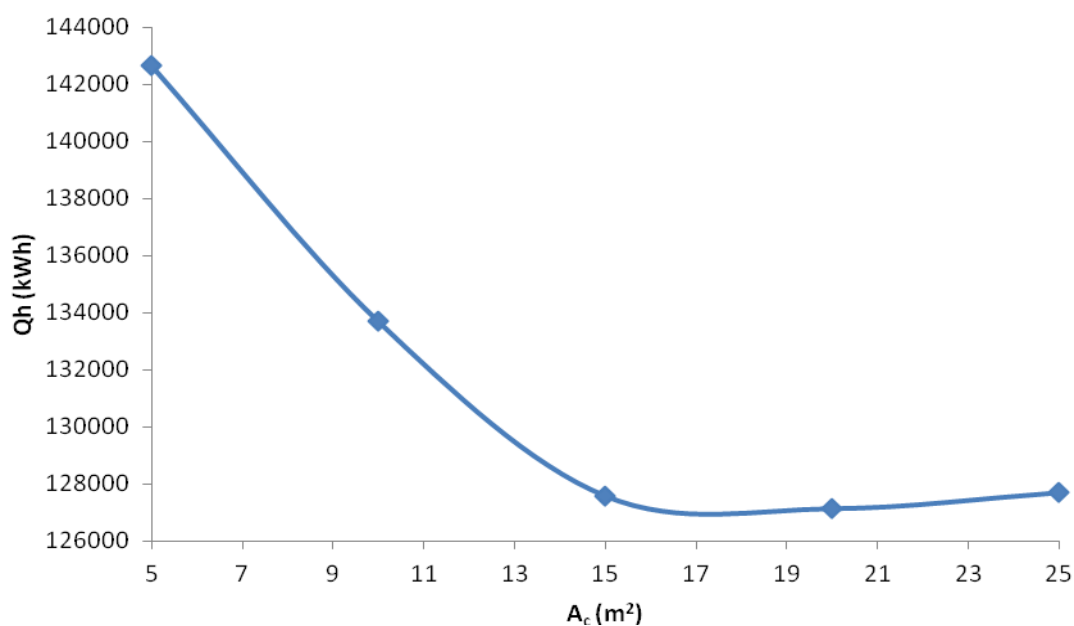
Διάγραμμα 4.4.3. Ελάχιστος όγκος δοχείου ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια για ικανοποιητικό προφίλ

Βλεπουμε ότι, αν αυξησουμε τα ηλιακά πάνω από 2000m^2 , η μείωση του βέλτιστου όγκου του δοχείου που επιτυγχάνεται δεν είναι καθόλου σημαντική σε σχέση με τα παραπάνω έξοδα για τα έξτρα τετραγωνικά συλλεκτών. Διαλέγουμε λοιπόν ως βέλτιστη την περίπτωση των 2000m^2 με $V=140\text{m}^3$ (Διάγραμμα 4.4.2).

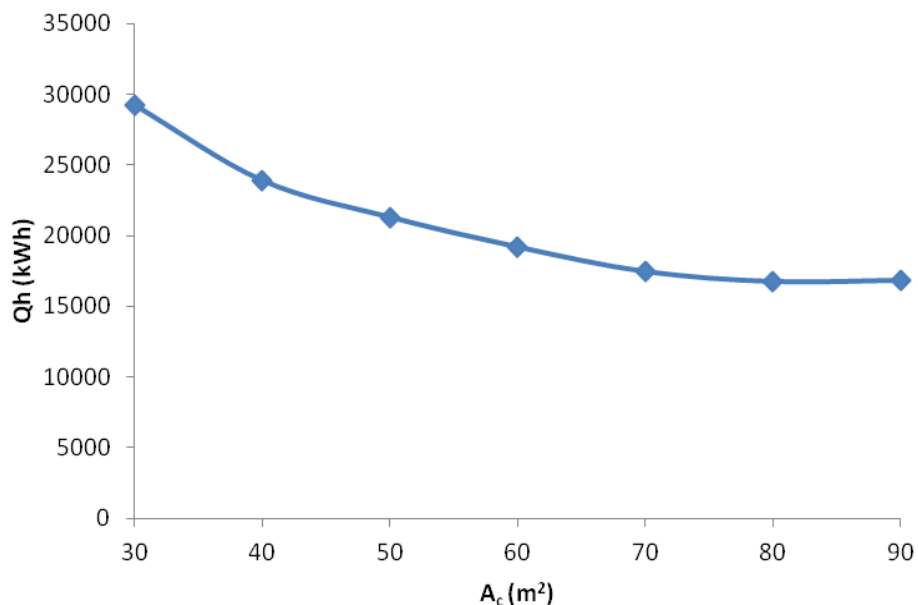
4.5. Σύστημα 5 – Συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC) με λέβητα (heater)

Βελτιστοποίηση

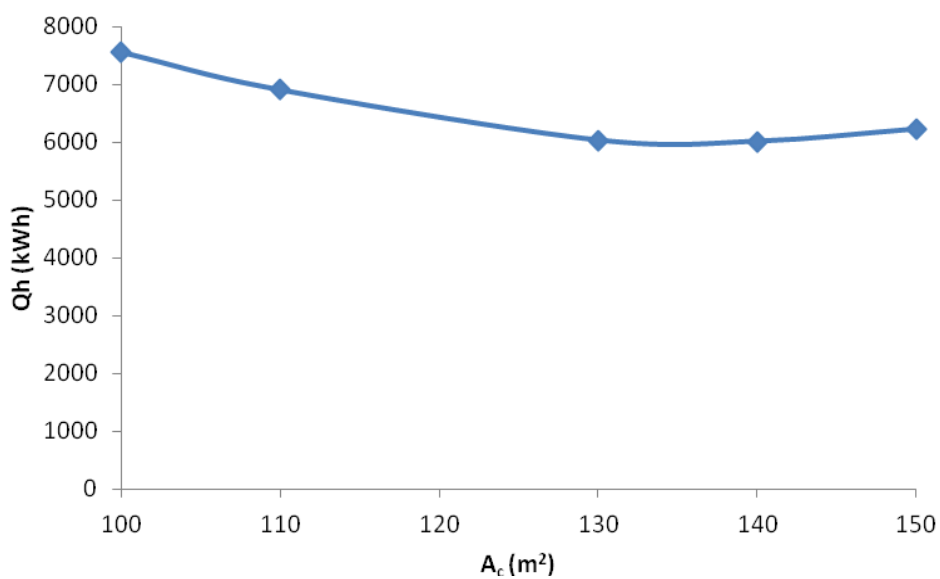
Εδώ δεν έχουμε αυξημένες θερμοκρασίες στην αρχή εξ' αιτίας του μικρού όγκου των δοχείων και του heater. Όπως στο σύστημα 2, υπολογίζονται οι βέλτιστοι όγκοι δοχείου για κάποιες συλλεκτικές επιφάνειες.



Διάγραμμα 4.5.1. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=500\text{m}^2$)

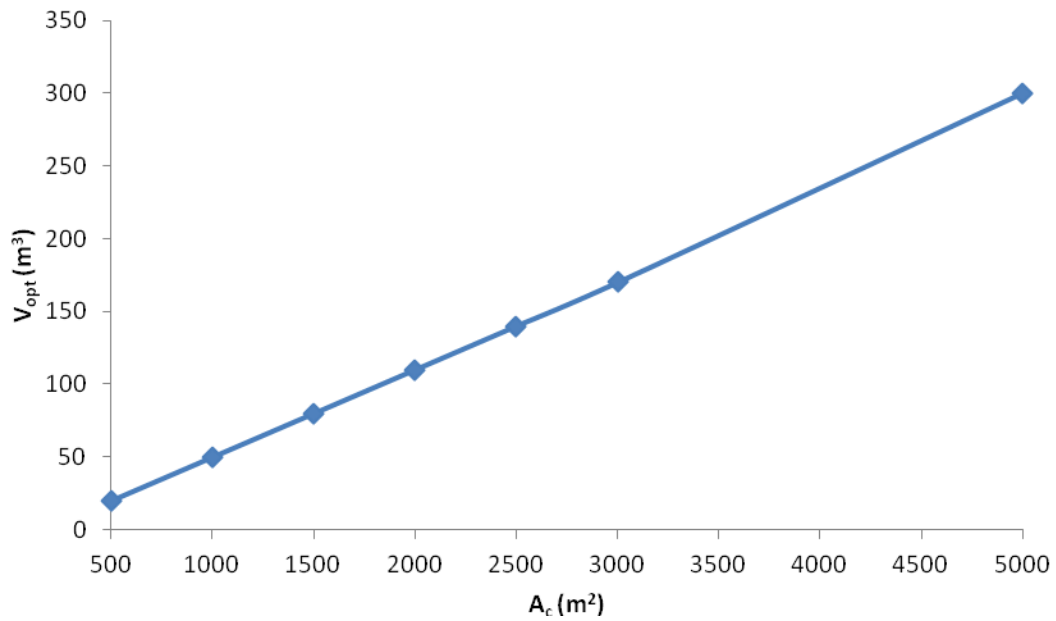


Διάγραμμα 4.5.2. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=1500m^2$)



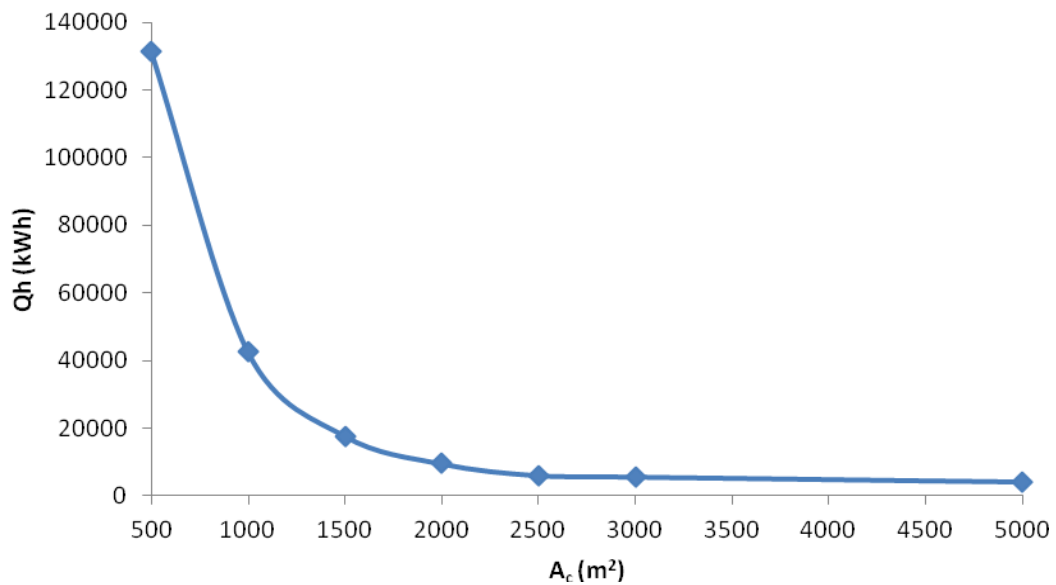
Διάγραμμα 4.5.3. Όγκος δοχείου σε σχέση με καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater (για $A_c=2500m^2$)

Οι βέλτιστοι όγκοι δοχείων για συλλεκτικές επιφάνειες από 500 – 5000m³ βρίσκονται με γραμμική παρεμβολή και απεικονίζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.5.4. Βέλτιστοι όγκοι δοχείων σε σχέση με συλλεκτική επιφάνεια

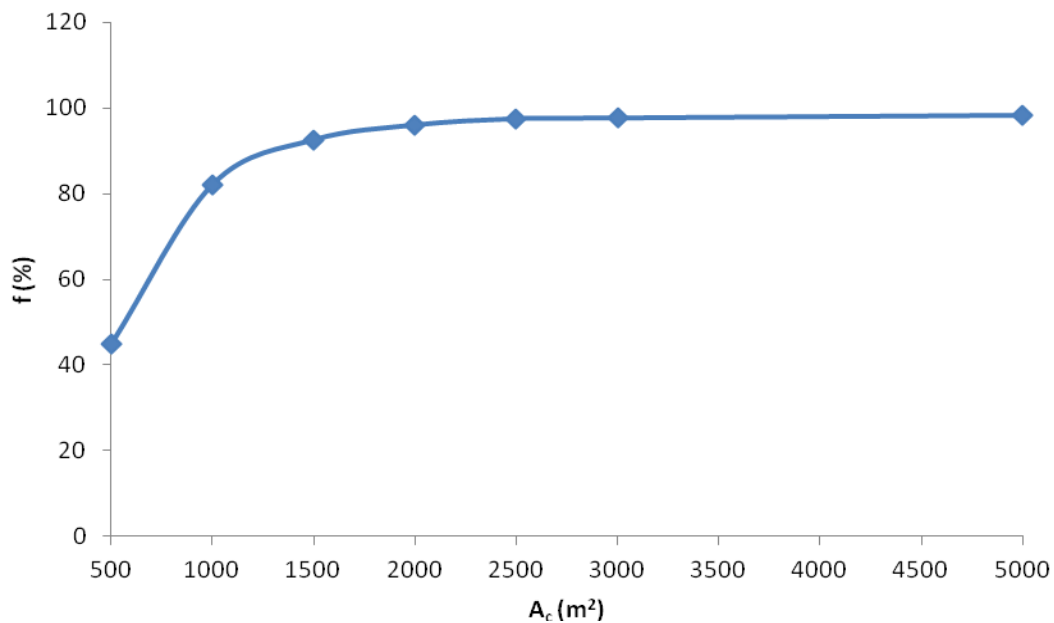
Στη συνέχεια, για κάθε μια από αυτές τις περιπτώσεις, τρέχουμε το TRANSYS για το εξάμηνό μας και βρίσκουμε μία καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater Q_h . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 4.5.5. Καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater σε σχέση με συλλεκτική επιφάνεια

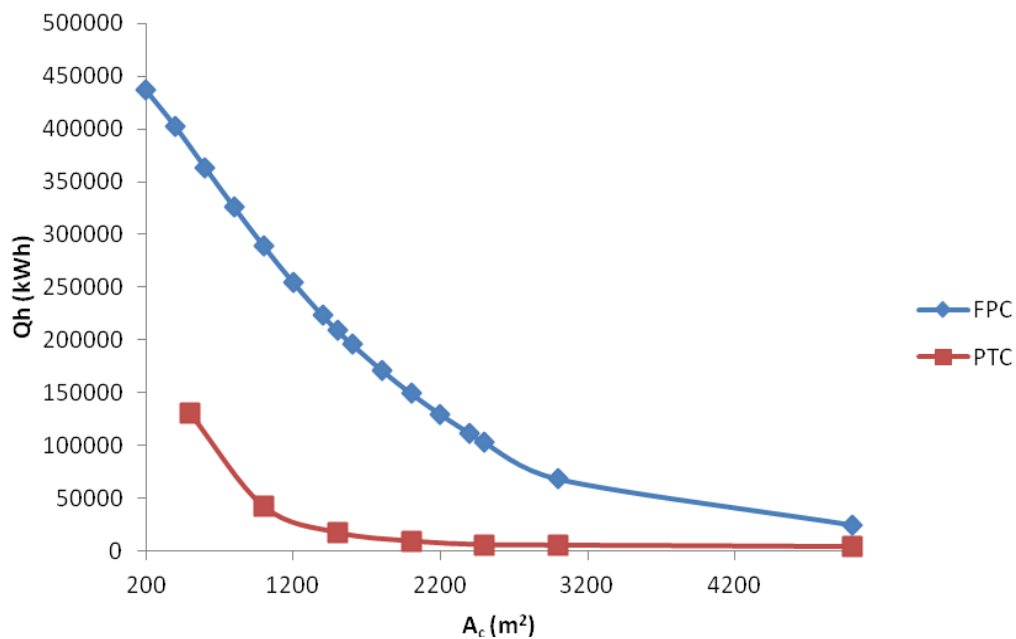
Εδώ παρατηρούμε ότι η αύξηση της συλλεκτικής επιφάνειας πάνω από 1500 - 2000m² δεν οδηγεί σε τόση εξοικονόμηση ενέργειας όση προηγουμένως. Αυτή είναι λοιπόν η βέλτιστη περίπτωση.

Όπως και στο δεύτερο σύστημα, βρίσκεται κι εδώ η εξαμηνιαία κάλυψη f:

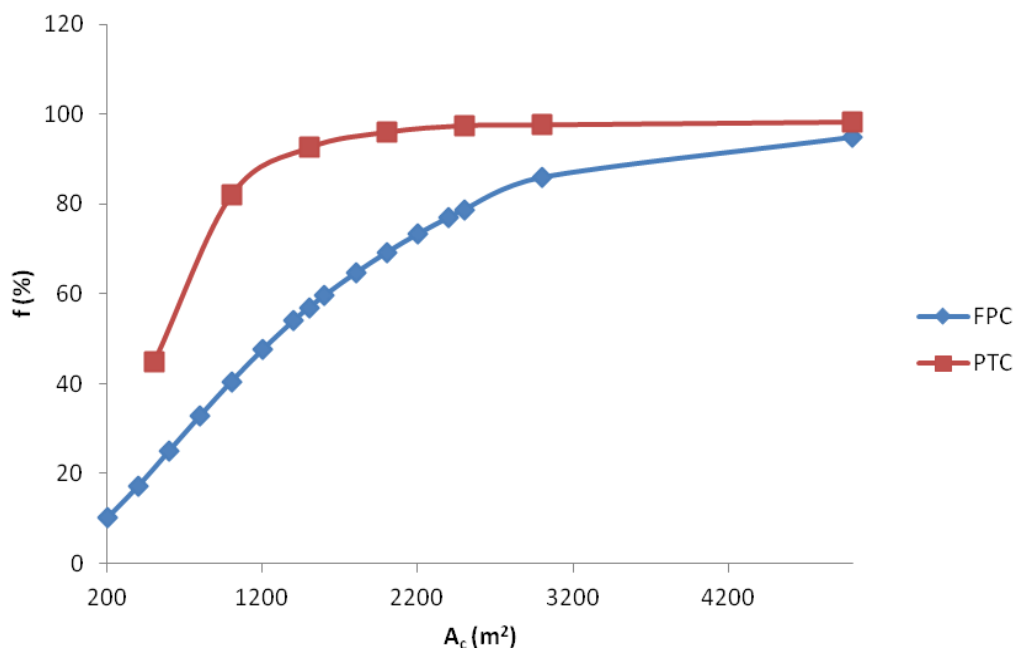


Διάγραμμα 4.5.6. Εξαμηνιαία κάλυψη ηλιακών ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια

Μία σύγκριση των συστημάτων 2 και 5 όσον αφορά στην ενέργεια που καταναλώνεται στον heater και στην κάλυψη από τα ηλιακά απεικονίζεται στα παρακάτω 2 διαγράμματα:



Διάγραμμα 4.5.7. Καταναλισκόμενη ενέργεια στον heater σε σχέση με συλλεκτική επιφάνεια για FPC και PTC



Διάγραμμα 4.5.8. Εξαμηνιαία κάλυψη ηλιακών ανάλογα με συλλεκτική επιφάνεια για FPC και PTC

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι οι PTC είναι πολύ αποτελεσματικότεροι από τους FPC. Το αν στην πράξη συμφέρουν πιο πολύ, θα το δείξει η οικονομική αξιολόγηση που ακολουθεί στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οι βέλτιστες περιπτώσεις για καθένα από τα 5 παραπάνω συστήματα συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Συστήματα	A _c (m ²)	Q _{ei} (kWh)	V _{tank} (m ³)
1. Flat plate collectors	a. 6000 b. 7000		600 500
2. FPC+auxiliary heater	a. 1600 b. 2500	196104 103455	200 400
3. FPC+heat pump	800	344625	20 + 100
4. Parabolic trough collectors	2000		140
5. PTC+auxiliary heater	a. 2000 b. 1500	9547 17721	110 80

Πίνακας 5.1 Συγκεντρωτικά οικονομικά στοιχεία

Θα αναγάγουμε τα κόστη όλων των παραπάνω περιπτώσεων σε Net Present Value (NPV) για έναν χρονικό ορίζοντα έστω N=20 έτη. Θεωρούμε ότι το κόστος συντήρησης είναι 1% και ο συντελεστής r=5%. Πρώτα λοιπόν θα υπολογίσουμε τα capital costs σε euro, στη συνέχεια το κόστος συντήρησης σε euro/year και τέλος, με τη βοήθεια της σχέσης για αναγωγή ετήσιου κόστους στο παρόν :

$$K_{\text{παρόν}} = K_{\text{ετήσιο}} \frac{1}{(1+r)^N} \quad (\text{Σχέση 5.1})$$

και κατ'επέκταση της σχέσης για αναγωγή όλων των ετήσιων κοστών αθροισμένων στο παρόν (ως αθροισμα όρων γεωμετρικής προόδου):

$$\Sigma K_{\text{παρόν}} = K_{\text{ετήσιο}} \frac{1}{(1+r)} \frac{\frac{1}{(1+r)^N} - 1}{\frac{1}{(1+r)} - 1} \quad (\text{Σχέση 5.2})$$

, θα υπολογίσουμε τα NPV όλων των περιπτώσεων ως : NPV = capital cost + ΣK_{παρόν}

Κοστολογώντας τα παρακάτω:

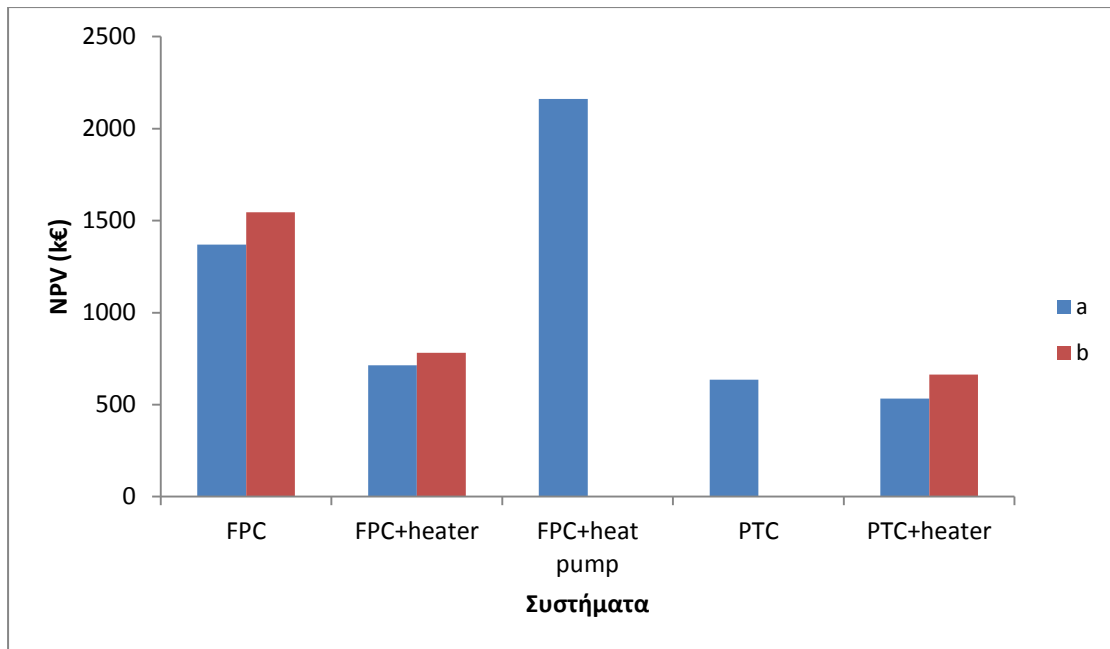
	Κόστος	Reference - Πηγή
1-stage chiller	268,3 €/kW	[57]
2-stage chiller	279 €/kW	[57]
FPC	175 €/m ²	[58]
PTC	250 €/m ²	[59]
Κυκλοφορητής	700 €	[60]
heater	85 €/kW	[60]
Tank1	150 €/m ³	Καρακούσης A.B.E.E., πληροφόρηση μετά από επικοινωνία
Tank2	550 €/m ³	[61]
Αντλία θερμότητας	620 €/kW	[62]
Θερμική ενέργεια	0,12 €/kWh	Τρέχουσες τιμές αγοράς
ρεύμα	0,12 €/kWh	Τρέχουσες τιμές αγοράς
λοιπά	250 €/kW	[61]

Πίνακας 5.2 Κοστολόγηση

υπολογίζουμε τα capital costs των περιπτώσεων που μας αφορούν ως άθροισμα των κοστών των επιμέρους εξαρτημάτων επιβαρυμένο με ένα 10%, που είναι το κόστος εγκατάστασης [61]. Έτσι, έχουμε τα NPV:

Συστήματα	A _c (m ²)	Q _{el} (kWh)	V _{tank} (m ³)	NPV (κ€)
1. Flat plate collectors	a. 6000		600	1369,56
	b. 7000		500	1545,56
2. FPC+auxiliary heater	a. 1600	196104	200	713,53
	b. 2500	103455	400	781,23
3. FPC+heat pump	800	344625	20 + 100	2161,63
4. Parabolic trough collectors	2000		140	636,01
5. PTC+auxiliary heater	a. 1500	17721	80	533,81
	b. 2000	9547	110	664,04

Πίνακας 5.3 Συγκεντρωτικά στοιχεία για τις 5 περιπτώσεις



Διάγραμμα 5.1 Καθαρή παρούσα αξία των 5 περιπτώσεων

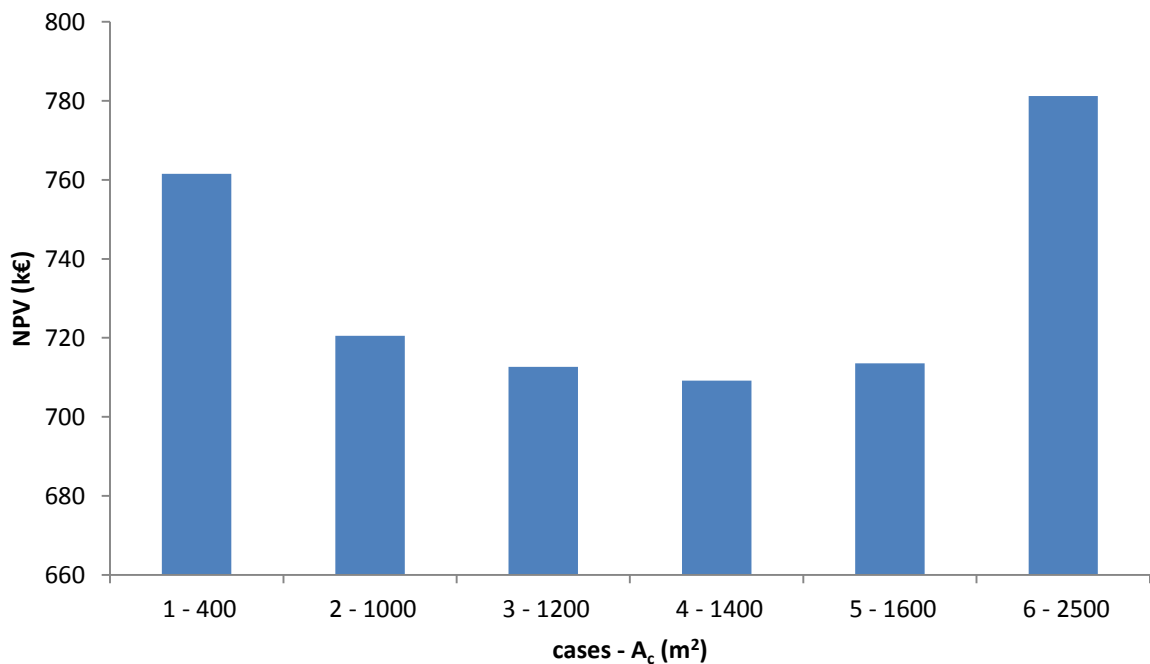
Από το παραπάνω διάγραμμα εξάγονται τα εξής συμπεράσματα:

- Το σύστημα με την αντλία θερμότητας είναι πολύ πιο ακριβό από τα υπόλοιπα. Για την ακρίβεια 2 με 3 φορές πιο ακριβό από όλα, εκτός του πρώτου, απλού συστήματος, με τους σκέτους FPC και την όχι και τόσο καλή απόδοση τον Οκτώβρη, το οποίο συνεπώς δεν ενδείκνυται να εφαρμοστεί στην πράξη ούτως ή άλλως.
- Το σύστημα με τους σκέτους PTC λύνει σε μεγάλο βαθμό το πρόβλημα των αυξημένων θερμοκρασιών του Οκτωβρίου, που εμφανίζεται στο σύστημα με τους σκέτους FPC. Μπορούμε εδώ να μειώσουμε τα τετραγωνικά σε ένα λογικό νούμερο (2000m^2), το οποίο καθιστά την εγκατάστασή τους πρώτον, πραγματοποιήσιμη (σε αντίθεση με τα 6000m^2 των FPC) και δεύτερον, και από ό,τι συμπεραίνεται και από το διάγραμμα, αρκετά ευνοϊκή.
- Η προσθήκη του heater στην περίπτωση των FPC μειώνει στο μισό περίπου την NPV ενώ στην περίπτωση των PTC δεν οδηγεί σε καμία αισθητή μείωση. Ανάλογα με τα τετραγωνικά πλέον, μπορεί να είναι κάποιο σύστημα με FPC και heater λίγο ευνοϊκότερο από το βέλτιστο με σκέτους FPC.
- Τα συστήματα 2, 4 και 5 δε διαφέρουν σημαντικά ως προς το κόστος. Ελαφρώς υπερέχει το σύστημα 5.b, δηλ. PTC με heater και μειωμένα τετραγωνικά.

Με αφορή την παραπάνω παρατήρηση, παρατηρούμε πως στα συστήματα με heater, δηλ. στα 2 και 5, η μείωση των τετραγωνικών οδηγεί σε μείωση του κόστους γενικά. Για να βρούμε λοιπόν το βέλτιστο, πλέον συμφέρον σύστημα, δοκιμάζουμε περαιτέρω μείωση των τετραγωνικών και έχουμε τις NPV για διάφορες τιμές τετραγωνικών:

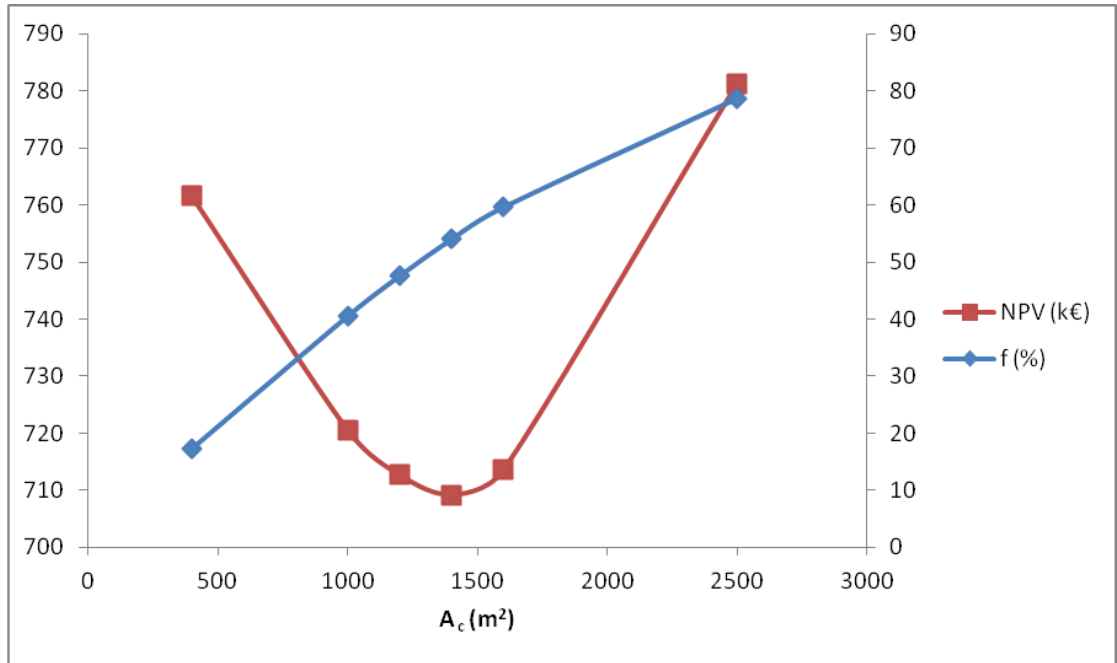
A_c (m ²)	V (m ³)	Q_{heater} (kWh)	f (%)	NPV (κ€)
400	25	401985	17,22	761,54
1000	100	289039	40,48	720,51
1200	130	254753	47,54	712,69
1400	160	223367	54	709,2
1600	200	196104	59,62	713,53
2500	400	103455	78,7	781,23

Πίνακας 5.4 NPV και f για παραλλαγές του συστήματος 2 (FPC+heater)



Διάγραμμα 5.2. NPV για παραλλαγές στο σύστημα 2 (FPC με heater)

Με κριτήριο την ελαχιστοποίηση της NPV, εκλέγεται βέλτιστη η περίπτωση του παραπάνω πίνακα που έχει χρωματιστεί, δηλ. για $A_c=1400\text{m}^2$. Για την παρούσα εργασία όμως έχει σημασία και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, συνεπώς κριτήριο αποτελεί και η κάλυψη f από τα ηλιακά. Γι'αυτό το λόγο, παρουσιάζονται στο ακόλουθο διάγραμμα σε διαφορετικούς άξονες η NPV και η f :



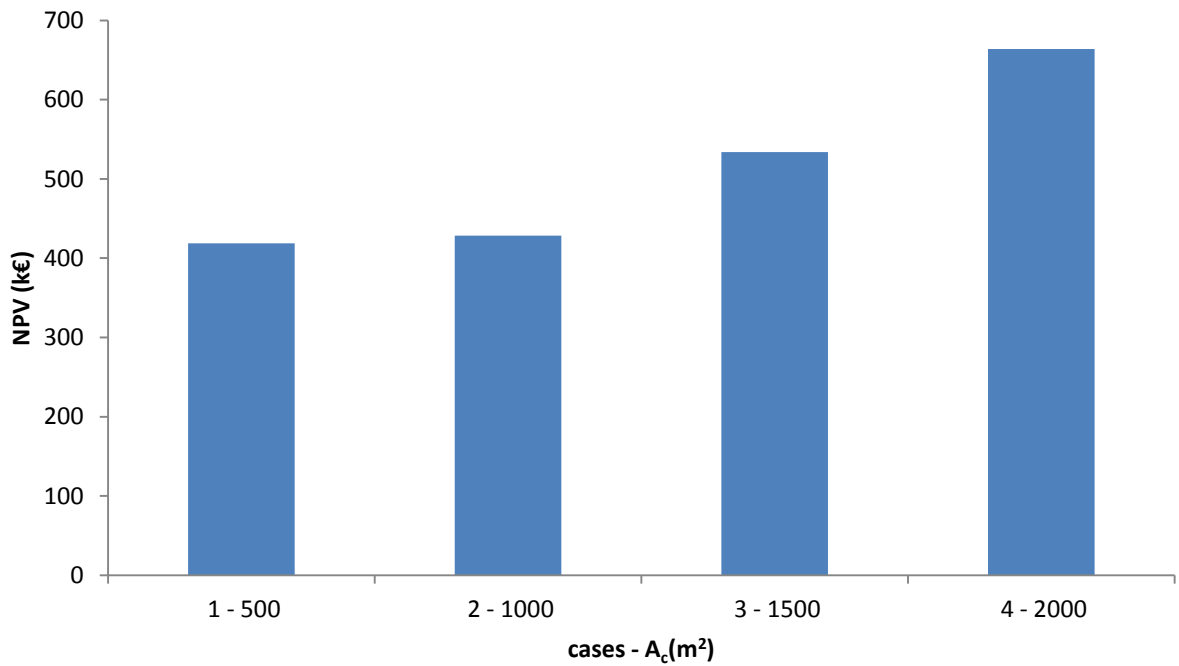
Διάγραμμα 5.3. Παρουσίαση NPV και f για παραλλαγές στο σύστημα 2 (FPC με heater)

Βλέπουμε ότι για τη βέλτιστη περίπτωση (δηλ. με ελάχιστο NPV) έχουμε ένα ικανοποιητικό f , του οποίου ο ρυθμός αύξησης είναι σχετικά σταθερός. Μάλιστα, μετά τα 1600m^2 , ο ρυθμός αύξησής του αρχίζει να μειώνεται. Έτσι, κρατάμε εδώ ως βέλτιστη περίπτωση:

A_c (m ²)	V (m ³)	Q_{heater} (kWh)	f (%)	NPV (k€)
1400	160	223367	54	709,2

A_c (m ²)	V (m ³)	Q_h (kWh)	f (%)	NPV (k€)
500	20	131381	44,97	418,89
1000	50	42588	82,16	428,55
1500	80	17721	92,58	533,81
2000	110	9547	96	664,04

Πίνακας 5.5 NPV και f για παραλλαγές του συστήματος 5 (PTC+heater)



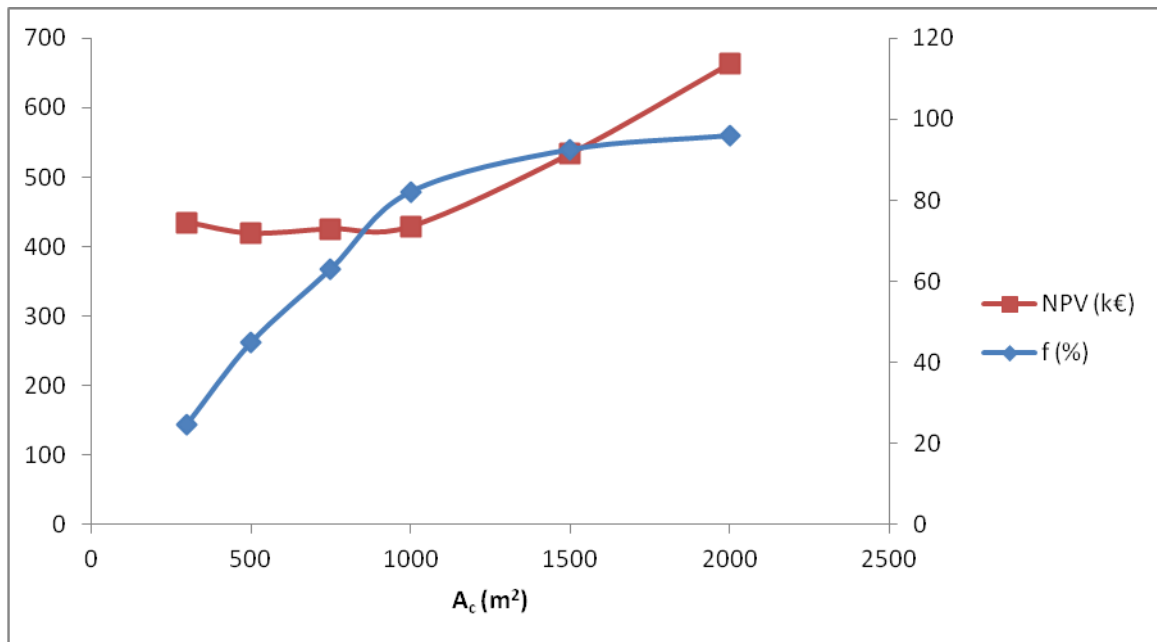
Διάγραμμα 5.4. NPV για παραλλαγές στο σύστημα PTC με heater

Εδώ βλέπουμε ότι η ελάττωση των ηλιακών από 1000m² σε 500m² δεν επιφέρει σχεδόν καμία μείωση στην NPV. Θα ξαναπαρουσιάσουμε λοιπόν NPV και f μαζί, ενώ θέλουμε να εντοπίσουμε σε ποια περίπτωση ελαχιστοποιείται η $A = \frac{NPV}{f}$.

:

A_c (m ²)	V (m ³)	Q_h (kWh)	f (%)	NPV (k€)	NPV/ f
300	15	179458	24,83435	434,96	17,51445
500	20	131381	44,97	418,89	9,314877
750	35	88120	63,0911	425,42	6,742948
1000	50	42588	82,16	428,51	5,216042
1500	80	17721	92,58	533,81	5,765932
2000	110	9547	96	664,04	6,917083

Πίνακας 5.6 NPV και f για παραλλαγές του συστήματος 5 (PTC+heater)



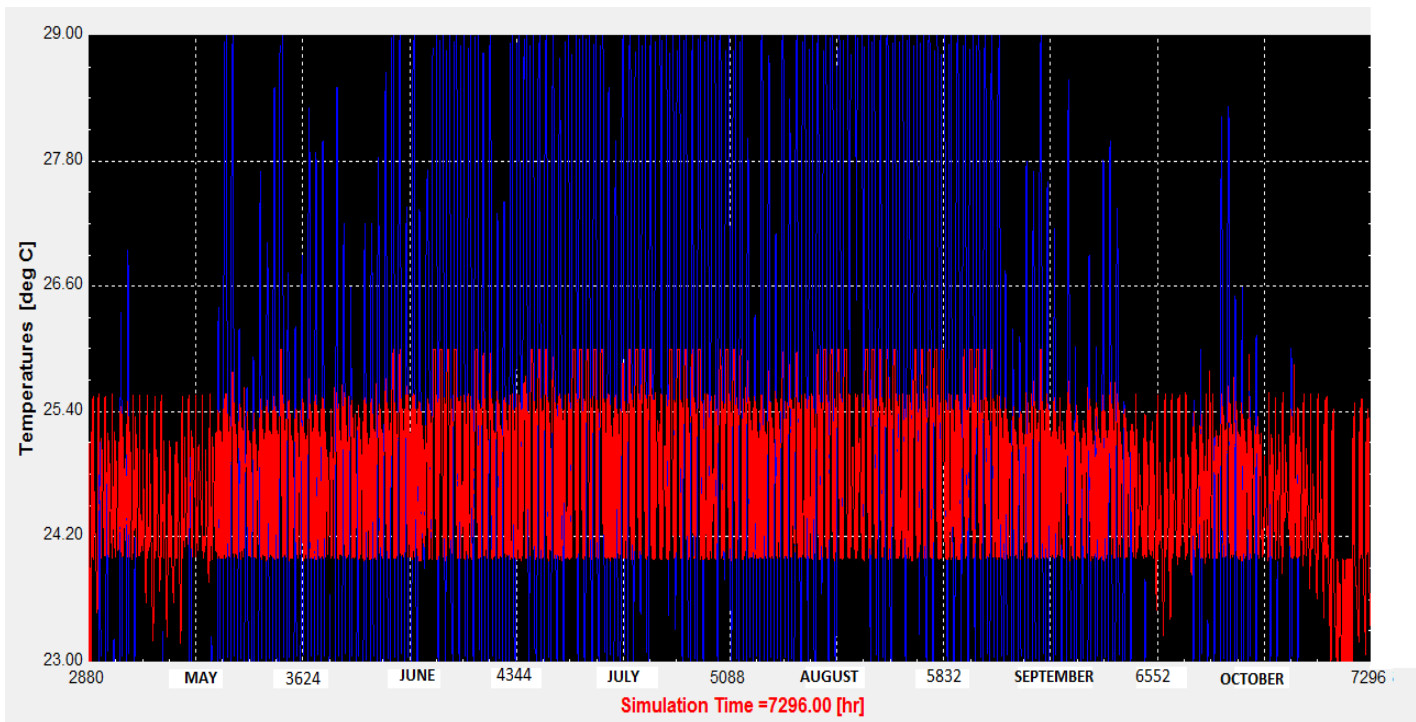
Διάγραμμα 5.5. Παρουσίαση NPV και f για παραλλαγές στο σύστημα 5 (PTC με heater)

Η βέλτιστη περίπτωση με αυτό το κριτήριο είναι η χρωματισμένη στον παραπάνω πίνακα και είναι η κάτωθι:

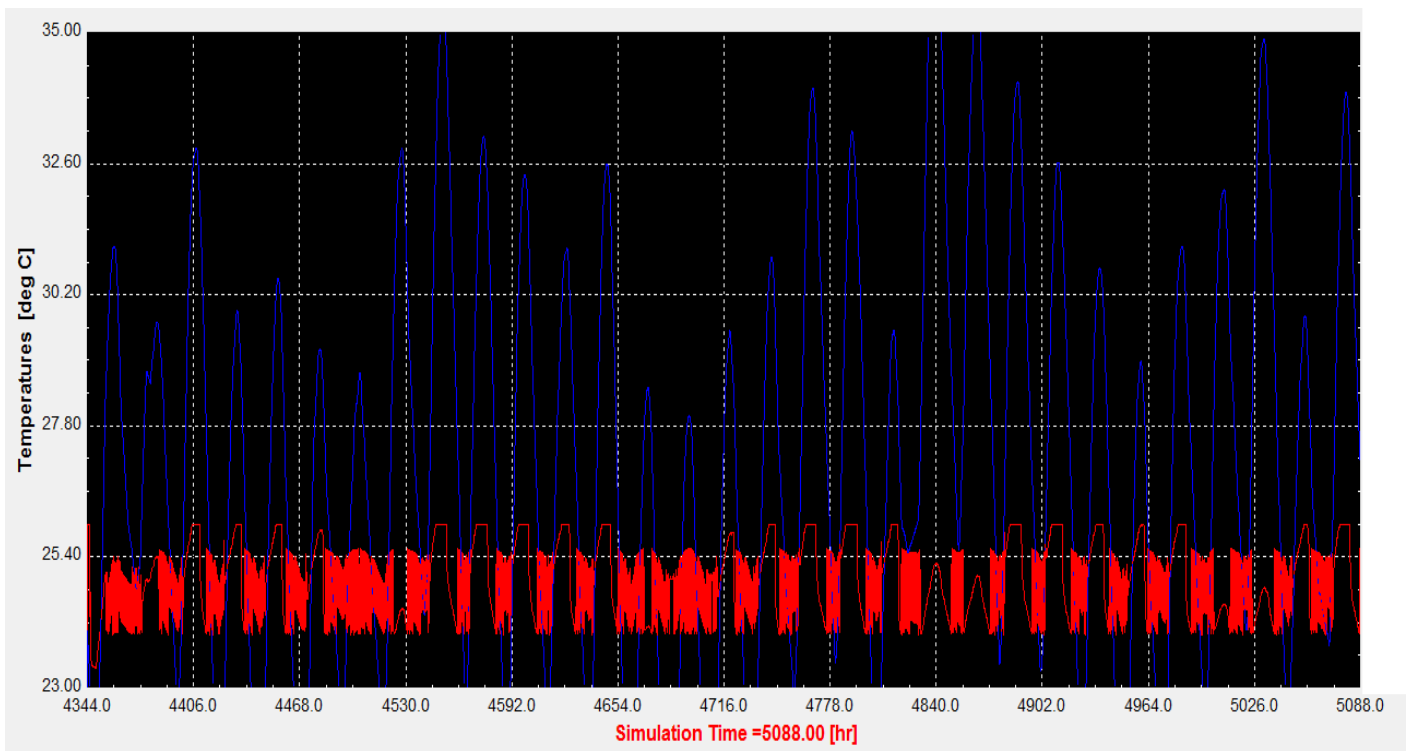
Για PTC μαζί με ηλεκτρικό λέβητα (heater)

A_c (m ²)	V (m ³)	Q_{heater} (kWh)	f (%)	NPV (k€)	NPV/ f
1000	50	42588	82,16	428,55	5,22

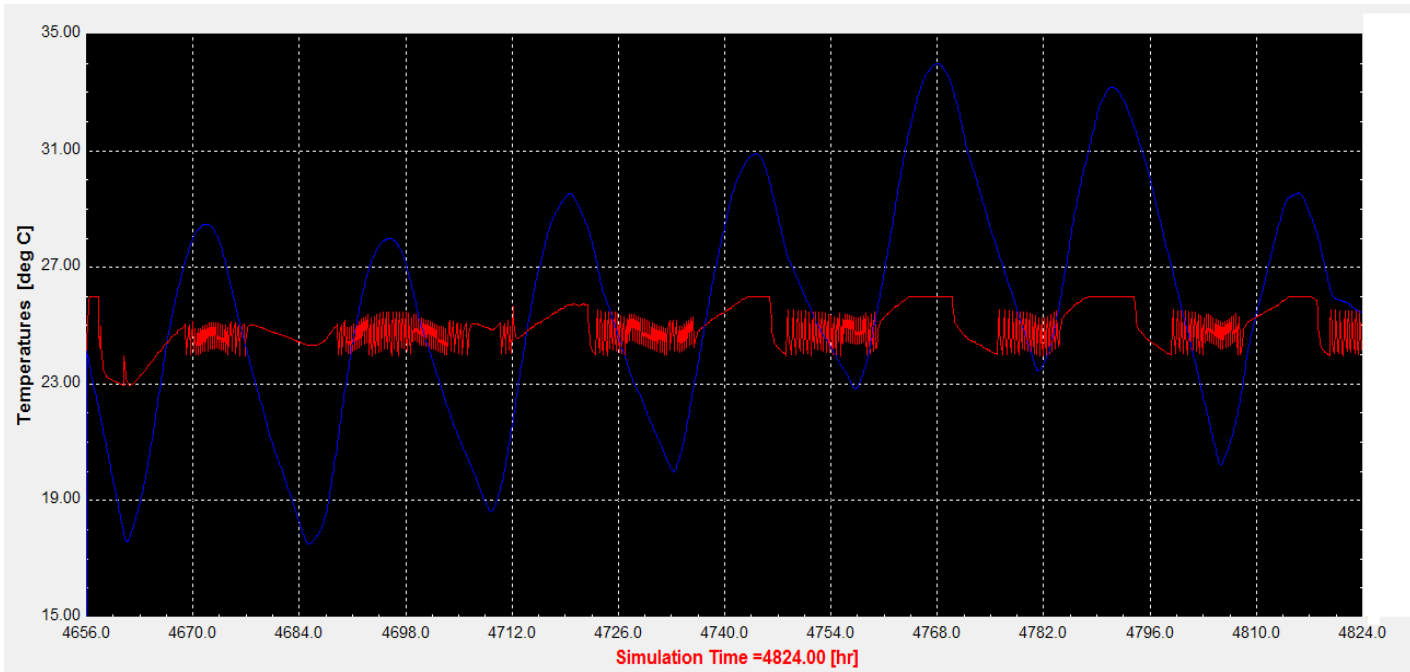
Αυτή είναι και η βέλτιστη περίπτωση γενικά. Παρακάτω βλέπουμε τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου του κτιρίου (κόκκινο χρώμα) σε αντιπαραβολή με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος T_{ambient} (μπλε χρώμα) για την περίπτωση του εξαμήνου, του μήνα Ιουλίου (που είναι ο πιο ζεστός), της τυπικής εβδομάδας, της τυπικής μέρας, της ημέρας του Ιουλίου με τη χαμηλότερη και με την υψηλότερη ηλιοφάνεια.



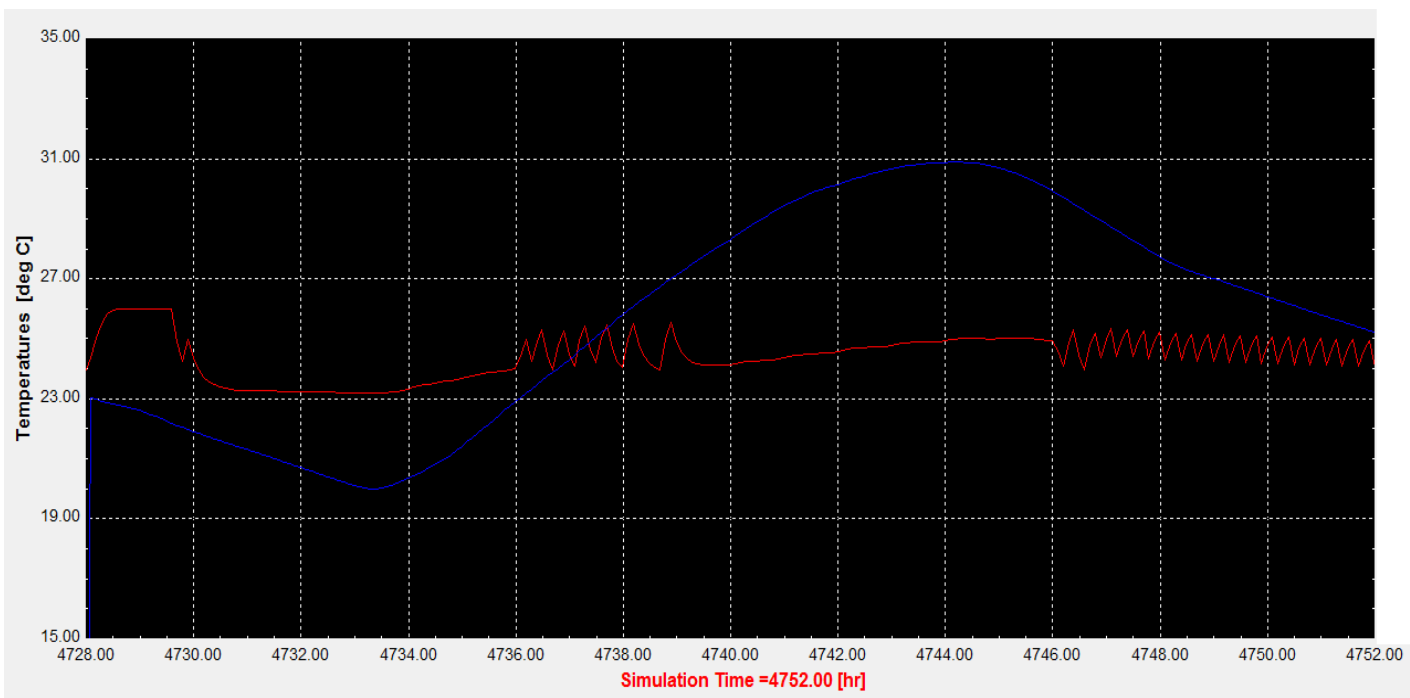
Διάγραμμα 5.6. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για καλοκαιρινό εξάμηνο



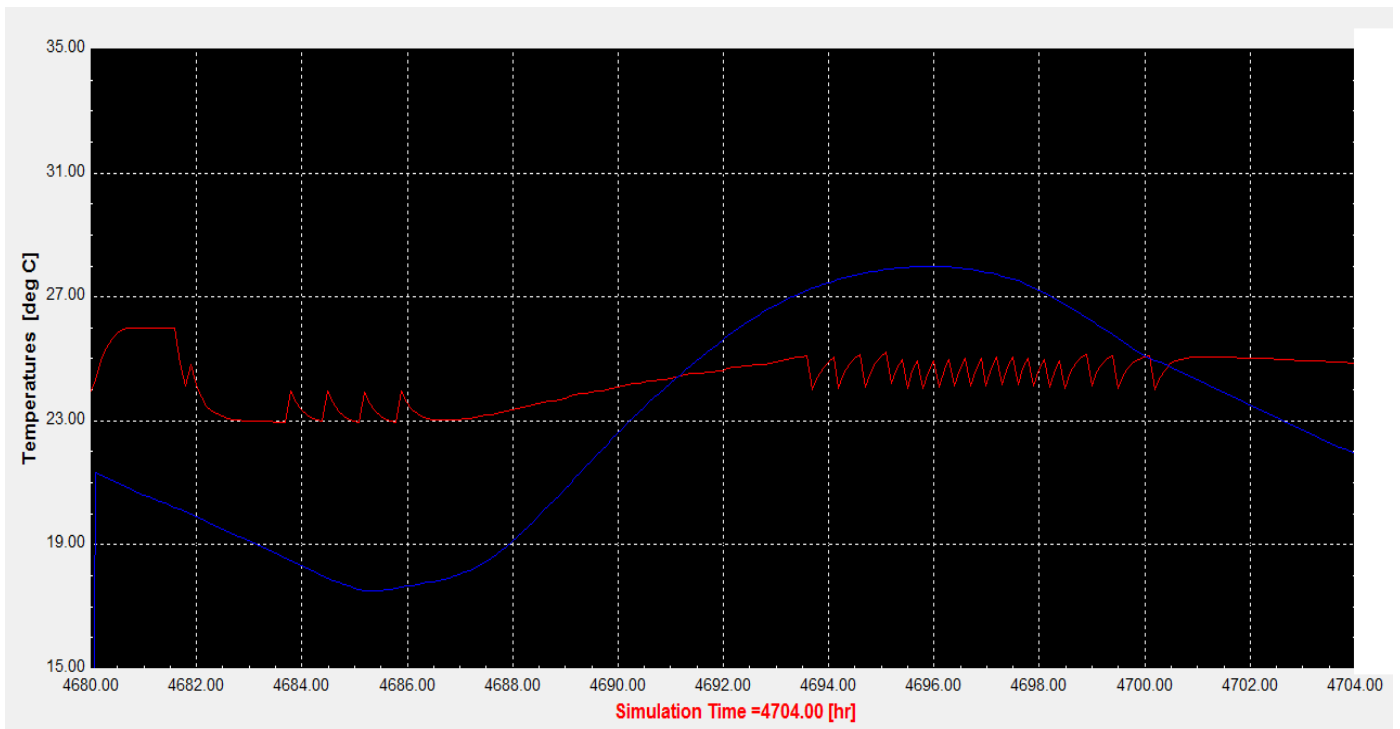
Διάγραμμα 5.7. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για μήνα Ιούλιο



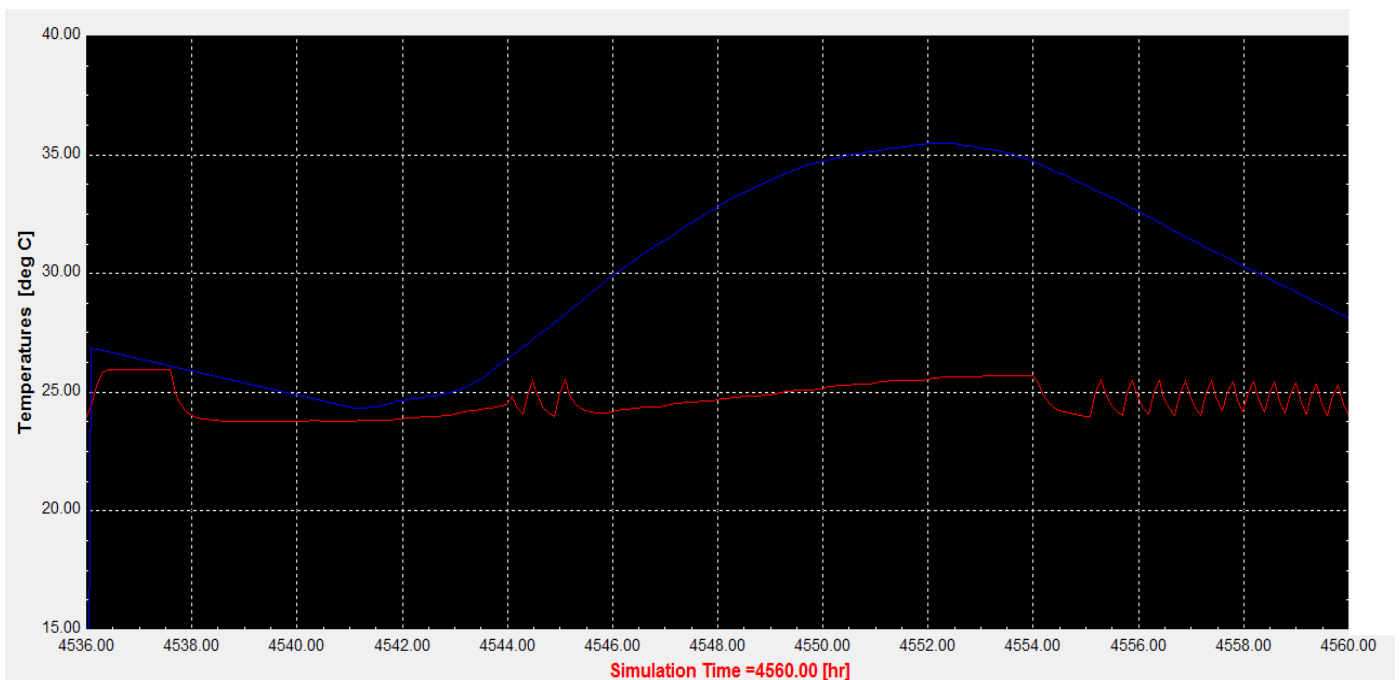
Διάγραμμα 5.8. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για τυπική εβδομάδα Ιουλίου



Διάγραμμα 5.9. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για τυπική ημέρα Ιουλίου



Διάγραμμα 5.10. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για ημέρα Ιουλίου με χαμηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος

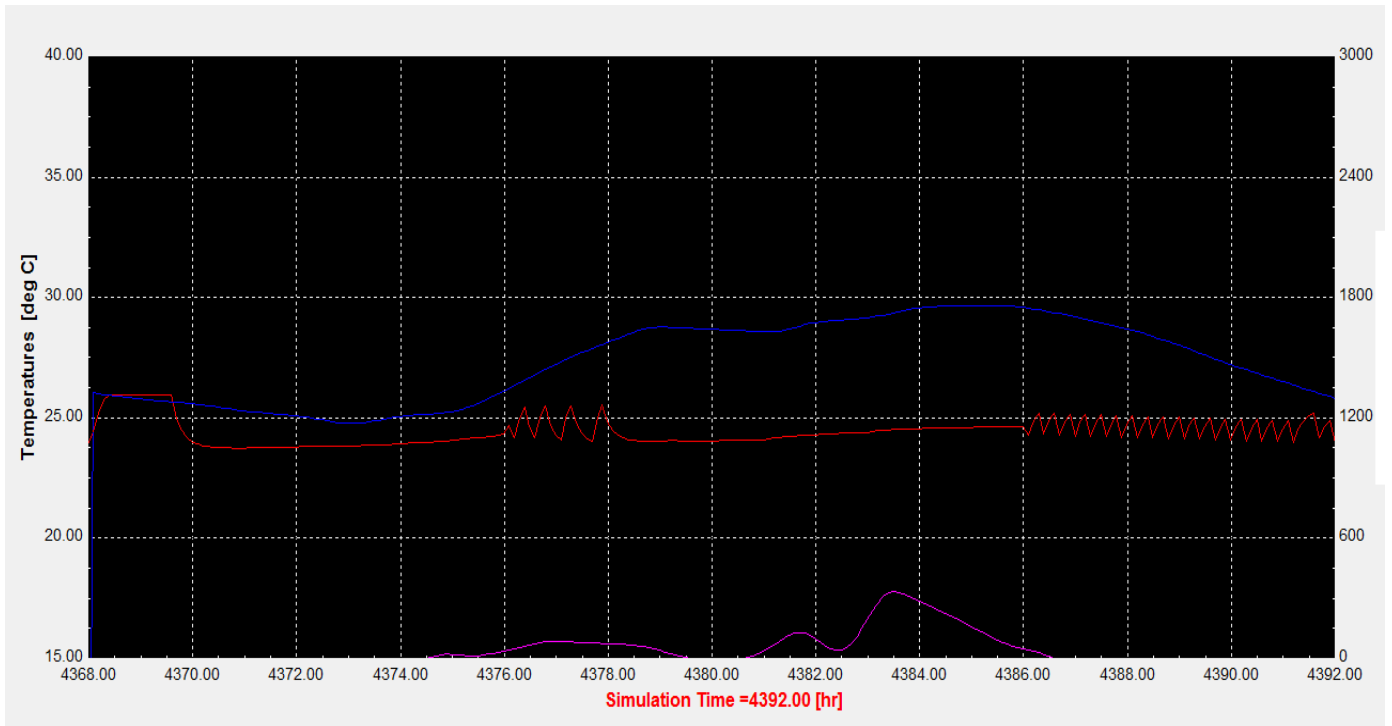


Διάγραμμα 5.11. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος για ημέρα Ιουλίου με υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος

Ακόμη, συνδέοντας την έξοδο άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (beam radiation on horizontal), G_b , του μοντέλου 109 με έναν online plotter, εντοπίζουμε τις μέρες του Ιουλίου, που αυτή παίρνει τη χαμηλότερη και την υψηλότερη τιμή της.

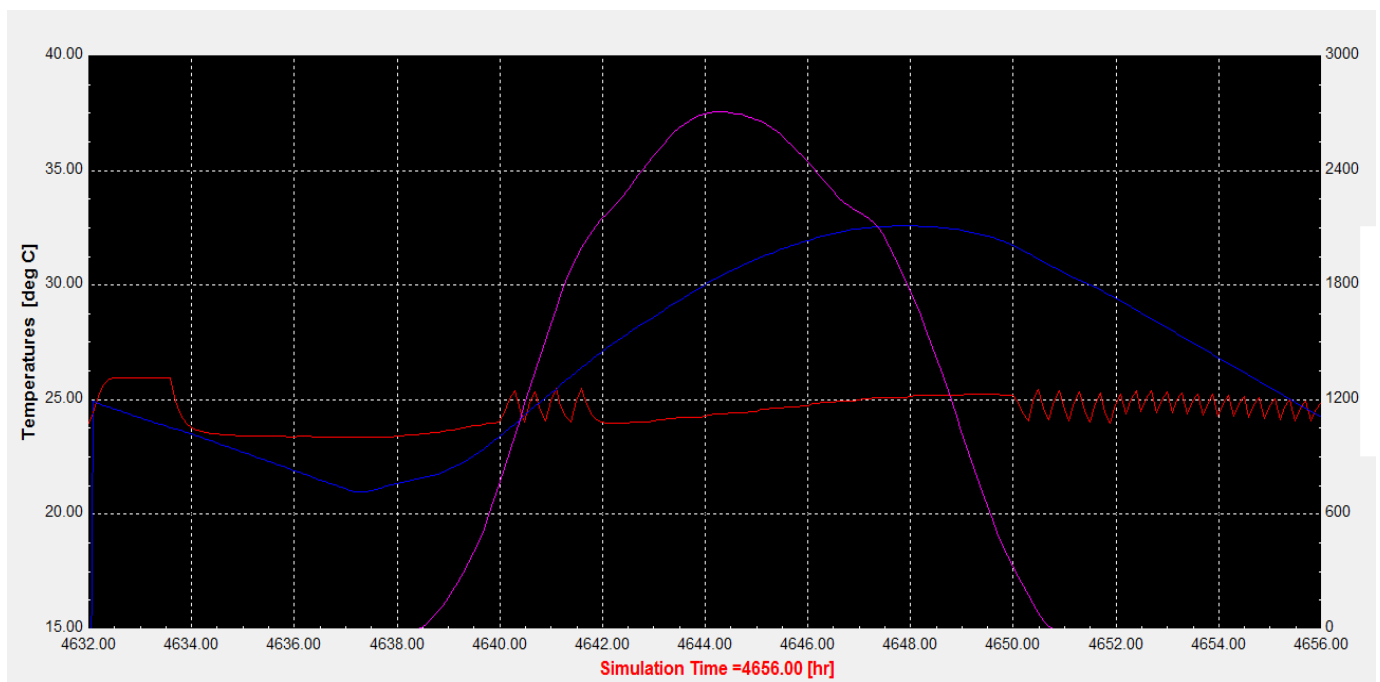
Παρακάτω απεικονίζονται στο ίδιο διάγραμμα η θερμοκρασία του κτιρίου, η θερμοκρασία περιβάλλοντος και η άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (με μωβ στο δεξί άξονα):

- Την ημέρα με τη χαμηλότερη G_b



Διάγραμμα 5.12. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος και άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο την ημέρα του Ιουλίου που η τελευταία παρουσιάζει ελάχιστο

- την ημέρα με την υψηλότερη G_b



Διάγραμμα 5.12. Θερμοκρασία κτιρίου και περιβάλλοντος και άμεση ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο την ημέρα του Ιουλίου που η τελευταία παρουσιάζει μέγιστο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1. Βασικά συμπεράσματα εργασίας

Στο Σύστημα 1 με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες (FPC), απαιτούνται κάποιες μέρες στην αρχή του εξαμήνου για να φτάσει το νερό στην απαραίτητη θερμοκρασία ώστε να θέσει σε λειτουργία τον ψύκτη απορρόφησης. Γενικά δηλαδή ο χώρος δεν ψύχεται αποτελεσματικά όλο το εξάμηνο, τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις μεταβολές της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου του κτιρίου μας δεν δείχνουν πάντα θερμοκρασίες ικανές να παρέχουν θερμική άνεση. Η βέλτιστη περίπτωση εδώ, δηλ. η περίπτωση όπου λειτουργεί η ψύξη όσο το δυνατόν περισσότερο μέσα στο εξάμηνο είναι με 7000 m² συλλεκτική επιφάνεια και 500 m³ χωρητικότητα δοχείου. Το δοχείο έχει τέτοιο μέγεθος ώστε να έχει μαζέψει αρκετό ζεστό νερό, ικανό να λειτουργήσει τον ψύκτη μέρες χωρίς τόσο μεγάλη ακτινοβολία. Αυτό όμως έχει ως συνέπεια να χρειάζεται αρκετός χρόνος μέχρι να ζεσταθεί αυτός ο μεγάλος όγκος νερού. Από τις τιμές που προέκυψαν, είναι προφανές ότι το συγκεκριμένο σύστημα δεν ενδείκνυται σε καμία περίπτωση. Τα μεγέθη είναι σε μεγάλο βαθμό μη ρεαλιστικά ενώ δεν πετυχαίνονται καν θερμοκρασίες άνεσης όλη την περίοδο του εξαμήνου. Συγκεκριμένα τον Σεπτέμβριο – Οκτώβριο, το σύστημα ψύξης αρχίζει να δυσλειτουργεί.

Στο Σύστημα 2, οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) υποβοηθούνται από ηλεκτρικό λέβητα (auxiliary electrical heater). Έτσι, τις περιόδους όπου στην πρώτη περίπτωση οι συλλέκτες δε μπορούσαν να θερμάνουν επαρκώς το νερό για να λειτουργήσει ο ψύκτης, πλέον λειτουργεί ο λέβητας αντι γι'αυτούς. Το σύστημα αυτό δίνει ικανοποιητικά θερμοκρασιακά προφίλ και επιπλέον εξοικονομούμε πολλά τετραγωνικά μέτρα ηλιακής συλλεκτικής επιφάνειας. Η βέλτιστη περίπτωση εδώ λοιπόν είναι 1400 m² συλλεκτική επιφάνεια και 160 m³ χωρητικότητα δοχείου με κάλυψη από τα ηλιακά $f = 54\%$.

Στο Σύστημα 3, οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (FPC) υποβοηθούνται από αντλία θερμότητας. Εδώ χρησιμοποιείται διβάθμιος ψύκτης διότι η αντλία θερμότητας υγρού – υγρού (νερού – λαδιού εν προκειμένω) ανεβάζει τη θερμοκρασία σε πολύ υψηλές τιμές, ικανές να λειτουργήσουν ένα διβάθμιο ψύκτη με αυξημένο COP. Έτσι μειώνονται ακόμη περισσότερο τα απαραίτητα τετραγωνικά μέτρα συλλεκτικής επιφάνειας. Η βέλτιστη περίπτωση εδώ είναι 800 m² συλλεκτική επιφάνεια, χωρητικότητες δοχείων νερού και λαδιού 20 m³ και 100 m³ αντίστοιχα. Η οικονομική αξιολόγηση όμως έδειξε ότι το σύστημα αυτό είναι αρκετά ακριβό. Σε αυτό συνέβαλε και το γεγονός ότι η αντλία θερμότητας που μοντελοποιήσαμε δεν υπάρχει ακριβώς στο εμπόριο.

Στο σύστημα 4, όπου συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC) θέτουν σε λειτουργία τον ψύκτη (διβάθμιο, με λάδι, δηλ. τον ίδιο με το Σύστημα 3) έχουμε καλά θερμοκρασιακά προφίλ με κάποιες μικρές δυσλειτουργίες στην αρχή και στο τέλος του εξαμήνου. Η βέλτιστη περίπτωση είναι 2000 m² και χωρητικότητα δοχείου 140 m³. Το σύστημα αυτό είναι

οικονομικά ανταγωνιστικό σε σχέση με το Σύστημα 2, το οποίο, μέχρι στιγμής, έχει αποδειχθεί το βέλτιστο.

Στο σύστημα 5, οι συλλέκτες παραβολικού κοίλου (PTC) υποβοηθούνται, κι αυτοί με τη σειρά τους όπως οι FPC στο σύστημα 2, από έναν βοηθητικό ηλεκτρικό λέβητα, ώστε να λυθεί το πρόβλημα των περιόδων του εξαμήνου, που από μόνοι τους δεν είναι ικανοί να θερμάνουν επαρκώς το λάδι. Έτσι λοιπόν μειώνουμε τη συλλεκτική επιφάνεια και η βέλτιστη περίπτωση είναι 1000 m² συλλεκτική επιφάνεια με 50 m³ χωρητικότητα δοχείου και κάλυψη από ηλιακά $f = 82,16\%$. Αυτή είναι ταυτόχρονα η βέλτιστη οικονομικά περίπτωση, έχει όλο το εξάμηνο ανεξαιρέτως ικανοποιητικό θερμοκρασιακό προφίλ και δίνει και τη δυνατότητα για τη μεγαλύτερη δυνατή διείσδυση ανανεώσιμων ηλιακών στον κλιματισμό του κτιρίου, που ήταν βασικός στόχος. Βλέπουμε λοιπόν ότι μπορεί να επιτευχθεί ικανοποιητική κάλυψη, παρ' όλα αυτά, όχι απόλυτη ανεξαρτησία.

Συνοπτικά η χρήση παραβολικών συλλεκτών είναι αποδοτικότερη ενεργειακά και οικονομικά με αποτέλεσμα να επιλέγεται ως προτιμότερη τεχνολογία έναντι των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Επίσης η ύπαρξη ενός ηλεκτρικού λέβητα ο οποίος θα δίνει συμπληρωματική ισχύ σε στιγμές χαμηλής ηλιοφάνειας βελτιώνει από οικονομικής άποψης την επένδυση. Πιο συγκεκριμένα, μειώνονται η συλλεκτική επιφάνεια καθώς και ο όγκος του δοχείου αποθήκευσης, κάτι που μειώνει το κόστος επένδυσης. Η χρήση αντλίας θερμότητας δεν είναι τόσο αποδοτική διότι αυξάνεται αισθητά το κόστος επένδυσης ενώ το όφελος δεν είναι αντίστοιχο. Τελικά, η χρήση επιμήκων παραβολικών συλλεκτών μαζί με λέβητα αποτελεί τη βέλτιστη επιλογή για ηλιακή ψύξη με τεχνολογία απορρόφησης.

6.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

1. Σύστημα με Σύνθετους παραβολικούς συλλέκτες (Compound parabolic concentrator, CPC).
2. Διάφορα συστήματα με ψύξη προσρόφησης και μεταξύ τους σύγκριση.
3. Επιπλέον μελέτη της αντλίας θερμότητας, διαφορετική μοντελοποίηση.
4. Μελέτη των ίδιων συστημάτων σε άλλο κτίριο με διαφορετικές παραμέτρους, π.χ. και με πρόσθετα παθητικά συστήματα κλιματισμού.
5. Μελέτη των ίδιων συστημάτων σε άλλες χώρες με λιγότερη ή περισσότερη ηλιοφάνεια.
6. Χρήση συλλεκτών Fresnel κατευθείαν στον ψύκτη απορρόφησης.
7. Χρήση καυσίμου ή βιομάζας στον βοηθητικό λέβητα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_Revolution
- [2] Παγκόσμια Ιστορία, εκδόσεις Κ. Καπόπουλος, Αθήνα 1992
- [3] http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum_industry
http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9F%CF%81%CF%85%CE%BA%CF%84%CE%AC_%CE%BA%CE%B1%CF%8D%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B1
- [4] http://en.wikipedia.org/wiki/Fossil_fuel
- [5] http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_spill#Human_impact
- [6] http://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_gas
- [7] <http://www.petroleum.co.uk/the-future-of-petroleum>
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Petroleum#Future_of_petroleum_production
- [9] Past, Present, & Future of Petroleum, James Nielsen, Winter 2003
- [10] http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_industry#History
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power#Environmental_issues
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_proposed_as_renewable_energy
- [13] (http://europa.eu/legislation_summaries/energy/nuclear_energy/index_en.htm)
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_uranium
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_power_proposed_as_renewable_energy
- [16] http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_energy
- [17] <http://www.epa.gov/climatechange/science/indicators/ghg/global-ghg-emissions.html>
- [18] <http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/gases/co2.html>
- [19] Ενέργεια και πράσινη ανάπτυξη: Το ενεργειακό πρόβλημα στην Ελλάδα και οι πολιτικές για τη μετάβαση στην πράσινη οικονομία, Καρβούνης Κ. Γεώργιος , 2014
- [20] <http://co2now.org/Current-CO2/CO2-Now/global-carbon-emissions.html>
- [21] <http://www.geocurrents.info/category/environmental-geography/page/2#!gallery/20/>
- [22] https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country
- [23] Ετήσια έκθεση της υπηρεσίας ΑΠΕ (Υπ.Ε.Κ.Α.) για το 2010
- [24] Ετήσια Έκθεση ΚΑΠΕ (Υπ.Ε.Κ.Α.) 2009

- [25] <http://www.cres.gr/kape/datainfo/statistics.htm>
- [26] Fostering the use of renewable energies in the European Union: the race between feed-in tariffs and green certificates, Marc Ringel, 2005
- [27] ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ, Θ. Α. Βαρβαρέσου, Θ. Δ. Τσούτσος
- [28] <http://www.ebhe.gr>
- [29] Ηλιακή Ενέργεια, Αλέξανδρος Σ. Αλεξιάκης, Εκδόσεις Μιχάλη Σιδέρη
- [30] Θερμικά – ηλιακά συστήματα, Κίμωνος Αντωνόπουλου, 2011
- [31] <https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/3-pathetika-eliaka-systemata-thermanses>
- [32] http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic.htm
- [33] ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ του Δάρλα Αλέξανδρου, 2012
- [34] ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΙΝΟΥ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΜΕ ΤΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ του ΠΑΝΤΕΛΑΚΗ Α. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ, 2010
- [35] Parabolic-trough solar collectors and their applications, A. Fernandez-Garcia, E. Zarza a, L. Valenzuela, M. Perez, 2010
- [36] Solar thermal collectors and applications, Soteris A. Kalogirou, 2004
- [37] Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS, του Παναγιώτη Δ. Τσεκούρα, 2008
- [38] EVALUATION OF A PARABOLIC TROUGH COLLECTOR PERFORMANCE, Soteris A. Kalogirou and Gregoris Panayiotou
- [39] Performance of a parabolic trough solar collector, M J Brooks, I Mills, T M Harms
- [40] Heat Transfer Analysis and Modeling of a Parabolic Trough Solar Receiver Implemented in Engineering Equation Solver (National Renewable Energy Laboratory), R. Forristall, 2003
- [41] <http://www.scribd.com/doc/87015690/%CE%9A%CE%9B%CE%99%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%A3%CE%9C%CE%9F%CE%A3-%CE%99%CE%99#scribd>
- [42] ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ, Βασικές αρχές των συστημάτων ψύξης / Νέες τεχνολογίες (ΚΑΠΕ), Φωτεινή Καραμάνη
- [43] Refrigerating Engineering, Eric Granryd, 2005 (αντλία θερμότητας)
- [44] Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στη Βιομηχανική Ψύξη (ΚΑΠΕ), Μηνάς Ιατρίδης, 1996
- [45] Ψυκτική εγκατάσταση απορρόφησης Νερού – Βρωμιούχου Λιθίου, Μασιαλάς Δημήτρης, 2005

- [46] Solar Cooling, An overview of European Applications and Design Guidelines, Constantinos A. Balaras, Member ASHRAE, Hans-Martin Henning, Edo Wiemken, Gershon Grossman, Dr.Sci., Erich Podesser, and Carlos A. Infante Ferreira
- [47] ΑΓΓΕΛΟΥ Θ.ΠΑΠΑΙΩΑΝΝΟΥ, ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ, ΤΟΜΟΣ 2, 2007
- [48] Μελέτη της επίδρασης της θερμοχωρητικότητας στη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων με το λογισμικό TRNSYS, Διπλωματική εργασία του ΤΟΥΡΗ Δ.ΙΩΑΝΝΗ, 2014
- [49] <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>
- [50] ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΘΕΜΑ: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΕΞΕΤΑΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΟΥ ΣΥΝΕΡΓΕΙΟΥ ΜΕ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΥΡΕΩΣ ΔΙΑΔΕΔΟΜΕΝΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ, ΚΑΛΤΣΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ
- [51] <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/features.html>
- [52] TRNSYS 16 Manual
- [53] TRNSYS 16 Manual of TESS Library
- [54] <https://www.therminol.com/products/Therminol-VP3>
- [55] Performance analysis on a new type of solar air conditioning system, Zhang Xingjuan, Song Bojie, Bai Qingyuan, Yang Chunxin, 2013
- [56] https://en.wikipedia.org/wiki/Free_cooling
- [57] BROAD X Absorption Chiller Model Selection & Design Manual, 2008
- [58] Worldwide overview of solar thermal cooling technologies, Abdul Ghafoor, Anjum Munir, 2014
- [59] Investigation of an autonomous hybrid solar thermal ORC-PV RO desalination system. The Chalki island case, Sotirios Karellas, Konstantinos Terzis a, Dimitrios Manolakos, 2010
- [60] ΚΑΤΣΑΦΑΝΑΣ Α.Ε.Ε., τιμοκατάλογος 2015
- [61] Worldwide overview of solar thermal cooling technologies, Abdul Ghafoor, Anjum Munir, 2014
- [62] Heat pump user guide, Renewable Energy Technology Deployment, 2007
- [63] Solar refrigeration options – a state-of-the-art review, D.S. Kima,, C.A. Infante Ferreira, 2007

