

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Τζιβανίδης Χρήστος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Προσομοίωση Συστήματος Ηλιακού Κλιματισμού με Ψύκτη Απορρόφησης»

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΔΕΛΑΤΟΛΑ ΝΙΚΟΛΕΤΑ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	- 4 -
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	- 6 -
1 Τεχνολογίες Ηλιακής Ψύξης	-8-
1.1 Γενικά.....	-8-
1.2 Ψυκτικά συστήματα ανοικτού εξατμηστικού κύκλου.....	-11-
1.2.1 Ψύξη στερεού μέσου ανοικτού κύκλου με περιστρεφόμενους τροχούς....	-11-
1.2.2 Ψύξη υγρού μέσου ανοικτού κύκλου.....	-13-
1.3 Ψύξη με προσρόφηση κλειστού κύκλου.....	-13-
1.3.1 Γενικά.....	-13-
1.3.2 Αρχή λειτουργίας.....	-15-
1.4 Ψύξη απορρόφησης.....	-18-
1.4.1 Γενικά.....	-18-
1.4.2 Αρχή λειτουργίας ψύκτη απορρόφησης μονής βαθμίδας.....	-19-
1.4.3 Αρχή λειτουργίας ψύκτη απορρόφησης διπλής βαθμίδας.....	-24-
1.5 Ηλιακοί συλλέκτες.....	-24-
2 Περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS και των μοντέλων προσομοίωσης -26-	
2.1 Περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS.....	-26-
2.1.1 Γενικά.....	-26-
2.1.2 Στούντιο προσομοίωσης.....	-27-
2.1.3 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.....	-28-
2.1.4 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτιρίου (TRNBuild).....	-29-
2.1.5 Πρόγραμμα TRNEdit.....	-29-
2.2 Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης.....	-31-
2.2.1 Εκτυπωτής- Μοντέλο 22.....	-31-
2.2.2 Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων (online plotter) – Μοντέλο 65.....	-33-
2.2.3 Επεξεργαστής ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 16.....	-33-
2.2.4 Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 109.....	-44-
2.2.5 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος – Μοντέλο 33.....	-46-
2.2.6 Θερμοκρασία αντιπροσωπευτική του ουρανού – Μοντέλο 69.....	-46-
2.2.7 Διαφορικός ελεγκτής – Μοντέλο 2.....	-48-
2.2.8 Πύργος ψύξης – Μοντέλο 51.....	-49-
2.2.9 Ψύκτης απορρόφησης – Μοντέλο 107.....	-56-

2.2.10	Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης – Μοντέλο 1.....	-61-
2.2.11	Ηλιακός συλλέκτης σωλήνων κενού – Μοντέλο 71.....	-67-
2.2.12	Ανάγνωση δεδομένων – Μοντέλο 9.....	-71-
2.2.13	Μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου – Μοντέλο 56.....	-74-
3	Περιγραφή του προγράμματος προσομοίωσης.....	-97-
3.1	Περιγραφή προσομοίωσης για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου.....	-97-
3.2	Προσομοίωση της ψυκτικής εγκατάστασης.....	-101-
4	Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	-109-
5	Βιβλιογραφία.....	-122-

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η ψύξη κτιρίου στην περιοχή της Αθήνας με ψυκτική μηχανή απορρόφησης. Η παροχή ζεστού νερού στον ψύκτη, γίνεται εναλλακτικά από θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες με σωλήνες κενού ή με χρήση ηλεκτρικών θερμαντικών στοιχείων, με τα οποία είναι εφοδιασμένη η δεξαμενή αποθήκευσης, για τις περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Η προσομοίωση του υπό μελέτη συστήματος πραγματοποιήθηκε με χρήση του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS 16.1. Για την μελέτη του συστήματος πραγματοποιήθηκαν δύο προσομοιώσεις. Κατά την πρώτη προσομοίωση, υπολογίζονται τα απαιτούμενα από το κτίριο ψυκτικά φορτία, ενώ κατά τη δεύτερη υπολογίζονται τα επιμέρους στοιχεία της ψυκτικής εγκατάστασης για τα παραπάνω φορτία.

Στο πρώτο κεφάλαιο, περιγράφονται οι διάφορες τεχνολογίες ψύξης με χρήση θερμικών ηλιακών συλλεκτών. Έτσι, πραγματοποιείται περιγραφή της ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) στερεού και υγρού μέσου, της ψύξης με προσρόφηση κλειστού κύκλου καθώς και της ψύξης απορρόφησης. Στο κεφάλαιο αυτό πραγματοποιείται αναλυτική περιγραφή των παραπάνω μεθόδων καθώς και συγκριτική ανάλυση της λειτουργίας και των εφαρμογών τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφεται η δομή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS και τα τρία επιμέρους προγράμματα που το αποτελούν. Αυτά είναι το "Simulation Studio", στο οποίο γίνεται ο σχεδιασμός των προγραμμάτων προσομοίωσης, το "TRNBuild" στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι του πολυζωνικού κτηρίου και το "TRNEdit" το οποίο χρησιμοποιείται για την δημιουργία αυτόνομων προγραμμάτων και την υλοποίηση παραμετρικών εκτελέσεων. Επίσης στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα μοντέλα του TRNSYS τα οποία χρησιμοποιήθηκαν κατά τις προσομοιώσεις. Συγκεκριμένα, περιγράφονται στοιχεία που αφορούν τον προγραμματισμό με τη χρήση των μοντέλων αυτών καθώς και το μαθηματικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζονται.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των προγραμμάτων που πραγματοποιήθηκαν για την προσομοίωση του υπό μελέτη συστήματος. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκαν δύο προσομοιώσεις. Στην πρώτη, υπολογίζονται τα απαιτούμενα για το κτίριο ψυκτικά φορτία και εξάγονται σε αρχείο δεδομένων, ενώ στη δεύτερη, προσομοιώνεται η λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης καθώς και τα απαραίτητα για την λειτουργία του συστήματα με βάση τα παραπάνω ψυκτικά φορτία. Επίσης, μετά την περιγραφή της κάθε προσομοίωσης, παραθέτονται πίνακες οι οποίοι περιέχουν αναλυτικά τις συνδέσεις καθώς και την ροή πληροφορίας μεταξύ των επιμέρους μοντέλων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών και αναλύονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον κύριο Χ.Τζιβανίδη τόσο για την ανάθεση όσο και για την συμβολή του στην πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας.

Δελατόλα Νικολέτα,

ΑΘΗΝΑ 2008

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι απαιτήσεις κλιματισμού στον τριτογενή τομέα αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Αυτή η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπίεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου. Η εκπομπή αερίων ρύπων υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται, είτε από την ενεργειακή παραγωγή, είτε από τυχόν διαρροές των ψυκτικών ρευστών, γεγονός που ενισχύει τον φαύλο κύκλο των κλιματικών αλλαγών. Οι τεχνολογίες ηλιακής ψύξης έχουν αποδείξει, κάποιες για διάρκεια μεγαλύτερη των δέκα ετών, την αποδοτικότητα και την αξιοπιστία τους. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούν αβλαβή ρευστά(κυρίως νερό) και πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με τα κλασσικά συστήματα.

Κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την αποφυγή της υπερθέρμανσης και την μείωση των εσωτερικών θερμοκρασιών των κτιρίων κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Στην περιοχή της Μεσογείου για παράδειγμα, τα κτίρια είναι βαμμένα σε ανοιχτά χρώματα, προκειμένου να αντανακλούν μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, ειδικά κατά την 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 την μείωση των θερμικών κερδών ή για την απόρριψη θερμότητας στο περιβάλλον). Όλες αυτές οι τεχνικές στοχεύουν στην μείωση των ψυκτικών φορτίων και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στον κλιματισμό.

Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η χρήση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται λόγω της εκτενούς χρήσης του κλιματισμού χώρων (Heating Ventilation & Air Conditioning, HVAC), αυξάνοντας το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής με αποτέλεσμα να προκαλούνται σημαντικά προβλήματα στην ηλεκτροδότηση. Η 'ενεργειακή έλλειψη' είναι πιο έντονη κατά την διάρκεια των 'ξηρών' ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής.

Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με την διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτουν 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 των εσωτερικών χώρων όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες 'μηδενικών εκπομπών' με σκοπό την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Αν και υπάρχει μια μεγάλη δυνητική αγορά τα διαθέσιμα συστήματα ηλιακής ψύξης δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικά, σε οικονομικό επίπεδο, με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, κυρίως λόγω του υψηλού πάγιου κόστους τους.

Η σύγκριση μίας ηλιακής τεχνολογίας με κάποια συμβατική μπορεί να γίνει μόνο εάν τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη (με εξωτερικά κόστη, κόστη διανομής και έμμεσα κόστη) συμπεριλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αδυναμία πρόβλεψης της τιμής των συμβατικών καυσίμων για μεγάλη χρονική περίοδο.

Γενικά για τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μπορούμε να διακρίνουμε ότι:

- το κόστος τους μειώνεται καθώς εισάγονται στην μαζική παραγωγή
- είναι ήδη τεχνικά ώριμες για να ικανοποιήσουν τις καταναλωτικές ανάγκες
- είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη επενδυτικών κινήτρων, καθώς και η καθιέρωση ενεργειακού φόρου που θα βοηθούσε να απεικονηθεί το συνολικό περιβαλλοντικό κόστος των συμβατικών καυσίμων. Σε πολλές χώρες οι διαθέσιμες επιχορηγήσεις καθιστούν την επένδυση ελκυστικότερη.

1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΨΥΞΗΣ

1.1 Γενικά

Για την κάλυψη των αναγκών σε κλιματισμό και ψύξη των κτιρίων χρησιμοποιούνται ψύκτες μηχανικής συμπίεσης καθώς και θερμικές ψυκτικές μηχανές. Στις συμβατικές εφαρμογές ψύξης χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα μηχανικής συμπίεσης και 135 εκατομμύρια τέτοια συστήματα παράγονται παγκοσμίως κάθε χρόνο. Σε μικρότερους συγκριτικά αριθμούς βρίσκεται η ετήσια παραγωγή ψυκτικών μηχανών με απορρόφηση, μεσαίας και μεγάλης ισχύος, περίπου 100.000 συσκευές παγκοσμίως από τις οποίες το 85% παράγεται στην Ασία, ενώ στην Γερμανία, τοποθετούνται περίπου 100 τέτοιες συσκευές ετησίως. Οι συνολικές πωλήσεις ψυκτικών μηχανών στην Ευρώπη το 1998 άγγιξαν τα 3 δισεκατομμύρια €, που ισοδυναμεί με αύξηση περίπου 30% από το 1996. Στην Ελλάδα για παράδειγμα, κατά το έτος 2000 οι πωλήσεις ψυκτικών μηχανών άγγιξαν τα 117 εκατομμύρια €.

Η ηλιακή ψύξη κτιρίων μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα για την τροφοδότηση ψυκτών μηχανικής συμπίεσης είτε με την χρήση ψυκτικών συστημάτων απορρόφησης και προσρόφησης. Εξαιτίας των υψηλών αρχικών δαπανών για τα φωτοβολταϊκά συστήματα, περίπου 750€/m², αυτός ο τύπος ηλιακής ψύξης δεν είναι οικονομικά βιώσιμος, σε αντίθεση με τα συστήματα θερμικής ψύξης. Στην αγορά κυριαρχούν ψύκτες απορρόφησης νερού-βρωμιούχου λιθίου ή αμμωνίας-νερού. Στην Γερμανία είναι εγκατεστημένες περίπου 1000 ψυκτικές μηχανές απορρόφησης συνολικής ισχύος 1000MW, οι μισές από τις οποίες βρίσκονται στην βιομηχανία.

Γενικά τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

- Κλειστά συστήματα: αυτά είναι θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό, το οποίο χρησιμοποιείται είτε στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα(ψυχρό, ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένου χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils). Στην αγορά σήμερα υπάρχουν διαθέσιμοι οι ψύκτες απορρόφησης (πιο κοινοί) και ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τον ηλιακό κλιματισμό).
- Ανοικτά συστήματα: που παρέχουν που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες

άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στρεπρό πορώδες ροφητικό υλικό.

Η θερμοκρασία ατμοποίησης στα ψυκτικά συστήματα αμμωνίας μπορεί να φτάσει τους -60°C γεγονός που τους καθιστά ιδανικούς για βιομηχανικές εφαρμογές. Στην περίπτωση όπου το νερό χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο η θερμοκρασία στον ατμοποιητή θα πρέπει να είναι $4-5^{\circ}\text{C}$ πάνω τη θερμοκρασία πήξης του νερού. Κατά την ψύξη με απορρόφηση, το ψυκτικό μέσο (νερό ή αμμωνία) απορροφάται από έναν υγρό διαλυτή (βρωμιούχο λίθιο ή νερό) από τον οποίο διαχωρίζεται στην συνέχεια με θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία μέσω ενός αναγεννητή, φθάνοντας στην απαιτούμενη πίεση συμπίκνωσης. Κατά την απορρόφηση απελευθερώνεται θερμότητα η οποία απάγεται μέσω ενός ψυκτικού κυκλώματος. Για την απελευθέρωση του ψυκτικού από τον υγρό διαλύτη η απαιτούμενη θερμοκρασία κυμαίνεται από 90 έως 140°C ανάλογα με την τεχνολογία ψύξης που χρησιμοποιείται.





Κατά την χρησιμοποίηση αμμωνίας ως ψυκτικό μεσο, στον ατμοποιητή παράγεται ατμός υψηλής πίεσης $4,85 \cdot 10^5 \text{Pa}$ για θερμοκρασία ατμοποίησης 5°C . Για την υγροποίηση του ψυκτικού σε θερμοκρασία συμπίκνωσης 40°C , η πίεση της αμμωνίας στον αναγεννητή φτάνει τα $15 \cdot 10^5 \text{Pa}$. Κατα συνέπεια, οι συσκευές αυτές λειτουργούν σε υψηλές πιέσεις γεγονός που έχει επίδραση στην κατασκευή τους. Κατά την χρήση νερού ως ψυκτικό μέσο, η ατμοποίηση λαμβάνει χώρα στους 5°C και υπό πίεση 782 Pa ενώ η συμπίκνωση στους 40°C με πίεση 7375Pa , με αποτέλεσμα οι συσκευές νερού-βρωμιούχου λιθίου να λειτουργούν σε πίεση χαμηλότερη της ατμοσφαιρικής. Όμως, παρόλο που οι απαιτήσεις κατασκευής είναι χαμηλότερες, απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες παροχές ψυκτικού μέσου για την επίτευξη αντίστοιχου ψυκτικού φορτίου. Σε έναν ψύκτη νερού-βρωμιούχου λιθίου 100kW , 145kg νερού πρέπει να ατμοποιούνται ανά ώρα γεγονός που οδηγεί, στην χαμηλή πίεση του συστήματος, σε παροχή ψυκτικού μέσου $21.300 \text{ m}^3/\text{h}$. Όσον αφορά στην χρήση αμμωνίας ως ψυκτικό μέσο, για την παραγωγή του ίδιου ψυκτικού φορτίου 286 kg αμμωνίας πρέπει να ατμοποιούνται ανα ώρα γεγονός που αντιστοιχεί σε παροχή $80 \text{m}^3/\text{h}$, υπό πίεση $5 \cdot 10^5 \text{Pa}$.

Κατά την ψύξη με προσρόφηση, το ψυκτικό νερό προσροφάται φυσικά από ένα στερό πορώδες ροφητικό υλικό (silica gel ή χλωριούχο ασβέστιο). Στην περίπτωση αυτή, απελευθέρωση θερμότητας λαμβάνει χώρα τόσο κατά την προσρόφηση όσο και κατά την συμπίκνωση. Όμως, με την αύξηση της συσσώρευσης των μορίων του νερού, η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την προσρόφηση τείνει στο μηδέν και κατά συνέπεια η μόνη θερμότητα που θα πρέπει να απαχθεί είναι αυτή της συμπίκνωσης. Η απελευθέρωση του συσσωρευμένου νερού από το ροφητικό υλικό καθώς και η συμπίκνωση λαμβάνουν χώρα σε χαμηλές θερμοκρασίες $60-70^{\circ}\text{C}$ και κατά συνέπεια η τεχνολογία αυτή είναι ιδανική για

εφαρμογές ηλιακής ψύξης. Στις ψυκτικές μηχανές προσρόφησης κλειστού κύκλου μπορεί να παραχθεί κρύο νερό θερμοκρασίας μέχρι και 5-6°C.

Στους ψύκτες απορρόφησης μιας βαθμίδας παράγονται 0,6-0,75 kW ψυκτικής ισχύος ανά kW προσδιδόμενης θερμότητας (θερμικός συντελεστής απόδοσης COP 0,6-0,75). Όσον αφορά τις ψυκτικές μηχανές νερού-βρωμιούχου λιθίου, συσκευές διπλής βαθμίδας αναγεννητή φυσικού αερίου είναι διαθέσιμες στην αγορά των οποίων ο θερμικός συντελεστής απόδοσης φτάνει το 1,1-1,3. Στις συσκευές αμμωνίας-νερού, η ύπαρξη διπλής βαθμίδας δεν είναι εφικτή εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται. Στους ψύκτες προσρόφησης κλειστού κύκλου, ο θερμικός συντελεστής απόδοσης εξαρτάται από την θερμοκρασία του διαθέσιμου ψυκτικού και οι τιμές κυμαίνονται στο 0,6-0,7. Στα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (νερό/silica gel ή νερό/χλωριούχο ασβέστιο) ο θερμικός συντελεστής απόδοσης επηρεάζεται έντονα από τα χαρακτηριστικά του εξωτερικού αέρα. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι ξηρός δεν απαιτείται χρήση θερμικής ισχύος στην ψύξη και κατά συνέπεια ο θερμικός συντελεστής απόδοσης τείνει στο άπειρο. Αντίθετα, όταν ο εξωτερικός αέρας είναι πολύ υγρός, η θερμότητα από τους συλλέκτες δεν επαρκεί για την αφύγρανση και ενδύκνεται η χρήση συμβατικής ψύξης. Τυπικές τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς για ψύξη με προσρόφηση ανοικτού κύκλου είναι μεταξύ 0,5 και 1.

Πίνακας 1.1: Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού.

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγρανση 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

1.2 Ψυκτικά συστήματα ανοικτού εξατμιστικού κύκλου (desiccant)

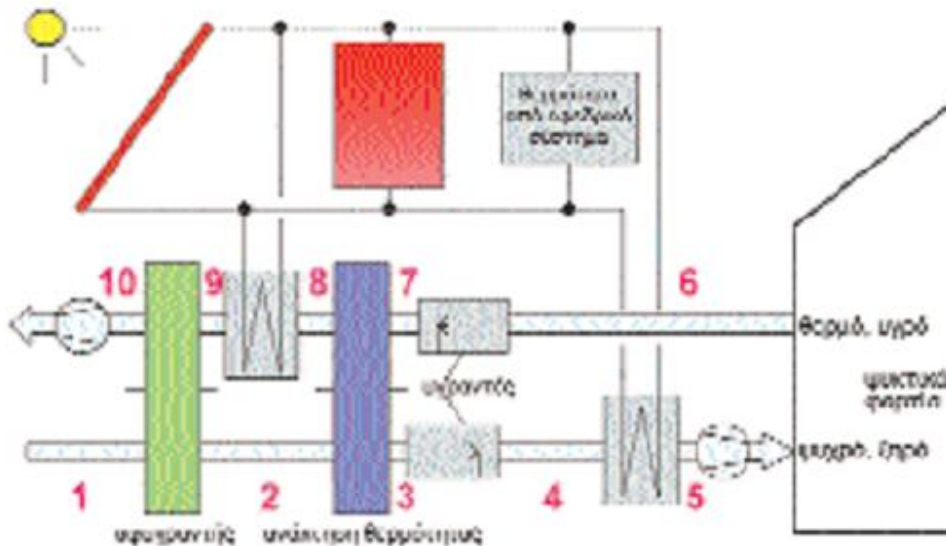
Τα συστήματα ψύξης ανοικτού εξατμιστικού κύκλου χρησιμοποιούν ως ψυκτικό μέσο νερό, σε άμεση επαφή με τον αέρα. Ο θερμοκίνητος ψυκτικός κύκλος είναι συνδυασμός εξατμιστικής ψύξης με αφύγρανση του αέρα μέσω ξηραντικού/αφυγραντικού υλικού, δηλαδή υγροσκοπικού υλικού. Για τον σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά ή στερεά υλικά. Τα υλικά αυτά μπορούν να προσροφήσουν υδρατμούς από 20% έως 60% του βάρους τους (σε ξηρή μορφή). Έχουν την δυνατότητα προσρόφησης υδρατμών και από αέρα σχετικά χαμηλής υγρασίας (μεταξύ 6% και 20% του βάρους τους από αέρα σχετικής υγρασίας 10%). Ο όρος "ανοικτός" κύκλος χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το ψυκτικό μέσο απορρίπτεται από το σύστημα αφού παράσχει την ψύξη και νέα ποσότητα ψυκτικού μέσου εισάγεται, μέσω ενός ανοικτού βρόγχου. Επομένως, μόνο το νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο, δεδομένου ότι υπάρχει άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα. Η διαδεδομένη τεχνολογία που εφαρμόζεται σήμερα χρησιμοποιεί, περιστρεφόμενους τροχούς αφυγραντικού υλικού, εφοδιασμένους είτε με silica gel, είτε με χλωριούχο λίθιο ως ροφητικό υλικό.

Συνήθως, τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται ως βοηθητικά συστήματα ψύξης σε περιπτώσεις όπου:

- Η σχετική υγρασία του χώρου πρέπει να είναι λιγότερο από 50%
- Η προσαγωγή νωπού αέρα υπερβαίνει το 15%
- Υπάρχει μεγάλη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος

1.2.1 Ψύξη στερεού μέσου ανοικτού κύκλου (desiccant) με περιστρεφόμενους τροχούς

Τα βασικά μέρη ενός συστήματος ηλιακής ψύξης DEC, παρουσιάζονται στο παρακάτω διάγραμμα.



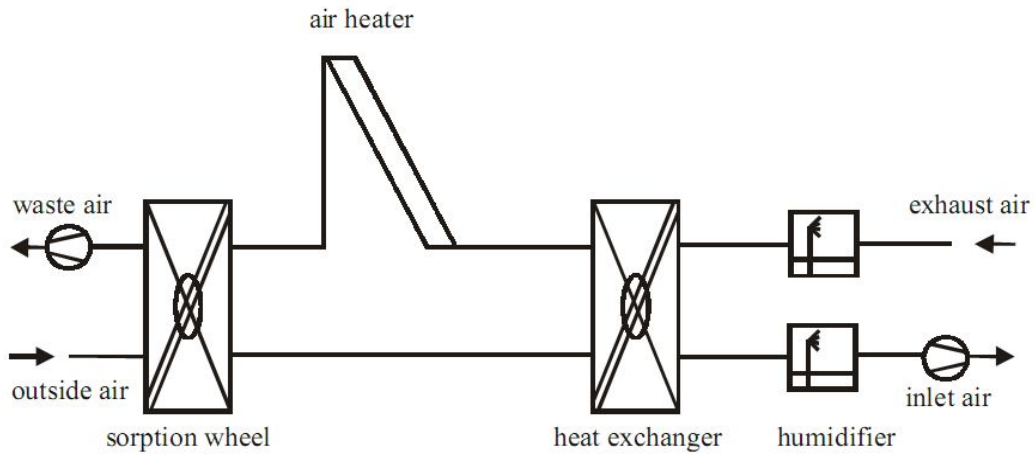
Σχ.1.1: Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ψύξης DEC.

Η βασική αρχή παροχής κλιματιζόμενου αέρα μπορεί να περιγραφεί ως εξής: ο θερμός και υγρός νωπός αέρας (1) εισάγεται στον αργά περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης και αφυδατώνεται με την προσρόφηση της υγρασίας (1-2). Δεδομένου ότι ο αέρας θερμαίνεται από την θερμότητα προσρόφησης, οδηγείται στον τροχό ανάκτησης θερμότητας (2-3), με συνέπεια να επιτυγχάνεται σημαντική πρόψυξη του ρεύματος νωπού αέρα. Στη συνέχεια, ο αέρας υγραίνεται και ψύχεται περεταίρω από έναν ελεγχόμενο υγραντή (3-4), σύμφωνα με την επιθυμητή θερμοκρασία και υγρασία του αέρα παροχής. Το ρεύμα αέρα απόρριψης υγραίνεται (6-7) κοντά στο σημείο κορεσμού του για να εκμεταλλευτεί την μέγιστη δυνατότητα ψύξης, προκειμένου να επιτευχθεί μια αποδοτική ανάκτηση θερμότητας (7-8).

Τέλος, το ροφητικό υλικό του τροχού πρέπει να αναγεννηθεί (9-10) με την χρήση θερμότητας σε χαμηλές σχετικά θερμοκρασίες (της τάξης των 50-75°C) επιτρέποντας έτσι την συνεχή λειτουργία αφύγρανσης.

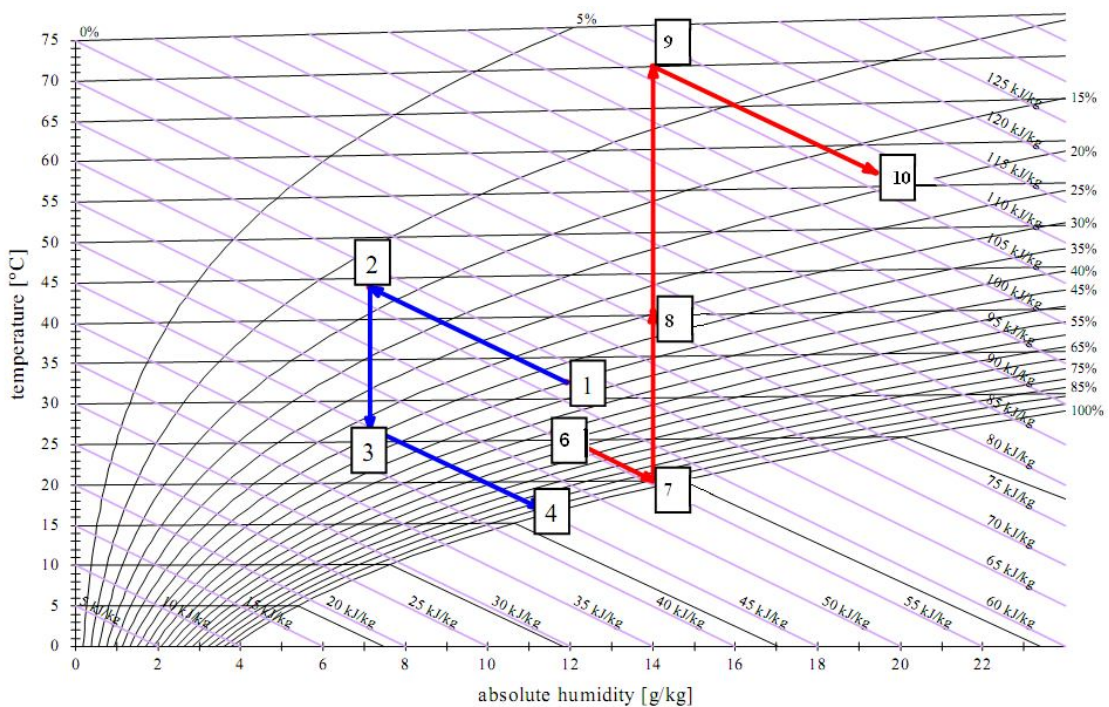
Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή θέρμανσης στα συστήματα ηλιακής ψύξης DEC. Το ηλιακό σύστημα μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες υγρού και δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, για την καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Αυτή η διάταξη απαιτεί πρόσθετο εναλλάκτη θερμότητας νερού/αέρα

(8-9), για να συνδεθεί το ηλιακό σύστημα με το σύστημα αέρα. Μια εναλλακτική λύση που οδηγεί σε χαμηλότερο πάγιο κόστος, είναι η αμέση τροφοδότηση της θερμότητας αναγέννησης από ηλιακούς συλλέκτες αέρα.



Σχ.1.2: Ψύξη αφύγρανσης με ηλιακούς συλλέκτες αέρα.

Οι διεργασίες που περιγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στο ακόλουθο διάγραμμα θερμοκρασίας-απόλυτης υγρασίας.



Σχ.1.3: Διάγραμμα θερμοκρασίας-απόλυτης υγρασίας για σύστημα ψύξης DEC.

Σε περιπτώσεις ακραίων ακραίων συνθηκών όπως π.χ. σε παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, απαιτείται ειδικός σχεδιασμός του τροχού αφύγρανσης.

Εδώ, λόγω της υψηλής υγρασίας του περιβαλλοντικού αέρα, μια τυποποιημένη διάταξη του ψυκτικού κύκλου αφύγρανσης δεν είναι ικανή να μειώσει την υγρασία σε επίπεδο αρκετά χαμηλό, ώστε να επιτρέψει την χρήση άμεσης εξατμιστικής ψύξης.

Πιο σύνθετες διατάξεις κεντρικών κλιματιστικών μονάδων DEC, που χρησιμοποιούν για παράδειγμα διαφορετικό τροχό ενθαλπίας ή πρόσθετους ψύκτες αέρος τροφοδοτούμενους με ψυχρό νερό, μπορούν να δώσουν λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα.

1.2.2 Ψύξη υγρού μέσου ανοικτού κύκλου (desiccant)

Μια νέα καινοτομική προσέγγιση, που σύντομα θα εισαχθεί στην αγορά, είναι τα υγρά συστήματα ψύξης που χρησιμοποιούν υγρό διάλυμα νερού/χλωριούχου λιθίου ως υλικό ρόφησης. Αυτός ο τύπος συστημάτων παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα όπως υψηλότερα ποσοστά αφύγρανσης αέρα στις ίδιες θερμοκρασίες αναγέννησης σε σχέση με τα συστήματα ψύξης DEC στερεού μέσου, και δυνατότητα υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης με αποθήκευση μάζας του συμπυκνωμένου διαλύματος. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για περεταίρω αύξηση της εκμετάλλευσης των θερμικών ηλιακών συστημάτων κλιματισμού.

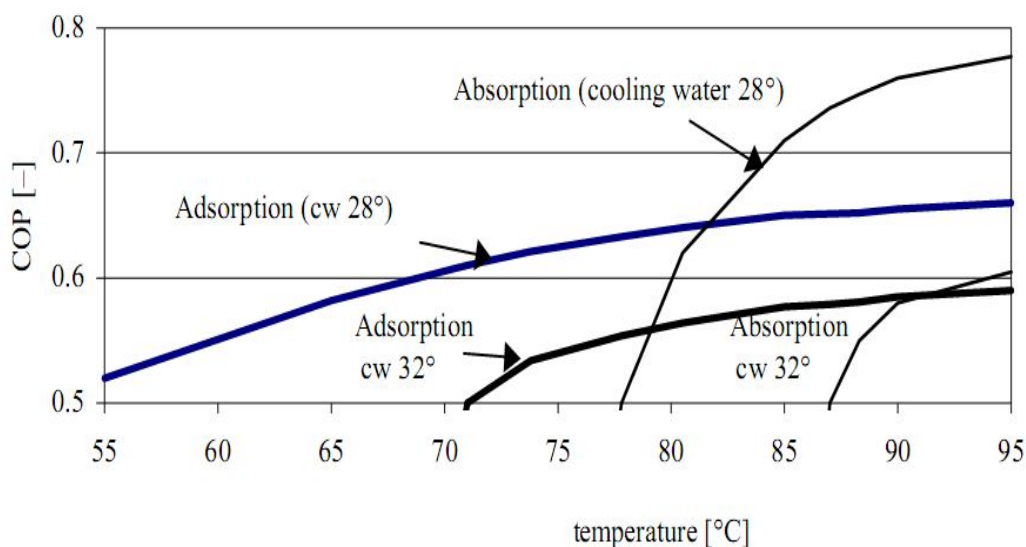
1.3 Ψύξη με προσρόφηση κλειστού κύκλου

1.3.1 Γενικά

Η λειτουργία των ψυκτών προσρόφησης κλειστού κύκλου μοιάζει αρκετά με αυτή των συσκευών προσρόφησης ανοικτού κύκλου καθώς και εδώ χρησιμοποιείται silica gel ως μέσο ρόφησης και νερό, ως ψυκτικό μέσο. Η ψύξη παράγεται με απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον κατά την ατμοποίηση του ψυκτικού μέσου στην χαμηλή πίεση. Για την αύξηση της πίεσης των ατμών του νερού, στο επιθυμητό για την συμπύκνωση σημείο, χρησιμοποιείται θερμική συμπίεση. Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου προσροφούνται από το υλικό ρόφησης (silica gel) και στην συνέχεια απελευθερώνονται στην επιθυμητή πίεση με την χρήση θερμότητας. Κρύο νερό θερμοκρασίας 5-15°C παράγεται και στην συνέχεια συνήθως διανέμεται στο κτίριο μέσω σωληνώσεων μικρής διαμέτρου. Το γεγονός αυτό αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής έναντι άλλων που οδηγούν σε απευθείας ψύξη του αέρα. Στις τελευταίες, απαιτείται η ύπαρξη μεγάλων αεραγωγών για την διανομή του κρύου αέρα στο κτίριο.

Μικρές ποσότητες ψυκτών προσρόφησης κλειστού κύκλου έχουν μέχρι στιγμής παραχθεί και είναι διαθέσιμες μόνο μηχανές μεγάλης ισχύος, μεταξύ 50 και 430 kW, οι οποίες μάλιστα απαιτούν υψηλές αρχικές δαπάνες, περίπου 500€/kW ψυκτικής ισχύος.

Σημαντικό πλεονέκτημα των μηχανών αυτών, έναντι των ψυκτών απορρόφησης νερού/βρωμιούχου λιθίου, είναι η δυνατότητα εφαρμογής τους σε θερμοκρασίες ζεστού νερού κάτω των 90°C. Με χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και θέρμανση νερού στους 60°C, οι συσκευές αυτές μπορούν να αποδώσουν ικανοποιητική ψυκτική ισχύ όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα. Βέβαια, η απόδοση όλων των ψυκτών κλειστού κύκλου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την θερμοκρασία του νερού ψύξης.



Σχ.1.4: Συντελεστής συμπεριφοράς COP για τις διάφορες τεχνολογίες ηλιακής ψύξης συναρτήσει της θερμοκρασίας αναγέννησης.

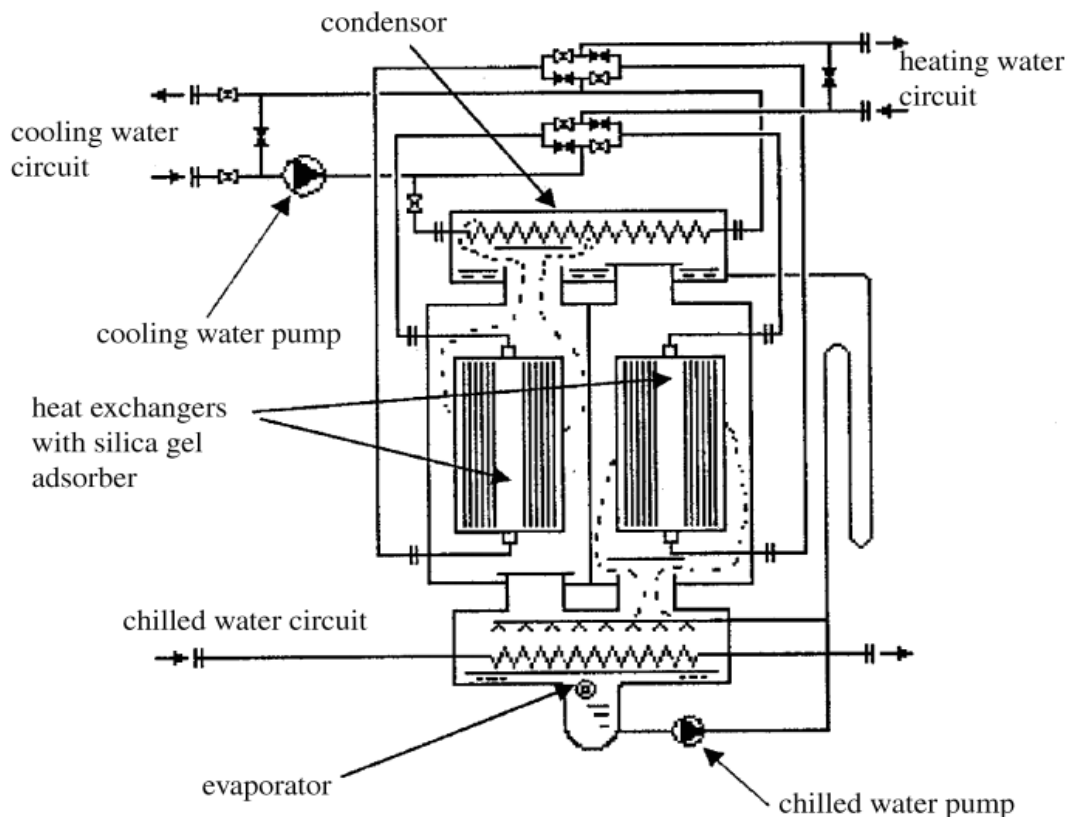
Γενικά οι ψυκτικές μηχανές προσρόφησης κλειστού κύκλου είναι προτιμότερο να λειτουργούν σε σημεία όπου παράγεται κρύο νερό υψηλής σχετικά θερμοκρασίας καθώς η ανα $^{\circ}\text{K}$ αύξηση της θερμοκρασίας του κρύου νερού αντιστοιχεί σε αύξηση της απόδοσης της μηχανής περίπου κατά 8%. Αντίθετα, το νερό ψύξης, που απάγει την θερμότητα που παράγεται κατά την συμπύκνωση και την προσρόφηση, θα πρέπει να είναι χαμηλής θερμοκρασίας για την αύξηση της απόδοσης της μηχανής. Το νερό αυτό ψύχεται σε πύργο ψύξης. Για την διατήρηση της καθαρότητας του κυκλώματος του νερού ψύξης χρησιμοποιούνται κλειστοί πύργοι ψύξης ή ανοιχτοί πύργοι με εναλλάκτη θερμότητας. Σε αντίθεση με τους ψυκτές απορρόφησης νερού/LiBr, εδώ δεν υπάρχει περιορισμός στο κάτω όριο της θερμοκρασίας του κυκλώματος ψύξης καθώς δεν υπάρχει η πιθανότητα κρυστάλλωσης. Όταν οι θερμοκρασίες στον ατμοποιητή είναι πολύ χαμηλές (κάτω των 4°C), χρησιμοποιείται το κύκλωμα ζεστού νερού για την θέρμανση του κάτω μέρους του ατμοποιητή για την αποφυγή δημιουργίας πάγου στον εναλλάκτη.

Η απλότητα κατασκευής των ψυκτών προσρόφησης καθώς και η αναμενόμενη μηχανική αντοχή τους είναι σημαντικά πλεονεκτήματά τους. Επίσης, δεν υπάρχει εσωτερική αντλία διαλύματος και ως εκ τούτου η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας είναι

ελάχιστη. Μειονέκτημα αυτού του τύπου των ψυκτών είναι ο συγκριτικά μεγάλος όγκος και το βάρος τους. Όμως υπάρχει μεγάλη δυνατότητα, στις επόμενες γενιές ψυκτών προσρόφησης, για βελτίωση των εναλλακτών θερμότητας στα διαμερίσματα προσροφητών και κατα συνέπεια για αξιοσημείωτη μείωση του όγκου και του βάρους των συσκευών.

1.3.2 Αρχή λειτουργίας

Ο ψύκτης προσρόφησης αποτελείται από δύο θαλάμους με ροφητικό υλικό (silica gel) οι οποίοι χρησιμοποιούνται εναλλάξ για την προσρόφηση και απελευθέρωση των ατμών του νερού, το οποίο αποτελεί το ψυκτικό μέσο. Τα συστήματα αυτά λειτουργούν σε κύκλο ημισυνεχούς αναγέννησης του προσροφητικού μέσου (semi-continuous regenerative cycle). Η θερμότητα, η οποία απελευθερώνεται κατά την προσρόφηση του ατμού, απάγεται από το σύστημα από κύκλωμα ψυχρού νερού, ενώ η απαραίτητη θερμότητα για την απελευθέρωση των ατμών και την αναγέννηση του προσροφητικού μέσου, παρέχεται στο σύστημα από κύκλωμα ζεστού νερό, το οποίο προέρχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Αυτό επιτυγχάνεται με χρήση εναλλακτών θερμότητας οι οποίοι είναι σε άμεση επαφή με το ροφητικό υλικό για αποτελεσματικότερη απαγωγή θερμότητας.



Σχ.1.5: Αρχή λειτουργίας ψυκτικής μηχανής προσρόφησης.

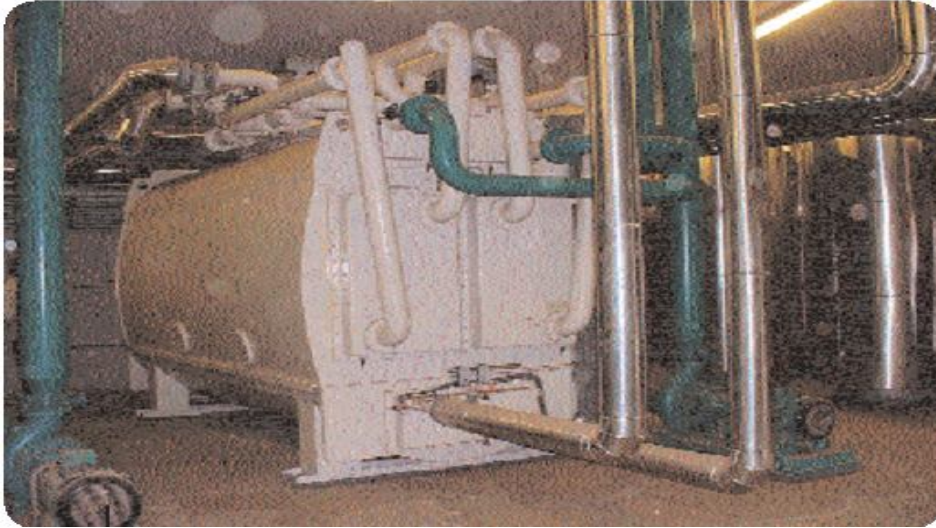
Όπως φαίνεται από το παραπάνω σχήμα, το σύστημα αποτελείται από δύο θαλάμους με εναλλάκτες θερμότητας, οι οποίοι φέρουν το προσροφητικό υλικό. Με αυτό τον τρόπο, απομακρύνεται η θερμότητα που παράγεται κατά την προσρόφηση και παρέχεται η αναγκαία θερμότητα για την απελευθέρωση των υδρατμών και την αναγέννηση του ροφητικού μέσου. Η μόνη αντλία που χρησιμοποιείται για το ψυκτικό μέσο είναι αυτή που στέλνει το νερό που συλλέγεται στο κάτω μέρος του ατμοποιητή πίσω στους ψεκαστήρες της συσκευής. Όλες οι άλλες αντλίες, για την κυκλοφορία του προς ψύξη νερού όπως και αυτές για το κυκλώματα του ζεστού νερού και του νερού ψύξης βρίσκονται εξωτερικά της συσκευής. Κάθε θάλαμος προσροφητικού υλικού συνδέεται με δύο βαλβίδες ελέγχου με τον ατμοποιητή και τον συμπυκνωτή. Η διαδικασία αποτελείται από δύο κύριες φάσεις και μια τρίτη μικρότερη που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο κύριων.

Στην πρώτη φάση, η κάτω βαλβίδα του ενός από τους δύο θαλάμους (δεξιά στο παραπάνω σχήμα) ανοίγει και ο ατμός που παράγεται από τον ατμοποιητή μπαίνει σε αυτόν και προσροφάται από το ροφητικό υλικό (silica gel) το οποίο έχει προηγουμένως προψυχθεί (στην ενδιάμεση φάση). Η διαδικασία αυτή λαμβάνει χώρα στην χαμηλή πίεση του ατμοποιητή (1000Pa στους 5°C) και η ενέργεια που απελευθερώνεται απάγεται από το σύστημα με το νερό ψύξης. Η πάνω βαλβίδα του θαλάμου αυτού, η οποία τον συνδέει με τον συμπυκνωτή, κατά την πρώτη φάση είναι κλειστή. Στον δεύτερο θάλαμο, κατά την φάση αυτή, η βαλβίδα του ατμοποιητή είναι κλειστή, ενώ η αντίστοιχη του συμπυκνωτή είναι ανοικτή. Με την χρήση θερμότητας από το κύκλωμα ζεστού νερού, το προσροφητικό υλικό αναγεννάται και απελευθερώνει τον ατμό, τον οποίο είχε συλλέξει στην προηγούμενη φάση, στην υψηλή πίεση του συμπυκνωτή. Όταν η ψυκτική ικανότητα της συσκευής μειωθεί σε μια συγκεκριμένη τιμή, γεγονός που σημαίνει την πλήρωση του ροφητικού υλικού στον πρώτο θάλαμο, η πρώτη φάση τελειώνει και γίνεται η προετοιμασία για την επόμενη φάση όπου οι θάλαμοι αντιστρέφουν την λειτουργία τους.

Στην δεύτερη φάση, οι βαλβίδες λειτουργούν αντίστροφα. Στον πρώτο θάλαμο ανοίγει η βαλβίδα του συμπυκνωτή και κλείνει αυτή του ατμοποιητή, ενώ το αντίστροφο συμβαίνει με τον δεύτερο θάλαμο. Στην φάση αυτή, στον πρώτο θάλαμο ο ατμός που είχε συλλεγεί απελευθερώνεται στον συμπυκνωτή με την χρήση της θερμότητας του ζεστού νερού, ενώ στον δεύτερο θάλαμο το ροφητικό υλικό που έχει αναγεννηθεί στην προηγούμενη φάση προσροφά τον ατμό που παράγεται από τον ατμοποιητή. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από την προσρόφηση του νερού απάγεται από το σύστημα, όπως και κατά την πρώτη φάση, από το νερό ψύξης.

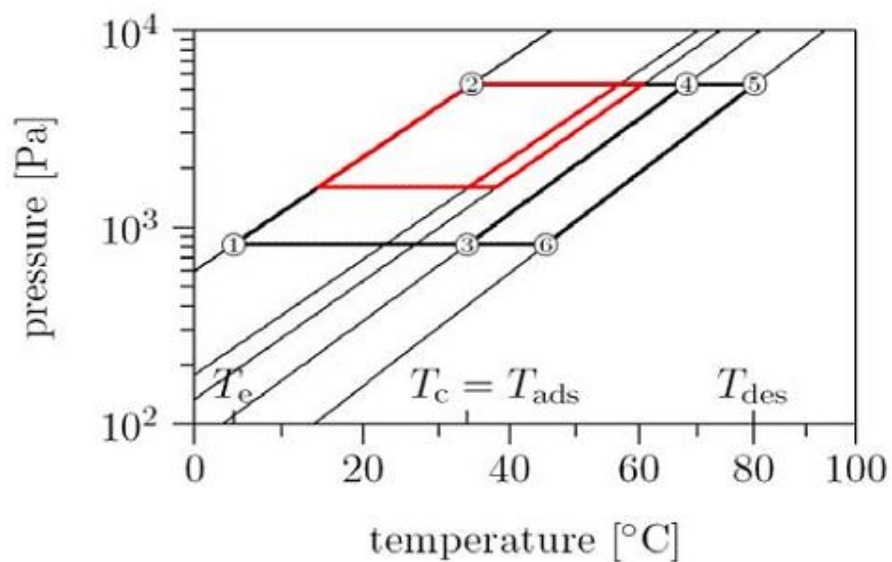
Ανάμεσα στις δύο κύριες φάσεις, μεσολαβεί μια τρίτη διάρκειας περίπου 20sec. Κατά την ενδιάμεση αυτή φάση, το ζεστό νερό χρησιμοποιείται για να προθερμάνει τον πρώτο θάλαμο ο οποίος στην επόμενη φάση θα απελευθερώσει τον ατμό που έχει συλλέξει και το κύκλωμα του κρύου νερού χρησιμοποιείται για την πρόψυξη του δεύτερου θαλάμου. Η

μέση διάρκεια ενός κύκλου είναι 400sec επομένως μαζί με την ενδιάμεση φάση έχουμε συνολική διάρκεια 7 λεπτών.



Σχ.1.6: Ψύκτης προσρόφησης 350kW – βιομηχανία Σαράντης ΑΕ, Ελλάδα.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα πίεσης-θερμοκρασίας συναρτήσει των ισοσταθμικών γραμμών της συγκέντρωσης των υδρατμών στο υλικό προσρόφησης.



Σχ.1.7: Διάγραμμα πίεσης θερμοκρασίας συναρτήσει των ισοσταθμικών γραμμών συγκέντρωσης των υδρατμών στο υλικό προσρόφησης.

Η πίεση του ατμού αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης υδρατμών στο υλικό προσρόφησης. Το ψυκτικό μέσο εισάγεται στον ατμοποιητή, όπου ατμοποιείται υπο χαμηλή πίεση (1), συμπιέζεται κατά την θερμική διαδικασία της προσρόφησης/απελευθέρωσης και τέλος συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή υπό υψηλή πίεση (2). Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία ατμοποίησης, τόσο μεγαλύτερη είναι η χαμηλή πίεση του ψυκτικού κύκλου προσρόφησης, δηλαδή η πίεση στον ατμοποιητή. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνονται δύο κύκλοι ψύξης, ο ένας με χαμηλή θερμοκρασία ατμοποίησης (4°C), για παραγωγή κρύου νερού και ο άλλος με υψηλότερη θερμοκρασία ατμοποίησης (14°C), για εφαρμογές ψυχρών οροφών. Η υψηλή πίεση (σημεία 2,4,5) καθορίζεται από την θερμοκρασία συμπύκνωσης, η οποία ισούται με την θερμοκρασία προσρόφησης. Η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου είναι η θερμοκρασία αναγέννησης, κατά την οποία το ψυκτικό μέσο απελευθερώνεται υπό υψηλή πίεση από το ροφητικό υλικό. Από την σύγκριση των δύο παραπάνω κύκλων είναι εμφανές ότι για χαμηλές θερμοκρασίες ατμοποίησης απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης (για $T_{\text{evap}}=4^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{des}}=80^{\circ}\text{C}$) ενώ για υψηλότερες θερμοκρασίες ατμοποίησης η αναγέννηση μπορεί να πραγματοποιηθεί και με θερμοκρασίες κάτω των 60°C.

1.4 Ψύξη απορρόφησης

1.4.1 Γενικά

Η τεχνολογία της απορρόφησης είναι γνωστή από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια προσελκύει έντονο ενδιαφέρον λόγω της δυνατότητας που παρέχει για αξιοποίηση της θερμικής ηλιακής ενέργειας ή απορριπτόμενης θερμότητας για εφαρμογές ψύξης και θέρμανσης. Ενδεικτικά, σε εφαρμογές θερμικής ηλιακής ενέργειας, με ζεστό νερό θερμοκρασίας 90-140°C, ψύξη κάτω των -30°C μπορεί να παραχθεί. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως.

Τα πιο κοινώς χρησιμοποιούμενα υγρά διαλύματα ψυκτικού μέσου/ροφητικού υλικού είναι αμμωνία/νερό και νερό/LiBr. Οι θερμοδυναμικές ιδιότητες των ψυκτικών μέσων είναι αυτές που καθορίζουν το εύρος λειτουργίας των ψυκτών. Η αμμωνία, υπό πίεση 10⁵Pa, ατμοποιείται στους -33°C και κατά συνέπεια μπορεί να εφαρμοστεί τόσο για εφαρμογές ψύξης όσο και για εφαρμογές κλιματισμού. Αντίθετα, η χρήση νερού ως ψυκτικό μέσο περιορίζεται μόνο σε εφαρμογές κλιματισμού εφόσον οι θερμοκρασίες ατμοποίησης είναι άνω των 0°C. Τα συστήματα νερού/LiBr εξαιτίας των χαμηλών πιέσεων που αναπτύσσονται σε αυτά είναι ιδανικά για μηχανές μικρής ισχύος. Όμως, στα συστήματα αυτά, δεν μπορεί να μειωθεί απότομα η συγκέντρωση του ψυκτικού στο ροφητικό υλικό καθώς υπάρχει η πιθανότητα κρυστάλλωσης του διαλύτη. Επίσης, λόγω

της μικρής διαλυτότητας του νερού στο βρωμιούχο λίθιο, ο απορροφητής είναι υδρόψυκτος.

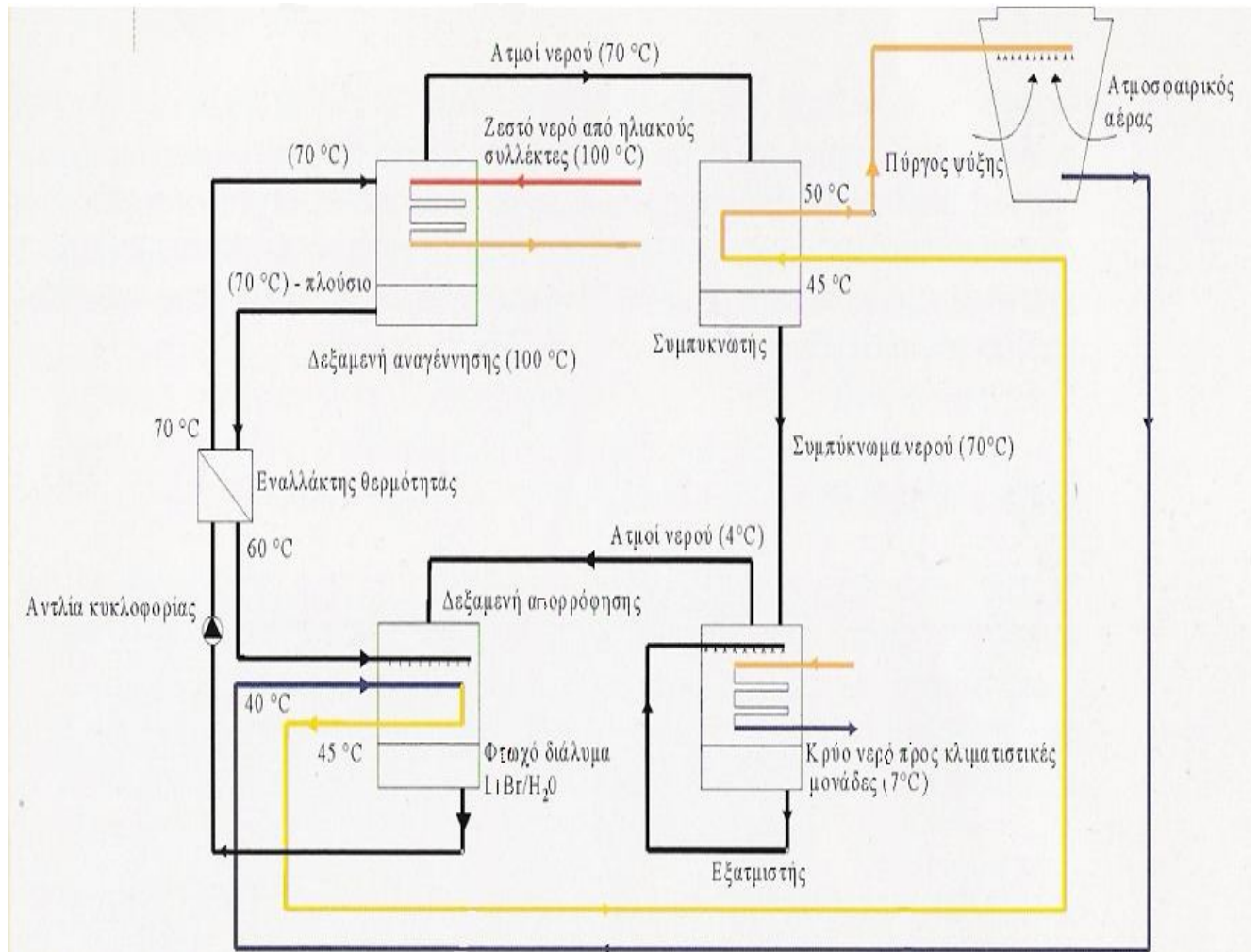
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ψυκτών νερού/LiBr είναι η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά των σημείων βρασμού του ψυκτικού μέσου και του ροφητικού υλικού. Αυτό, έχει σαν συνέπεια, μετά την αναγέννηση να παράγεται καθαρός ατμός ψυκτικού μέσου. Αντίθετα, θερμοκρασιακή διαφορά των σημείων βρασμού αμμωνίας και νερού είναι 133K και κατά συνέπεια, μετά την διαδικασία της αναγέννησης στα συστήματα αμμωνίας/νερού, παράγεται μίγμα ατμών αμμωνίας και νερού το οποίο απαιτεί αναβελτίωση για την παραγωγή σχετικά αμιγούς ατμού ψυκτικού μέσου.

Σήμερα, ψύκτες απορρόφησης νερού/LiBr μεγάλης ισχύος είναι διαθέσιμοι στην αγορά με την ανάπτυξη τέτοιων μηχανών διπλής βαθμίδας. Στις μηχανές αυτές πραγματοποιείται διπλή συμπίεση του ψυκτικού μέσου με χρήση δύο αναγεννητών, ενός υψηλής κι ενός χαμηλής θερμοκρασίας. Στον πρώτο, χρησιμοποιείται συνήθως θερμότητα από την καύση φυσικού αερίου, ενώ στον δεύτερο οδηγείται η θερμότητα που παράγεται στον συμπυκνωτή. Οι ψύκτες διπλής βαθμίδας απαιτούν θερμοκρασία άνω των 140°C αλλά ο COP μπορεί να επιτύχει τιμές μέχρι και 1,2, ενώ οι μηχανές μιας βαθμίδας περιορίζονται σε τιμές COP μέχρι 0,7. Εξαιτίας των υψηλών πιέσεων που αναπτύσσονται στα συστήματα διπλής βαθμίδας, οι μηχανές αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν με αμμωνία ως ψυκτικό μέσο εφόσον στα συστήματα αμμωνίας/νερού οι πιέσεις είναι ήδη πολύ υψηλές. Το σημαντικότερο μειονέκτημα των ψυκτών διπλής βαθμίδας είναι ότι, εξαιτίας των υψηλών θερμοκρασιών ζεστού νερού που απαιτούνται, μπορούν να λειτουργήσουν μόνο σε σύζευξη με συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι δύσκολα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές κτιρίων.

1.4.2 Αρχή λειτουργίας ψύκτη απορρόφησης μιας βαθμίδας

Στις ψυκτικές μηχανές απορρόφησης, όπως και στις αντίστοιχες προσρόφησης, η ηλεκτρική συμπίεση που πραγματοποιείται σε ένα συμβατικό ψυκτικό κύκλο αντικαθίσταται από μία θερμική διεργασία. Ο ρόλος της συμπίεσης στον ψυκτικό κύκλο είναι να φέρει τους ατμούς του ψυκτικού μέσου σε υψηλή πίεση, τέτοια ώστε να μπορεί να παραγματοποιηθεί η συμπύκνωση σε υψηλή θερμοκρασία. Η συμπίεση στις μηχανές απορρόφησης πραγματοποιείται μέσω απορρόφησης των ατμών του ψυκτικού μέσου, που προέρχονται από τον ατμοποιητή, από έναν υγρό διαλύτη (νερό ή LiBr) και στην συνέχεια μέσω απελευθέρωσης στους σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία στον αναγεννητή, για να οδηγηθούν έπειτα στον συμπυκνωτή.

Η σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης νερού/LiBr φαίνεται παρακάτω:



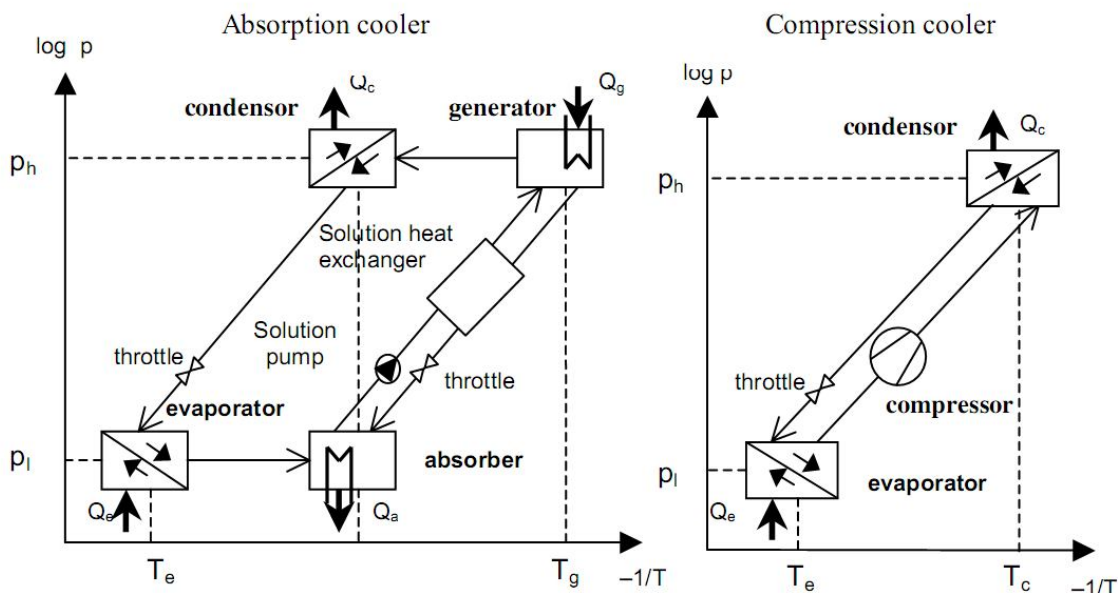
Σχ.1.8: Σχηματική απεικόνιση συστήματος ψύξης με ψυκτική μηχανή απορρόφησης μονής βαθμίδας.

Οι ατμοί που παράγονται στον ατμοποιητή οδηγούνται στην δεξαμενή απορρόφησης όπου απορροφούνται από το πλούσιο διάλυμα LiBr. Το φτωχό διάλυμα LiBr που παράγεται από την παραπάνω διαδικασία οδευγείται στον αναγεννητή με την βοήθεια της αντλίας κυκλοφορίας. Στον αναγεννητή, με την βοήθεια εξωτερικής πηγής θερμότητας (συνήθως ζεστό νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες), απελευθερώνονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου σε υψηλή πίεση ενώ από το κάτω μέρος της συσκευής απάγεται το πλούσιο διάλυμα LiBr για να οδηγηθεί πάλι στον απορροφητή. Μεταξύ των συσκευών απορρόφησης και αναγέννησης παρεμβάλεται συνήθως εναλλάκτης θερμότητας. Σε αυτόν, χρησιμοποιείται το πλούσιο διάλυμα LiBr υψηλής θερμοκρασίας που εξέρχεται από τον αναγεννητή για την προθέρμανση του φτωχού διαλύματος LiBr πριν την είσοδό του στην συσκευή αναγέννησης. Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης που εξέρχονται από τον αναγεννητή οδηγούνται στον συμπυκνωτή. Εκεί παράγεται συμπύκνωμα ψυκτικού μέσου το οποίο με τη βοήθεια σταγγαλιστικής διάταξης οδηγείται πίσω στον ατμοποιητή

στην χαμηλή πίεση. Η ψύξη παράγεται στον ατμοποιητή όπου κατά την ατμοποίηση του ψυκτικού απορροφάται θερμότητα από κύκλωμα νερού το οποίο οδηγείται στην συνέχεια στις κλιματιστικές μονάδες. Τόσο στον απορροφητή όσο και στον συμπυκνωτή απελευθερώνεται θερμότητα η οποία απάγεται με την βοήθεια κυκλώματος νερού ψύξης το οποίο παρέχεται στο σύστημα από εξωτερικό πύργο ψύξης.

Η λειτουργία του ψύκτη αμμωνίας/νερού είναι ίδια με αυτήν της συσκευής νερού/LiBr με την διαφορά ότι μετά την αναγέννηση απαιτείται περαιτέρω διαχωρισμός του ατμού που παράγεται για την παραγωγή αμιγούς ατμού ψυκτικού μέσου.

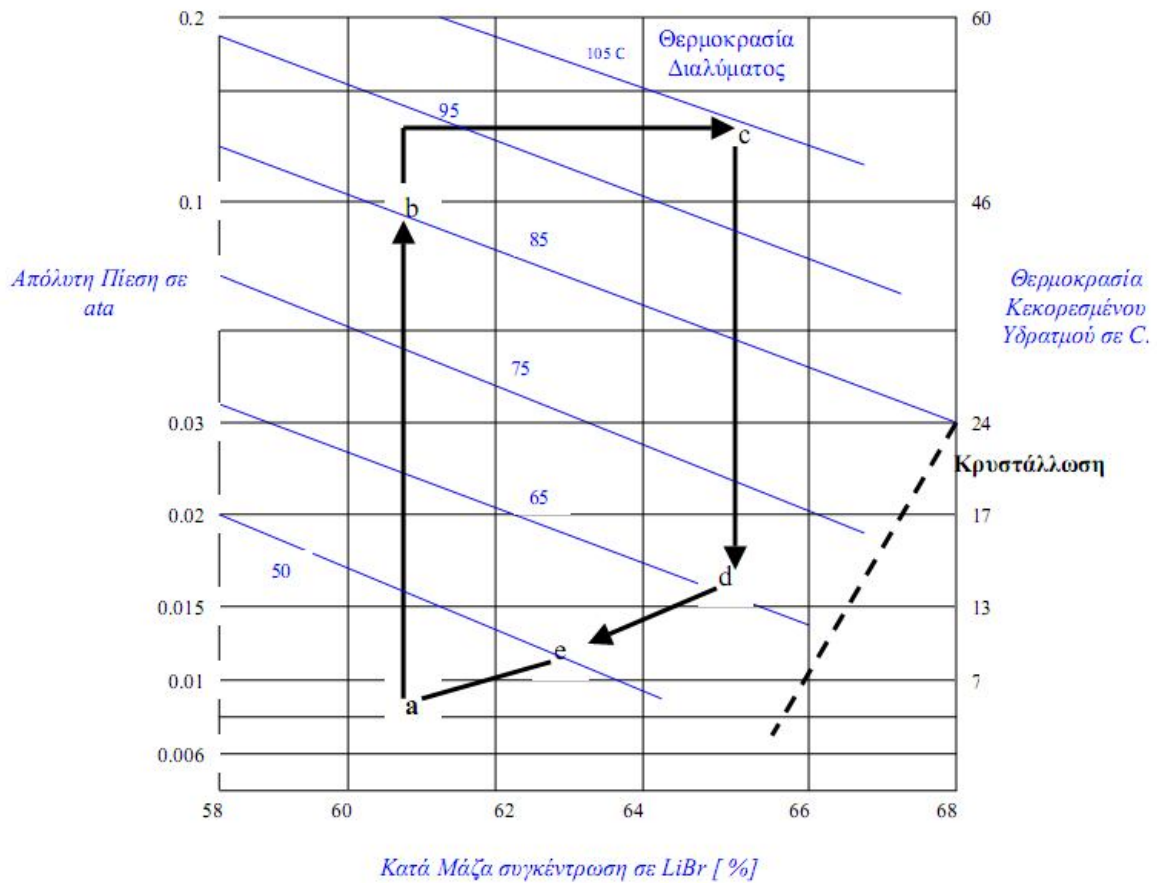
Στην υψηλή πίεση λειτουργούν ο συμπυκνωτής και ο αναγεννητής, ενώ στην χαμηλή ο ατμοποιητής και ο απορροφητής. Στον ατμοποιητή και τον συμπυκνωτή, η συγκέντρωση του ψυκτικού μέσου είναι 100% ($\xi = 1.0$) ενώ η ελάχιστη συγκέντρωση ψυκτικού μέσου συναντάται στο πλούσιο διάλυμα ροφητικού υλικού μετά τον αναγεννητή.



Σχ.1.9: Αναπαράσταση των διεργασιών ψύξης απορρόφησης και ψύξης με μηχανική συμπίεση στο διάγραμμα $\log p - 1/T$.

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 τέτοιου διαγράμματος φαίνεται παρακάτω:



Σχ.1.10: Θερμοδυναμική απεικόνιση του ψυκτικού κύκλου H₂O-LiBr.

Η μεταβολή ab απεικονίζει την θέρμανση του ασθενούς μέσου απορρόφησης στον εναλλάκτη θερμότητας. Η περεταίρω θέρμανση από το σημείο b μέχρι την υψηλή πίεση γίνεται εντός του αναγεννητή, όπου στην συνέχεια έχουμε παραγωγή ατμού ψυκτικού μέσου κατά μήκος της ισόθλιπτης μέχρι το σημείο c. Η ψύξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης παρίσταται από την μεταβολή cd και η ακολουθούσα απορρόφηση από την da.

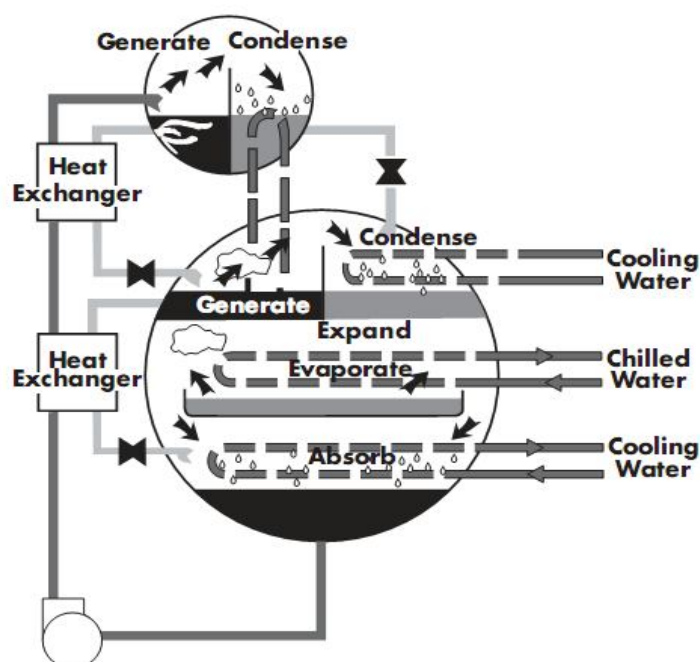
Οι μεταβολές αυτές λαμβάνουν χώρα μεταξύ διαλυμάτων συγκέντρωσης 61% με 65%. Από το παραπάνω σχήμα είναι εμφανές ότι το σημείο d βρίσκεται κοντά στην οριακή γραμμή κρυστάλλωσης του διαλύματος LiBr και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την αποφυγή αυτής. Η εμφάνιση κρυστάλλων είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα των διατάξεων αυτών και μπορεί να προκαλέσει ακόμα και διακοπή της λειτουργίας.

Τέλος, για μεγαλύτερη ασφάλεια, χρησιμοποιείται ανάμιξη του ισχυρού μέσου απορρόφησης που προέρχεται από τον αναγεννητή, με διάλυμα από τον απορροφητή πριν

την εισοδό του στον απορροφητή. Είναι προφανές ότι η ανάμιξη εδώ επιτρέπει την χρήση μεγαλύτερης συγκέντρωσης του ισχυρού μέσου παρά το γεγονός ότι η πίεση ατμοποίησης παραμένει εξίσου χαμηλή όπως και προηγουμένως.

1.4.4 Αρχή λειτουργίας ψύκτη απορρόφησης διπλής βαθμίδας

Κατά την ψύξη απορρόφησης διπλής βαθμίδας γίνεται χρήση δύο αναγεννητών ενός υψηλής και ενός χαμηλής θερμοκρασίας. Στον πρώτο χρησιμοποιείται θερμότητα που παράγεται συνήθως από καύση φυσικού αερίου (ή από συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες) ενώ στον δεύτερο οδηγείται η θερμότητα που απελευθερώνεται κατά την συμπύκνωση του ψυκτικού μέσου. Η σχηματική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης διπλής βαθμίδας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχ.1.11: Αρχή λειτουργία ψύκτη απορρόφησης διπλής βαθμίδας.





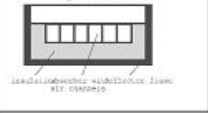
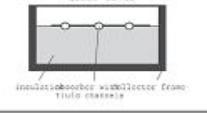
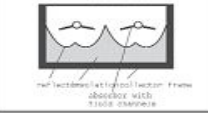
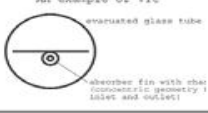
1.5 Ηλιακοί συλλέκτες

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που διατίθενται στην αγορά παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα. Τα συστήματα υψηλών θερμοκρασιών όπως οι παραβολικοί συλλέκτες με συστήματα παρακολούθησης του ηλίου δεν λαμβάνονται υπόψη. Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαφορά στην λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού χρήσης είναι το υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας, στο οποίο πρέπει να παρασχεθεί η χρήσιμη θερμότητα. Για τους θερμοκίνητους ψύκτες, η

θερμοκρασία αναγέννησης είναι συνήθως άνω των 80°C, με ελάχιστη τιμή 60°C. Για τα συστήματα ψύξης DEC, η θερμοκρασία αναγέννησης είναι από 55°C έως 90°C. Λόγω των υψηλών παροχών στο κύκλωμα θέρμανσης, η ιδανική στρωμάτωση στην αποθήκευση ζεστού νερού είναι δύσκολο να επιτευχθεί και έτσι η θερμοκρασία επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη είναι αρκετά υψηλή. Αυτό προκαλεί μερικούς περιορισμούς στην επιλογή του τύπου συλλεκτών.

Συνεπώς οι τυποποιημένοι επίπεδοι συλλέκτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέγιστο όφελος στα συστήματα DEC. Στις διατάξεις που χρησιμοποιούν ψύκτη προσρόφησης ή απορρόφησης μονής βαθμίδας, η χρήση επίπεδων συλλεκτών επιλεκτικής επιφάνειας περιορίζεται σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Για τις άλλες περιοχές και για ψύκτες που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης, χρησιμοποιούνται συλλέκτες υψηλής απόδοσης π.χ. συλλέκτες σωλήνων κενού. Από τα σταθερά συστήματα συλλεκτών, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν με συλλέκτες σωλήνων κενού, χρησιμοποιώντας οπτική συγκέντρωση. Αυτή αποτελεί ενδιαφέρουσα επιλογή για τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούν υψηλής απόδοσης ψύκτες απορρόφησης (διπλής βαθμίδας).

Πίνακας 1.2: Παρουσίαση θερμικών ηλιακών συλλεκτών που διατίθενται στην αγορά.

Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Σύντμηση	(Solar Air Collector) SAC	(Flat-Plate Collector) FPC	(Stationary Parabolic Compound Collector) CPC	Evacuated Tube Collector ETC: 1. Evacuated Tube with Heat Pipe EHP (με σωλήνα θερμότητας) 2. Evacuated Tube with Direct Flow EDF (απ'ευθείας ροής) 3. Sydney-type Evacuated Tube with Concentrator Reflector SYC (τύπος Sydney με συγκεντρωτικό ανακλαστήρα)
				
				
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη) Συγκέντρωση ακτινοβολίας χωρίς παρακολούθηση	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών
Κύρια εφαρμογή	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης
Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό	Ανοικτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)

2 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΠΑΚΕΤΟΥ TRNSYS ΚΑΙ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

2.1 Περιγραφή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS

2.1.1 Γενικά

Το TRNSYS αποτελεί ένα πλήρες και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτηρίων. Χρησιμοποιείται, από μηχανικούς και ερευνητές παγκοσμίως, για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις. Από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού οικιακής χρήσης μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων των στρατηγικών ελέγχου, την συμπεριφορά κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (άνεμος, ήλιος, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κτλ).

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη και αυτός μπορεί να τα τροποποιήσει κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις δικές του ανάγκες. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει ο ίδιος ο χρήστης ή άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, PASCAL, FORTRAN κ.α.). Αυτό είναι δυνατόν χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος στην οποία είναι βασισμένα στα αρχεία DLL. Επιπλέον, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα με πολλές άλλες εφαρμογές για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS κτλ.). Το TRNSYS συμπεριλαμβάνει τις ακόλουθες εφαρμογές:

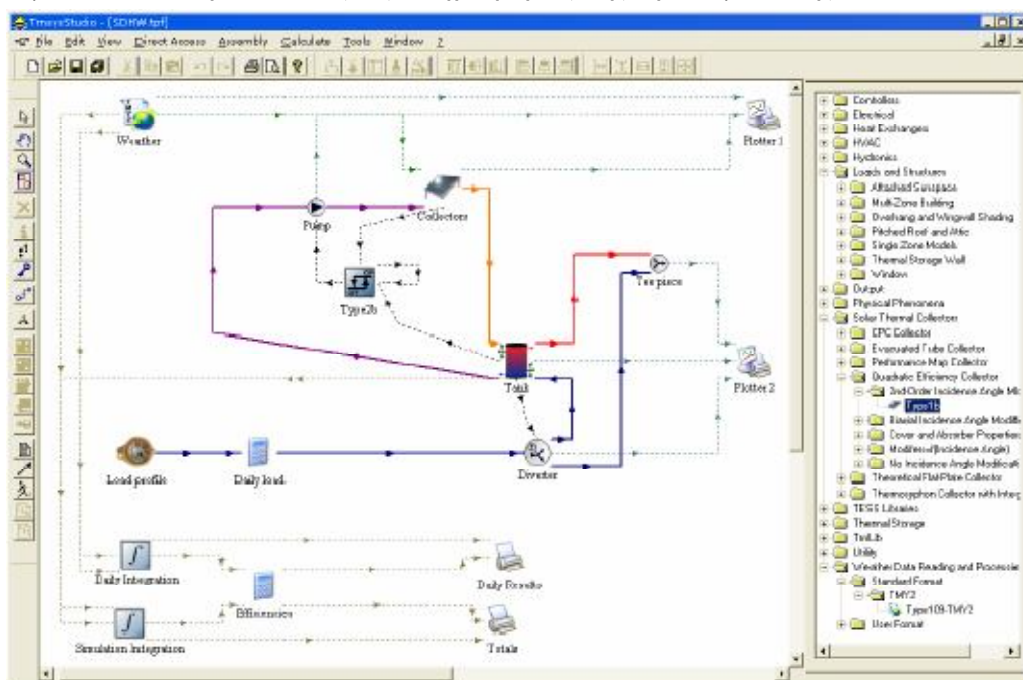
- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά)
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Συμπαράγωγή. Κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων: Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτηρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτηρίων (TRNBuild.exe), και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).

2.1.2 Στούντιο προσομοίωσης

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το στούντιο προσομοίωσης. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης χρησιμοποιώντας το ποντίκι για να σύρουμε 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.



Σχ. 2.1: Στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS

Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να καθορίσει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους, ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα χρησιμοποιηθούν στα διαγράμματα. Τέλος περιλαμβάνει έναν καταγραφέα/ διαχειριστή σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά τη διάρκεια μίας προσομοίωσης.

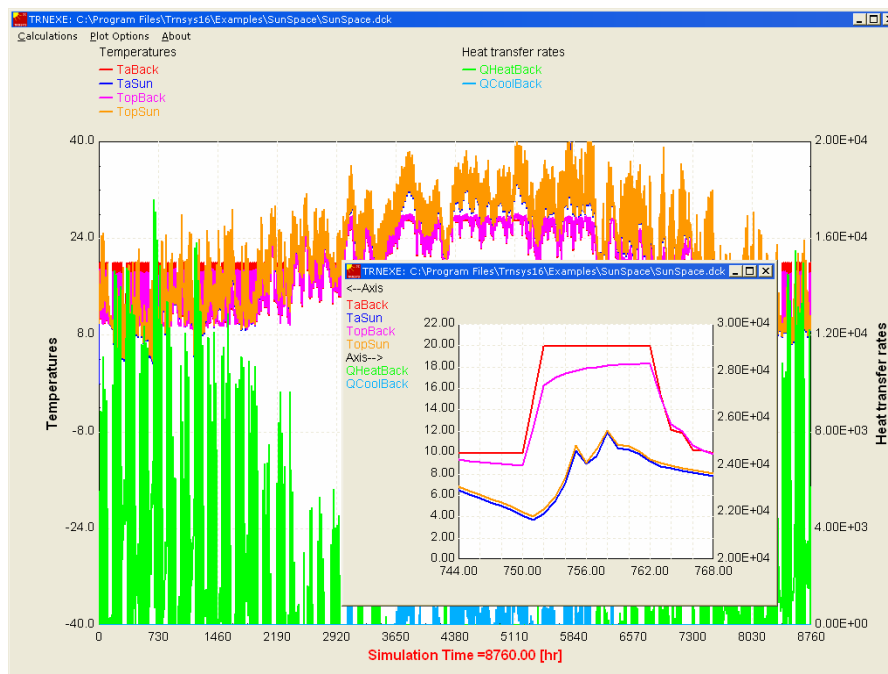
Τέλος, πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή "Fortran Wizard" καθώς επίσης η ανάγνωση των εξαγόμενων αρχείων, η επεξεργασία της περιγραφής ενός μοντέλου τροποποιώντας τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους του μοντέλου κτλ.

Η σύνδεση των μοντέλων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο της σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας και επιλέγοντας τα δύο στοιχεία που επιθυμούμε να

συνδέσουμε. 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.

2.1.3 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάγνωση αποτελεσμάτων.

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

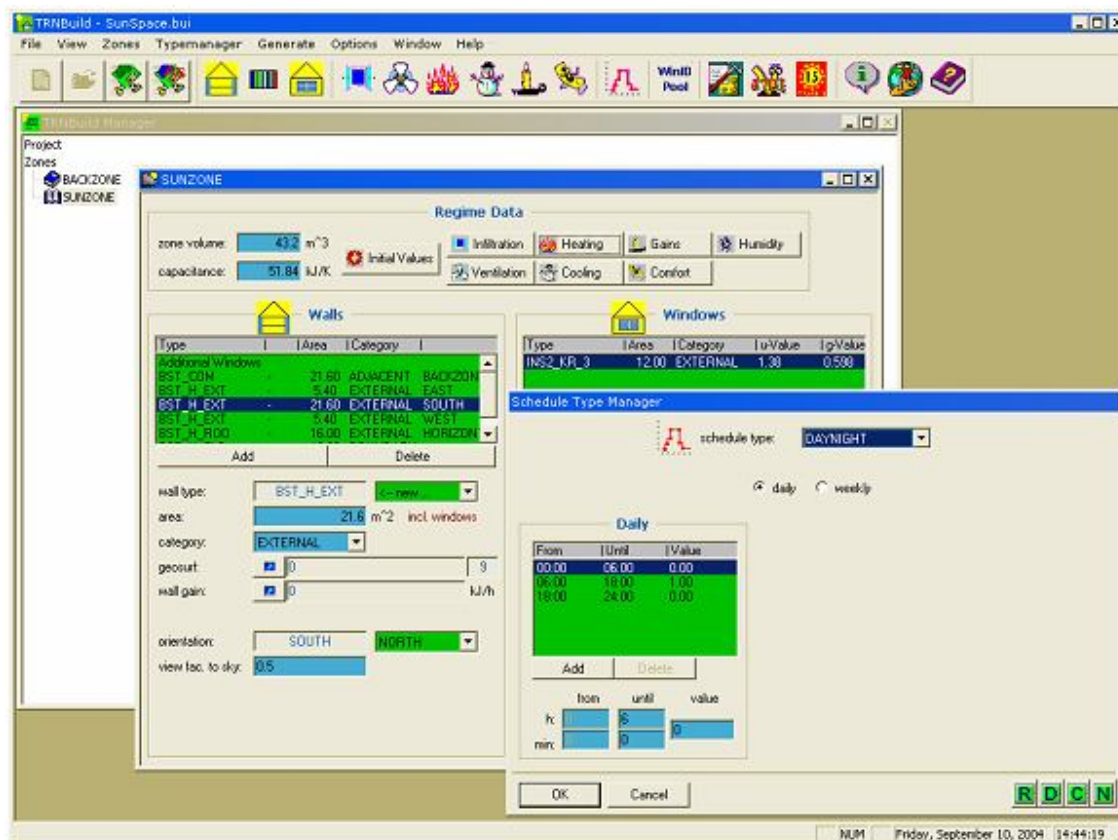


Σχ. 2.2: Διάγραμμα κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης και μεγέθυνση μέρους του διαγράμματος

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

2.1.4 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτηρίου (TRNBuild)

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτηρίου, καθώς και ότι χρειάζεται για τον καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, όπως οι οπτικές ιδιότητες των παραθύρων, το πρόγραμμα ψύξης και θέρμανσης που εφαρμόζεται στο κτίριο κτλ.

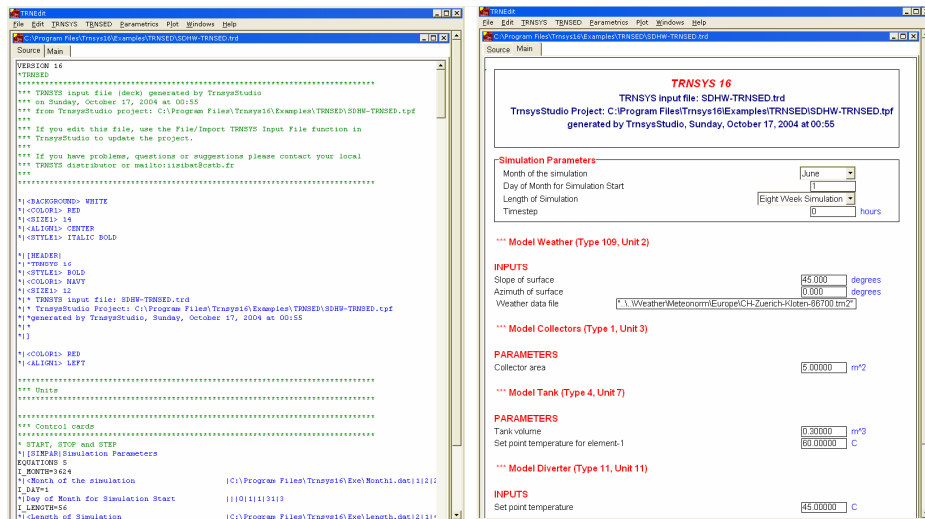


Σχ. 2.3: Παράθυρο επεξεργασίας της ζώνης

2.1.5 Πρόγραμμα TRNEdit

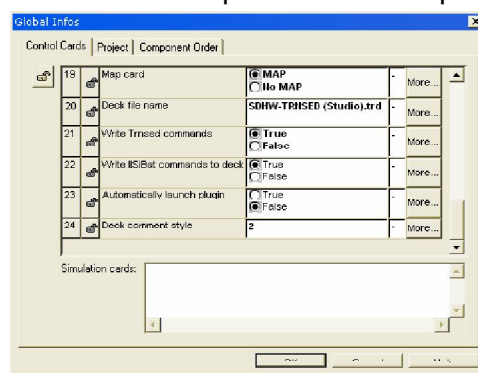
Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής (editor) ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να τους 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. Το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες. Στην πρώτη φαίνεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την Trnsed εφαρμογή.



Σχ.2.4: Καρτέλα του κώδικα του TRNEdit και η μορφή της Trnsed εφαρμογής

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “Write Trnsed commands”. Έπειτα, επιλέγονται οι εισοδοί και οι παράμετροι των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση των οποίων οι τιμές θα μπορούν να επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος TRNEdit και θα αποτελούν αργότερα παραμέτρους της Trnsed εφαρμογής. Αυτό γίνεται κάνοντας διπλό κλικ σε όλα τα μοντέλα της προσομοίωσης και επιλέγοντας “lock” σε κάθε μεταβλητή που δεν επιθυμούμε να αποτελεί παράμετρο της Trnsed εφαρμογής. Τέλος επιλέγουμε να γραφτεί το αρχείο εισόδου και το ανοίγουμε μέσω του προγράμματος TRNEdit όπου και τροποποιείται περαιτέρω.



Σχ.2.5: Καρτέλα ελέγχου της προσομοίωσης στο στούντιο προσομοίωσης

Με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- i. Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα.
- ii. Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων.
- iii. Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτηρίου κτλ).
- iv. Καθορισμός γραφικών παραμέτρων όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων, ενεργών εικόνων, εισαγωγή εικόνων.
- v. Ρύθμιση των Trnsed εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα ή από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών.
- vi. Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης.

2.2 Περιγραφή των μοντέλων προσομοίωσης

2.2.1 Εκτυπωτής - Μοντέλο 25

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.

Συμβολισμοί

L_{unit}	ο αριθμός της λογικής μονάδας στον οποίο θα εκτελεστεί έξοδος στον εκτυπωτή
Δt	το χρονικό βήμα της προσομοίωσης
Δt_p	η χρονική στιγμή κατά την οποία θα εκτυπωθούν οι μεταβλητές
t_{on}	η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα αρχίσει να εκτυπώνει
t_{off}	η χρονική στιγμή κατά την οποία ο εκτυπωτής θα σταματήσει να εκτυπώνει
TIME	η τωρινή χρονική στιγμή στην προσομοίωση
X_i	η τιμή της εισερχόμενης μεταβλητής i που θα εκτυπωθεί

Μαθηματικό μοντέλο

Για το μοντέλο του εκτυπωτή ισχύουν:

- Αν $\Delta t_p = 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί, εκτύπωση πραγματοποιείται μόνο στο τέλος της προσομοίωσης.
- Αν $0 < \Delta t_p \leq \Delta t$, πραγματοποιείται εκτύπωση σε κάθε πολλαπλάσιο του Δt
- Αν $\Delta t_p > \Delta t$, εκτύπωση πραγματοποιείται ανά N χρονικά βήματα, όπου N πρέπει να είναι θετικός ακέραιος και $N = \Delta t_p / \Delta t$
- Αν $t_{on} \leq 0$, η εκτύπωση εκκινεί στην αρχή της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση εκκινεί όταν $TIME \geq t_{on}$
- Αν $t_{off} \geq t_{end}$, η εκτύπωση σταματά στο τέλος της προσομοίωσης. Αλλιώς η εκτύπωση σταματά όταν $TIME > t_{off}$
- Αν $L_{unit} \leq 0$ ή αν δεν έχει ορισθεί χρησιμοποιείται η προκαθορισμένη λογική μονάδα. Αν $L_{unit} > 0$, ο αριθμός αυτός χρησιμοποιείται ως η λογική μονάδα για την έξοδο του εκτυπωτή. Αυτό επιτρέπει στην έξοδο του εκτυπωτή να γραφτεί σε ξεχωριστό αρχείο.
- Αν $UNITS=1$, εκτυπώνονται μεταβλητές που καθορίζει ο χρήστης. Αν $UNITS=2$, εκτυπώνονται μεταβλητές που επιλέγει το TRNSYS.

Παρατηρήσεις:

- Το μοντέλο 25 έχει μια παράμετρο η οποία ελέγχει αν οι χρονικές στιγμές στις οποίες πραγματοποιείται εκτύπωση είναι σχετικές ή απόλυτες. Για παράδειγμα αν η αρχή της προσομοίωσης γίνεται είναι 0,5, το χρονικό βήμα είναι 0,25 και το βήμα εκτύπωσης είναι 1 τότε: Αν η παράμετρος αυτή είναι ίση με 0, εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 0,5, 1,5, 2,5 κτλ. Αν η τιμή της παραμέτρου ορισθεί 1 εκτύπωση θα πραγματοποιηθεί τις χρονικές στιγμές 1,2,3 κτλ.
- Το μοντέλο 25 έχει επίσης τη δυνατότητα να απευθυνθεί στο αρχείο εξόδου αντί να το δημιουργήσει εκ νέου, γεγονός πού χρήσιμο για παραμετρικές εκτελέσεις του προγράμματος (όλες οι έξοδοι των παραμετρικών εκτελέσεων μπορούν να γραφούν στο ίδιο αρχείο).
- Η δεύτερη καρτέλα δεδομένων που ακολουθεί την καρτέλα εισόδων πρέπει να έχει τις ονομασίες για κάθε είσοδο και οι εισοδοι εκτυπώνονται κάτω από την δοσμένη ονομασία. Οι ονομασίες πρέπει να χωρίζονται είτε με κόμμα είτε με κενό.
- Αν η παράμετρος 5 ορισθεί ίση με 1, ο χρήστης πρέπει να παράσχει το σύνολο των μεταβλητών με τρόπο παρόμοιο των ονομασιών, όπως περιγράφηκε παραπάνω.

2.2.2 Δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων (Online Plotter) - Μοντέλο 65

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στην οθόνη επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης. Επίσης τα διαγράμματα των διαφόρων μεταβλητών εμφανίζονται σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Με το μοντέλο αυτό υπάρχει επίσης η δυνατότητα δημιουργίας αρχείου με όλες τις τιμές των μεταβλητών που εκτυπώνονται. Αυτό είναι δυνατόν ορίζοντας την παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό. Επίσης, ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από το πρόγραμμα της προσομοίωσης θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Αν όλοι οι online plotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων. Αν έχει επιλεγεί να παράγεται αρχείο εξόδου, αυτό δημιουργείται ακόμα και αν ο εκτυπωτής έχει τεθεί εκτός λειτουργίας.

Παρατηρήσεις

- Σε μία προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως 5 online plotters
- Κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. (10 στον αριστερό άξονα και 10 στον δεξιό)
- Στην καρτέλα εισόδων πρέπει να ορισθούν οι ονομασίες των μεταβλητών. Οι ονομασίες μπορούν να έχουν 25 το πολύ χαρακτήρες και διαχωρίζονται η μία από την άλλη με κόμμα ή κενό.
- Απαιτείται κάρτα ταμπελών για να ορισθούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα πρέπει να ορισθούν 3 ταμπέλες. Η πρώτη αναφέρεται στον τίτλο του αριστερού άξονα y, η δεύτερη στον τίτλο του άξονα x και η Τρίτη στον τίτλο του διαγράμματος
- Ο αριθμός εισόδων είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων.

2.2.3 Επεξεργαστής ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 16

Η έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία συνήθως καταγράφεται ανά μία ώρα και αναφέρεται στο οριζόντιο επίπεδο. Σε ορισμένες προσομοιώσεις απαιτούνται εκτιμήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας ανά χρονικά διαστήματα διαφορετικά της μίας ώρας. Το μοντέλο αυτό υπολογίζει με παρεμβολή, υπολογίζει διάφορα μεγέθη τα οποία σχετίζονται με τη θέση του ηλίου και εκτιμά την έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία σε έως και 8 επιφάνειες με σταθερό ή μεταβλητό προσανατολισμό.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να γίνει παρεμβολή στα δεδομένα της ακτινοβολίας. Μια σχετικά απλή μέθοδος είναι η γραμμική παρεμβολή των ωριαίων τιμών για την εκτίμηση της ακτινοβολίας σε μικρότερα της μίας ώρας χρονικά διαστήματα. Η μέθοδος αυτή έχει αρκετά μειονεκτήματα. Το πιο προφανές πρόβλημα είναι ότι παράγονται θετικές τιμές της ακτινοβολίας πριν την ανατολή του ηλίου και μετά τη δύση του. Για παράδειγμα αν η ανατολή του ηλίου είναι στις 6:30π.μ τότε, στο αρχείο με τις ωριαίες τιμές θα έχουμε για τις 6:00π.μ τιμή μηδέν και για τις 7:00π.μ 40watts/m². Με την γραμμική παρεμβολή θα λάβουμε 10watts/m² στις 6:15, δεκαπέντε λεπτά πριν την ανατολή του ηλίου. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο λόγος R_b της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο προς την ακτινοβολία στο οριζόντιο να προκύψει πολύ μεγάλος κατά τις χρονικές στιγμές κοντά στην ανατολή ή στη δύση του ηλίου, με αποτέλεσμα οι τιμές της ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο να προκύψουν υπερβολικά πολύ μεγάλες. Για το λόγο αυτό, το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιεί την καμπύλη της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας για να κάνει παρεμβολή στα δεδομένα της ακτινοβολίας. Η μέθοδος αυτή εξαλείφει σε μεγάλο βαθμό τα προβλήματα που προκύπτουν με την γραμμική παρεμβολή.

Κατά τις προσομοιώσεις απαιτείται συνήθως η ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου. Τα θεωρητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται από τις υπορουτίνες αυτού του επεξεργαστή απαιτούν την γνώση τις άμεσης και τις διάχυτης ακτινοβολίας των οποίων το άθροισμα συνιστά την ολική ακτινοβολία. Αν είναι γνωστή μόνο η ολική ακτινοβολία, παρέχονται συσχετισμοί από το μοντέλο 16 για την εκτίμηση της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου. Το μοντέλο 16 δίνει αρκετές επιλογές για τον υπολογισμό της άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου καθώς και για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο.

Σημείωση: Στο μοντέλο 16 δεν είναι δυνατή η εξομάλυνση των τιμών της ηλιακής ακτινοβολίας.

Συμβολισμοί

A_i	βαθμός ανισοτροπίας
a/c	σταθμισμένη στερεά γωνία περιοχής γύρω από τον ήλιο
E	εκκεντρότητα της τροχιάς της γης
F	παράγοντας διαμόρφωσης για το μοντέλο του Reindl για κεκλιμένες επιφάνειες
F_1'	συντελεστής μείωσης φωτεινότητας (για την περιοχή γύρω από τον ήλιο)
F_2'	συντελεστής μείωσης φωτεινότητας (φωτεινότητας ορίζοντα)
I_0	ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας οριζοντίου επιπέδου
I_{0n}	ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας καθέτου επιπέδου
I_b	ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου αίθριας ατμόσφαιρας
I_{bn}	ακτινοβολία καθέτου επιπέδου αίθριας ατμόσφαιρας
I_{bT}	άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I_d	διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

I_{dn}	διάχυτη ακτινοβολία καθέτου επιπέδου
I_{dT}	διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I	ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I_T	ολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I_{gT}	ακτινοβολία ανακλώμενη από το έδαφος σε κεκλιμένη επιφάνεια
K_T	λόγος ολικής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου προς την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας
L_{loc}	γεωγραφικό πλάτος τοποθεσίας
L_{st}	γεωγραφικό πλάτος μεσημβρινού στον οποίο βασίζεται ο τοπικός χρόνος
n	ημέρα έτους εκκίνησης της προσομοίωσης
R_b	λόγος άμεσης ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας προς την άμεση ακτινοβολία Οριζοντίου επιπέδου
R_d	λόγος διάχυτης ακτινοβολίας κεκλιμένης επιφάνειας προς την διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
R_r	λόγος αντανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας σε κεκλιμένη επιφάνεια προς την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
RH	σχετική υγρασία
S_c	ηλιακή σταθερά
$SHFT$	ι εταβολή στον ηλιακό χρόνο σε σχέση με τον ονομαστικό χρόνο της ανάγνωσης στοιχείων
T_a	θερμοκρασία περιβάλλοντος
t_1	χρονική στιγμή εκκίνησης του χρονικού βήματος
t_2	χρονική στιγμή λήξης του χρονικού βήματος
t_{d1}	χρονική στιγμή τελευταίας ανάγνωσης δεδομένων
t_{d2}	χρονική στιγμή επόμενης ανάγνωσης δεδομένων
α	ηλιακό ύψος
β	κλίση επιφάνειας, θετική όταν η κλίση έχει προσανατολισμό το καθορισμένο αζιμούθιο
β	κλίση άξονα κινούμενης επιφάνειας
δ	ηλιακή απόκλιση
Δ	παράμετρος φωτεινότητας ουρανού
ε	παράμετρος αιθριότητας ουρανού
γ	γωνία αζιμούθιου επιφάνειας. Η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο και τη νότια κατεύθυνση ($\gamma=0$ για νότιο προσανατολισμό, θετικό για τη δύση και αρνητικό για ανατολή)
γ'	γωνία αζιμούθιου άξονα. Η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της γραμμής του άξονα στο οριζόντιο επίπεδο και στον τοπικό μεσημβρινό
γ_s	αζιμούθιο ηλίου
θ	γωνία πρόσπτωσης άμεσης ακτινοβολία στο επίπεδο
θ_z	γωνία ζενίθ ηλίου

ρ_g	συντελεστής ανελαστικότητας εδάφους
φ	γεωγραφικό πλάτος
ω	μέση ωριαία γωνία χρονικού βήματος
ω_1	ωριαία γωνία στην αρχή του χρονικού βήματος
ω_2	ωριαία γωνία στο τέλος του χρονικού βήματος
ω_{d1}	ωριαία γωνία του πρώτου δεδομένου
ω_{d2}	ωριαία γωνία του τελευταίου δεδομένου

Μαθηματικό μοντέλο

Στην πράξη, τα περισσότερα δεδομένα είναι στην πραγματικότητα το ολοκλήρωμα στιγμιαίων τιμών. Ο αναγνώστης δεδομένων - Μοντέλο 9 χρησιμοποιεί γραμμική παρεμβολή, κάτι που είναι ακατάλληλο για τα δεδομένα της ακτινοβολίας. Για το λόγο αυτό το μοντέλο 9 πρέπει να ρυθμιστεί έτσι ώστε να μην εκτελεί παρεμβολή στα δεδομένα. Ο επεξεργαστής της ηλιακής ακτινοβολίας - Μοντέλο 16 χρησιμοποιεί την συνολική ακτινοβολία μεταξύ των χρονικών στιγμών t_{d1} και t_{d2} που διαβάζονται από το μοντέλο ανάγνωσης δεδομένων. Έπειτα, προσθέτοντας υπολογίζει αν είναι απαραίτητο την ολική ακτινοβολία μεταξύ των ωριαίων γωνιών ω_{d1} και ω_{d2} . Οι ωριαίες γωνίες επιλέγονται έτσι ώστε $\omega_{d1} \leq \omega_1$ και $\omega_{d2} \geq \omega_2$. Αν στο ενδιάμεσο του χρονικού βήματος έχουμε ανατολή ή δύση του ηλίου, τότε το κομμάτι του χρονικού βήματος κατά το οποίο ο ήλιος βρίσκεται κάτω από τη γραμμή του ορίζοντα αγνοείται.

Η ολική ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας μεταξύ των ωριαίων γωνιών ω' και ω'' δίνεται από τη σχέση:

$$I |_{\omega'}^{\omega''} = \int_{\omega'}^{\omega''} S E (\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta) d\omega \quad (2.1)$$

Αν είναι γνωστό το ολοκλήρωμα $|_{\omega'}^{\omega''}$, μια λογική εκτίμηση της πραγματικής έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία στη διάρκεια του χρονικού βήματος είναι:

$$I |_{\omega'}^{\omega''} = I |_{\omega'}^{\omega''} + \frac{I}{\omega'' - \omega'}$$

Ο υπολογισμός αυτός εκτιμά το ολοκλήρωμα για την ακτινοβολία χρησιμοποιώντας το λόγο της ακτινοβολίας εκτός ατμόσφαιρας για το συγκεκριμένο χρονικό βήμα προς την ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας για την περίοδο που αντιστοιχεί μεταξύ δύο διαδοχικών τιμών των δεδομένων. Καθότι άλλες ρουτίνες του TRNSYS απαιτούν την στιγμιαία την στιγμιαία τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας, υπολογίζεται ο μέσος όρος της ηλιακής ακτινοβολίας στο συγκεκριμένο χρονικό βήμα.

Μέθοδοι υπολογισμού άμεσης και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου

Το μοντέλο 16 έχει πέντε μεθόδους για να υπολογίσει την άμεση και τη διάχυτη ακτινοβολία έχοντας δεδομένη την ολική ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου. Οι λειτουργίες 1 και 2 βασίζονται στις σχέσεις που ανέπτυξε ο Reindl. Και οι δύο λειτουργίες παρέχουν εκτιμήσεις του λόγου της διάχυτης ακτινοβολίας προς την ολική ακτινοβολία (I_d/I). Η λειτουργία 1 είναι στην πραγματικότητα μια απλοποιημένη μορφή των πλήρων σχέσεων που χρησιμοποιείται στη λειτουργία 2. Η λειτουργία 1 χρησιμοποιεί τον δείκτη αιθριότητας και το ηλιακό ύψος για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας. Οι υπολογισμοί γίνονται με τις παρακάτω εξισώσεις:

- Για $0 \leq k_T \leq 0.3$ και $I_d/I \leq 1.0$:

$$I_d/I = 1.020 - 0.254 k_T + 0.0123 \sin(\alpha)$$

- Για $0.3 < k_T < 0.78$ και $0.1 \leq I_d/I \leq 0.97$:

$$I_d/I = 1.400 - 1.749 k_T + 0.177 \sin(\alpha)$$

- Για $0.78 < k_T$ και $0.1 \leq I_d/I$:

$$I_d/I = 0.486 k_T - 0.182 \sin(\alpha)$$

Στη λειτουργία 2 το κλάσμα της διάχυτη ακτινοβολία εκτιμάται ως συνάρτηση του δείκτη αιθριότητας, του ηλιακού ύψους, της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και τη σχετική υγρασία. Οι υπολογισμοί γίνονται με τις ακόλουθες εξισώσεις:

- Για $0 \leq k_T \leq 0.3$ και $I_d/I \leq 1.0$:

$$I_d/I = 1.000 - 0.232 k_T + 0.0239 \sin(\alpha) - 0.000682 T_a + 0.0195 (rh/100)$$

- Για $0.3 < k_T < 0.78$ και $0.1 \leq I_d/I \leq 0.97$:

$$I_d/I = 1.329 - 1.716 k_T + 0.267 \sin(\alpha) - 0.00357 T_a + 0.106 (rh/100)$$

- Για $0.78 < k_T$ και $0.1 \leq I_d/I$:

$$I_d/I = 0.426 k_T - 0.256 \sin(\alpha) + 0.00349 T_a + 0.0734 (rh/100)$$

Αντί να τίθενται περιορισμοί για κάθε μεταβλητή στις παραπάνω εξισώσεις, χρησιμοποιείται ένας εναλλακτικός περιορισμός στον συνολικό υπολογισμό της διάχυτης

ακτινοβολίας. Τα όρια του περιορι περιορισμού τίθενται στις υπολογισμένες τιμές της διάχυτης ακτινοβολίας έτσι ώστε να είναι λογικές.

Κατά τις παραπάνω λειτουργίες η άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου υπολογίζεται ως

$$I_b = I - I_d$$

Στην λειτουργία, η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία παρέχονται άμεσα ως είσοδοι από τον χρήστη. Στην λειτουργία 4 είσοδοι είναι η ολική και η άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου. Τέλος, στην λειτουργία 5 είσοδοι είναι η ολική και η διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου.

Θέση Ηλίου στον ουρανό

Η θέση του ήλιου στον ουρανό μπορεί να καθορισθεί από το την γωνία ζενίθ και τη γωνία αζιμούθιου ηλίου. Η γωνία ζενίθ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του κάθετου επιπέδου και της ευθείας όρασης του ήλιου. Η γωνία αυτή είναι 90° μείον την γωνία ανάμεσα στον ήλιο και στον οριζόντιο επίπεδο (ηλιακό ύψος). Η γωνία αζιμούθιου είναι η γωνία που σχηματίζεται από τον τοπικό μεσημβρινό και της προβολής της ευθείας όρασης του ηλίου στο οριζόντιο επίπεδο. Η γωνία αζιμούθιου είναι 0 για τον νότιο προσανατολισμό, θετική για τους δυτικούς προσανατολισμούς και αρνητική για τους ανατολικούς.

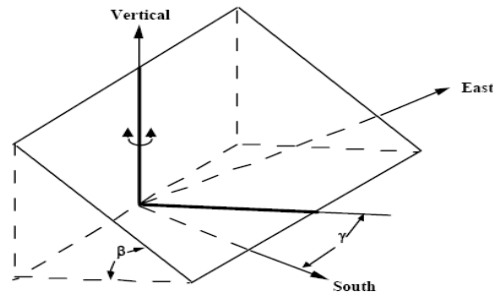
$$\cos \theta = \sin \delta \cos \varphi + \sin \varphi \cos \delta \cos \omega$$

$$\sin \gamma = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \theta}$$

Λειτουργία κινούμενης επιφάνειας

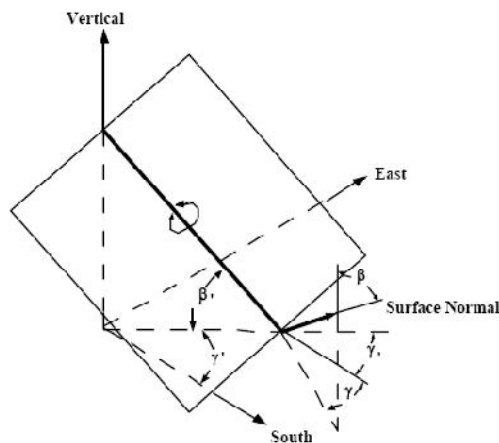
Το μοντέλο 16 παρέχει 4 λειτουργίες υπολογισμού της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε κινούμενες επιφάνειες. Η λειτουργία 1 είναι αφορά επιφάνειες που δεν ακολουθούν την τροχιά του ήλιου με σκοπό την μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η κλίση και το αζιμούθιο της επιφάνειας εισάγονται από τον χρήστη και καθορίζουν την θέση του ήλιου. Οι είσοδοι αυτοί είτε μεταβάλλονται με το χρόνο είτε είναι σταθερές. Οι λειτουργίες 2-4 αφορούν διάφορους βέλτιστους τύπους επιφανειών για την παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου. Ένας τέτοιος συλλέκτης μεταβάλλει τον προσανατολισμό του κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η τιμή της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε όλες τις χρονικές στιγμές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε μεγιστοποιώντας την άμεση προσπίπτουσα ακτινοβολία είτε το $\cos(\theta)$.

Η λειτουργία 2 προσομοιώνει την κίνηση μιας επιφάνειας με σταθερή κλίση και μεταβλητή γωνία αζιμούθιου. Η επιφάνεια περιστρέφεται με κατακόρυφο άξονα περιστροφής όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Στην περίπτωση αυτή η άμεση ακτινοβολία μεγιστοποιείται όταν $\gamma = \gamma_s$. Στην περίπτωση αυτή οι δοσμένες από τον χρήστη τιμές της γωνίας αζιμούθιου αγνοούνται.



Σχ.2.6: Κινούμενη επιφάνεια στη λειτουργία 2

Η λειτουργία 3 προσομοιώνει τη γενική περίπτωση όπου η επιφάνεια περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα παράλληλο στην επιφάνεια. Μια τέτοια επιφάνεια φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα.



Σχ.2.7: Κινούμενο επίπεδο κατά την λειτουργία 3

Για οριζόντιο άξονα η κλίση της επιφάνειας δίνεται από την εξίσωση:

$$\beta = \tan^{-1} (\tan \theta \cos(\gamma - \gamma'))$$

Όπου η γωνία αζιμούθιου της επιφάνειας δίνεται ως προς τη γωνία αζιμούθιου του άξονα ως εξής:

$$\gamma = \gamma' + 90^\circ, \text{ για } \gamma_s - \gamma' > 0$$

$$\gamma = \gamma' - 90^\circ \text{ για } \gamma_s - \gamma' < 0$$

Όταν μια επιφάνεια περιστρέφεται γύρω από άξονα πάντα παράλληλο στην επιφάνεια, όταν η επιφάνεια δεν είναι κάθετη ή οριζόντια, τότε και η γωνία αζιμούθιου και η κλίση της μεταβάλλονται με το χρόνο. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι:

$$\gamma = \gamma_s + \tan^{-1} \frac{\sin \theta \sin(\gamma_s - \gamma)}{\sin \beta \cos \theta}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\tan \theta}{\cos(\gamma_s - \gamma)}$$

Όπου θ είναι η γωνία πρόσπτωσης σε επιφάνεια με κλίση και γωνία αζιμούθιου ίση με αυτές του άξονα.

Στην περίπτωση αυτή οι εισαγόμενες τιμές της κλίσης και της γωνίας αζιμούθιου αναφέρονται στον άξονα.

Στην λειτουργία 4, προσομοιώνονται επιφάνειες που περιστρέφονται σε δύο άξονες. Η άμεση ακτινοβολία στην περίπτωση που η επιφάνεια κινείται με τέτοιο τρόπο ώστε οι ακτίνες του ηλίου να παραμένουν πάντα κάθετες στην επιφάνεια. Αυτό επιτυγχάνεται όταν $\gamma = \gamma_s$ και $\beta = \theta_z$. Στην περίπτωση αυτή οι εισαγόμενες τιμές της κλίσης και της γωνίας αζιμούθιου αγνοούνται.

Λειτουργία υπολογισμού ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου

Το μοντέλο 16 παρέχει 4 λειτουργίες υπολογισμού της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου. Σε όλες τις περιπτώσεις απαιτείται γνώση της ολικής και διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου καθώς και η θέση του ήλιου. Γενικά ο υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου γίνεται προσθέτοντας την άμεση, την διάχυτη και ανακλώμενη από το έδαφος ακτινοβολία στο επίπεδο.

Σε όλες τις λειτουργίες χρησιμοποιούνται οι ίδιες τεχνικές για την προβολή της άμεσης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια και διαφέρουν μόνο στην μέθοδο υπολογισμού της διάχυτης ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο. Η συμβολή της άμεσης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια (για μικρά χρονικά διαστήματα) μπορεί να υπολογιστεί με χρήση του συντελεστή R_b :

$$R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_s)}$$

Όπου:

$$\cos(\theta) = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \cos(\gamma_s - \gamma) \sin \beta$$

Στην παραπάνω εξίσωση, β είναι η κλίση της επιφάνειας, ορισμένη ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας και του οριζοντίου επιπέδου, ενώ γ είναι η γωνία αζιμούθιου της επιφάνειας. Το πρόσημο της γωνίας αζιμούθιου της επιφάνειας είναι ίδιο με το αζιμούθιο ηλίου. Δηλαδή μηδέν για νότιο προσανατολισμό, θετικό για δυτικούς προσανατολισμούς και αρνητικό για ανατολικούς. Η κλίση λαμβάνει θετική τιμή όταν έχει προσανατολισμό προς το αζιμούθιο της επιφάνειας.

Αφού έχει υπολογιστεί το R_b :

$$I_{bT} = I_b R_b$$

Η συμβολή της ανακλώμενης ακτινοβολίας υπολογίζεται με την παραδοχή ότι το έδαφος συμπεριφέρεται ως ισοτροπικός ανακλαστήρας και καθορίζοντας τον παράγοντα R_r ως το λόγο της ανακλώμενης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια προς την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, είναι:

$$R = 0.5(1 - \cos \beta) \rho$$

$$I = IR$$

Η συμβολή της διάχυτης ακτινοβολίας στην κεκλιμένη επιφάνεια υποθέτοντας ισοτροπικό ουρανό είναι:

$$I = I R$$

Η λειτουργία 2 χρησιμοποιεί τ μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Hay and Davies. Το μοντέλο αυτό λαμβάνει υπόψη του και την και την ισοτροπική διάχυτη ακτινοβολία και την διάχυτη ακτινοβολία από την περιοχή γύρω από τον ήλιο. Υπό συνθήκες πλήρους αιθριότητας, παρατηρείται αυξημένη ένταση της διάχυτης ακτινοβολίας στην περιοχή γύρω από τον ήλιο. Το μοντέλο των Hay and Davies σταθμίζει την διάχυτη ακτινοβολία από την περιοχή γύρω από τον ήλιο χρησιμοποιώντας έναν δείκτη ανισοτροπίας A_i . Ο δείκτης ανισοτροπίας καθορίζει το ποσοστό της διάχυτης ακτινοβολίας που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο ενώ το υπόλοιπο μέρος θεωρείται ισοτροπικό. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, είναι:

$$A = \frac{I}{I}$$

$$I = I [0.5(1 - A)(1 + \cos \beta) + A R]$$

Ο πρώτος όρος στην αγκύλη παριστά την συμβολή του ισοτροπικού μέρους της διάχυτης ακτινοβολίας ενώ ο δεύτερος όρος παριστά το μέρος που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο.

Στη λειτουργία 3 το μοντέλο 16 χρησιμοποιεί το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Reindl το οποίο βασίζεται στην εργασία πολλών προηγούμενων μελετητών. Το μοντέλο αυτό προσθέτει στο μοντέλο των Hay and Davies έναν ακόμη όρο της διάχυτης ακτινοβολίας ο οποίος αναφέρεται στην διάχυτη ακτινοβολία από την φωτεινότητα του ορίζοντα. Ο όρος αυτός υπολογίζεται από το ισοτροπικό μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας και το μέγεθός του καθορίζεται από έναν ρυθμιστικό συντελεστή, f . Το μοντέλο του Reindl περιγράφεται από τις ακόλουθες εξισώσεις:

$$f = \frac{I}{I}$$

$$I = I [0.5(1 - A)(1 + \cos \beta)(1 + f \cdot \sin (\beta/2)) + A R]$$

Ο πρώτος όρος στην αγκύλη παριστά το ιστροπικό μέρος και το μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που οφείλεται στην φωτεινότητα του ορίζοντα. Ο δεύτερος όρος αναφέρεται στο μέρος της διάχυτης ακτινοβολία που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο.

Η λειτουργία 4 χρησιμοποιεί το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Perez. Το μοντέλο συνυπολογίζει την διάχυτη ακτινοβολία που προέρχεται από την περιοχή γύρω από τον ήλιο, από την φωτεινότητα του ορίζοντα και από το ιστροπικό κομμάτι του ουρανού με βάση εμπειρικούς συντελεστές “μείωσης φωτεινότητας”. Οι συντελεστές αυτοί F_1 και F_2 είναι συναρτήσεις παραμέτρων της καθαρότητας του ουρανού, ε , και της φωτεινότητας του ουρανού, Δ .

$$\varepsilon \equiv \frac{\left(\frac{I_{diff} + I_{hor}}{I_{hor}}\right) + 1.041\theta}{[1 + 1.041\theta]}$$

Όπου θ_z δίνεται σε rad.

$$\Delta \equiv \frac{I_{hor}}{I_{diff}} = \frac{I_{hor}}{I_{diff}}$$

Ο υπολογισμός των συντελεστών μείωση φωτεινότητας γίνεται με βάση τις παρακάτω σχέσεις και τον ακόλουθο πίνακα:

$$F_1 = F_1(\varepsilon) + F_2(\varepsilon)\Delta + F_3(\varepsilon)\theta$$

$$F_2 = F_4(\varepsilon) + F_5(\varepsilon)\Delta + F_6(\varepsilon)\theta$$

Πίνακας 2.1

ε Bin	Upper Limit for ε	Cases (%)	F11	F12	F13	F21	F22	F21
1	1.005	10.00	-0.196	1.004	-0.006	-0.114	0.100	-0.019
2	1.230	5.60	0.236	0.519	0.180	0.011	0.020	0.038
3	1.500	7.52	0.454	0.321	-0.255	0.072	-0.098	-0.046
4	1.950	8.87	0.866	-0.381	-0.375	0.203	-0.413	-0.049
5	2.600	13.17	1.026	-0.711	-0.426	0.273	-0.502	-0.061
6	4.500	21.45	0.978	-0.956	-0.350	0.280	-0.915	-0.024
7	6.200	16.06	0.740	-0.913	-0.236	0.173	-1.045	0.055
8	-	13.73	0.318	-0.757	0.103	0.062	-1.598	0.236

Ο γωνιακός τόπος της περιοχής γύρω από τον ήλιο για το οποίο η διάχυτη ακτινοβολία μεταβάλλεται δίνεται από τον λόγο a/c :

$$a/c = \frac{\max[0, \cos \theta]}{\max[\cos 85, \cos \theta]}$$

Η διάχυτη ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται ως εξής:

$$I = I_0 \cdot 0.5(1 - F)(1 + \cos \beta) + F \frac{a}{c} + F \sin \beta$$

Η ολική ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια υπολογίζεται για όλες της λειτουργίες του μοντέλου ως το άθροισμα της διάχυτης, της άμεσης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο.

$$I = I_{\text{diff}} + I_{\text{dir}} + I_{\text{refl}}$$

Γενικότερα, τα ανισοτροπικά μοντέλα για τον ουρανό (Hay and Davies, Reindl, Perez) παρέχουν συγκρίσιμες τιμές της ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο και είναι κατάλληλα για γενική χρήση. Τα μοντέλα των Hay and Davies και του Reindl είναι υπολογιστικά απλούστερα του μοντέλου του Perez. Το ισοτροπικό μοντέλο ουρανού που χρησιμοποιείται στη λειτουργία 1 δεν είναι κατάλληλο για γενική χρήση καθώς οι τιμές που υπολογίζονται είναι σημαντικά μικρότερες των πραγματικών αλλά συμπεριλαμβάνεται για λόγους πληρότητας του μοντέλου.

Υπολογισμός ηλιακής ώρας

Λόγω του ότι πολύ υπολογισμοί γίνονται λαμβάνοντας υπόψη την ώρα της ημέρας είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται η σωστή ηλιακή ώρα. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται πολλοί διορθωτικοί συντελεστές. Γενικά για την ηλιακή ώρα ισχύει ότι:

$$\text{Ηλιακή ώρα (hrs)} = \text{τοπική ώρα} + E + (L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}) / 15$$

Ο όρος E παριστά την εκκεντρότητα της τροχιάς της γης και μεταβάλλεται μεταξύ -24h και +26h κάθε χρόνο. L_{st} είναι ο τοπικός μεσημβρινός της τοπικής ώρας και L_{loc} είναι το γεωγραφικό μήκος της ζητούμενης τοποθεσίας. Ο τοπικός μεσημβρινός μετριέται σε μοίρες και παίρνει τιμές από 0° έως $\pm 180^\circ$. Δυτικά του μεσημβρινού (Greenwich, Αγγλία) οι τιμές είναι θετικές ενώ ανατολικά είναι αρνητικές.

Για τους υπολογισμούς της ολικής ακτινοβολίας για ένα χρονικό βήμα χρησιμοποιείται η μέση ωραία γωνία $\omega = (\omega_{\text{start}} + \omega_{\text{end}}) / 2$, έτσι ώστε η υπολογιζόμενη θέση του ηλίου να είναι ο μέσος όρος για την περίοδο του χρονικού βήματος.

Η ηλιακή ώρα που χρησιμοποιείται είναι:

$$\text{Ηλιακή ώρα} = t + E + \text{SHFT} / 15$$

Όπου t είναι η ώρα σε ώρες (hours) με αναφορά το ω . Επίσης $\text{SHFT} = L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}$

Επίσης η ώρα της προσομοίωσης πρέπει να τεθεί έτσι ώστε η πρώτη γραμμή δεδομένων που διαβάζεται να αντιστοιχεί στο τέλος του πρώτου χρονικού βήματος στην εκκίνηση της προσομοίωσης. Αν τα δεδομένα παρέχονται ανά μονά χρονικά διαστήματα της ηλιακής ώρας, τότε οι παράγοντες E και SHFT πρέπει να παραληφθούν. Αυτό γίνεται δίνοντας στην τελευταία παράμετρο αρνητική τιμή.

2.2.4 Συνδυασμένο μοντέλο ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων και επεξεργασίας της ηλιακής ακτινοβολίας – Μοντέλο 109

Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Το μοντέλο 109 διαβάζει ορισμένα αρχεία με γνωστή μορφοποίηση καθώς επίσης και αρχεία με μορφοποίηση που καθορίζεται από τον χρήστη με την σύνταξη που αναφέρεται παρακάτω.

Λειτουργίες

Υπάρχουν 4 διαφορετικές λειτουργίες για την διαχείριση μορφοποιημένων αρχείων:

- Η λειτουργία 1 στην οποία ο καθορισμός μορφοποίησης γίνεται από τον χρήστη και αναφέρεται σε αυθαίρετα μετεωρολογικά δεδομένα.
- Η λειτουργία 2 η οποία διαβάζει αρχεία με μορφοποίηση TMY2
- Η λειτουργία 3 η οποία διαβάζει αρχεία με τη γερμανική μορφοποίηση TRY.
- Η λειτουργία 4 η οποία διαβάζει αρχεία VDI 91x και 92x σύμφωνα με τον γερμανικό κώδικα VDI 2078

Επίσης, το μοντέλο αυτό μπορεί να διαβάσει γενικά αρχεία δεδομένων, τα οποία δεν έχουν απαραίτητα μετεωρολογικά δεδομένα, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων.

Το μοντέλο 109 υποστηρίζει αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης καθορισμένης από τον χρήστη. Κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό ή κόμμα για τις λειτουργίες 0 και 1.

Παρατηρήσεις

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως 5 μοντέλα 109 σε μία προσομοίωση
- Τα δεδομένα από γραμμή σε γραμμή πρέπει να απέχουν σταθερά χρονικά διαστήματα.
- Στην λειτουργία 0 όπου η μορφοποίηση των δεδομένων καθορίζεται από τον χρήστη, τα δεδομένα εξάγονται με την ίδια σειρά που εμφανίζονται στο αρχείο δεδομένων. Σε όλες τις λειτουργίες διαχείρισης δεδομένων, οι έξοδοι έχουν την ίδια προκαθορισμένη σειρά εξόδου έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαδικασία.
- Στην λειτουργία 0, μπορούν να υπάρχουν ως 20 γραμμές με σχόλια πριν τις γραμμές με τα δεδομένα. Οι γραμμές με τα σχόλια δεν πρέπει να ξεκινούν με αριθμό.

- Στα δεδομένα μπορεί ή όχι να εφαρμόζεται παρεμβολή ανάμεσα στα χρονικά βήματα αναλόγως με τις καθορισμένες παραμέτρους.
- Αν η προσομοίωση λήγει με τα δεδομένα να δίνουν ακτινοβολία $\neq 0$ η τιμή της ακτινοβολίας ορίζεται 0 για την τελευταία ώρα της προσομοίωσης

Μαθηματικό μοντέλο

Το μοντέλο 109 χρησιμοποιεί τους ίδιους αλγόριθμους με το μοντέλο 16 για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (με τις ίδιες λειτουργίες κεκλιμένης επιφάνειας 1-4) και για τον υπολογισμό της θέσης μίας κινούμενης επιφάνειας γύρω από έναν ή δύο άξονες.

Τα δεδομένα της ακτινοβολίας ελέγχονται για τιμές μεγαλύτερες του μηδενός πριν την ανατολή και μετά την δύση του ηλίου και εφαρμόζεται παρεμβολή για χρονικά διαστήματα μικρότερα ή μεγαλύτερα του διαστήματος που χωρίζει δύο διαδοχικές γραμμές. Η εσωτερική διαδικασία υπολογισμού της ακτινοβολίας παράγει τιμές της διάχυτης και της άμεσης ακτινοβολίας για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με οποιαδήποτε γωνία αζιμουθίου και κλίση. Τέλος, προκαθορισμένες εξόδους αποτελούν η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου και η κατεύθυνση του ανέμου. Ως 4 επιπλέον στήλες δεδομένων μπορούν να επεξεργαστούν στην λειτουργία 1 όπου καθορίζονται από τον χρήστη.

Λειτουργίες οριζόντιας ακτινοβολίας

Το μοντέλο 109 χρειάζεται δύο στοιχεία της ηλιακής ακτινοβολίας για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας σε μία κεκλιμένη επιφάνεια. Οι συνδυασμοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι ακόλουθοι:

- I_b και I_d
- I και I_d
- I και I_{0n}
- I , T_{amb} και RH. Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση το πλήρες μοντέλο του Reindl.
- I . Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται με βάση τους απλοποιημένους συσχετισμούς του Reindl.

2.2.5 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος – Μοντέλο 33

Το μοντέλο αυτό καλεί στο TRNSYS την υπορουτίνα 'Psychometrics'. 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. 2) λόγος υγρασίας και ενθαλπία. Η 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. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας υγρού βολβού απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να είναι χρονοβόρα. 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.

2.2.6 Θερμοκρασία αντιπροσωπευτική ουρανού – Μοντέλο 69

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό. Με βάση αυτήν την θερμοκρασία υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον.

Συμβολισμός

C_{cover}	[0...1]Βαθμός συννεφιάς του ουρανού
E_{Dif}	[kJ/hm ²]Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
E_{Dir}	[kJ/hm ²]Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
$E_{Glob, h}$	[kJ/hm ²]Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
G	[m/sec ²]Επιτάχυνση της βαρύτητας
h	[m]υψόμετρο πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας
p_{atm}	[atm]ατμοσφαιρική πίεση
p_0	[atm]Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0
ρ_0	[kg/m ³] πυκνότητα αέρα στο ύψος h_0
ϵ_0	[0...1]εκπομπή καθαρού ουρανού
T_{amb}	[°C]Θερμοκρασία περιβάλλοντος
T_{sat}	[°C]Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος

T_{sky} [°C] Θερμοκρασία ουρανού

Μαθηματικό μοντέλο

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται με σκοπό τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες ενός κτηρίου με το περιβάλλον. Για τον υπολογισμό αυτόν ο ουρανός θεωρείται ότι είναι μία ιδανική μαύρη επιφάνεια. Το ζητούμενο είναι ο υπολογισμός της πραγματικής εκπομπής του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού. Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης.

Στην περίπτωση που τα εισαγόμενα δεδομένα από τον χρήστη δεν περιλαμβάνουν τον βαθμό συννεφιάς του ουρανού, μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$C = 1.4286 \frac{E}{E} - 0.3$$

Για τον βαθμό συννεφιάς κατά την περίοδο της νύκτας χρησιμοποιείται ένας μέσος βαθμός με βάση τις τιμές που έχει τις απογευματινές ώρες.

Η ατμοσφαιρική πίεση καθορίζεται με βάση το βαρομετρικό υψόμετρο της ζητούμενης τοποθεσίας:

$$p = p e^{-\dots}$$

Η εκπομπή του καθαρού ουρανού μπορεί να βρεθεί από την T_{sat} στις συνθήκες περιβάλλοντος:

$$\varepsilon = 0.711 + 0.005T + 7.3 \cdot 10^{-5} T^2 + 0.013 \cos 2\pi \frac{\text{time}}{24} + 12 \cdot 10^{-5} (p - p_0)$$

όπου η μεταβλητή time αναφέρεται στην ώρα της ημέρας.

Η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού μπορεί τότε να υπολογιστεί από την παρακάτω σχέση:

$$T = T \left[\varepsilon + 0.8(1 - \varepsilon)C \right]$$

2.2.7 Διαφορικός ελεγκτής - Μοντέλο 2

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 $\gamma_1=0$ ή 1. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται έχοντας συνδεδεμένες τις τιμές γ_0 και γ_1 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.

Συμβολισμός

ΔT_H	[C]άνω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
ΔT_L	[C]κάτω όριο θερμοκρασιακής διαφοράς
T_H	[C]άνω θερμοκρασία εισόδου
T_{IN}	[C]θερμοκρασία για τον έλεγχο του άνω ορίου
T_L	[C]κάτω θερμοκρασία εισόδου
T_{MAX}	[C]μέγιστη θερμοκρασία εισόδου
γ_1	[0..1]εισερχόμενη συνάρτηση ελέγχου
γ_0	[0..1]εξερχόμενη συνάρτηση ελέγχου

Μαθηματικό μοντέλο

Μαθηματικά το μοντέλο εκφράζεται ως εξής:

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

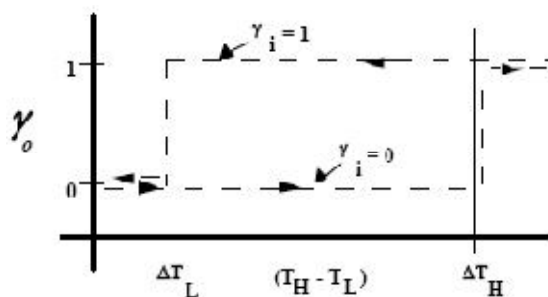
- Αν $\gamma_1=1$ και $\Delta T_L \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$
- Αν $\gamma_1=1$ και $\Delta T_L > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

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

- Αν $\gamma_1=0$ και $\Delta T_H \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_0=1$
- Αν $\gamma_1=0$ και $\Delta T_H > (T_H - T_L)$, $\gamma_0=0$

Τέλος, η συνάρτηση ελέγχου έχει τιμή μηδέν ανεξαρτήτως των ορίων θερμοκρασιακής διαφοράς αν $T_{IN} > T_{MAX}$. Η περίπτωση αυτή είναι πολύ συνηθισμένη στην θέρμανση νερού όπου θέλουμε το θερμό νερό να μην λειτουργεί η αντλία όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι υψηλότερη κάποιας δοσμένης τιμής.

Η συνάρτηση ελέγχου φαίνεται γραφικά στο παρακάτω σχήμα:



Σχ.2.8: Συνάρτηση ελέγχου

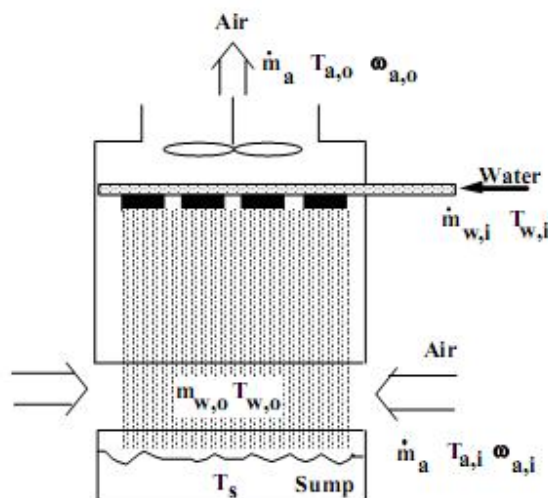
Αλληλεπίδραση του μοντέλου 2 με την μέθοδο επίλυσης του TRNSYS

Με την προεπιλεγμένη μέθοδο επίλυσης του TRNSYS (solver 0, διαδοχικές αντικαταστάσεις), όταν $(T_H - T_L)$ πλησιάζει το άνω ή το κάτω όριο, η συνάρτηση γ_o μπορεί να αρχίσει να ταλαντώνεται μεταξύ της τιμής 1 και 0 για διαδοχικές επαναλήψεις σε ένα δοσμένο χρονικό βήμα. Αυτό συμβαίνει γιατί οι T_H και T_L αλλάζουν ελαφρώς σε κάθε επανάληψη, πληρώνοντας ή όχι έτσι τις προϋποθέσεις για να αλλάξει η τιμή της γ_o . Η τιμή της παραμέτρου 1 (NSTK) είναι ο αριθμός των επιτρεπόμενων ταλαντώσεων μέσα σε ένα χρονικό βήμα πριν η τιμή εξόδου σταματήσει να μεταβάλλεται.

Μετά την έκδοση 14.1 του TRNSYS, προστέθηκε ένας νέος ελεγκτής ο οποίος να μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την μέθοδο επίλυσης του Powell. Η μέθοδος ελέγχου του Powell είναι πιο σταθερή σε ορισμένες περιπτώσεις, επιλύοντας το σύστημα των εξισώσεων απαγορεύοντας την μεταβολή της ελεγχόμενης μεταβλητής κατά την διαδικασία των επαναλήψεων. Κατά την σύγκλιση, η κατάσταση του ελεγκτή συγκρίνεται με την επιθυμητή και οι υπολογισμοί επαναλαμβάνονται αν είναι απαραίτητο.

2.2.8 Πύργος ψύξης - Μοντελο 51

Στον πύργο ψύξης ρεύμα ζεστού νερού ψύχεται από ρεύμα αέρα. Η ψύξη επιτυγχάνεται ως αποτέλεσμα μεταφοράς αισθητής θερμότητας λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς των δύο ρευμάτων και μεταφοράς μάζας από την εξάτμιση νερού στο ρεύμα αέρα. Όσον αφορά στην ροή των δύο ρευμάτων οι συσκευές αυτές χωρίζονται σε πύργους ψύξης αντιρροής και ψυκτικούς πύργους εγκάρσιας ροής. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται πύργος αντιρροής με ελκυσμό. Εδώ η φυσική κυκλοφορία αέρα, που επιτυγχάνεται μόνο σε πύργους μεγάλων διαστάσεων, αντικθίσταται από μηχανικό αερισμό. Οι περισσότεροι πύργοι ψύξης φέρουν βαθμίδες οι οποίες έχουν κοινή δεξαμενή νερού στο κάτω μέρος.



Σχ.2.9: πύργος ψύξης μίας βαθμίδας.

Στους περισσότερους πύργους, εντός του κυλίνδρου φέρεται μια μάζα στερεών αδρανών τεμαχιδίων τα οποία καλούνται γέμισμα ή πληρωτικό υλικό. Έτσι επιτυγχάνεται μεγαλύτερη επιφάνεια διεπαφής μεταξύ των δύο ρευμάτων. Οι πύργοι με πληρωτικό υλικό ενδείκνυνται για μικρές εγκαταστάσεις (μικρή διάμετρος πύργου). Συνηθισμένο σύστημα πληρωτικών υλικών είναι δακτύλιοι διαφόρων σχημάτων που πληρούν ακανόνιστα το εσωτερικό του πύργου. Οι δακτύλιοι, τα σάγματα ή τα υλικά διαφόρων σχημάτων κατασκευάζονται από μέταλλο, πορσελάνη ή πλαστική ύλη. Βασική επιδίωξη των διαφόρων πληρωτικών υλικών είναι η μεγάλη ειδική επιφάνεια. Τα υλικά αυτά θα πρέπει να αντέχουν στη διάβρωση και στις πιέσεις του πύργου. Επίσης, προτιμώνται υλικά στα οποία υπάρχει μεγάλη αναλογία κενών ούτως ώστε να διέρχεται σημαντική ποσότητα υγρού χωρίς να έχουμε συνθήκες πλημμύρισης ή συνθήκες μεγάλης πτώσης πίεσης αερίου ρεύματος. Το πληρωτικό υλικό πρέπει να στηρίζεται γεγονός που επιτυγχάνεται από ειδικό σύστημα στήριξης στο κάτω μέρος του πύργου. Όταν οι ταχύτητες των ρευμάτων είναι μεγάλες, είναι αναγκαία η συγκράτηση του πληρωτικού υλικού με χρήση ράβδων από βαρύ υλικό.

Το εξωτερικό περίβλημα του πύργου μπορεί να κατασκευαστεί από ξύλο, μέταλλο, πλαστικό ή γυαλί αναλόγα με τις συνθήκες διάβρωσης. Στην βάση του πύργου είναι αναγκαία η ύπαρξη ελεύθερου τμήματος για επιβεβαίωση της καλής κατανομής του αερίου στο πληρωτικό υλικό.

Το συγκεκριμένο μοντέλο υπολογίζει την λειτουργία ψυκτικού πύργου εγκάρσιας ροής ή αντιροής. Υπάρχουν δύο μέθοδοι υπολογισμού. Στην πρώτη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει του συντελεστές της εξίσωσης μεταφοράς μάζας c και n (βλ. μαθηματική περιγραφή). Παρόλο που τα δεδομένα αυτά είναι δύσκολο να είναι γνωστά, ο οδηγός εξοπλισμού της ASHRAE καθώς και η Simpson and Sherwood δίνουν τυπικές τιμές των δεδομένων αυτών. Στην δεύτερη μέθοδο, ο χρήστης εισάγει δεδομένα της συνολικής συμπεριφοράς του

πύργου και το μοντέλο υπολογίζει τις τιμές των παραμέτρων c και η , που ταιριάζουν στα δεδομένα αυτά, με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Οι τιμές αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε επόμενες προσομιώσεις χωρίς να χρειάζεται το πρόγραμμα να τις ξαναυπολογίσει.

Στην δεύτερη μέθοδο, ο χρήστης καθορίζει τις τιμές των παραμέτρων με ένα αρχείο δεδομένων καθώς και τον αριθμό των σημείων υπολογισμού. Κάθε γραμμή δεδομένων του παραπάνω αρχείου περιλαμβάνει τα έξι μεγέθη που περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.2

α/α	μεταβλητή	περιγραφή	μονάδες
1	Va	παροχή όγκου του αέρα	m ³ /hr
2	Ta,i	θερμοκρασία ξηρού βολβού του αέρα	°C
3	Tw,b	θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα	°C
4	m _{w,i}	παροχή μάζας του νερού	Kg/hr
5	Tw,i	θερμοκρασία εισόδου του νερού	°C
6	Tw,o	θερμοκρασία εξόδου του νερού	°C

Ο αριθμός των σημείων δεδομένων πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 2 και 50. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται σε αυτό το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τον λόγο παροχής μάζας νερού προς την αντίστοιχη παροχή μάζας αέρα. Τα δεδομένα θα πρέπει να περιέχουν τουλάχιστον δύο λόγους παροχών μάζας. Για καλύτερα αποτελέσματα, τα δεδομένα θα πρέπει να καλύπτουν το εύρος των τυπικών και αναμενόμενων συνθηκών λειτουργίας του πύργου.

Το παράδειγμα του αρχείου δεδομένων που φαίνεται παρακάτω δημιουργήθηκε με βάση τα δεδομένα που δόθηκαν από την Simpson and Sherwood για τον πύργο M1.

line 1>	130600	86.0	75	6087	108.4	85.1
line 2>	71370	104.4	80	6087	120.0	96.1
line 3>	130700	85.9	75	8130	103.7	85.9
line 4>	71345	103.4	80	8130	115.8	98.0
line 5>	130600	85.6	75	10166	100.1	86.6
line 6>	71244	102.6	80	10166	114.5	100.7

Συμβολισμός

Av	συνολική επιφάνεια σταγονιδίων νερού ανά όγκο βαθμίδας
C _{rw}	ειδική θερμότητα νερού υπό σταθερή πίεση
C _s	
h _a	ενθαλπία υγρού αέρα ανά μονάδα μάζας ξηρού αέρα
h _D	συντελεστής μεταφοράς μάζας
h _s	ενθαλπία κορεσμένου αέρα
m _a	παροχή μάζας ξηρού αέρα

m_w	παροχή μάζας νερού
N_{cell}	αριθμός βαθμίδων
N_{tu}	αριθμός μονάδων μεταφοράς μάζας
Q_{cell}	ρυθμός μεταφοράς θερμότητας ανά βαθμίδα
T_a	θερμοκρασία αέρα
T_{main}	θερμοκρασία του νερού συμπλήρωσης στη λεκάνη
T_s	θερμοκρασία νερού στη λεκάνη υπό πλήρη ανάμιξη
T_w	θερμοκρασία νερού
T_{wb}	θερμοκρασία υγρού βολβού του αέρα περιβάλλοντος
T_{ref}	θερμοκρασία αναφοράς του νερού (0°C)
V_{cell}	συνολικός όγκος συναλλαγής ανά βαθμίδα
V_s	συνολικός όγκος νερού στη λεκάνη
ω_a	λόγος υγρασίας του αέρα
ω_s	υγρασία κορεσμένου αέρα
e_a	λόγος μεταβολής ενθαλπίας του αέρα προς την μέγιστη δυνατή μεταβολή
ρ_w	πυκνότητα νερού
a	μεγέθη ρεύματος αέρα
i	μεγέθη εισόδου
o	μεγέθη εξόδου
w	μεγέθη ρεύματος νερού
$exit$	συνθήκες εξόδου αέρα

Μαθηματικό μοντέλο

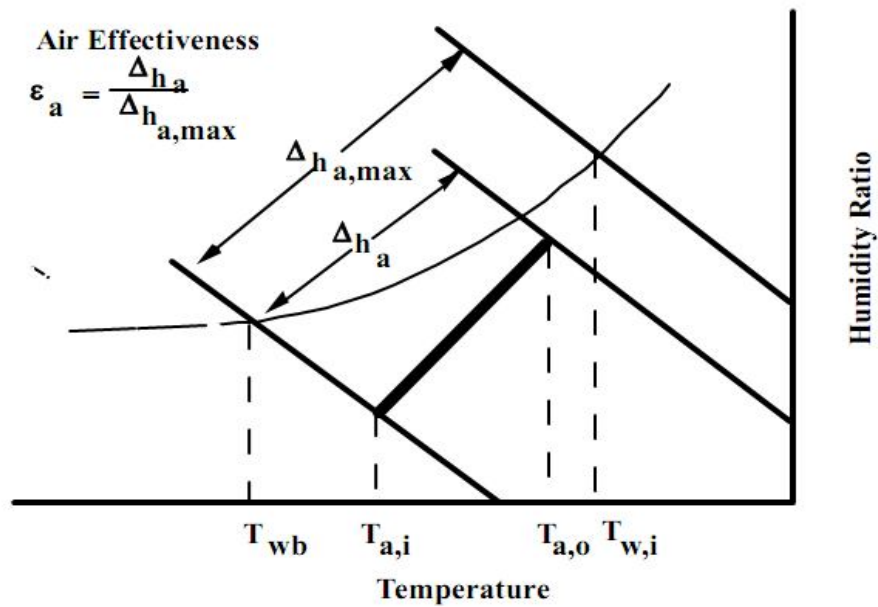
Απόρριψη θερμότητας ανά βαθμίδα

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ψυχομετρικός χάρτης στον οποίο απεικονίζεται υποθετική γραμμή καταστάσεων του αέρα κατά την διέλευσή του μέσα από πύργο ψύξης. Ο αέρας μπαίνει στον πύργο σε γνωστή κατάσταση, χαρακτηριζόμενη από την θερμοκρασία $T_{a,i}$ και τον λόγο υγρασίας $\omega_{a,i}$ ενώ βγαίνει υπό θερμοκρασία $T_{a,o}$ και λόγο υγρασίας $\omega_{a,o}$. Η βελτιστη κατάσταση θα ήταν εάν ο αέρας έβγαινε από τον πύργο κορεσμένος και σε θερμοκρασία ίση με αυτή της εισόδου του νερού, καθώς αυτό αντιστοιχεί στην μέγιστη δυνατή ενθαλπία του αέρα εξόδου. Στο σχήμα φαίνονται οι ισενθαλπικές γραμμές για τον αέρα εισόδου, τον αέρα εξόδου καθώς και για την μέγιστη δυνατή ενθαλπία που αναφερθηκε παραπάνω. Έτσι, το μέγεθος e_a ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής προς την μέγιστη ενθαλπική διαφορά του αέρα μεταξύ εισόδου και εξόδου. Για γνωστό e_a , η απόρριψη θερμότητας ανά βαθμίδα ορίζεται ως:

$$Q' = \epsilon \cdot \dot{m} \cdot h_{a,i} - h_{a,o}$$

Θεωρώντας τον αριθμό Lewis ίσο με την μονάδα σύμφωνα με την σχέση του Braun για πύργο ψύξης αντιρροής το εα δίνεται από την σχέση:

$$\epsilon = \frac{1 - \exp\{-Ntu(1 - m^*)\}}{1 - m^* \exp\{-Ntu(1 - m^*)\}}$$



Σχ.2.10:παράσταση στον ψυχομετρικό χάρτη της μεταβολής αέρα μέσα σε πύργο ψύξης

και για πύργο εργκάρσιας ροής:

$$\epsilon = \frac{1}{m^*} \left[1 - \frac{1 - \exp(-Ntu)}{1 - m^*} \right]$$

όπου:

$$Ntu = \frac{h A V}{\dot{m}}$$

$$m^* = \frac{\dot{m} C}{\dot{m}' C'}$$

και:

$$C = \frac{h_{a,i} - h_{a,o}}{T_{a,i} - T_{a,o}}$$

Για τον καθορισμό της απόδοσης του πύργου είναι απαραίτητος ο καθορισμός μιας σχέσης για τον αριθμό των μονάδων μεταφοράς. Γενικές σχέσεις για την μεταφορά θερμότητας και μάζας σε σχέση με τα φυσικά χαρακτηριστικά του πύργου δεν υπάρχουν ακόμα διαθέσιμες. Όπως παρουσιάζεται στον οδηγό εξοπολισμού της ASHRAE η σχέση για τους όρους μεταφοράς μάζας είναι:

$$\frac{h A V}{\dot{m}} = \frac{\dot{m}}{\dot{m}}$$

Πολλαπλασιάζοντας και τις δύο πλευρές της παραπάνω ισότητας με $\frac{\dot{m}}{h A V}$ και χρησιμοποιώντας τον ορισμό για τον Ntu η σχέση γίνεται:

$$Ntu = \frac{\dot{m}}{\dot{m}}$$

Ο εκθέτης n λαμβάνει τιμές μεταξύ -0,35 και -1,1 ενώ οι τιμές του συντελεστή c κυμαίνονται μεταξύ 0,5 και 5. Η Simpson and Sherwood δίνει δεδομένα για έναν αριθμό διαφορετικών πύργων και συνήθως είναι απαραίτητο να υπάρχουν συγκεκριμένα δεδομένα για να καθορίσουμε της παραμέτρους ενός πύργου. Οι σχέσεις που περιγράφηκαν παραπάνω αναφέρονται στην δεύτερη μέθοδο υπολογισμού της λειτουργίας ψυκτικού πύργου.

Συνθήκες εξόδου βαθμίδας

Από την διατήρηση ενέργειας στην βαθμίδα η θερμοκρασία εξόδου του νερού από αυτήν λαμβάνεται από την σχέση:

$$T_{i+1} = \frac{\dot{m}_i C_{p,i} T_{i+1} - T_{i+1} - Q}{\dot{m}_i C_{p,i}} +$$

Πολλοί αναλυτές αμελούν τις απώλειες νερού θεωρώντας ότι $\dot{m}_i = \dot{m}_{i+1}$. Γενικά η απώλεια νερού ισοδυναμεί με 1%-4% της εισερχόμενης ροής. Αμελώντας την απώλεια νερού μέσα στον πύργο οδηγούμαστε σε σφάλμα περίπου ενός βαθμού Κελσίου στην θερμοκρασία εξόδου του νερού. Επίσης, είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η απώλεια νερού, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός της λειτουργίας της λεκάνης λαμβάνοντας υπόψη το λερό συμπλήρωσης. Το συγκεκριμένο μοντέλο πραγματοποιεί υπολογισμούς λαμβάνοντας υπόψιν τις απώλειες στο ρεύμα νερού.

Από την εξίσωση διατήρησης μάζας η παροχή του νερού στην έξοδο λαμβάνεται από την σχέση:

$$\dot{m}_{i+1} = \dot{m}_i - \dot{m}_w - \dot{m}_e$$

Ο λόγος υγρασιασίας εξόδου του αέρα καθορίζεται από την σχέση:

$$\omega_{i+1} = \omega_{i+1} + \omega_{i+1} - \omega_{i+1} \exp(-Ntu)$$

Ο λόγος υγρασίας $\omega_{2,2}$ λαμβάνεται από την ψυχομετρικό χάρτη με χρήση της ενθαλπίας $h_{2,2}$, η οποία με τη σειρά της υπολογίζεται από την σχέση μεταφοράς μάζας ως εξής:

$$h_{2,2} = h_2 + \frac{h_{2,2} - h_2}{1 - \exp(-Ntu)}$$

Όπου:

$$h_2 = h_1 + \varepsilon (h_{2,2} - h_1)$$

Ο καθορισμός των συνθηκών εξόδου του αέρα από τον πύργο γίνεται με συνδυασμό των δεδομένων εξόδου από κάθε βαθμίδα. Έτσι, η συνολική παροχή μάζας του αέρα είναι:

$$m_2 = m_1'$$

Ενώ η ενθαλπία εξόδου του αέρα λαμβάνεται ως εξής:

$$h_2 = \frac{\sum m_1' h_1}{m_2}$$

Από την διατήρηση μάζας του υγρού αέρα, μπορεί να υπολογιστεί ένας συνολικός λόγος υγρασίας του αέρα εξόδου ως εξής:

$$\omega_2 = \frac{\sum m_1' - m_1}{m_2} + \omega_1$$

Με χρήση του ψυχομετρικού χάρτη και γνωστά τα h_2 και ω_2 καθορίζονται οι τελικές θερμοκρασίες υγρού και ξηρού βολβού του αέρα στην έξοδο του πύργου.

Ψυκτικοί πύργοι φυσικής κυκλοφορίας

Στο μοντέλο αυτό δίνεται επίσης η δυνατότητα λειτουργίας του πύργου με φυσική κυκλοφορία του αέρα. Αυτό γίνεται με το σταμάτημα της λειτουργίας των ανεμιστήρων, θέτοντας στο παράθυρο των δεδομένων την τιμή -1 για το σήμα ελέγχου. Επίσης τίθεται ως παράμετρος τιμή της φυσικής ροής του ρεύματος αέρα.

Λεκάνη και ισχύς ανεμιστήρων

Το νερό εισέρχεται στην λεκάνη από την έξοδο κάθε βαθμίδας καθώς και από μια πηγή συμπλήρωσης νερού. Το υψος του νερού στην λεκάνη θεωρείται σταθερό και κατά συνέπεια το νερό συμπλήρωσης ισούται με τις συνολικές απώλειες νερού στον πύργο. Με θεώρηση πλήρους ανάμιξης η διατήρηση ενέργειας είναι:

$$\dot{m} = \sum \dot{m}_i, T_i - T_c + \dot{m}_c - \sum \dot{m}_i, T_c - (T_c - T_c)$$

Δεδομένης της απαίτησης ισχύος για μέγιστη ταχύτητα ανεμιστήρων, η κατανάλωση ισχύος για πύργο ψύξης N βαθμίδων δίνεται από την σχέση:

$$P = \gamma P_c$$

Όπου και P_c η σχετική ταχύτητα ανεμιστήρα και η μέγιστη ισχύς για την k βαθμίδα του πύργου.

2.2.9 Ψυκτής απορρόφησης- Μοντέλο 107

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει την λειτουργία ψύκτη απορρόφησης στον οποίο η απαραίτητη ενέργεια για τον διαχωρισμό του ψυκτικού μέσου από τον απορροφητή παρέχεται από κύκλωμα ζεστού νερού. Το μοντέλο χρησιμοποιεί εξωτερικό αρχείο δεδομένων. Επειδή το αρχείο αυτό είναι κανονικοποιημένο, ο χρήστης μπορεί να μοντελοποιήσει ψύκτη οποιουδήποτε μεγέθους, μεταβάλλοντας την ισχύ και τον συντελεστή συμπεριφοράς(COP) σχεδίασης. Από το πρόγραμμα δίνονται έτοιμα τέτοια αρχεία προς χρήση.

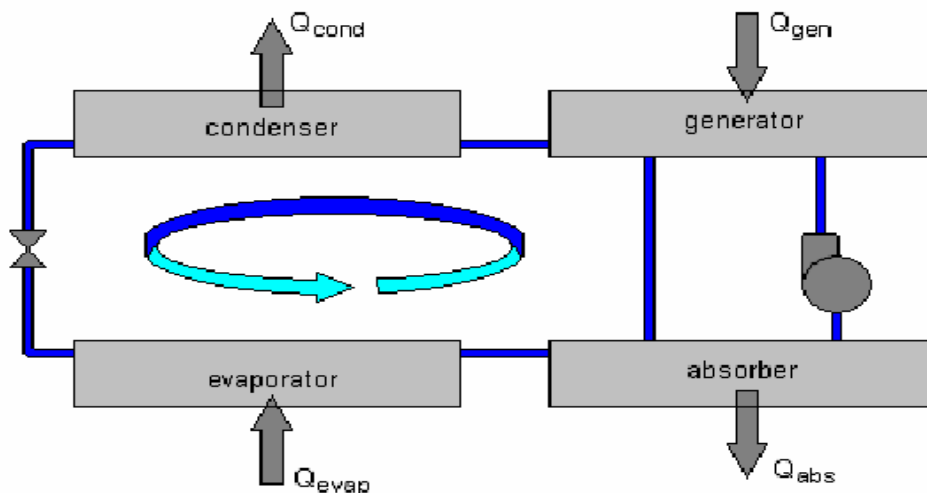
Συμβολισμός

Capacity	[kj/hr]ισχύς ψύκτη
f	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας ως προς την ισχύ πλήρους φορτίου
f	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας προς την ονομαστική ισχύ
Capacity	[kj/hr]ισχύς σχεδίασης της μηχανής
Q	[kj/hr]ενέργεια η οποία θα πρέπει να απαχθεί από το σύστημα μέσω του νερού ψύξης προκυμμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του προς ψύξη νερού
T	[°C]επιθυμητή θερμοκρασία εξόδου του προς ψύξη νερού από την μηχανή
f	[0...1]λόγος ισχύος λειτουργίας προς την ισχύ σχεδίασης
f	[0...1] λόγος της απαιτούμενης ισχύος εισόδου ως προς την αντίστοιχη ισχύ σχεδίασης
T	[°C] θερμοκρασία του ρεύματος ζεστού νερού στην εξοδο του από τον αναγεννητή
T	[°C]θερμοκρασία εισόδου του ρεύματος ζεστού νερού στον αναγεννητή
Q	[kj/hr] ενέργεια η οποία απάγεται από το ρεύμα ζεστού νερού κατά την διέλευσή του από τον αναγεννητή
m	[kg/hr]παροχή μάζας του ρεύματος ζεστού νερού

C_p	[kJ/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του ρεύματος ζεστού νερού
T	[°C]θερμοκρασία εξόδου του 'προς ψύξη' νερού από την μηχανή
T	[°C]θερμοκρασία εισόδου του 'προς ψύξη' νερού στην μηχανή
Q	[kJ/hr]ισχύς την οποία λαμβάνει το 'προς ψύξη' νερό από τον ψύκτη
m	[kg/hr]παροχή μάζας του 'προς ψύξη' νερού
C_p	[kJ/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του 'προς ψύξη' νερού
T	[°C]θερμοκρασία του νερού ψύξης κατά την έξοδό του από την μηχανή
T	[°C]θερμοκρασία του νερού ψύξης κατά την είσοδό του στη μηχανή
Q	[kJ/hr]ενέργεια η οποία παραλαμβάνεται από το νερό ψύξης κατά την διέλευσή του από την μηχανή
m	[kg/hr]παροχή μάζας του νερού ψύξης
C_p	[kJ/kgK]ειδική θερμότητα υπό σταθερή πίεση του νερού ψύξης
Q	[kJ/hr]ενέργεια η οποία απαιτείται για αντλίες, ελεγκτές κλπ
COP	[-] συντελεστής συμπεριφοράς

Μαθηματικό μοντέλο

Σε ένα συμβατικό ψυκτικό κύκλο, το ψυκτικό μέσο, υπό μορφή ατμού σε χαμηλή πίεση εξέρχεται από τον ατμοποιητή και οδηγείται στον ηλεκτρικό συμπιεστή. Εκεί συμπιέζεται και ατμοί ψυκτικού σε υψηλή πίεση οδηγούνται στον συμπυκνωτή. Ο ηλεκτρικός συμπιεστής είναι υπεύθυνος για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου καθώς και την άνοδό του από την χαμηλή στην υψηλή πίεση του κύκλου.



Σχ.2.11:σχηματική παράσταση ψύκτη απορρόφησης

Στις ψυκτικές μηχανές απορρόφησης η ηλεκτρική συμπίεση που πραγματοποιείται σε ένα συμβατικό ψυκτικό κύκλο αντικαθίσταται από μία θερμική διεργασία. Ο ρόλος της συμπίεσης στον ψυκτικό κύκλο είναι να φέρει τους ατμούς του ψυκτικού μέσου σε υψηλή πίεση, τέτοια ώστε να μπορεί να παραγματοποιηθεί η συμπύκνωση σε υψηλή θερμοκρασία. Η συμπίεση στις μηχανές απορρόφησης πραγματοποιείται μέσω απορρόφησης των ατμών του ψυκτικού μέσου, που προέρχονται από τον ατμοποιητή, από έναν υγρό διαλύτη (νερό ή LiBr) και στην συνέχεια μέσω απελευθέρωσης στους σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία στον αναγεννητή, για να οδηγηθούν έπειτα στον συμπυκνωτή. Οι ατμοί που παράγονται στον ατμοποιητή οδηγούνται στην δεξαμενή απορρόφησης όπου απορροφούνται από το πλούσιο διάλυμα απορροφητή (LiBr ή νερό). Το φτωχό διάλυμα απορροφητή που παράγεται από την παραπάνω διαδικασία οδειγείται στον αναγεννητή με την βοήθεια της αντλίας κυκλοφορίας. Στον αναγεννητή, με την βοήθεια εξωτερικής πηγής θερμότητας (συνήθως ζεστό νερό από ηλιακούς συλλέκτες), απελευθερώνονται οι ατμοί του ψυκτικού μέσου σε υψηλή πίεση ενώ από το κάτω μέρος της συσκευής απάγεται το πλούσιο διάλυμα για να οδηγηθεί πάλι στον απορροφητή. Οι ατμοί του ψυκτικού μέσου υψηλής πίεσης που εξέρχονται από τον αναγεννητή οδηγούνται στον συμπυκνωτή. Εκεί παράγεται συμπύκνωμα ψυκτικού μέσου το οποίο με τη βοήθεια σταγγαλιστικής διάταξης οδηγείται πίσω στον ατμοποιητή στην χαμηλή πίεση. Η ψύξη παράγεται στον ατμοποιητή όπου κατά την ατμοποίηση του ψυκτικού απορροφάται θερμότητα από κύκλωμα νερού το οποίο οδηγείται στην συνέχεια στις κλιματιστικές μονάδες. Τόσο στον απορροφητή όσο και στον συμπυκνωτή απελευθερώνεται θερμότητα η οποία απάγεται με την βοήθεια κυκλώματος νερού ψύξης το οποίο παρέχεται στο σύστημα από εξωτερικό πύργο ψύξης.

Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιεί εξωτερικό αρχείο δεδομένων για τον υπολογισμό της συμπεριφοράς ενός ψύκτη απορρόφησης. Εξαιτίας του γεγονότος αυτού, το μοντέλο 107 δεν είναι εφαρμόσιμο σε οποιοδήποτε εύρος συνθηκών εισόδου. Όπως και σε άλλα μοντέλα που λειτουργούν με αυτό τον τρόπο, η λειτουργία της μηχανής μπορεί να προβλεφθεί μόνο μέσα στο εύρος των δεδομένων του αρχείου και όχι έξω από αυτό. Παρόλα αυτά, ένα σημαντικό πλεονέκτημα του μοντέλου αυτού, είναι οτι, επειδή το αρχείο δεδομένων κανονικοποιείται, ο χρήστης μεταβάλλοντας τις δύο πρώτες παραμέτρους του μοντέλου (ισχύς και COP σχεδίασης) μπορεί να εξομοιώσει την συμπεριφορά ψύκτη απορρόφησης οποιουδήποτε μεγέθους. Το μοντέλο 107 χρειάζεται ένα αρχείο δεδομένων με την κανονική τυποποίηση του TRNSYS για την υπορουτίνα DynamicData.

Το αρχείο αυτό περιλαμβάνει κανονικοποιημένες τιμές των συντελεστών $f_{\text{cond}}(-)$ και $f_{\text{evap}}(-)$ για διάφορες τιμές του συντελεστή $f_{\text{ref}}(-)$ καθώς και των θερμοκρασιών $T_{\text{ref}}(^\circ\text{C})$, $T_{\text{evap}}(^\circ\text{C})$, $T_{\text{cond}}(^\circ\text{C})$.

Όταν η τιμή του σήματος ελέγχου πάρει τιμή μεγαλύτερη από 0,5 ο ψύκτης τίθεται σε λειτουργία. Πρώτα απο όλα υπολογίζεται ο συντελεστής f_{ref} , στον οποίο θα πρέπει να λειτουργήσει η μηχανή. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται με βάση την θερμοότητα η οποία θα

πρέπει να απαχθεί από το προς ψύξη νερό, έτσι ώστε η θερμοκρασία του να πέσει από την τιμή εισόδου (T_{in}) στην επιθυμητή τελική τιμή (T_{out}):

$$\dot{Q} = m \cdot C_p \cdot (T_{in} - T_{out})$$

Η ισχύς αυτή διαιρείται στην συνέχεια με την ισχύ σχεδίασης για τον υπολογισμό του ποσοστού του φορτίου σχεδίασης στο οποίο θα πρέπει να λειτουργεί η μηχανή:

$$f = \frac{\dot{Q}}{\text{Capacity}}$$

Έπειτα το μοντέλο 107 καλεί την υπορουτίνα TRNSYS Dynamic Data(DYNDATA) η οποία διαβάζει τις καθορισμένες από τον χρήστη τιμές: θερμοκρασίας εισόδου ζεστού νερού, θερμοκρασίας εισόδου νερού ψύξης, επιθυμητής θερμοκρασίας εξόδου του προς ψύξη νερού και του συντελεστή f . Στην συνέχεια τις παρεμβάλλει στις τιμές του εξωτερικού αρχείου δεδομένων, το οποίο επίσης καθορίζεται από τον χρήστη, και επιστρέφει την τιμή του ποσοστού της ισχύος σχεδίασης η οποία είναι διαθέσιμη στη μηχανή δεδομένης της θερμοκρασίας εισόδου του ζεστού νερού. Η μειωμένη αυτή τιμή αντιστοιχεί στην ονομαστική ισχύ. Η τελική ισχύς της μηχανής δίδεται τελικά από την σχέση:

$$\text{Capacity} = f \cdot \text{Capacity}$$

Επίσης η υπορουτίνα DYNDATA επιστρέφει το ποσοστό της ισχύος εισόδου ως προς την αντίστοιχη ισχύ εισόδου κατά την λειτουργία στο σημείο σχεδίασης (f). Εφόσον κατά την λειτουργία υπό μερικό φορτίο απαιτείται μόνο μέρος της ισχύος εισόδου σχεδίασης. Με δεδομένο τον συντελεστή αυτό υπολογίζεται η ισχύς την οποία παραλαμβάνει η μηχανή από το ρεύμα ζεστού νερού:

$$\dot{Q} = \frac{\text{Capacity}}{\text{COP}} \cdot f$$

Έτσι η θερμοκρασία εξόδου του ζεστού νερού από τον ψύκτη είναι:

$$T_{out} = T_{in} - \frac{\dot{Q}}{m \cdot C_p}$$

Η θερμοκρασία εξόδου του προς ψύξη νερού από την μηχανή θα πρέπει να ισούται με την επιθυμητή (T_{out}) αλλά μπορεί να είναι και υψηλότερη σε περίπτωση που η ισχύς του ψύκτη δεν επαρκεί. Έτσι, η θερμοκρασία εξόδου του προς ψύξη νερού από την μηχανή δίδεται από την σχέση:

$$T_{out} = T_{in} - \frac{\text{MIN}(\dot{Q}, \text{Capacity})}{m \cdot C_p}$$

Με βάση την διατήρηση της ενέργειας στον ψύκτη υπολογίζεται η ενέργεια που παραλαμβάνει το κύκλωμα του νερού ψύξης ως εξής:

$$\dot{Q} = \dot{Q} + \dot{Q} + \dot{Q}$$

Όπου ο όρος \dot{Q} ισοδυναμεί με την κατανάλωση ενέργειας δευτερευόντων στοιχείων του συστήματος όπως αντλίες κυκλοφορίας, ελεγκτές κ.α. Η ενέργεια αυτή καθορίζεται ως παράμετρος στο μοντέλο. Επίσης, θεωρείται ότι η ενέργεια αυτή καταναλώνεται όποτε η μηχανή είναι σε λειτουργία ανεξαρτήτως εάν λειτουργεί σε πλήρες ή μερικό φορτίο.

Η θερμοκρασία εξόδου του νερού ψύξης υπολογίζεται ως εξής:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{\dot{Q}}{m \cdot C_p}$$

Τέλος, ο συντελεστής συμπεριφοράς (COP) της μηχανής δίδεται από την παρακάτω σχέση:

$$COP = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q} + \dot{Q}}$$

Αρχείο δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε το μοντέλο 107 χρησιμοποιεί εξωτερικό αρχείο για τα δεδομένα λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης. Τέτοιο έτοιμο αρχείο παρέχεται από το πρόγραμμα στο "Examples/Data Files". Η τυποποίηση του αρχείου αυτού φαίνεται παρακάτω:

```
<Fraction of design load 1> <Fract. Of design load 2> etc. NF values [0;1]
<Chilled water setpoint 1> <Chilled water setpoint 2> etc. NS values [°C]
<Entering Chilled Water Temperature 1> < ECWT 2> etc. NE values [°C]
<Inlet Hot Water Temperature 1> <IHWT 2> etc. NI values [°C]
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,1,1}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,1,2}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,1,3}
... (loop on IHWT values for Frac. Of design load 1, CWSet 1, ECWT 1)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,1,NI}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,2,1}
... (loop on IHWT values for Frac. Of design load 1, CWSet 1, ECWT 2)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,2,NI}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,3,1}
... (loop on IHWT values for Frac. Of design load 1, CWSet 1, ECWT 3)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,3,NI}
... (loop on ECWT values for Frac. Of design load 1, CWSet 1 - all IHWT val.)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,1,NE,NI}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,2,1,1}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,2,1,2}
... (loop on CWSet values for Frac. Of design load 1 - all ECWT and IHWT val.)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {1,NS,NE,NI}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {2,1,1,1}
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {2,1,1,2}
... (loop on Frac. Of design load values - all CWSet, ECWT and IHWT val.)
<Fraction of rated capacity> <Fract. Of Design Energy Input> for {NF,NS,NE,NI}
```

Σχ.3.12:τυποποίηση εξωτερικού αρχείου για το μοντέλο 107

Όπου το {i, j, k, l} σημαίνει ότι οι τιμές των δύο συντελεστών δίδονται για την:

- i τιμή του λόγου της ισχύος σχεδίασης
- j τιμή της επιθυμητής θερμοκρασίας εξόδου του προς ψύξη νερού
- k τιμή της θερμοκρασίας εισόδου του προς ψύξη νερού
- l τιμή της θερμοκρασίας εισόδου του ζεστού νερού

Οι τέσσερις πρώτες γραμμές του αρχείου δίνουν τις τιμές των ανεξάρτητων μεταβλητών στο εύρος λειτουργίας, ενώ οι υπόλοιπες δίνουν τις τιμές των εξαρτημένων μεταβλητών για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς των ανεξάρτητων. Παράδειγμα τέτοιου αρχείου φαίνεται παρακάτω:

```
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0 !Fraction of Design Load
5.56 6.11 6.67 7.22 7.78 8.89 10.0 !Chilled Water Setpoint (C)
26.7 29.4 32.2 !Entering Cooling Water Temperature (C)
108.9 111.7 113.9 115.0 116.1 !Inlet Hot Water Temperature (C)
0.9878 0.0000 !Capacity and Design Energy Input Fract. at 0.0 5.56 26.7 108.9
1.0367 0.0000 !Capacity and Design Energy Input Fract. at 0.0 5.56 26.7 111.7
... etc. (see the example file in "Examples\Data Files" for more details)
1.0469 0.9800 !Capacity and Design Energy Input Fract. at 1.0 10.0 32.2 116.1
```

Σχ.3.13:παράδειγμα εξωτερικού αρχείου για το μοντέλο 107

2.2.10 Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης – Μοντέλο 1

Το μοντέλο αυτό υπολογίζει την θερμική συμπεριφορά πολλών διαφορετικών τύπων συλλεκτών. Η συνολική διάταξη των συλλεκτών μπορεί να αποτελείται από μονάδες τοποθετημένες παράλληλα ή σε σειρά. Η θερμική συμπεριφορά της συνολικής διάταξης των συλλεκτών καθορίζεται από τον αριθμό των μονάδων που είναι τοποθετημένες σε σειρά καθώς και από τα χαρακτηριστικά της κάθε μονάδας. Ο χρήστης θα πρέπει να παρέχει αποτελέσματα δοκιμών για την καμπύλη βαθμού απόδοσης συναρτήσει του λόγου διαφοράς θερμοκρασίας, ρευστού και ατμόσφαιρας, προς την συνολική ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου($\Delta T/IT$). Η θερμοκρασία του ρευστού μπορεί να αντιστοιχεί σε αυτήν της εισόδου, της εξόδου από του συλλέκτης ή την μέση θερμοκρασία. Το μοντέλο μετασχηματίζει την καμπύλη βαθμού απόδοσης- $(\Delta T/IT)$ σε εξίσωση δευτέρου βαθμού. Στην συνέχεια γίνονται διορθώσεις στους παράγοντες απόδοσης, θερμικής απολαβής και θερμικών απωλειών για την πρόβλεψη της ύπαρξης εναλλάκτη θερμότητας, όμοιων συλλεκτών σε σειρά ή παροχών διαφορετικών από τις συνθήκες δοκιμών.

Όσον αφορά στην οπτική συμπεριφορά των συλλεκτών υπάρχουν πέντε διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού οι οποίοι περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω και αναφέρονται σε διαφορετικά δεδομένα και τύπους συλλεκτων.

Συμβολισμός

A	[m ²]συλλεκτική επιφάνεια ή ανηγμένη συλλεκτική επιφάνεια
A	[m ²]επιφάνεια συλλέκτη
A	[m ²]επιφάνεια απορροφητή συλλέκτη
C	[kJ/kgK]ειδική θερμότητα κυκλοφορούντος ρευστού
C	[kJ/hK]
F	[-]παράγων θερμικής απολαβής
F	[-]τιμή του F _R για χρήση της T _α αντί της T
F	[-]τιμή του F _R για χρήση της T _α αντί της T
I	[kJ/hm ²]συνολική ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]διάχυτη ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]συνολική ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]άμεση ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
m ₁	[kg/h]παροχή μάζας
m ₂	[kg/h]παροχή μάζας δοκιμής
T	[°C]θερμοκρασία περιβάλλοντος
T	[°C]μέση θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη
T	[°C]θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη
T	[°C]θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη
U	[kJ/hm ² K]συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών
U _α	[kJ/hm ² K ²]σταθερά συντελεστή θερμικών απωλειών ως προς T _α
α	[-]απορροφητικότητα του απορροφητήρα του συλλέκτη
β	[°]κλίση συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο
θ	[°]γωνία πρόσπτωσης άμεσης ακτινοβολίας
ρ	[-]ανακλαστικότητα του εδάφους
τ	[-]διαπερατότητα καλύμματος του συλλέκτη
(τα)	[-]κλάσμα της συνολικά προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφά ο απορροφητήρας
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την άμεση ακτινοβολία
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από τον ουρανό διάχυτη ακτινοβολία
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από το έδαφος διάχυτη ακτινοβολία

Μαθηματικό μοντέλο

Ο βαθμός απόδοσης θερμικού ηλιακού συλλέκτη λαμβάνεται από την σχέση Hottel-Whiller (Duffie and Beckman, 1991):

$$\eta = \frac{Q}{AI} = \frac{mC (T - T)}{AI} = F (\tau\alpha) - F U \frac{(T - T)}{I}$$

Επειδή ο συντελεστής θερμικών απωλειών (U) δεν είναι σταθερός με θεώρηση γραμμικής εξάρτησης του από την διαφορά $(T - T)$ η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$\eta = \frac{Q}{AI} = F (\tau\alpha) - F U \frac{(T - T)}{I} - F U / \frac{(T - T)}{I}$$

το οποίο μπορεί επίσης να γραφτεί ως εξής:

$$\eta = a - a \frac{(\Delta T)}{I} - a \frac{(\Delta T)}{I}$$

Από την παραπάνω σχέση λαμβάνεται ο βαθμός απόδοσης, οποίος καθορίζεται από τις παραμέτρους a , a και a . Οι τρεις αυτές παράμετροι είναι διαθέσιμες για συλλέκτες δοκιμασμένους σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE (ASHRAE, 2003; SRCC, 1995) καθώς και για συλλέκτες δοκιμασμένους σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN, 2001). Πληθώρα παραδειγμάτων των παραμέτρων αυτών μπορούν να βρεθούν στο διαδύκτιο (π.χ. SPF, 2004).

Σημείωση: ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην συλλεκτική επιφάνεια που τίθεται ως παράμετρος στο μοντέλο η οποία θα πρέπει να συμφωνεί με αυτή με βάση την οποία έγινε ο υπολογισμός των συντελεστών a , a και a . Συνήθως ο υπολογισμός των καμπύλων βαθμού απόδοσης γίνεται με βάση την συλλεκτική επιφάνεια στην Αμερική ενώ με βάση την ανηγμένη συλλεκτική επιφάνεια στην Ευρώπη.

Στην παραπάνω σχέση ο όρος (ΔT) αναφέρεται στην θερμοκρασιακή διαφορά $(T - T)$. Παρόλα αυτά, σε πολλές δοκιμές συλλεκτών η καμπύλη του βαθμού απόδοσης δίδεται συναρτήσει άλλης θερμοκρασιακής διαφοράς:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T - T \\ \Delta T &= \frac{\Delta T}{\Delta T} = T - T \\ \Delta T &= T - T \end{aligned}$$

Ο πρώτος τρόπος συναντάται συνήθως σε αμερικάνικες δοκιμές ενώ ο δεύτερος σε ευρωπαϊκές. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιήσει συντελεστές a , a και a που έχουν υπολογιστεί με οποιοδήποτε από τους παραπάνω ορισμούς της θερμοκρασιακής διαφοράς. Όμως εάν ο υπολογισμός των συντελεστών έχει πραγματοποιηθεί με βάση την μέση θερμοκρασία (ΔT) ή την θερμοκρασία εξόδου (ΔT) εφαρμόζονται παράμετροι διόρθωσης. Οι παράμετροι διόρθωσης υπολογίζονται για γραμμική εξάρτηση του βαθμού

απόδοσης από την θερμοκρασιακή διαφορά και κατά συνέπεια η εξίσωση θα πρέπει να μετασχηματισθεί σε γραμμική ως εξής:

$$U = U_0 + U_1 (T_1 - T_2)$$

Έτσι η συνάρτηση του βαθμού απόδοσης γίνεται:

$$\eta = \frac{Q}{A I} = F(\tau_a) - F U \frac{(T_1 - T_2)}{I}$$

Οι παράμετροι διόρθωσης δίνονται από τις παρακάτω σχέσεις (Duffie and Beckman, 1991):

$$\begin{cases} F(\tau_a) = F(\tau_a) \frac{m C}{m C + \frac{F U}{2}} \\ F U = F U \frac{m C}{m C + \frac{F U}{2}} \end{cases} \quad \begin{cases} F(\tau_a) = F(\tau_a) \frac{m C}{m C + F U} \\ F U = F U \frac{m C}{m C + F U} \end{cases}$$

Διορθώση Καμπύλης Βαθμού Απόδοσης

Διορθώσεις των παραμέτρων των συλλεκτών εφαρμόζονται για την προσαρμογή της καμπύλης του βαθμού απόδοσης σε:

- παροχή μάζας διαφορετική από αυτή των δοκιμών
- N ηλιακούς συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά
- συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης διαφορετικό της μονάδας

Διόρθωση παροχής μάζας

Σε περίπτωση λειτουργίας σε διαφορετική παροχή μάζας από αυτή της δοκιμής οι παράμετροι $F(\tau_a)$ και $F U$ αλλάζουν και οι δύο κατά το ίδιο ποσοστό, εξαιτίας της αλλαγής που υφίσταται ο παράγων θερμικής απολαβής (F), ως εξής:

$$r = \frac{F U |}{F U |} = \frac{F (\tau\alpha)}{F (\tau\alpha)} = \frac{\frac{mC}{AF U} \left[1 - e \right]}{\frac{mC}{AF U} \left[1 - e \right]}$$

Για την παραπάνω σχέση είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του $F U$. Ο υπολογισμός γίνεται για τις συνθήκες δοκιμής από την παρακάτω σχέση:

$$F U = \frac{mC}{A} \ln \left(1 - \frac{AF U}{mC} \right)$$

Εάν το κυκλοφορούν ρευστό είναι υγρό τότε ο παράγοντας $F U$ που υπολογίζεται για τις συνθήκες της δοκιμής σχεδόν ταυτίζεται με τον αντίστοιχο λειτουργίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ίδια τιμή.

Διόρθωση για ηλιακούς συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά

Οι παράμετροι $F (\tau\alpha)$ και $F U$ μεταβάλλονται κατά το ίδιο ποσοστό για την προσομοίωση N όμοιων συλλεκτών συνδεδεμένων σε σειρά ως εξής:

$$r = \frac{1 - \left(1 - \frac{AF U}{mC} \right)^N}{N \frac{AF U}{mC}}$$

Συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης

Συνήθως οι δοκιμές ηλιακών συλλεκτών γίνονται σε αίθρια ατμόσφαιρα και για κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, έτσι ο όρος $(\tau\alpha)$ ταυτίζεται με τον $(\tau\alpha)$. Συνεπώς για προσαρμογή των καπύλων βαθμού απόδοσης στις συνθήκες της εξομοίωσης ο παράγοντας $F (\tau\alpha)$ θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον όρο $(\tau\alpha)?(\tau\alpha)$ ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)} = \frac{I \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)} + I \frac{1 + \cos \beta}{2} \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)} + \rho I \frac{1 - \cos \beta}{2} \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)}}{I}$$

Σύμφωνα με δοκιμές της ASHRAE (ASHRAE, 2003), για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες η τιμή του λόγου $(\tau\alpha)?(\tau\alpha)$ λαμβάνεται από την σχέση:

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)} = 1 - b \frac{1}{\cos \theta} - 1 - b \frac{1}{\cos \theta} - 1$$

Σημείωση:σε ορισμένες δοκιμές συλλεκτών παρέχεται ο συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης μόνο για μία μόνο τιμή της γωνίας πρόσπτωσης, συνήθως τις 50°. Τότε χρησιμοποιείται η δεύτερη περίπτωση υπολογισμού του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης κατά την οποία θεωρείται η σταθερά b ίση με το μηδέν και χρησιμοποιείται η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της τιμής του b .

Το μοντέλο δίνει τη δυνατότητα πέντε διαφορετικών τρόπων υπολογισμού του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης:

- 1^η περίπτωση: $(\tau_a) ? (\tau_a) = 1$ για κάθε τιμή της γωνίας πρόσπτωσης
- 2^η περίπτωση: ο χρήστης καθορίζει τις τιμές των σταθερών b και b
- 3^η περίπτωση: τιμές του λόγου $(\tau_a) ? (\tau_a)$ συναρτήσει της γωνίας θ παρέχονται από εξωτερικό αρχείο. Ο συλλέκτης θεωρείται συμμετρικός και κατά συνέπεια μόνο μια κατεύθυνση παρέχεται στο αρχείο αυτό.
- 4^η περίπτωση: η υπορουτίνα TAU_ALPHA υπολογίζει τον συντελεστή της γωνίας πρόσπτωσης για την άμεση ακτινοβολία συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης και των ιδιοτήτων των καλυμμάτων.
- 5^η περίπτωση: τιμές του λόγου $(\tau_a) ? (\tau_a)$ συναρτήσει της γωνίας θ παρέχονται από εξωτερικό αρχείο για επιμήκη και εγκάρσια κατεύθυνση. Η περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ηλιακών συλλεκτών κενού, για τους οποίους συνήθως προτιμάται η χρήση του μοντέλου 71.

Οι συντελεστές γωνίας πρόσπτωσης για την διάχυτη ακτινοβολία από τον ουρανό και το έδαφος, $(\tau_a) ? (\tau_a)$ και $(\tau_a) ? (\tau_a)$ λαμβάνονται από τις περιπτώσεις 2 και 4 με χρήση ισοδύναμων γωνιών (Duffie and Beckman, 1991):

$$\theta = 56.98 - 0.1188\beta + 0.001497\beta$$

$$\theta = 90.00 - 0.5788\beta + 0.002693\beta$$

Εξωτερικά Αρχεία

Το μοντέλο 1 μπορεί να χρησιμοποιήσει εξωτερικά αρχεία για τον υπολογισμό του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης. Η ανάγνωση των αρχείων και ο υπολογισμός της τιμής του συντελεστή γίνονται από την υπορουτίνα DYNAMICDATA. Τα αρχεία αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν από 2 έως 10 ζεύγη τιμών γωνιών πρόσπτωσης και συντελεστών γωνιών πρόσπτωσης. Στην παράγραφο αυτή, περιγράφεται μόνο το αρχείο που χρησιμοποιείται στην 3^η περίπτωση υπολογισμού καθώς ο τύπος αρχείου που χρησιμοποιείται για την 5^η περίπτωση αναφέρεται στους συλλέκτες κενού, για τους οποίους προτείνεται το μοντέλο 71. Ο τύπος αρχείου που χρησιμοποιείται στην 5^η περίπτωση υπολογισμού είναι ίδιο με

αυτόν που χρησιμοποιείται από το μοντέλο 71 το οποίο περιγράφεται σε επόμενη παράγραφο.

Η τυποποίηση του αρχείου που χρησιμοποιείται στην 3^η περίπτωση υπολογισμού του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης φαίνεται παρακάτω. Παράδειγμα τέτοιου αρχείου παρέχεται από το πρόγραμμα στο "Examples/Data Files".

```
<Incidence angle 1> <Incidence angle 2> etc.           Na values [0;90]
<IAM 1>                                                  IAM for angle 1
<IAM 2>                                                  IAM for angle 1
...
<IAM Na>                                                IAM for angle Na
```

Σχ.2.14: τυποποίηση εξωτερικού αρχείου για την 3^η περίπτωση υπολογισμού συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης

Στην πρώτη γραμμή του αρχείου δίνονται οι τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής (γωνία πρόσπτωσης) ενώ στη συνέχεια δίνονται οι τιμές του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης για κάθε τιμή της ανεξάρτητης μεταβλητής.

2.2.11 Ηλιακός συλλέκτης σωλήνων κενού – Μοντέλο 71

Το μοντέλο 71 προσομοιώνει την λειτουργία ηλιακών συλλεκτών κενού με χρήση της εξίσωσης δευτέρου βαθμού ως προς ΔT για τον βαθμό απόδοσης και συντελεστή γωνίας σε δύο άξονες. Η θερμική συμπεριφορά είναι πανομοιότυπη με αυτήν των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και διέπεται από τις σχέσεις που περιγράφηκαν στην παραπάνω ενότητα (μοντέλο 1). Στην παρούσα παράγραφο περιγράφεται η οπτική συμπεριφορά των ηλιακών συλλεκτών κενού.

Συμβολισμός

I	[kJ/hm ²]συνολική ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]διάχυτη ωριαία ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]συνολική ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
I	[kJ/hm ²]άμεση ωριαία ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου
T	[°C]θερμοκρασία περιβάλλοντος
T	[°C]μέση θερμοκρασία του ρευστού στον συλλέκτη
T	[°C]θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στον συλλέκτη
T	[°C]θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη
α	[-]απορροφητικότητα του απορροφητήρα του συλλέκτη
β	[°]κλίση συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο
θ	[°]γωνία πρόσπτωσης άμεσης ακτινοβολίας

θ	[⁰]προβολή της γωνίας πρόσπτωσης στο επιμήκες επίπεδο
θ	[⁰] προβολή της γωνίας πρόσπτωσης στο εγκάρσιο επίπεδο
ρ	[-]ανακλαστικότητα του εδάφους
τ	[-]διαπερατότητα καλύμματος του συλλέκτη
(τα)	[-]κλάσμα της συνολικά προσπίπτουσας ακτινοβολίας που απορροφά ο απορροφητήρας
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την άμεση ακτινοβολία
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από τον ουρανό διάχυτη ακτινοβολία
(τα)	[-]η τιμή του (τα) για την προερχόμενη από το έδαφος διάχυτη ακτινοβολία

Μαθηματικό μοντέλο

Η καμπύλη απόδοσης του συλλέκτη κενού διέπεται από τις ίδιες σχέσεις που περιγράφουν την αντίστοιχη καμπύλη του επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στην παραπάνω ενότητα η καμπύλη του βαθμού απόδοσης λαμβάνεται ως εξής:

$$\eta = a - a \frac{(\Delta T)}{I} - a \frac{(\Delta T)}{I}$$

Οι παράμετροι a , a και a είναι διαθέσιμες για συλλέκτες δοκιμασμένους σύμφωνα με τα πρότυπα της ASHRAE (ASHRAE, 2003; SRCC, 1995) καθώς και για συλλέκτες δοκιμασμένους σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα (CEN, 2001). Πληθώρα παραδειγμάτων των παραμέτρων αυτών μπορούν να βρεθούν στο διαδύκτιο (π.χ. SPF, 2004).

Στην παραπάνω σχέση ο όρος (ΔT) αναφέρεται στην θερμοκρασιακή διαφορά $(T - T)$. Παρόλα αυτά, σε πολλές δοκιμές συλλεκτών η καμπύλη του βαθμού απόδοσης δίδεται συναρτήσει άλλης θερμοκρασιακής διαφοράς:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T - T \\ \Delta T &= \Delta T = T - T \\ \Delta T &= T - T \end{aligned}$$

Ο πρώτος τρόπος συναντάται συνήθως σε αμερικάνικες δοκιμές ενώ ο δεύτερος σε ευρωπαϊκές. Το μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιήσει συντελεστές a , a και a που έχουν υπολογιστεί με οποιοδήποτε από τους παραπάνω ορισμούς της θερμοκρασιακής διαφοράς. Όμως εάν ο υπολογισμός των συντελεστών έχει πραγματοποιηθεί με βάση την μέση θερμοκρασία (ΔT) ή την θερμοκρασία εξόδου (ΔT) εφαρμόζονται παράμετροι διόρθωσης όπως περιγράφηκε στην παραπάνω ενότητα.

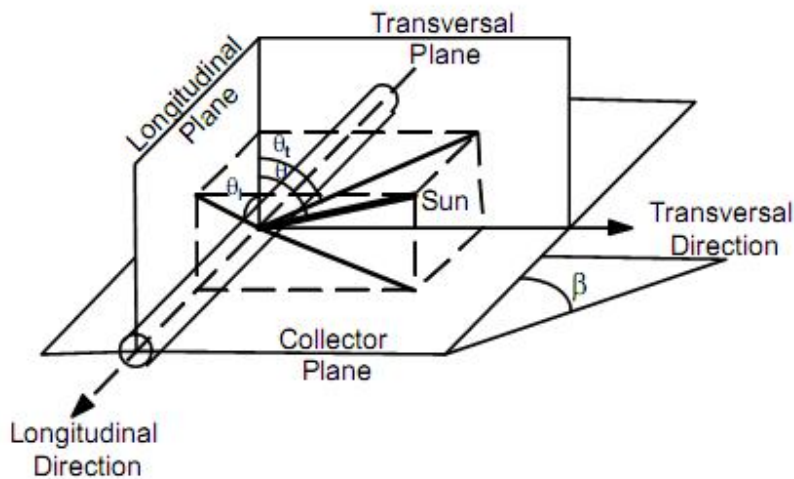
Συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης

Συνήθως οι δοκιμές ηλιακών συλλεκτών γίνονται σε αίθρια ατμόσφαιρα και για κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, έτσι ο όρος (τ_a) ταυτίζεται με τον (τ_a) . Συνεπώς για προσαρμογή των καπύλων βαθμού απόδοσης στις συνθήκες της εξομοίωσης ο παράγοντας $F(\tau_a)$ θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με τον όρο $(\tau_a)^2(\tau_a)$ ο οποίος υπολογίζεται ως εξής:

$$\frac{(\tau_a)}{(\tau_a)} = \frac{1 \frac{(\tau_a)}{(\tau_a)} + 1 \frac{1 + \cos \beta}{2} \frac{(\tau_a)}{(\tau_a)} + \rho \left| \frac{1 - \cos \beta}{2} \frac{(\tau_a)}{(\tau_a)} \right.}{1}$$

- Συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης για την άμεση ακτινοβολία:

Οι ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού είναι μη συμμετρικοί οπτικά. Το μοντέλο 71 απαιτεί ύπαρξη εξωτερικού αρχείου για τον υπολογισμό του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης ο οποίος δίνεται για δύο μεταβλητές: την εγκάρσια και την διαμήκη διεύθυνση. Ο IAM που αναφέρεται στην εγκάρσια διεύθυνση ονομάζεται και τροποποιητής αζιμουθίου ενώ αυτός που αναφέρεται στην διαμήκη διεύθυνση ονομάζεται τροποποιητής ύψους. Ο ορισμός των παραπάνω διευθύνσεων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.2.15: Διαμήκης και εγκάρσια διεύθυνση.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τόσο ο διαμήκης όσο και ο εγκάρσιος IAM αναφέρονται στην θέση συλλέκτη ηλίου και όχι στους σωλήνες του τελευταίου. Παρόλα αυτά επειδή οι συλλέκτες έχουν προσανατολισμό Βορρά- Νότου η διαμήκης διεύθυνση συμπίπτει με αυτή των σωλήνων. Εάν οι δοκιμές για τους συλλέκτες έχουν πραγματοποιηθεί με προσανατολισμό Ανατολής - Δύσης τα δεδομένα για τον IAM θα πρέπει να προσαρμοστούν αλλάζοντας την διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση.

- Συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης για την διάχυτη ακτινοβολία:

Ο συντελεστής γωνίας πρόσπτωσης για την διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} (\theta, \gamma) \cos \theta \sin \theta d\theta d\gamma$$

Η παράπάνω σχέση υπολογίζεται στην αρχή της προσομοίωσης με βάση τα παρεχόμενες από τον χρήστη τιμές για τον λόγο $\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)}$.

Εξωτερικό αρχείο δεδομένων

Το μοντέλο 71 απαιτεί την ύπαρξη εξωτερικού αρχείου δεδομένων για τον υπολογισμό του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης (IAM). Η ανάγνωση και η παρεμβολή μεταξύ των τιμών του αρχείου αυτού γίνεται από την υπορουτίνα DYNAMICDATA του προγράμματος. Το εξωτερικό αρχείο περιέχει τις τιμές του λόγου IAM για διάφορους συνδυασμούς διαμήκους και εγκάρσιας γωνίας πρόσπτωσης. Η τιποποίηση του εν λόγω εξωτερικού αρχείου φαίνεται παρακάτω. Παράδειγμα τέτοιου αρχείου παρέχεται από το πρόγραμμα στο 'Examples\Data Files'.

```

<Transversal angle 1> <Transversal angle 2> etc.           Nt values [0;90]
<Longitudinal angle 1> <Longitudinal angle 1> etc.       Nl values [0;90]
<IAM 1 1>                                                  IAM for transv. angle 1, long. angle 1
<IAM 1 2>                                                  IAM for transv. Angle 1, long. angle 2
...
<IAM 1 Nl>                                                 IAM for transv. angle 1, long. angle Nl
<IAM 2 1>                                                  IAM for transv. angle 2, long. angle 1
<IAM 2 2>                                                  IAM for transv. angle 2, long. angle 2
...
<IAM 2 Nl>                                                 IAM for transv. angle 2, long. angle Nl
<IAM 3 1>                                                  IAM for transv. angle 3, long. angle 1
...
<IAM Nt Nl>                                               IAM for transv. angle Nt, long. angle Nl

```

Σχ.2.16:τυποποίηση εξωτερικού αρχείου για το μοντέλο 71

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα στις δύο πρώτες γραμμές του αρχείου περιέχονται οι τιμές των δύο ανεξάρτητων μεταβλητών (εγκάρσια και διαμήκης γωνία πρόσπτωσης). Στην συνέχεια υπάρχουν οι τιμές του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης για όλους τους συνδυασμούς των δύο παραπάνω ανεξάρτητων μεταβλητών.

2.2.12 Ανάγνωση Δεδομένων (Γενικά αρχεία δεδομένων) – Μοντέλο 9

Αυτό το μοντέλο εξυπηρετεί το γενικό σκοπό της ανάγνωσης δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από μια συγκεκριμένη λογική μονάδα του προγράμματος, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων κάνοντάς τα αξιοποιήσιμα από άλλες μονάδες του TRNSYS.

Τα αρχεία δεδομένων που είναι προς ανάγνωση μπορούν να καθορισθούν με 2 τρόπους. Το μοντέλο μπορεί να διαβάσει τα αρχεία απευθείας ή να διαβάσει πρώτα ένα αρχείο που στην πραγματικότητα είναι λίστα των ζητούμενων αρχείων. Τα αρχεία διαβάζονται σε αυτήν την περίπτωση με τη σειρά που αναφέρονται στη λίστα. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει μια λίστα αρχείων γράφοντας "FILES" στην πρώτη σειρά του αρχείου και γράφοντας ακολούθως ένα όνομα αρχείο ανά σειρά.

Το μοντέλο 9 μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε στη λειτουργία ελεύθερης μορφοποίησης αρχείων, είτε στην λειτουργία μορφοποιημένων αρχείων. Στην πρώτη περίπτωση οι γραμμές των δεδομένων δεν απαιτείται να έχουν την ίδια ακριβώς μορφοποίηση, αλλά παρόλα αυτά κάθε τιμή πρέπει να διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κόμμα ή κενό. Στην δεύτερη περίπτωση η ανάγνωση γίνεται με την μορφοποίηση F ή E FORTRAN FORMAT. Θέτοντας στην παράμετρο FRMT μία θετική τιμή και έχοντας ορίσει μία από τις παραπάνω μορφοποιήσεις στην επόμενη σειρά από αυτήν με την τιμή της παραμέτρου έχει ως αποτέλεσμα όλες οι γραμμές του αρχείου να διαβάζονται με αυτήν την μορφοποίηση.

Συμβολισμός

$V_i(n)$	i-οστή τιμή από την γραμμή n
m_i	πολλαπλασιαστικός συντελεστής της i-οστής τιμής
a_i	προσθετικός συντελεστής i-οστής τιμής
$V_i'(n)$	i-οστή τιμή στην γραμμή n μετά την εφαρμογή των συντελεστών
t_{d1}	χρόνος που αντιστοιχεί στα δεδομένα της προηγούμενης γραμμής
t_{d2}	χρόνος που αντιστοιχεί στην επόμενη γραμμή

Λειτουργίες

Στο TRNSYS 16 η εκκίνηση της προσομοίωσης είναι η χρονική στιγμή στην οποία αρχίζει το πρώτο χρονικό βήμα, ενώ όλα υπόλοιπα χρονικά βήματα διακρίνονται από την στιγμή που τελειώνουν. Για παράδειγμα, μία προσομοίωση διάρκειας ενός έτους δεν εκκινεί την χρονική στιγμή 1 αλλά τη χρονική στιγμή 0 και τελειώνει τη χρονική στιγμή 8760.

Λειτουργία 1

Η πρώτη γραμμή στο αρχείο δεδομένων αναφέρεται στη χρονική στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Οι αρχικές συνθήκες παρέχονται για όλες τις μεταβλητές και θεωρούνται στιγμιαίες τιμές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που δίνονται ως μέσες τιμές των χρονικών βημάτων σε όλο το υπόλοιπο αρχείο δεδομένων.

Λειτουργία 2

Η πρώτη γραμμή στο αρχείο δεδομένων αναφέρεται στην στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Οι αρχικές συνθήκες δίνονται είτε ως στιγμιαία είτε ως μέσες τιμές του χρονικού βήματος ανάλογα με τις ρυθμίσεις κάθε μεταβλητής.

Λειτουργία 3

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στο πρώτο χρονικό βήμα της προσομοίωσης και όχι στην χρονική στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης. Στην λειτουργία αυτή δεν παρέχονται αρχικές συνθήκες από το αρχείο.

Λειτουργία 4

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στην χρονική στιγμή 0. Αν η στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης δεν είναι η χρονική στιγμή 0, οι γραμμές του αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης αγνοούνται. Οι αρχικές τιμές παρέχονται ως στιγμιαίες τιμές και μόνο για όλες τις μεταβλητές.

Λειτουργία 5

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στην χρονική στιγμή 0. Αν η στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης δεν είναι η χρονική στιγμή 0, οι γραμμές του αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης αγνοούνται. Οι αρχικές τιμές παρέχονται ως στιγμιαίες τιμές είτε ως μέσες τιμές του χρονικού βήματος, αναλόγως με την κάθε μεταβλητή.

Λειτουργία 6

Η πρώτη γραμμή του αρχείου δεδομένων αναφέρεται στο πρώτο χρονικό βήμα του έτους. Αν η προσομοίωση δεν αρχίζει στην αρχή του έτους, οι γραμμές του αρχείου μέχρι την στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης αγνοούνται. Αρχικές συνθήκες δεν παρέχονται σε αυτήν την λειτουργία

Επεξεργασία μεταβλητών

Κάθε μεταβλητή σχετίζεται με 4 παραμέτρους του μοντέλου με τις οποίες καθορίζεται το αν θα πραγματοποιηθεί ή όχι παρεμβολή στις τιμές της, αν η ζητούμενη στήλη αναφέρεται σε στιγμιαίες τιμές ή σε τιμές που προέκυψαν από παρεμβολή και καθορίζουν μια απλή διαδικασία μετατροπής μονάδων.

Μέσες και στιγμιαίες τιμές

Κάθε μεταβλητή μπορεί να είναι στιγμιαία τιμή ή μέση τιμή για την περίοδο του χρονικού βήματος. Το TRNSYS είναι προκαθορισμένο έτσι ώστε να λαμβάνει μέσες τιμές από το μοντέλο 9 και γι' αυτό το λόγο οι στιγμιαίες τιμές είναι εκείνες που μετατρέπονται. Οι τιμές της ακτινοβολίας παρέχονται συνήθως ως μέσες τιμές ενώ οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας παρέχονται συνήθως ως στιγμιαίες τιμές.

Παρεμβολή και μετατροπή μονάδων

Σε κάθε μεταβλητή μπορεί να εφαρμοστεί παρεμβολή ανεξαρτήτως από το αν έχει στιγμιαίες ή μέσες τιμές. Μετά την παρεμβολή ή/ και την μετατροπή σε μέση τιμή, οι μονάδες μιας μεταβλητής μπορούν να μετατραπούν σε άλλο σύστημα αν αυτό είναι απαραίτητο με μία απλή γραμμική σχέση:

$$V(n) = m V(n) + a$$

Οι συντελεστές m και a παρέχονται ως παράμετροι του μοντέλου.

Παρατηρήσεις

1. Από κάθε γραμμή μπορούν να διαβαστούν έως και 98 τιμές.
2. Τα δεδομένα μίας γραμμής πρέπει να απέχουν από τα δεδομένα της επόμενης ίσα χρονικά διαστήματα.
3. Στα αρχεία ελεύθερης μορφοποίησης, οι μεταβλητές εξάγονται με την ίδια σειρά που είναι γραμμένα στο αρχείο.
4. Η δήλωση της μορφοποίησης πρέπει να υπακούει τους γενικούς κανόνες τέτοιων δηλώσεων του TRNSYS. Επειδή οι μεταβλητές που διαβάζονται είναι πραγματικές μεταβλητές, η μορφοποίηση πρέπει υποχρεωτικά να είναι τύπου F ή E.
5. Στις εξόδους μπορεί να εφαρμοστεί παρεμβολή μεταξύ των χρονικών βημάτων ή όχι ανάλογα με τις καθορισμένες παραμέτρους.
6. Οι έξοδοι 99 και 100 είναι οι χρονικές στιγμές στην αρχή και στο τέλος του συγκεκριμένου χρονικού βήματος. Οι έξοδοι αυτοί είναι απαραίτητες για την παρεμβολή των δεδομένων της ακτινοβολίας από το μοντέλο 16.

7. Το μοντέλο δίνει άλλες 100 εξόδους όπου η έξοδος $100 + i$ παριστάνει την τιμή της εξόδου i το επόμενο χρονικό βήμα αν οι τιμές έχουν υποστεί παρεμβολή ή την τιμή της εξόδου i την επόμενη χρονική στιγμή αν δεν έχει εφαρμοστεί παρεμβολή.
8. Θέτοντας αρνητική τιμή στην πρώτη παράμετρο σε κάποια από τις λειτουργίες του μοντέλου, οι πρώτες γραμμές του αρχείου αγνοούνται. Η παράμετρος αυτή είναι χρήσιμη όταν θέλουμε να αρχίζει η προσομοίωση σε κάποια χρονική στιγμή διαφορετική της πρώτης ώρας.

2.2.13 Μοντέλο 56 – Μοντέλο πολυζωνικού κτιρίου

Γενικά

Η προσομοίωση του πολυζωνικού κτηρίου γίνεται με το μοντέλο 56 του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS. Το μοντέλο προσομοιώνει την θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου που μπορεί να έχει έως και 25 θερμικές ζώνες. Το μοντέλο διαβάζει την περιγραφή του κτηρίου από μια σειρά αρχείων με επεκτάσεις *.bui, *bld, *trn. Τα αρχεία αυτά παράγονται με βάση τις πληροφορίες που εισάγει ο χρήστης μέσω του προγράμματος TRNBUILD. Στο TRNSYS υπάρχουν δύο μοντέλα 56: “type-56a” και “type-56b”. Το πρώτο παράγει τα δικά του αρχεία με τα ωριαία και μηνιαία αποτελέσματα ενώ το δεύτερο όχι. Ο χρήστης έχει την επιλογή και στους δύο τύπους να ορίσει την εξαγωγή επιπλέον αποτελεσμάτων είτε σε ωριαία είτε σε μηνιαία βάση.

Εκτός του μοντέλου 56 το TRNSYS παρέχει άλλα 3 μοντέλα για την προσομοίωση κτηρίων, αναλόγως τις απαιτήσεις του χρήστη. Αυτά είναι:

Μοντέλο 12: μοντέλο μίας ζώνης, σταθερής κατάστασης

Μοντέλο 88: μοντέλο μίας ζώνης με συγκεντρωμένη θερμοχωρητικότητα

Μοντέλο 19: μοντέλο μίας ζώνης, με λεπτομερείς υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας.

Σε σχέση με τα παραπάνω μοντέλα, το μοντέλο 56 είναι το πιο ακριβές μαζί με το μοντέλο 19 και είναι το μόνο το οποίο μπορεί να προσομοιώσει ένα κτίριο με πολλές θερμικές ζώνες λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση 2 ή περισσότερων ζωνών μέσα στο κτίριο. Η αλληλεπίδραση αυτή υπολογίζεται επιλύοντας τις διαφορικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστροφής πινάκων. Η επίδραση της ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους υπολογίζονται για κάθε επιφάνεια ανάλογα το εμβαδόν της. Οι οροφές, οι τοίχοι και τα δάπεδα προσομοιώνονται με βάση την συνάρτηση μεταφοράς θερμότητας της ASHRAE. Η εισαγωγή των πληροφοριών για το κτίριο καθώς και τα

διάφορα στοιχεία του εισάγονται με το πρόγραμμα TRNBuild που περιλαμβάνεται στο υπολογιστικό πακέτο του TRNSYS.

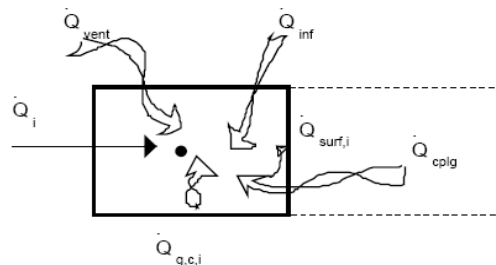
Το μοντέλο 56 έχει δύο μεθόδους λειτουργίας οι οποίες ονομάζονται “ρυθμός μεταφοράς ενέργειας” (“energy rate”) και “επίπεδο θερμοκρασίας” (“temperature level”). Στην πρώτη περίπτωση, το μοντέλο υπολογίζει τα φορτία βασιζόμενο μόνο στα καθαρά κέρδη και στις καθαρές απώλειες του χώρου. Τα φορτία θεωρούνται ότι είναι ανεξάρτητα των θερμικών και ψυκτικών συσκευών της ζώνης. Ο χρήστης επιλέγει την επιθυμητή θερμοκρασία λειτουργίας των συσκευών και το πρόγραμμα καθορίζει την απαιτούμενη ενέργεια για να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε αυτήν την τιμή. Το πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι ότι μπορούν να υπολογιστούν μία φορά τα φορτία που προέρχονται από τα δομικά υλικά και να χρησιμοποιηθούν ξανά σε ακόλουθες προσομοιώσεις. Παρόλα αυτά, πολλά δυναμικά χαρακτηριστικά διαφεύγουν λεπτομερών υπολογισμών. Για παράδειγμα, αν οι επιδόσεις μιας θερμαντικής ή ψυκτικής συσκευής είναι αδιάρρηκτα συνδεδεμένες με την θερμοκρασία που καθορίζουν τα φορτία ή από το αν έχει τεθεί σε λειτουργία ή εκτός λειτουργίας σε προηγούμενα χρονικά βήματα, είναι προτιμότερη η επιλογή της λειτουργίας “επίπεδο θερμοκρασίας”.

Στη λειτουργία “temperature level”, η κατάσταση του χώρου επηρεάζεται και από τις εξωτερικές συνθήκες και από τις συσκευές θέρμανσης και ψύξης. Συνήθως χρησιμοποιείται ένας ελεγκτής για τη λειτουργία των συσκευών. Το πλεονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι μια πιο λεπτομερής και ρεαλιστική προσομοίωση για το πως αλληλοεπηρεάζονται ο χώρος και οι συσκευές. Παρόλα αυτά, αφού τα φορτία είναι εξαρτώμενα από τις πηγές θερμότητας και ψύξης, δεν είναι δυνατόν τα υπολογισμένα φορτία να χρησιμοποιηθούν σε μια άλλη προσομοίωση του κτηρίου.

Μαθηματικό μοντέλο για τη μεταφορά θερμότητας στο πολυζωνικό κτίριο

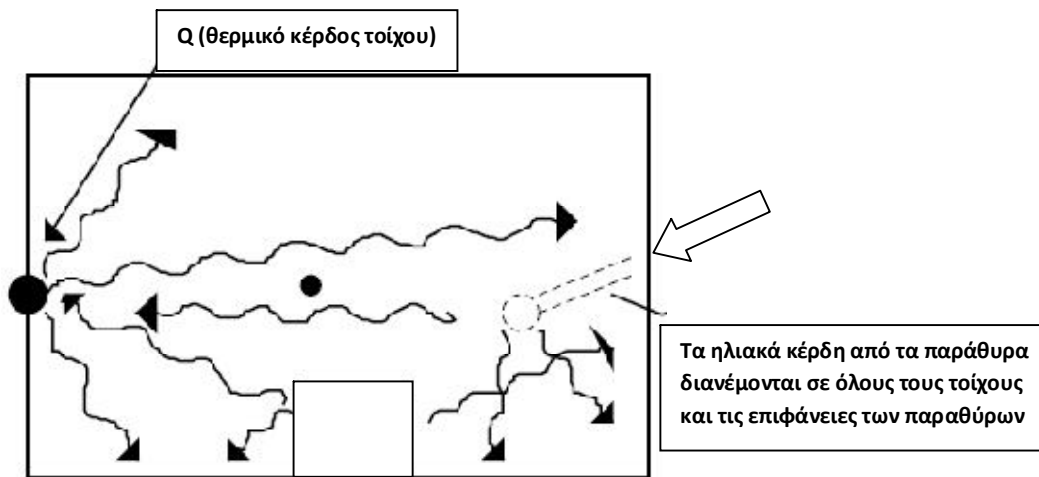
Περιγραφή μοντέλου

Το πολυζωνικό κτίριο 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.



Σχ.2.21: Θερμική ισορροπία κόμβου της ζώνης

Ροή θερμότητας στον κόμβο δια συναγωγής



Σχ.2.22: Ροή ενέργειας δια ακτινοβολίας θεωρώντας ένα τοίχο με τον κόμβο υπολογισμού της θερμοκρασίας της επιφάνειάς του

Σε κάθε κόμβο το συνολικό φορτίο δια συναγωγής Q_i είναι:

όπου:

$Q_{surf, i}$: Θερμικό φορτίο δια συναγωγής από όλες τις εσωτερικές επιφάνειες.

$$Q_{surf, i} = UA (T_{wall, i} - T_{air})$$

$Q_{inf, i}$: Θερμικό κέρδος από τη διείσδυση αέρα (από τη ροή του αέρα από το εξωτερικό του κτηρίου μόνο)

$$Q_{inf, i} = V\rho c_p (T_{outside} - T_{air})$$

$Q_{vent, i}$: Φορτίο αερισμού (από τη ροή του αέρα από δεδομένη πηγή που επιλέγει ο χρήστης, όπως η κλιματιστική μονάδα).

$$Q_{vent, i} = V\rho c_p (T_{ventilation, i} - T_{air})$$

$Q_{g, c, i}$: Θερμικό κέρδος δια συναγωγής από εσωτερικές πηγές (φορτία ανθρώπων, συσκευών φωτισμού κτλ.)

$$Q_{g, c, i} = [kJ/h]$$

$Q_{cplg, i}$: Θερμικό φορτίο δια συναγωγής λόγω ροής αέρα από γειτονικές ζώνες ή από οριακές συνθήκες.

$$Q_{cplg, i} = V\rho c_p (T_{zone, i} - T_{air})$$

Ροή θερμότητας στον κόμβο από ακτινοβολία στους τοίχους και τα παράθυρα

Η συνολική θερμότητα δια ακτινοβολίας σε κάθε ζώνη θεωρείται ότι είναι η ακτινοβολία που διέρχεται από τα παράθυρα και προσπίπτει στους τοίχους. Έτσι, η θερμότητα λόγω ακτινοβολίας είναι:

Όπου:

$Q_{r,wi}$: Φορτία ακτινοβολίας στην επιφάνεια του τοίχου.

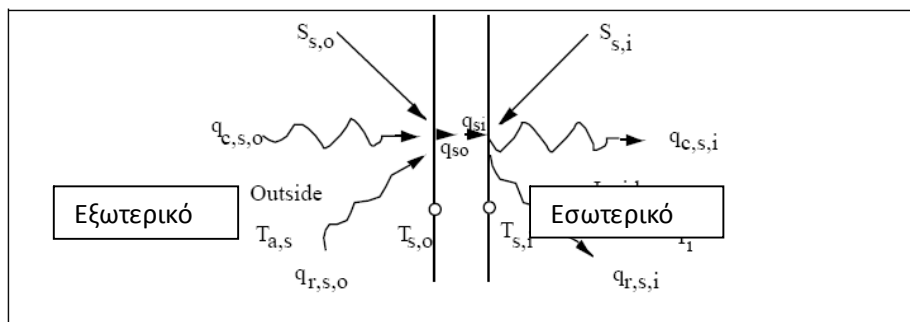
$Q_{g,r,i,wi}$: Εσωτερικά φορτία ακτινοβολίας της ζώνης που λαμβάνει ο τοίχος.

$Q_{sol,wi}$: Ηλιακά κέρδη που λαμβάνει ο τοίχος από την διερχόμενη από τους υαλοπίνακες ακτινοβολία.

$Q_{long,wi}$: Συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους μεταξύ ενός τοίχου με τους υπόλοιπους και τους υαλοπίνακες.

$Q_{wall-gain}$: Άλλα κέρδη καθορισμένα από τον χρήστη στην επιφάνεια των τοίχων ή των παραθύρων.

Ροή ενέργειας στους τοίχους και τα παράθυρα



Σχ.2.23: Ροή θερμότητας και θερμοκρασίες στις επιφάνειες

Στο παραπάνω σχέδιο φαίνονται οι ροές θερμότητας και οι θερμοκρασίες που καθορίζουν την θερμική συμπεριφορά ενός τοίχου ή παραθύρου. Στο παραπάνω σχήμα τα μεγέθη που φαίνονται είναι:

$S_{s,i}$: Θερμότητα από ακτινοβολία, απορροφημένη από την εσωτερική πλευρά.

$S_{s,o}$: Θερμότητα από ακτινοβολία, απορροφημένη από την εξωτερική πλευρά (ηλιακά κέρδη).

$q_{r,s,i}$: Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις άλλες επιφάνειες της ζώνης.

$q_{r,s,o}$: Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις άλλες επιφάνειες που βρίσκονται σε οπτική επαφή με την εξωτερική πλευρά.

$q_{w,g,i}$: Άλλη ροή θερμότητας καθορισμένη από τον χρήστη στον τοίχο ή στον υαλοπίνακα.

$q_{s,i}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου

$q_{s,o}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου

$q_{c,s,i}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από την εσωτερική επιφάνεια του τοίχου στον αέρα της ζώνης.

$q_{c,s,o}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου από τον αέρα του περιβάλλοντος ή το έδαφος.

$T_{s,i}$: Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας

$T_{s,o}$: Θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας

T_i : Θερμοκρασία ζώνης (Στον κόμβο του αέρα)

$T_{a,s}$: Θερμοκρασία του αέρα περιβάλλοντος στο εξωτερικό όριο του τοίχου

Οι τοίχοι προσομοιώνονται με βάση τους συντελεστές συνάρτησης μεταφοράς των Mitalas και Arseneault. Για κάθε τοίχο, η συναγωγή στην επιφάνειά του είναι:

$$\dot{q}_i = b T_i - c T_o - d q_i \quad [1]$$

$$\dot{q}_o = a T_i - b T_o - d q_o \quad [2]$$

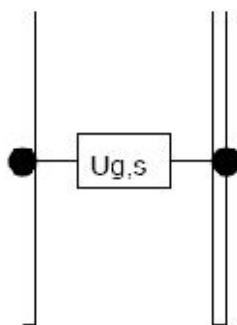
Με αυτές τις χρονικά εξαρτώμενες εξισώσεις υπολογίζονται οι τιμές της ζητούμενης θερμοκρασίας και των ροών θερμότητας για καθορισμένες χρονικές στιγμές. Το χρονικό διάστημα για το οποίο γίνονται οι υπολογισμοί χωρίζεται σε $k-1$ διαστήματα και οι υπολογισμοί γίνονται για k χρονικές στιγμές έτσι ώστε για $k=0$ να έχουμε το παρόν, για $k=-1$ την προηγούμενη χρονική στιγμή, για $k=1$ την επόμενη χρονική στιγμή κ.ο.κ. Το χρονικό διάστημα το οποίο μελετάται καθορίζεται άμεσα από τον χρήστη μέσω του προγράμματος TRNBUILD. Επίσης οι συντελεστές a, b, c, d καθορίζονται στο πρόγραμμα TRNBUILD.

Τα παράθυρα θεωρούνται εξωτερικοί τοίχοι με μηδενική θερμική μάζα, μερικώς διαπερατά στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά δεν συνυπολογίζεται τα εσωτερικά κέρδη από την μεγάλο μήκους ακτινοβολία. Απορρόφηση μεγάλο μήκους ακτινοβολίας γίνεται μόνο από τις επιφάνειες. Στον θερμικό ισολογισμό που αποτελεί τυπική έξοδο του μοντέλου 56 (προσομοίωση κτηρίου) τα παράθυρα περιγράφονται από ένα μοντέλο με δύο κόμβους υπολογισμών, έναν στην εξωτερική επιφάνεια και έναν στην εσωτερική,

όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι παραπάνω εξισώσεις ισχύουν και για τα παράθυρα με:

$a_s^0 = b_s^0 = c_s^0 = U_{g,s}$, όπου $U_{g,s}$ ο συνολικός συντελεστής απωλειών του υαλοπίνακα από την εσωτερική στην εξωτερική επιφάνεια.

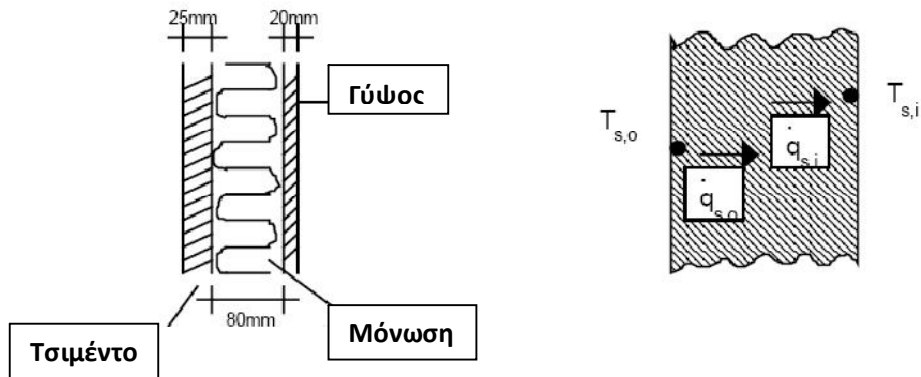
$a_s^k = b_s^k = c_s^k = d_s^k = 0$, για $k > 0$



Σχ.2.24: Υπολογιστικό μοντέλο δύο κόμβων για υαλοπίνακες που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό ενέργειας του μοντέλου 56 του TRNSYS.

Μέθοδος υπολογισμού συντελεστών της συνάρτησης μεταφοράς των Mitalas και Arseneault

Η μέθοδος συνάρτησης μεταφοράς ή των συντελεστών απόκρισης είναι η μέθοδος στην οποία περιγράφεται η «θερμική ιστορία» του τοίχου. Ο τοίχος θεωρείται ως ένα μαύρο κουτί. Ο αριθμός των χρονικών βημάτων (k) που σχετίζονται με το χρονικό διάστημα που μελετάται δείχνει αν πρόκειται για βαρύ τοίχο ή για τοίχο με μεγάλη θερμική μάζα ($k \leq 20$), ή αν πρέπει να ληφθούν υπόψη μόνο μερικά βήματα για τον υπολογισμό της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου. Αν το χρονικό διάστημα για τον υπολογισμό του υπόψη τοίχου είναι μεγαλύτερο από την σταθερά του χρόνου, ο υπολογισμός του πίνακα συντελεστών των συναρτήσεων μεταφοράς σταματά. Έτσι, ένας πολύ λεπτός τοίχος μπορεί να αντικατασταθεί από μια αντίσταση αγνοώντας την θερμική του μάζα. Ως παράδειγμα δίνεται ο υπολογισμός του παρακάτω τοίχου.



Πραγματικός Τοίχος

Μοντέλο μαύρου κουτιού

Σχ.2.25: Πραγματικός τοίχος και μοντέλο μαύρου κουτιού

Στο παράδειγμα ο τοίχος αποτελείται από τρία στρώματα με σειρά από έξω προς τα μέσα: τσιμέντο, φυσικό μαλλί, γύψος.

Πίνακας 2.3

Δεδομένα Υλικού	Πάχος [m]	Συντελεστής συναγωγής [kJ/h·m·K]	Θερμοχωρητικότητα [kJ/h·m·K]	Πυκνότητα [kg/m ³]
Τσιμέντο	0,025	7,56	1,0	2400
Μόνωση	0,08	0,144	1,0	40
Γύψος	0,02	2,52	1,0	1400

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς, το πρόγραμμα TRNBUILD υπολογίζει τους συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς, οι οποίοι για το παράδειγμα είναι οι παρακάτω:

----- WALL TYPE EXAMPLE -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.76429 kJ/h m²K; k-Wert= 0.45239 W/m²K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	3.0402072E+01	8.6597596E-01	6.2473097E+01	1.0000000E+00
1	-2.8791436E+01	8.7958309E-01	-6.1044043E+01	-5.5725114E-03
2	1.4382785E-01	8.9032318E-03	3.2541274E-01	1.0083948E-07
3	-1.0589132E-06	4.0042651E-07	-4.7183532E-06	
SUM	1.7544627E+00	1.7544627E+00	1.7544627E+00	9.9442759E-01

Σχ.2.26: Σύστημα εξισώσεων συνάρτησης μεταφοράς (Mitalas)

Για τον υπό μελέτη τοίχο ο πίνακας συντελεστών της συνάρτησης είναι όπως ο παραπάνω. Επιπλέον περιλαμβάνεται ο υπολογισμός του συντελεστή αγωγιμότητας k του τοίχου και του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας U θεωρώντας μια ισοδύναμη σταθερή ροή θερμότητας (δια συναγωγής και δια ακτινοβολίας) με συντελεστές α_i, α_o για την εσωτερική και την εξωτερική επιφάνεια αντίστοιχα.

Σημείωση: Αυτοί οι ισοδύναμοι συντελεστές δεν χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Για τον υπολογισμό των τιμών για τα k χρονικά βήματα που δηλώνονται στο αρχείο πληροφοριών (*.INF), χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι ισοδύναμοι συντελεστές.

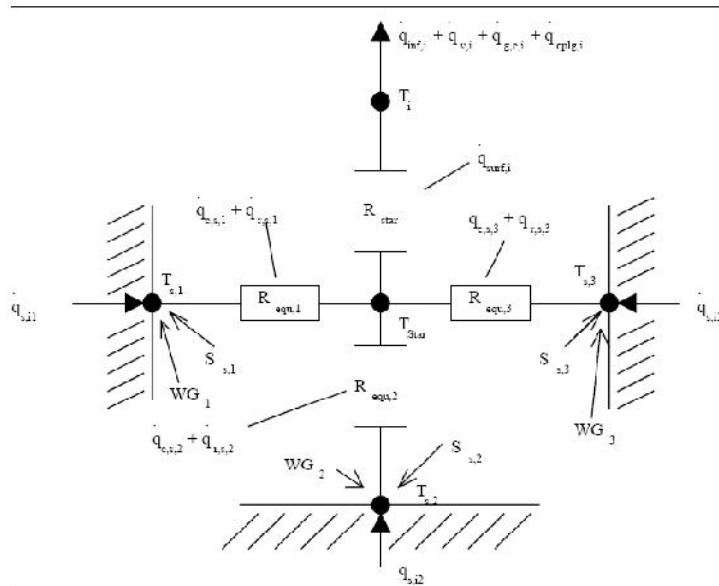
$$\frac{1}{a} = 0.13 \frac{1}{\frac{W}{m \cdot K}}$$

$$\frac{1}{a} = 0.04 \frac{1}{\frac{W}{m \cdot K}}$$

Μια δυναμική προσομοίωση η οποία λαμβάνει υπόψη της την θερμική μάζα των στοιχείων του τοίχου δεν χρησιμοποιεί ρητά αυτές τις τιμές, αλλά περιγράφει έμμεσα την θερμική αντίσταση σε ροές θερμότητας από και προς τις επιφάνειες του τοίχου. Η τελευταία επικύρωση για την μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς και ολόκληρου του μοντέλου πολυζωνικού κτηρίου (μοντέλο 56) έγινε από τον Peter Voit με χρήση λεπτομερών μετρήσεων από το CEC ερευνητικό πρόγραμμα PASSYS.

Ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος

Η συναλλαγή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών εντός μιας ζώνης και της ροής θερμότητας δια συναγωγής από την εσωτερικές επιφάνειες στον αέρα της ζώνης προσεγγίζονται χρησιμοποιώντας το αστεροειδές δίκτυο εισηγμένο από τον Seem το οποίο παρουσιάζεται στο σχήμα 7. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα τεχνητό κόμβο με θερμοκρασία T_{star} για να συνυπολογίσει την παράλληλη ροή θερμότητας από την επιφάνεια ενός τοίχου δια συναγωγής στον κόμβο του αέρα και δια ακτινοβολίας στην επιφάνεια ενός άλλου τοίχου ή υαλοπίνακα. Συγκρίσεις στο λεπτομερές μοντέλο κτηρίου JOULOTTA του πανεπιστημίου Lund, Σουηδία, το οποίο δημιουργήθηκε από τον S. Holst, ΖΑΕ Μονακό, δείχνουν πολύ καλή προσέγγιση για τις θερμοκρασίες των επιφανειών. Ένα μοντέλο με μόνο ένα κόμβο, χρησιμοποιώντας ένα συνδυαστικό συντελεστή για συναγωγή και ακτινοβολία, δείχνει πολύ μεγαλύτερες διαφορές (IEA Task 13 report.)



Σχ.2.27: Αστεροειδές δίκτυο για μία ζώνη με τρεις επιφάνειες.

$$R_{s,i} = f_{a,i} A_{s,i} = \frac{1}{Q_{comb,s,i}} (T_{s,i} - T_{star})$$

Στους υπολογισμούς αυτούς χρησιμοποιούνται οι αναλογίες των επιφανειών για να βρεθούν οι παράγοντες απορρόφησης από όλες τις επιφάνειες. Η θερμοκρασία T_{star} χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής ροής θερμότητας δια ακτινοβολίας και συναγωγής από την εσωτερική επιφάνεια των τοίχων:

$$\begin{aligned} \dot{q}_{s,i} &= \dot{q}_{r,i} + \dot{q}_{c,i} \\ \dot{q}_{s,i} &= \frac{1}{R_{s,i} A_{s,i}} (T_{s,i} - T_{star}) \end{aligned}$$

Όπου:

$Q_{comb,s,i}$: Συνολική ροή θερμότητας δια διεξαγωγής και ακτινοβολίας

$A_{s,i}$: Εμβαδόν εσωτερικής επιφάνειας.

Για τους εξωτερικούς τοίχους η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στην εξωτερική επιφάνεια υπολογίζεται ρητά χρησιμοποιώντας μια φανταστική θερμοκρασία ουρανού, T_{sky} , η οποία αποτελεί είσοδο για το μοντέλο 56, και ένα παράγοντα θέασης στον ουρανό f_{sky} , για κάθε εξωτερική επιφάνεια. Η συνολική θερμότητα $q_{comb,s,o}$ είναι το άθροισμα των θερμότητων δια συναγωγής και ακτινοβολίας:

$$\dot{q}_{s,i} = \dot{q}_{r,i} + \dot{q}_{c,i}$$

Όπου:

$$\dot{q}_{c,s,o} = h_{c,s,o} \cdot (T_i - T_e)$$

$$\dot{q}_{r,s,o} = \sigma \cdot \varepsilon_{s,o} \cdot (T_i^4 - T_e^4)$$

$$T_e = (1 - f_{sky}) \cdot T_i + f_{sky} \cdot T_{sky}$$

Όπου:

$q_{comb, s, o}$: ισοδύναμη ροή θερμότητας (δια συναγωγής και ακτινοβολίας) προς την επιφάνεια

$q_{c, s, o}$: ροή θερμότητας δια συναγωγής στην επιφάνεια

$q_{r, s, o}$: ροή θερμότητας δια ακτινοβολίας στην επιφάνεια

$h_{conv, s, o}$: συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια

f_{sky} : το κλάσμα του ουράνιου θόλου που είναι ορατό από την εξωτερική επιφάνεια.

$\varepsilon_{s,o}$: εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους της εξωτερικής επιφάνειας ($\varepsilon=0,9$ για τοίχους, ενώ για τους υαλοπίνακες η τιμή λαμβάνεται από την βιβλιοθήκη υαλοπινάκων)

σ : Σταθερά Stephan-Boltzmann

Σημειώνεται ότι λογική τιμή του f_{sky} για έναν κάθετο τοίχο χωρίς γειτονικά κτήρια είναι $f_{sky}=0,5$. Αν υπάρχουν κτήρια τα οποία κρύβουν μέρος του ουρανού από την επιφάνεια του τοίχου η τιμή του συντελεστή μειώνεται. Για μια οριζόντια οροφή η τιμή του συντελεστή θα πρέπει να είναι $f_{sky}=1,0$

Ο ισολογισμός ενέργειας στην επιφάνεια δίνει:

$$\dot{q}_{i,s} = \dot{q}_{c,s,i} + S_{s,i} + \text{Wallgain}$$

$$\dot{q}_{e,s} = \dot{q}_{c,s,e} + S_{s,e}$$

Για εσωτερικές επιφάνειες η $S_{s,i}$ μπορεί να περιλαμβάνει και την ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία μεγάλου μήκους που εκπέμπεται από αντικείμενα, ανθρώπους και επίπλωση του εσωτερικού χώρου.

Η παράμετρος «Wallgain» χρησιμοποιείται για να εισάγει ο χρήστης κάποια επιπρόσθετη ροή θερμότητας στις εσωτερικές επιφάνειες τοίχων ή παραθύρων. Μπορεί να περιγράφει ηλιακά κέρδη μεταβαλλόμενα κατά τη διάρκεια της ημέρας ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια απλή προσομοίωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης ή για σύστημα ψύξης οροφής. Για τις εξωτερικές επιφάνειες, η $S_{s,o}$ αναφέρεται μόνο στην ηλιακή ακτινοβολία.

Εξωτερικοί Τοίχοι

Η ροή θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια ενός εξωτερικού τοίχου μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα στα όρια του συστήματος ως ακολούθως:

$$\dot{q}_i = B T_{i,a} - C T_{i,s} + D \quad [3]$$

Όπου:

$$B = \frac{e h_i}{(1-f)}$$

$$C = \frac{f \frac{1}{R_{s,i} A_i}}{(1-f)}$$

$$D = \frac{f S_{i,a} + e S_{i,s} - k_{i,s} + K_{i,s}}{(1-f)}$$

$$e = \frac{b}{a + h_i}$$

$$f = (b e - c) R_{s,i} A_i$$

Οι τιμές των $K_{s,i}$, $K_{s,o}$ υπολογίζονται από τις εξισώσεις της συνάρτησης μεταφοράς:

$$K_{i,s} = b T_{i,a} - c T_{i,s} - d q_{i,s}$$

$$K_{i,o} = a T_{i,s} - b T_{i,a} - d q_{i,s}$$

Τοίχοι με οριακές συνθήκες

Η ροή θερμότητας υπολογίζεται με την ίδια εξίσωση που χρησιμοποιείται για τους εξωτερικούς τοίχους αντικαθιστώντας την θερμοκρασία του αέρα $T_{a,s}$ με την οριακή $T_{b,s}$.

$$\dot{q}_i = B \cdot T_{i,a} - C \cdot T_{i,s} + D$$

Τοίχοι παρακείμενοι σε γειτονικές ζώνες, εσωτερικοί και τοίχοι με όμοιες οριακές συνθήκες

Για τους εσωτερικούς τοίχους, τους παρακείμενους σε γειτονικές ζώνες τοίχους και τους τοίχους οι οποίοι είναι παρακείμενοι σε ζώνες με ίδιες οριακές συνθήκες η ροή θερμότητας υπολογίζεται και πάλι με την ίδια εξίσωση αλλά με τις παρακάτω διαφορές:

Για παρακείμενους τοίχους: $T_{a,s} = T_{star,j}$

Για εσωτερικούς τοίχους: $T_{a,s} = T_{star,i}$

Για παρακείμενους με ίδιες οριακές συνθήκες: $T_{a,s} = T_{star,i}$

Επίσης:

$$B = \frac{e \frac{1}{R_{A,i}}}{1 - f}$$

$$e = \frac{b}{a + \frac{1}{R_{A,i}}}$$

Σημείωση: Στους εσωτερικούς τοίχους πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι δύο πλευρές του τοίχου για τον καθορισμό της επιφάνειας A_s .

Επίσης είναι δυνατό να καθοριστεί μια οριακή συνθήκη για την θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας αντί της θερμοκρασίας του αέρα θέτοντας την παράμετρο $HBACK \leq 0.001$. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι:

$$T_{i,s} = T_{i,c} = T_{i,e}$$

$$B = \frac{b}{1 + c R_{A,i}}$$

$$C = \frac{c}{1 + c R_{A,i}}$$

$$D = \frac{K_{i,s} - c R_{A,i}}{1 + c R_{A,i}}$$

Συνολικά κέρδη μιας ζώνης από τις επιφάνειες

Το συνολικό κέρδος της ζώνης i από όλες τις επιφάνειες υπολογίζεται ως το άθροισμα των ισοδύναμων ροών θερμότητας:

$$\dot{Q}_{s, \text{int}} = A_s q_{s, \text{int}}$$

$$\dot{Q}_{s, \text{int}} = A_{B,T} T_{B,T} + A_{B,T} T_{B,T} + A_{B,T} T_{B,T} + A_{B,T} T_{B,T} - A_{C,T} T_{C,T} - D - S$$

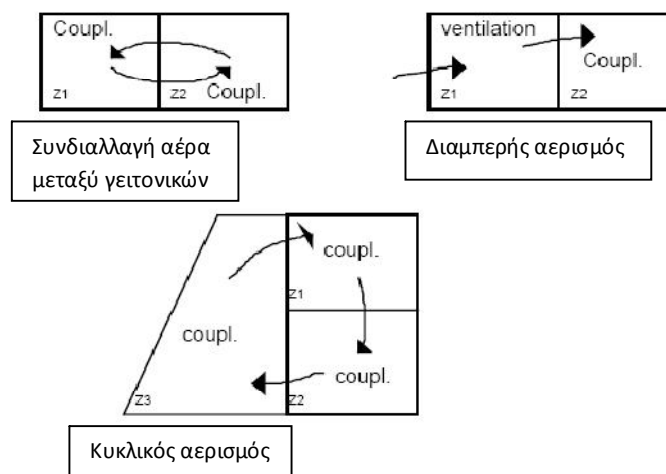
Όπου: A_s η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου s . Καθώς και οι δύο επιφάνειες ενός εσωτερικού τοίχου είναι εσωτερικές επιφάνειες πρέπει να ληφθούν και οι δύο υπόψη και εισάγονται δύο φορές στην παραπάνω εξίσωση.

Επίσης, με ισολογισμό ενέργειας στον κόμβο του αστεροειδούς δικτύου της ζώνης προκύπτει ότι:

$$\dot{Q}_{s, \text{int}} = \frac{1}{R_{s, \text{int}}} T_{s, \text{int}} - T_{s, \text{ext}}$$

Μεταφορά μάζας αέρα από γειτονικές ζώνες

Η μεταφορά μάζας αέρα την οποία δέχεται μια ζώνη από μια γειτονική της προσομοιώνεται ως μεταφορά θερμότητας από ή προς τον κόμβο του αέρα της ζώνης. Στο πρόγραμμα δεν υπολογίζεται η μεταφορά αέρα με αντίθετη κατεύθυνση που ακολουθεί, όπως θα γινόταν σε μια συνδιαλλαγή αέρα μεταξύ ζωνών. Για να ληφθεί υπόψη η επιστροφή αέρα στη γειτονική ζώνη πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη ότι η γειτονική ζώνη δέχεται το ίδιο ποσό αέρα. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η σύμβαση είναι για να επιτραπεί στο χρήστη να προσημειώσει διαμπερή ή κυκλικό αερισμού σε 3 ή περισσότερες ζώνες.



Σχ.2.28: Είδη αερισμού

Αξίζει να σημειωθεί ότι επειδή δεν υπάρχει ισολογισμός της μεταφερόμενης μάζας αλλά καθορίζεται από τον χρήστη, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί υπερπίεση ή υποπίεση σε μία ζώνη ή ακόμα και να αδειάσει τελείως μια ζώνη από αέρα. Για το λόγο αυτό απαιτείται προσοχή ώστε οι τιμές που εισάγονται να έχουν φυσική έννοια

Διείσδυση αέρα, αερισμός, μεταφορά μάζας μεταξύ γειτονικών ζωνών.

Ο ρυθμός διείσδυσης αέρα και αερισμού μιας ζώνης εισάγεται για κάθε ζώνη μέσω του προγράμματος TRNBUILD και δίνεται σε εναλλαγές αέρα την ώρα. Ο ρυθμός της μεταφερόμενης μάζας αέρα καθορίζεται από τον όγκο της ζώνης, την πυκνότητα του αέρα και τις εναλλαγές αέρα. Η διείσδυση του αέρα είναι αναπόφευκτη και ο αέρας εισάγεται με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος ενώ η θερμοκρασία του αέρα μέσω του αερισμού είναι καθορισμένη και είναι είτε σταθερή είτε μεταβαλλόμενη. Στις δύο αυτές περιπτώσεις θεωρείται ότι ίσα ποσά αέρα με αυτά που εισέρχονται εξέρχονται από τη ζώνη έχοντας θερμοκρασία ίδια με τη θερμοκρασία της ζώνης. Τα θερμικά κέρδη μίας ζώνης i εξαιτίας του αερισμού και της διείσδυσης αέρα είναι:

Όπου:

: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από διείσδυση

: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από αερισμό

C_p : ειδική θερμότητα του αέρα

$T_{v,k}$: θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα από αερισμό

T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

Για κάθε τοίχο η παράθυρο το οποίο διαχωρίζει ζώνες με διαφορετική μεταβαλλόμενη θερμοκρασία καθώς και για κάθε τοίχο με γνωστές οριακές συνθήκες είναι δυνατόν να καθοριστεί μεταφορά μάζας αέρα από στη ζώνη από τη γειτονική της. Μια ίση ποσότητα αέρα θεωρείται ότι εξέρχεται από τη ζώνη έχοντας τη θερμοκρασία της ζώνης. Το θερμικό κέρδος το οποίο οφείλεται στην μεταφορά μάζας είναι το άθροισμα των ροών θερμότητας που οφείλονται στη μεταφορά μάζας από όλους τους τοίχους και τα παράθυρα της ζώνης. Είναι δηλαδή:

$$\dot{Q}_i = \dot{m}_{i,1} C_p (T_i - T_{v,1}) + \dots + \dot{m}_{i,n} C_p (T_i - T_{v,n})$$

Όπου:

$\dot{m}_{i,1}, \dots, \dot{m}_{i,n}$: ο ρυθμός εισροής μάζας αέρα στη ζώνη i δια μέσω των τοίχων και των παραθύρων της ζώνης.

Ελεύθερα μεταβαλλόμενη θερμοκρασία ζώνης (Χωρίς θέρμανση ή ψύξη)

Ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας μιας ζώνης στην οποία η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα είναι ίση με το καθαρό θερμικό κέρδος ή

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = \dot{Q}_i$$

Όπου C_i είναι η θερμοχωρητικότητα της ζώνης i (ελάχιστη $= V_i \rho C_p$ όπου V_i ο όγκος της ζώνης)

Το καθαρό θερμικό κέρδος της ζώνης Q_i είναι συνάρτηση της T_i και όλων των θερμοκρασιών των παρακείμενων ζωνών στη ζώνη i .

Σημείωση: για την απλοποίηση της επίλυσης του συστήματος εξισώσεων, το Q_i θεωρείται σταθερό κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος και εκτιμάται με τις μέσες τιμές των θερμοκρασιών των ζωνών. Σε αυτήν την περίπτωση η επίλυση της διαφορικής εξίσωσης για την εύρεση της θερμοκρασίας της ζώνης για ένα δεδομένο χρονικό βήμα είναι

$$T_i = T_{i,0} + \frac{\bar{Q}_i}{C_i} \Delta t$$

Όπου:

Δt : χρονικό βήμα της προσομοίωσης

$T_{i,\tau-\Delta t}$: Η θερμοκρασία της ζώνης στην αρχή του χρονικού βήματος.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι γραμμική και ο μέσος όρος είναι:

$$\bar{T} = \frac{T_{i,\tau} + T_{i,\tau-\Delta t}}{2}$$

Εάν επιλύσουμε την εξίσωση αυτή ως προς την $T_{i,\tau}$ και βάλουμε το αποτέλεσμα στην παραπάνω εξίσωση μαζί με τις ανεξάρτητες εκφράσεις του καθαρού θερμικού κέρδους, λαμβάνουμε την ακόλουθη έκφραση:

$$\frac{2C \bar{T} + T_{i,\tau-\Delta t}}{\Delta t} = \dot{m}_{i,\tau} C \bar{T} + \dot{m}_{i,\tau} C T_{i,\tau} + \frac{d}{dt} \dot{m}_{i,\tau} C T_{i,\tau}$$

$$-\left(\frac{1}{R_{i,\tau}} \dot{m}_{i,\tau} + \dot{m}_{i,\tau} + \dot{m}_{i,\tau} + \dot{m}_{i,\tau} \right) \bar{T} + \dot{m}_{i,\tau} C T_{i,\tau} + \dot{Q}_{i,\tau}$$

Τα συνολικά κέρδη μίας ζώνης από το σύνολο των επιφανειών μπορεί τώρα να γραφεί και ως:

$$\frac{1}{R_{i,\tau}} \dot{m}_{i,\tau} B A + \dot{m}_{i,\tau} A C \bar{T} - \left(\dot{m}_{i,\tau} A B \right) \bar{T} - \frac{1}{R_{i,\tau}} \bar{T} =$$

$$\left(\dot{m}_{i,\tau} A B \right) T + \dot{m}_{i,\tau} A B T_{i,\tau} + \dot{m}_{i,\tau} A D + S_{i,\tau}$$

Το σύνολο των ενεργειακών ισολογισμών που δίνουν οι δύο τελευταίες εξισώσεις για όλες τις ζώνες καταλήγουν σε ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων με τις μέσες θερμοκρασίες των ζωνών και τις μέσες θερμοκρασίες των αστεροειδών δικτύων κάθε ζώνης. Σε μορφή πινάκων:

$$[X] \bar{T} = [Z]$$

Οι πίνακες μπορεί να είναι της μορφής:

$$[X] = \begin{matrix} X \\ X \end{matrix}$$

$$[T] = \begin{matrix} \bar{T} \\ \bar{T} \end{matrix} = \begin{matrix} \bar{T} \\ \bar{T} \end{matrix}$$

$$[Z] = \begin{matrix} Z \\ Z \end{matrix}$$

Όπου:

$$X_{i,j} = \left(\dot{m}_{i,j} + \dot{m}_{i,j} + \dot{m}_{i,j} \right) C + \frac{2C}{\Delta t} + \frac{1}{R_{i,j}} + \dot{m}_{i,j}$$

$$X_{i,j} = \dot{m}_{i,j} C \text{ for } i \neq j$$

$$X_{i,j} = \frac{1}{R_{i,j}}$$

$$X_{i,j} = 0 \text{ for } i \neq j$$

$$X_{i,j} = -\frac{1}{R_{i,j}}$$

$$X_{i,j} = 0$$

$$X_{i,j} = B A + A C$$

$$X_{i,j} = -B A$$

$$Z_{i,j} = \dot{m}_{i,j} C T + \dot{m}_{i,j} C T_{i,j} + \dot{m}_{i,j} C T_{i,j}$$

$$Z_{i,j} = B A T + B A T_{i,j} + A D + S_{i,j}$$

Στην περίπτωση που σε όλες τις ζώνες η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα ισχύει ότι:

$$\bar{T} = [X] [Z]$$

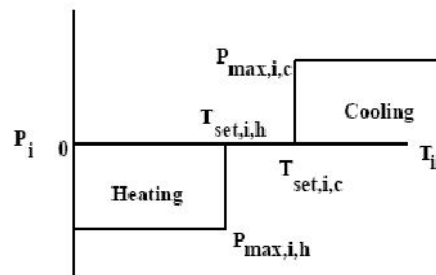
Η τελική θερμοκρασία κάθε ζώνης είναι:

$$T_i = 2\bar{T} - T_i$$

Σημείωση: Οι μέσες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος αποτελούν έξοδο του μοντέλου 56 (μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου). Το γεγονός αυτό ακολουθεί τη γενικότερη αρχή του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS να δίνει αποτελέσματα ως μέσες τιμές κατά τη διάρκεια του τελευταίου χρονικού βήματος.

Απλοποιημένο μοντέλο θέρμανσης και ψύξης

Είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις μίας ζώνης σε μια ιδεατή περίπτωση. Για το λόγο αυτό η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση είναι απευθείας συνδεδεμένες στον κόμβο του αέρα. Η έξοδος του εξοπλισμού θέρμανσης ή ψύξης αποτελεί συνάρτηση της θερμοκρασίας της ζώνης όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχ.2.29: Ισχύς - Θερμοκρασία

Όπου:

P_i : εξερχόμενη ισχύς συσκευής στη ζώνη i (- θέρμανση, +ψύξη)

P_{max} : απόλυτη τιμή της μέγιστης τιμής για τη ζώνη i

$T_{set,i}$: επιθυμητή θερμοκρασία για τη ζώνη i .

Για την προσομοίωση θερμικών συσκευών που παράγουν μερικώς θερμικό κέρδος δια ακτινοβολίας στη ζώνη, καθορίζεται το κλάσμα της παρεχόμενης ενέργειας με

ακτινοβολία. Το κλάσμα αυτό εισάγεται ως εσωτερικό κέρδος δια ακτινοβολίας της ζώνης και διανέμεται στους τοίχους και τα παράθυρα της ζώνης. Καθότι η καθορισμένη θερμοκρασία του εξοπλισμού σχετίζεται με την θερμοκρασία της ζώνης, το κλάσμα της εξερχόμενης ενέργειας με ακτινοβολία δεν μπορεί να ξεπερνάει την τιμή 0,99 έτσι ώστε να υπάρχει πάντα ένα μέρος που αποδίδεται με συναγωγή έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος του εξοπλισμού.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας όταν παρέχεται ενέργεια στη ζώνη θεωρείται γραμμική. Αν η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να καλυφθεί από τον εξοπλισμό ώστε η θερμοκρασία του χώρου να διατηρηθεί στην καθορισμένη τιμή κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος, τότε η τελική και η μέση θερμοκρασία της ζώνης είναι γνωστές:

$$T = T_{reg,i}$$

$$T_{reg,i} = \frac{T_{i-1} + T_i}{2}$$

Όπου:

$T_{reg,i}$: μέση θερμοκρασία ζώνης κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος στην περίπτωση που απαιτείται λιγότερη ενέργεια από τη μέγιστη της συσκευής.

Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα, η λύση των μέσων τιμών της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας αστεροειδούς δικτύου είναι πάλι της μορφής:

$$\bar{T} = [X] [Z]$$

Οι συντελεστές του πίνακα $[X]$ και του διανύσματος $[Z]$ εξαρτώνται από την περιοχή ελέγχου. Στην περιοχή της θερμικής άνεσης, όπου δεν απαιτείται ενέργεια ισχύει:

$$X'_{ij} = X_{ij} \text{ για όλα τα } i \text{ και } j$$

$$Z'_i = Z_i$$

Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το όριο για μέγιστη θέρμανση ή ξεπερνάει το όριο για μέγιστη ψύξη ισχύει:

$$X'_{ij} = X_{ij} \text{ για όλα τα } i \text{ και } j$$

$$Z = Z + P \quad \text{ή} \quad Z = Z - P$$

Για τις ζώνες των οποίων οι ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν η τελική θερμοκρασία θεωρείται ότι είναι ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία της ζώνης και η μέση θερμοκρασία του χώρου είναι τότε $T_{reg,i}$. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της

εσωτερικής ενέργειας της ζώνης μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις της ζώνης και έχουμε ότι:

$$C \frac{d}{dt} T = \dot{Q} - P$$

Οι P_i και Q_i θεωρούνται σταθερά κατά τη διάρκεια του χρονικού βήματος και η Q_i εκτιμάται με τη μέση θερμοκρασία της ζώνης. Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση έχουμε:

$$\dot{P} - \frac{1}{R} T - \left(\dot{m}_1 C \bar{T}_1 + \dot{m}_2 C \bar{T}_2 + \dot{m}_3 C \bar{T}_3 + \dot{m}_4 C \bar{T}_4 \right) = - \left[\frac{1}{R} + \left(\dot{m}_1 + \dot{m}_2 + \dot{m}_3 + \dot{m}_4 \right) C \right] \bar{T} - \frac{C}{\Delta t} T - T$$

$$\dot{m}_1 C \bar{T}_1 + \dot{m}_2 C \bar{T}_2 + \dot{Q}_{in} + \frac{d}{dt} \dot{m}_4 C \bar{T}_4 =$$

Η παραπάνω εξίσωση εισάγεται στους ισολογισμούς ενέργειας όλων των ζωνών των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν από τις συσκευές. Οι λύσεις της εξίσωσης $\bar{T} = [X] [Z]$ ισχύουν με τις ακόλουθες αντικαταστάσεις:

$$X_1 = X_2$$

$$X_3 = 1.0$$

$$X_4 = X_5$$

$$X_6 = X_7$$

Σημείωση: Οι λύσεις αυτές είναι αποδεκτές υπό μία ακόμα προϋπόθεση. Ο πίνακας των θερμοκρασιών, για την περίπτωση που η ενεργειακή απαίτηση της ζώνης μπορεί να καλυφθεί από τη συσκευή, περιλαμβάνει στην πραγματικότητα την απαιτούμενη ενέργεια αντί των μέσων θερμοκρασιών.

Επίσης η εξίσωση :

$$\frac{1}{R} - B A + A C \bar{T} - \left(A B \right) \bar{T} - \frac{1}{R} \bar{T} =$$

$$\left(\begin{array}{c} A \\ B \end{array} \right) T + \quad A B T + \quad A D + S,$$

Διορθώνεται αντικαθιστώντας και στα δύο μέλη τον όρο T .

Τότε προκύπτει:

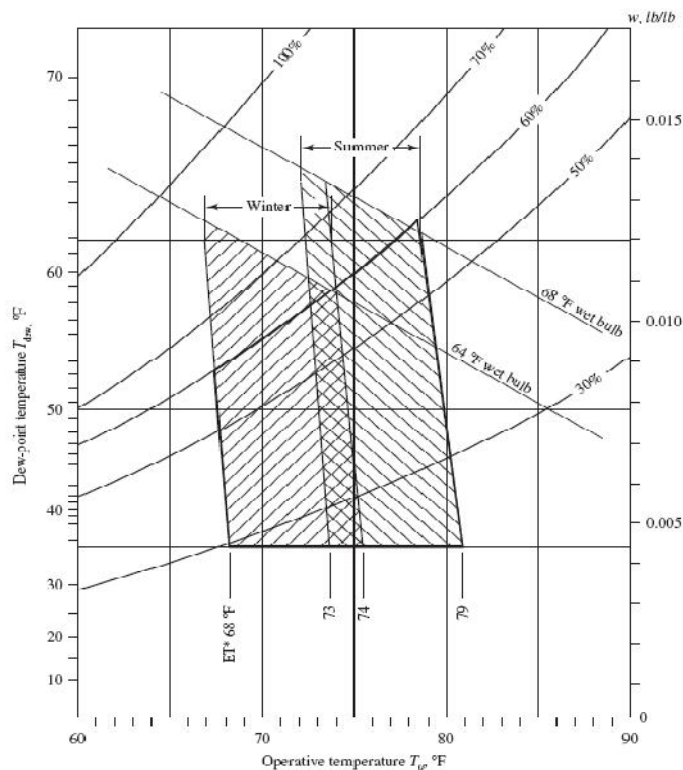
$$X = 0$$

$$Z = Z - X T$$

Για κάθε ζώνη i παρακείμενη σε μια ζώνη m με σταθερή θερμοκρασία, ο πίνακας X' και το διάνυσμα Z' τροποποιούνται ως εξής:

$$X = 0$$

$$Z = Z - X T$$



Σχ. 2.30: Περιοχές θερμικής άνεσης της ASHRAE

Για να υπολογιστούν επιτρεπτά όρια στα οποία θα κυμαίνεται η θερμοκρασία, οι υπολογισμοί γίνονται πρώτα θεωρώντας ότι δεν υπάρχει θέρμανση ή ψύξη. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια πρώτη εκτίμηση για τα θερμοκρασιακά όρια. Στις ζώνες όπου απαιτείται θέρμανση ή ψύξη, καθορίζεται η απαιτούμενη ενέργεια για να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία της ζώνης. Έπειτα ελέγχεται αν η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να καλυφθεί

από την συσκευή και καθορίζονται αναλόγως οι πίνακες X',Z' και επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων που περιγράφηκε παραπάνω. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η ελεγχόμενη θερμοκρασία να μην αλλάζει. Έπειτα υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των ζωνών για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας.

Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης σε σχέση με το χρονικό βήμα των υπολογισμών των τοίχων.

Η εξίσωση [3] δίνει τη μεταφορά θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων με βάση την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία. Εφόσον βασίζεται στις χρονικά εξαρτώμενες εξισώσεις [1] και [2], η επίλυση είναι σωστή μόνο όταν οι θερμοκρασίες δίνονται ως μέσες τιμές για το κάθε ποδόστημα της χρονικής ακολουθίας. Η διαφορική εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της ζώνης, λύνεται από την άλλη πλευρά με βάση το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Το βήμα αυτό μπορεί να είναι είτε μικρότερο είτε ίσο του χρονικού βήματος για την επίλυση των τοίχων. Στην περίπτωση που το βήμα της προσομοίωσης είναι μικρότερο, τότε η μέση τιμή της μεταφερόμενης θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου κατά τη διάρκεια του βήματος είναι:

$$\bar{q}_{i,w} = B \bar{T}_i + C \bar{T}_{i,w} + D \quad [4]$$

Όπου το Δt_b αναφέρεται στο χρονικό βήμα των υπολογισμών του τοίχου.

Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα της ζώνης είναι:

$$\bar{T}_i = \frac{\sum T_i \Delta t}{\Delta t} \quad [5]$$

$$\bar{T}_{i,w} = \frac{\sum T_{i,w} \Delta t}{\Delta t} \quad [6]$$

Αν οι εξισώσεις [5], [6] αντικατασταθούν στην [4] τότε:

$$\bar{q}_{i,w} = B \bar{T}_i + C \bar{T}_{i,w} + D \frac{\Delta t}{\Delta t} = \frac{\sum \bar{q}_{i,w} \Delta t}{\Delta t} \quad [7]$$

Η μέση ροή θερμότητας για το χρονικό βήμα του τοίχου είναι ίση με τις μέσες ροές θερμότητας που υπολογίζονται με τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας για το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. η ροή θερμότητας δια μέσω κάθε τοίχου για κάθε βήμα υπολογίζεται από την εξίσωση [3]. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες και οι ροές θερμότητας που περιγράφουν τον τοίχο σε προηγούμενες χρονικές στιγμές, παριστάνουν μέσους όρους των χρονικών

βημάτων των υπολογισμών των τοίχων. Έτσι οδηγούμαστε στις τιμές της θερμοκρασίας για κάθε βήμα στην ζητούμενη χρονική περίοδο.

Για βαρείς τοίχους για τοίχους με μεγάλο πάχος, το βήμα μπορεί να οριστεί στις δύο ή περισσότερες ώρες. Αν υπάρχουν πολύ λεπτοί τοίχοι στο ίδιο κτίριο, το πρόγραμμα TRNBUILD σταματάει αναφέροντας σφάλμα. Αυτό οφείλεται στην χρονική σταθερά των λεπτών κατασκευών. Αν η χρονική σταθερά είναι μικρότερη του βήματος της συνάρτησης μεταφοράς, εμφανίζεται και πάλι σφάλμα. Στην περίπτωση αυτή, οι λεπτοί τοίχοι πρέπει να αντικατασταθούν και να περιγραφούν χρησιμοποιώντας στρώσεις με αντιστάσεις. Στην περίπτωση αυτή η ροή θερμότητας υπολογίζεται με βάση το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς τοίχων από την εξίσωση [7].

3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

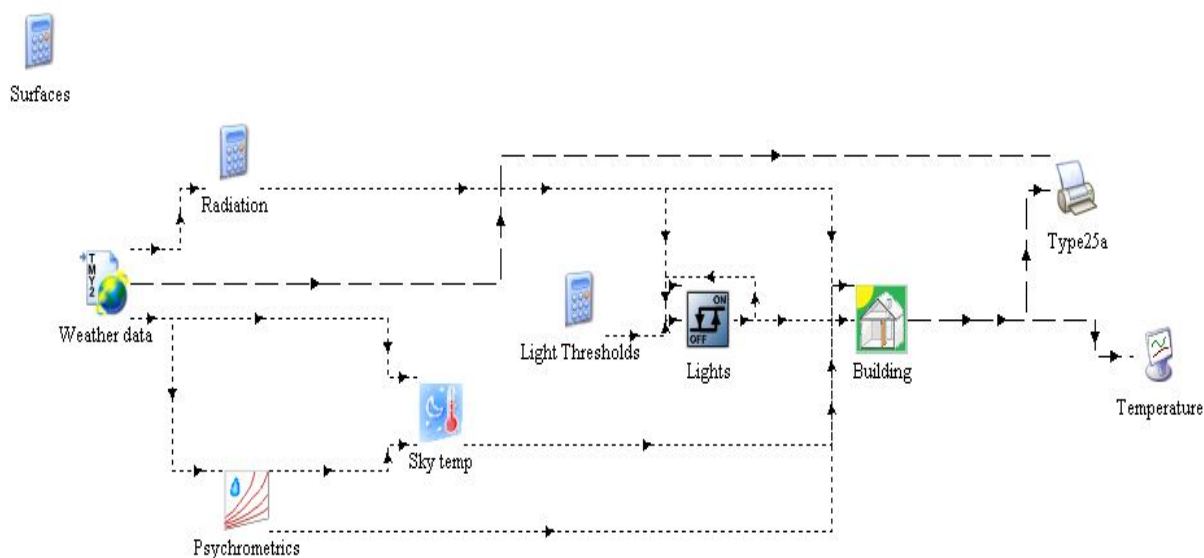
Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η ψύξη κτιρίου 100m² στην περιοχή της Αθήνας με χρήση ψυκτικής μηχανής απορρόφησης. Ο ψύκτης απορρόφησης λειτουργεί με χρήση ζεστού νερού από θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες κενού. Το νερό από τους ηλιακούς συλλέκτες συγκεντρώνεται σε δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία φέρει επιπλέον ηλεκτρικούς θερμαντήρες για λειτουργία του ψύκτη κατά τις νυχτερινές ώρες καθώς και σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Επίσης, απαραίτητη είναι η ύπαρξη πύργου ψύξης για την απαγωγή της θερμότητας που παράγεται, κατά τις διαδικασίες της συμπύκνωσης και της απορρόφησης, στην ψυκτική μηχανή.

Για λόγους απλούστευσης αλλά και πρακτικούς που αφορούν στην λειτουργία του προγράμματος, η εργασία χωρίστηκε σε δύο προσομοιώσεις:

- 1^η προσομοίωση: υπολογίζονται τα απαιτούμενα για το κτίριο ψυκτικά φορτία και εξάγονται σε αρχείο δεδομένων
- 2^η προσομοίωση: με βάση τα απαιτούμενα για το κτίριο ψυκτικά φορτία, προσομοιώνεται η λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης καθώς και τα απαραίτητα για την λειτουργία του συστήματα.

3.1 Προσομοίωση για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων του κτιρίου

Στο πρόγραμμα αυτό υπολογίζονται τα ψυκτικά φορτία του κτιρίου και εξάγονται σε αρχείο δεδομένων. Για τον υπολογισμό των ψυκτικών φορτίων επιλέχθηκε κτίριο επιφάνειας 100m² στην περιοχή της Αθήνας. Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση φαίνεται παρακάτω:



Σχ.3.1: πρόγραμμα προσομοίωσης κτιρίου, όπως φαίνεται στο TRNSYS Simulation Studio

Το υπό μελέτη κτίριο έχει επιφάνεια 100m² και αποτελείται από μία ζώνη. Οι εξωτερικοί τοίχοι που επιλέχθηκαν είναι διπλοί δρομικοί με μόνωση 4cm (G1) ανοιχτού χρώματος, κατασκευασμένοι σύμφωνα με τα ελληνικά πρότυπα. Για την οροφή επιλέχθηκε ταράτσα με μόνωση 6cm και γαρμπιλόδεμα (οροφή 1). Κατά την δημιουργία των εξωτερικών τοίχων και της οροφής στο πρόγραμμα TRNBuild, εισήχθησαν τα ακριβή δεδομένα των υλικών από τα οποία αποτελούνται και ο συντελεστής ολικής θερμοπερατότητας τους υπολογίστηκε εσωτερικά από το πρόγραμμα. Τα ακριβή χαρακτηριστικά των εξωτερικών τοίχων και της οροφής φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1

K/A	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
Εξωτερικός τοίχος G1	Διπλός δρομικός με μόνωση 4cm	Επίχρισμα 2cm Δρομικός 9cm Μόνωση 4cm Δρομικός 9cm Επίχρισμα 2cm
Οροφή 1	Ταράτσα με μόνωση 6cm και γαρμπιλόδεμα	Γαρμπιλόδεμα 7cm Στεγανοποίηση 1cm Μόνωση 6cm Μπετόν κλίσεως 7cm Οπλ. Σκυρόδεμα 14cm Επίχρισμα 1,5cm

Χρησιμοποιήθηκαν διπλοί υαλοπίνακες οι οποίοι πάρθηκαν από την βιβλιοθήκη του TRNSYS (TESS\W4-lib.dat) με κωδικό αριθμό WinID 2001. Η επιφάνεια τους είναι 10,5m² στον νότιο τοίχο, 3,5m² στον ανατολικό και 3,5m² στον δυτικό τοίχο.

Η απαιτούμενη ποσότητα προσαγωγής εξωτερικού αέρα θεωρήθηκε 10lit/sec και άτομο. Θεωρούνται 4 άτομα και δεδομένου του όγκου του κτιρίου που είναι 350m³ προκύπτουν 0,4 εναλλαγές/hr για την ανανέωση του αέρα του χώρου. Η διείσδυση αέρα από διάκενα θυρών και παραθύρων, καθώς και από το άνοιγμα των θυρών επιλέχθηκε 0,5 εναλλαγές/hr (LEAKY).

Τα φορτία από ανθρώπους υπολογίζονται για 4 άτομα, τα οποία βρίσκονται συνεχώς στο κτίριο και κάνουν ελαφριά καθιστική εργασία, και λαμβάνονται από το ISO7730. Έτσι προκύπτει φορτίο 120W ανά άτομο από τα οποία τα 65W αντιστοιχούν σε αισθητό και τα 55W σε λανθάνον φορτίο. Ακόμα, θεωρείται επιπλέον φορτίο από υπολογιστή 230W με έγχρωμη οθόνη, ο οποίος μένει αναμμένος καθημερινά 8:00-22:00.

Τα θερμικά φορτία από τον φωτισμό του κτιρίου λαμβάνονται 10W/m², με λάμπες πυρακτώσεως (10% μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής). Τα φώτα ανάβουν 8:00-22:00 καθημερινά και εφόσον η ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου είναι μικρότερη από 120W. Αυτό επιτυγχάνεται εισάγοντας την μεταβλητή BRIGTH στις εισόδους του κτιρίου η οποία λαμβάνει τιμές 0 και 1 και συνδέεται με διαφορικό ελεγκτή (μοντέλο 2). Ο

διαφορικός ελεγκτής έχει ως είσοδο την ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου, την οποία λαμβάνει από το μοντέλο 109, και την συγκρίνει με δύο τιμές ακτινοβολίας, 120W και 200W. Οι τιμές αυτές της ακτινοβολίας, μετατρέπονται πρώτα σε kJ/hr με κατάλληλη εξίσωση, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η σύγκρισή τους με τις τιμές που λαμβάνονται από το μοντέλο 109. Ο ελεγκτής λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η έξοδος του να λαμβάνει την τιμή 1 όταν η ακτινοβολία είναι μικρότερη από 120W και να διατηρεί την τιμή αυτή έως η τιμή της ακτινοβολίας να γίνει μεγαλύτερη από 200W.

Τέλος, θεωρούνται επιπλέον φορτία λόγω συσκευών(GAIN) από τα οποία 3000kJ/hr μεταφέρονται στον χώρο με συναγωγή και 300kJ/hr με ακτινοβολία.

The screenshot shows the 'Gains [Zone: ZONE_E5]' dialog box. It contains the following settings:

- Persons:** on, ISO 7730 Table, degree of activity: Seated, very light writing, scale: 4.
- Computer:** on, computer type: 230 W PC with colour mor, scale: S: 1*USE.
- Artificial Lighting:** on, related floor area: 100 m², total heat gain: 10 W/m², convective part: 10 % incandescent lamp, control strategy: 1: 1*BRIGHT, scale: S: 1*USE.
- Other Gains:** A table with columns Type, Scale, and Geo Position. One row is highlighted in green: Type: GAIN, Scale: 1.

At the bottom of the dialog, there are fields for 'gain type: GAIN' and 'scale: 1'.

Σχ.3.2: παράθυρο εσωτερικών φορτίων του κτιρίου.

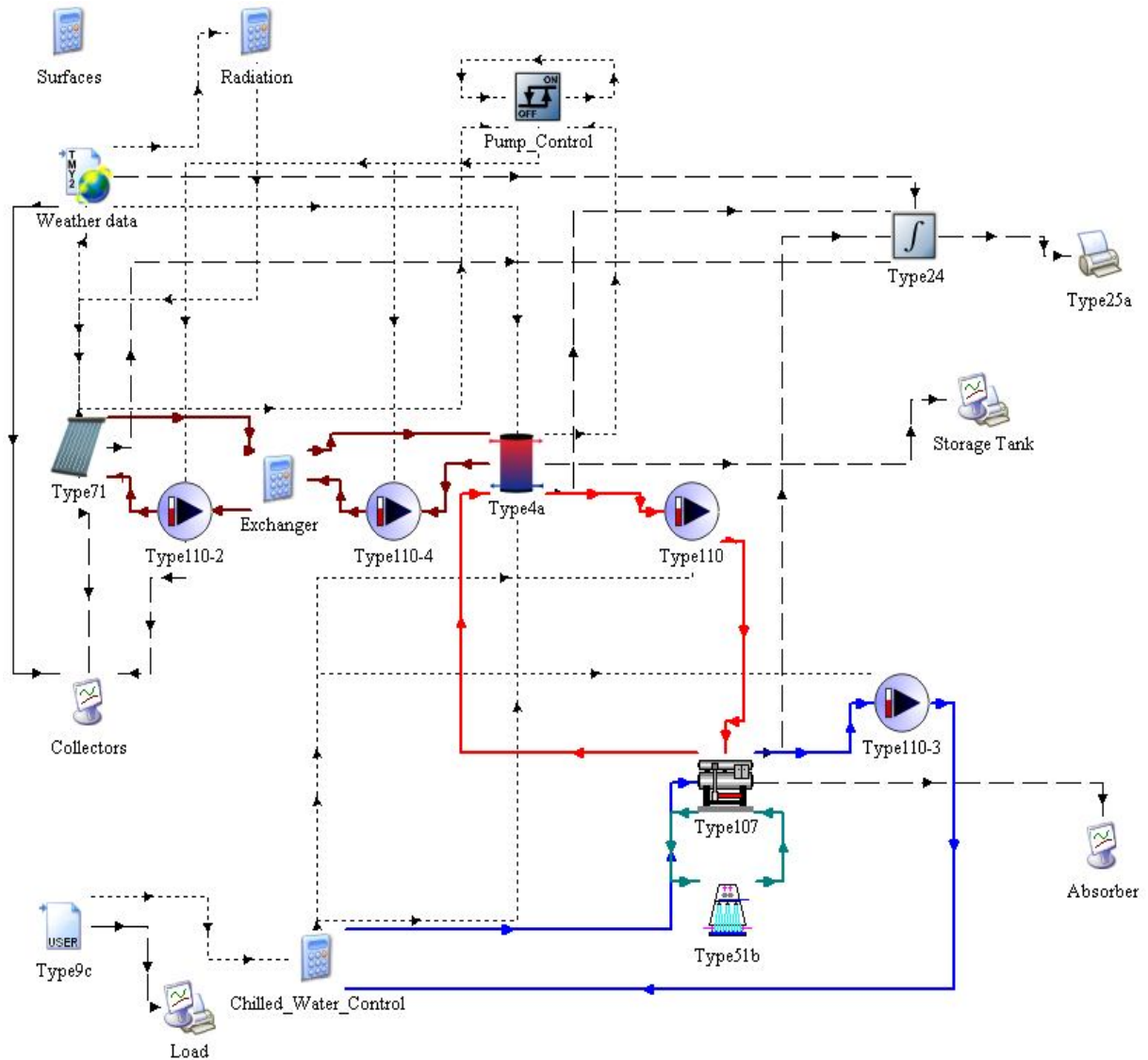
Για τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 109. Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό ανάγνωσης μετεωρολογικών δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από ένα αρχείο δεδομένων, τα μετατρέπει στο επιθυμητό σύστημα μονάδων και υπολογίζει την άμεση και διάχυτη ακτινοβολία για έναν αυθαίρετο αριθμό επιφανειών με αυθαίρετο προσανατολισμό και κλίση. Οι επιπλέον επιφάνειες που επιλέχθηκαν να υπολογιστούν από το μοντέλο 109 είναι οι κάθετες με προσανατολισμό Βορρά, Νότο, Ανατολή και Δύση με γωνίες αζιμουθίου(γ) 180° , 0° , -90° και 90° αντίστοιχα. Οι παραπάνω επιφάνειες είναι οι AA_N, AA_S, AA_E και AA_W οι οποίες ορίζονται από την εξίσωση Surfaces. Η ανάγνωση των μετεωρολογικών δεδομένων έγινε από το αρχείο ATH1hour.tm2. Το αρχείο αυτό εξήχθη με την βοήθεια του προγράμματος Μετεονορμ 5.1 για την περιοχή της Αθήνας και κάθε ώρα του έτους.

Η ψύξη του κτιρίου ανοίγει όταν η θερμοκρασία μέσα σε αυτό ξεπεράσει τους 27°C και θεωρείται ότι έχει απεριόριστη ισχύ ώστε να μπορεί να καλύψει πάντοτε τα φορτία του κτιρίου.

Από το κτίριο εξάγεται η θερμοκρασία μέσα σε αυτό, για κάθε ώρα του έτους, στο μοντέλο 69 για την δημιουργία άμεσων διαγραμμάτων. Σε εκτυπωτή (μοντέλο 25), εξάγονται τα απαιτούμενα ψυκτικά φορτία για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου, η θερμοκρασία σε αυτό καθώς και η θερμοκρασία περιβάλλοντος για κάθε ώρα του έτους. Τα δεδομένα αυτά, τυπώνονται από τον εκτυπωτή στο αρχείο Load.dat. Το αρχείο Load.dat χρησιμοποιείται από το δεύτερο πρόγραμμα προσομοίωσης, για τον υπολογισμό της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης.

3.2 Προσομοίωση της ψυκτικής εγκατάστασης

Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για την προσομοίωση της ψυκτικής εγκατάστασης φαίνεται παρακάτω:



Σχ.3.3: πρόγραμμα προσομοίωσης της ψυκτικής εγκατάστασης, όπως φαίνεται στο TRNSYS Simulation Studio

Το μοντέλο 9 διαβάζει το αρχείο Load.dat το οποίο περιέχει τα ψυκτικά φορτία του υπό μελέτη κτιρίου. Το αρχείο Load.dat ορίζεται από την καρτέλα των εξωτερικών αρχείων του μοντέλου. Το μοντέλο αυτό εξυπηρετεί το γενικό σκοπό της ανάγνωσης δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από μια συγκεκριμένη λογική μονάδα του προγράμματος, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων κάνοντάς τα αξιοποιήσιμα από άλλες μονάδες του TRNSYS. Από το μοντέλο 9, τα απαιτούμενα από το κτίριο ψυκτικά φορτία για κάθε ώρα του έτους, εξάγονται στην εξίσωση Chilled_Water_Control και ορίζουν την είσοδο Q_{cool} . Το απαιτούμενο από το κτίριο ψυκτικό φορτίο θα πρέπει να ισούται κάθε

στιγμή με την αύξηση την αύξηση της ενέργειας του κρύου νερού που παράγεται από τον ψύκτη απορρόφησης. Η αύξηση αυτή της ενέργειας του κρύου νερού εκφράζεται με την άνοδο της θερμοκρασίας του. Θεωρώντας την θερμοκρασιακή αύξηση αυτή σταθερή και ίση με 5°C, υπολογίζουμε κάθε στιγμή την απαιτούμενη από τον ψύκτη παροχή κρύου νερού ως εξής:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= \dot{m} \quad C \quad \Delta T \\ \rightarrow \dot{m} &= \frac{\dot{Q}}{C \quad \Delta T}\end{aligned}$$

Οι ακριβείς σχέσεις που ορίζονται από την εξίσωση Chilled_Water_Control είναι οι εξής:

$$\begin{aligned}Mch &= Q_{cool} / (4.19 * 5) \\ Tch &= Tch_{set} + 5 * SIGN \\ SIGN &= Q_{cool} / (Q_{cool} + 0.0001)\end{aligned}$$

Η μεταβλητή SIGN λαμβάνει τιμή 1 όταν το φορτίο του κτιρίου είναι μεγαλύτερο του μηδενός και τιμή 0 όταν το απαιτούμενο από το κτίριο ψυκτικό φορτίο μηδενίζεται.

Για την κυκλοφορία του κρύου νερού που παράγεται από τον ψύκτη χρησιμοποιήθηκε ιδανικός κυκλοφορητής (μοντέλο 110-3) στον οποίο η ονομαστική ροή ορίστηκε ίση με την μέγιστη πιθανή του κρύου νερού. Η μέγιστη παροχή του κρύου νερού, η οποία υπολογίστηκε από το μέγιστο ψυκτικό φορτίο που παρουσιάζεται στο κτίριο, είναι ίση με 800kg/hr. Επίσης, ο κυκλοφορητής λαμβάνει την εντολή να σταματήσει τη λειτουργία του όταν η τιμή της μεταβλητής SIGN που ορίστηκε παραπάνω λάβει μηδενική τιμή.

Για την προσομοίωση της λειτουργίας του ψύκτη απορρόφησης χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο 107. Εφόσον θεωρήθηκε ότι η ενέργεια του παραγόμενου κρύου νερού μετατρέπεται ολόκληρη σε ωφέλιμο για το κτίριο ψυκτικό φορτίο, η ονομαστική ισχύς της μηχανής ψύξης υπολογίζεται από το μέγιστο απαιτούμενο από το κτίριο ψυκτικό φορτίο. Το μέγιστο απαιτούμενο ψυκτικό φορτίο είναι 16700kj/hr και επιλέγεται ψυκτική μηχανή ονομαστικής ισχύος 18000kj/hr (5kW) με ονομαστικό COP 0.6. Για την λειτουργία του μοντέλου 107 απαιτείται εξωτερικό αρχείο το οποίο περιέχει τα δεδομένα της καμπύλης λειτουργίας της μηχανής με συγκεκριμένη τυποποίηση. Η υπορουτίνα TRNSYS DynamicData η οποία διαβάζει τις εισόδους του μοντέλου και τις παρεμβάλει κατάλληλα στο αρχείο δεν μπορεί να λειτουργήσει εκτός του εύρους τιμών σε αυτό. Κατα συνέπεια θα πρέπει οι τιμές που εισάγονται στις εισόδους του μοντέλου να είναι εντός του εύρους των τιμών του αρχείου. Το εξωτερικό αρχείο που χρησιμοποιήθηκε έχει θερμοκρασίες εισόδου του ζεστού νερού στον ψύκτη από 91°C έως 99,1°C και με βάση το θερμοκρασιακό εύρος αυτό έγιναν οι υπολογισμοί για την δεξαμενής αποθήκευσης του ζεστού νερού και των ηλιακών συλλεκτών. Επίσης θεωρήθηκε κατανάλωση ενέργειας \dot{Q} ίση με 2000kj/hr από δευτερεύοντα στοιχεία του συστήματος όπως αντλίες κυκλοφορίας, ελεγκτές κ.α. Η κατανάλωση αυτή εισήχθη ως παράμετρος από την αντίστοιχη καρτέλα του μοντέλου 107.

Ο υπολογισμός της παροχής του ζεστού νερού στον ψύκτη έγινε με βάση τις ονομαστικές τιμές της ισχύος ($\dot{Q} = 18000 \text{ kJ/hr}$) και του COP (0.6) της μηχανής. Θεωρήθηκε σταθερή μείωση της θερμοκρασίας του ζεστού νερού, κατά τη διέλευση του από τον αναγεννητή του ψύκτη, ίση με 10°C . Τελικά προέκυψε παροχή ζεστού νερού ίση με 750 kg/hr . Οι σχέσεις υπολογισμού της παροχής ζεστού νερού στον ψύκτη είναι οι εξής:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}} \rightarrow \dot{Q} = \dot{Q} / \text{COP}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T$$

όπου \dot{Q} είναι η ενέργεια που χάνει η παροχή του ζεστού νερού κατά τη διέλευσή της από τον αναγεννητή του ψύκτη.

Για την κυκλοφορία του ζεστού νερού από την δεξαμενή αποθήκευσης στην ψυκτική μηχανή, χρησιμοποιήθηκε κυκλοφορητής (μοντέλο 110-3) ο οποίος σταματά να λειτουργεί όταν δεν υπάρχει απαίτηση ψυκτικού φορτίου από το κτίριο. Αυτό έγινε με σύνδεση του μοντέλου αυτού με την εξίσωση Chilled_Water_Control και συγκεκριμένα με την έξοδο αυτής SIGN, η οποία περιγράφηκε παραπάνω.

Για την απαγωγή της θερμότητας που παράγεται στον ψύκτη χρησιμοποιήθηκε πύργος ψύξης. Η ροή του νερού αυτού (cooling water) θεωρήθηκε σταθερή και η τιμή της καθορίστηκε από τον ισολογισμό ενέργειας στον ψύκτη. Ο ισολογισμός ενέργειας έγινε για την ονομαστική ισχύ της μηχανής ($\dot{Q} = 18000 \text{ kJ/hr}$) καθώς και την αντίστοιχη θερμότητα ζεστού νερού ($\dot{Q} = 30000 \text{ kJ/hr}$). Επίσης θεωρήθηκε άνοδος της θερμοκρασίας του προερχόμενου νερού από τον πύργο ψύξης ίση με 10°C κατά την διέλευσή του μέσα από τον ψύκτη απορρόφησης. Η ροή του νερού από τον πύργο ψύξης προέκυψε σύμφωνα με τα παραπάνω ίση με 1200 kg/hr . Οι σχέσεις από τις οποίες έγινε ο υπολογισμός της εν λόγω παροχής είναι οι εξής:

$$\dot{Q} = \dot{Q} + \dot{Q} + \dot{Q}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C \cdot \Delta T$$

όπου \dot{Q} είναι η ενέργεια που παραλαμβάνει το προερχόμενο από τον πύργο ψύξης νερό κατά την διέλευσή του μέσα από τον ψύκτη.

Για την προστασία του κυκλώματος των συλλεκτών από τον παγετό, είναι αναγκαίο αυτό να πληρωθεί με διάλυμα νερού και προπυλενικής γλυκόλης. Στο ρευστό θεωρείται ποσοστό γλυκόλης 30%. Κατά συνέπεια, για την σωστή λειτουργία του συστήματος, απαιτείται χρήση εναλλάκτη θερμότητας για την πρόσληψη θερμότητας από τους συλλέκτες. Στον εναλλάκτη κυκλοφορούν το ρευστό από τους συλλέκτες και το προς

θέρμανση νερό από την δεξαμενή αποθήκευσης. Για λόγους απλούστευσης της προσομοίωσης, ο εναλλάκτης θεωρήθηκε ιδανικός και προσομοιώθηκε από την εξίσωση Exchanger. Στην εξίσωση αυτή, γίνεται η θεώρηση ότι όλη η ενέργεια του προερχόμενου από τους συλλέκτες ρευστού μεταφέρεται αυτούσια κάθε στιγμή στο προς θέρμανση νερό. Η ειδική θερμοχωρητικότητα του διαλύματος νερού-γλυκόλης (C_p) θεωρήθηκε ίση με 3,9kJ/kgK, τιμή που προκύπτει από τα δεδομένα του παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.3

Specific Heat Capacity - c_p - (Btu/lb.°F)								
Temperature		Ethylene Glycol Solution (% by volume)						
(°F)	(°C)	25	30	40	50	60	65	100
-40	-40	1)	1)	1)	1)	0,68	0.703	1)
0	-17.8	1)	1)	0.83	0.78	0.723	0.7	0.54
40	4.4	0.913	0.89	0.845	0.795	0.748	0.721	0.562
80	26.7	0.921	0.902	0.86	0.815	0.768	0.743	0.59
120	48.9	0.933	0.915	0.875	0.832	0.788	0.765	0.612
160	71.1	0.94	0.925	0.89	0.85	0.81	0.786	0.64
200	93.3	0.953	0.936	0.905	0.865	0.83	0.807	0.66
240	115.6	2)	2)	2)	2)	2)	0.828	0.689
280	137.8	2)	2)	2)	2)	2)	2)	0.71

Για την κυκλοφορία του νερού από την δεξαμενή αποθήκευσης προς τον εναλλάκτη καθώς και την κυκλοφορία του διαλύματος στους συλλέκτες, χρησιμοποιήθηκαν κυκλοφορητές οι οποίοι επιτρέπουν την παροχή του νερού μόνο όταν η θερμοκρασία επιστροφής από τους συλλέκτες είναι τουλάχιστον κατά 1°C μεγαλύτερη την θερμοκρασία εισόδου σε αυτούς. Κατά τον τρόπο αυτό, αποτρέπεται η κυκλοφορία νερού κατά τις περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας και κατά τις νυχτερινές ώρες. Έτσι, ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον. Ο έλεγχος των κυκλοφορητών έγινε με χρήση διαφορικού ελεγκτή (control_pump). Ο ελεγκτής αυτός λαμβάνει ως εισόδους τη θερμοκρασία εισόδου στους ηλιακούς συλλέκτες καθώς και την θερμοκρασία κατά την επιστροφή του από αυτούς και λαμβάνει την τιμή 1 μόνο εάν η διαφορά των δύο παραπάνω θερμοκρασιών είναι μεγαλύτερη του 1°C.

Η δεξαμενή αποθήκευσης φέρει δύο ηλεκτρικούς θερμαντήρες για την παροχή ζεστού νερού στον ψύκτη ακόμα και σε περιόδους χαμηλής ακτινοβολίας. Ο πρώτος θερμαντήρας ξεκινά να λειτουργεί μόλις η θερμοκρασία στην δεξαμενή πέσει κάτω από τους 92°C και συνεχίζει να λειτουργεί μέχρι αυτή να ανέβει στους 95°C. Ο δεύτερος θερμαντήρας έχει ξεκινά να λειτουργεί όταν η θερμοκρασία στην δεξαμενή πέσει κάτω από 91°C και

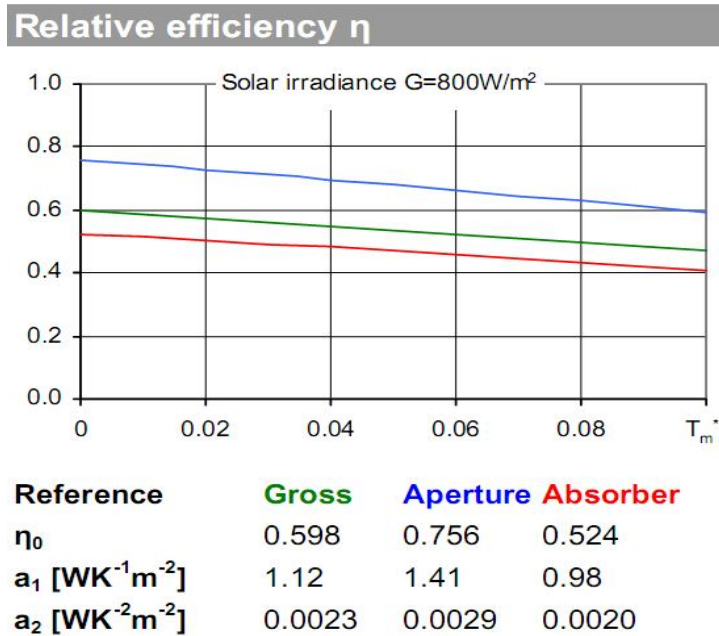
συνεχίζει τη λειτουργία του μέχρι αυτή να ανέβει στους 94°C. Οι θερμοκρασία εκκίνησης των θερμοαντήρων επιλέχθηκε με βάση το θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του ψύκτη, όπως αυτό καθορίζεται από το εξωτερικό του αρχείο, που περιγράφηκε παραπάνω. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι, για χαμηλότερη ενεργειακή κατανάλωση, και οι δύο θερμοαντήρες λειτουργούν μόνο εφόσον υπάρχει απαίτηση ψυκτικού φορτίου από το κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με την σύνδεσή τους με την εξίσωση Chilled_Water_Control και συγκεκριμένα την έξοδο SIGN. Η έξοδος αυτή, όπως περιγράφηκε και παραπάνω, λαμβάνει την τιμή 1 μόνο όταν υπάρχει απαίτηση ψυκτικού φορτίου από το κτίριο.

Χρησιμοποιήθηκαν ηλιακοί συλλέκτες με σωλήνες κενού επειδή ο ψύκτης απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για να λειτουργήσει (90°C-99°C). Επίσης σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Ursula Eiker, Solar technologies for Buildings, Wiley) είναι πιο αποδοτικοί για εφαρμογές ηλιακής ψύξης. Το μοντέλο του TRNSYS το οποίο προσομοιώνει τη λειτουργία θερμικών ηλιακών συλλεκτών με σωλήνες κενού είναι το μοντέλο 71. Το πρόγραμμα δίνει επίσης τη δυνατότητα προσομοίωσης των εν λόγω συλλεκτών και με το μοντέλο 1, με επιλογή οπτικής λειτουργίας 5 από την καρτέλα των παραμέτρων του μοντέλου. Παρόλα αυτά, από το εγχειρίδιο του προγράμματος προτείνεται για μεγαλύτερη ακρίβεια υπολογισμών το μοντέλο 71 το οποίο και χρησιμοποιήθηκε. Οι συλλέκτες που επιλέχθηκαν είναι οι AMK-Collectra OPC 10, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των οποίων φαίνονται παρακάτω:

Dimensions		Technical data	
Total length	1.700 m	Minimum flowrate	30 l/h
Total width	0.850 m	Nominal flowrate	45 l/h
Gross area	1.445 m ²	Maximum flowrate	100 l/h
Aperture area	1.143 m ²	Fluid content	1.4 l
Absorber area	1.650 m ²	Maximum operating pressure	10 bar
Weight empty	33 kg	Stagnation temperature	323 °C

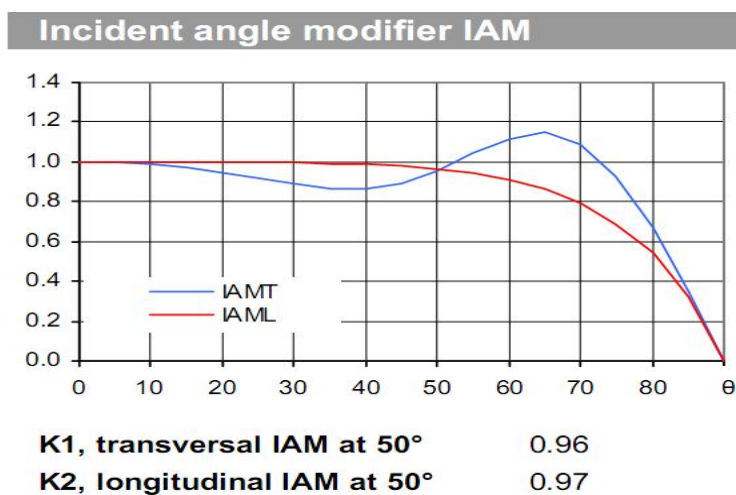
Σχ.3.4: τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακών συλλεκτών.

Οι συντελεστές της καμπύλης του βαθμού απόδοσης με βάση τους οποίους έγινε η προσομοίωση είναι $\alpha_0=0,598$, $\alpha_1=1,12\text{WK}^{-1}\text{m}^{-2}$ και $\alpha_2=0,0023\text{WK}^{-1}\text{m}^{-2}$. Οι συντελεστές αυτοί δίνονται από τον κατασκευαστή όπως φαίνεται παρακάτω και ελήφθησαν για την συνολική επιφάνεια του συλλέκτη καθώς με βάση αυτή έγινε η προσομοίωση.



Σχ.3.5: Καμπύλη βαθμού απόδοσης ηλιακών συλλεκτών

Το μοντέλο 71 χρησιμοποιεί εξωτερικό αρχείο για τον υπολογισμό του συντελεστή γωνίας πρόσπτωσης(IAM). Το πρόγραμμα δίνει έτοιμο τέτοιο αρχείο, το οποίο τροποποιήθηκε για να συμφωνεί με του συλλέκτες που επιλέχθηκαν σύμφωνα με την καμπύλη που δίνει ο κατασκευαστής, η οποία φαίνεται παρακάτω. Το αρχείο που δημιουργήθηκε, όπως και όλα τα εξωτερικά αρχεία της προσομοίωσης, έχει παραδοθεί στο CD της εργασίας.



Σχ.3.6: Συντελεστές γωνίας πρόσπτωσης ηλιακών συλλεκτών

Ο προσανατολισμός των συλλέκτων είναι νότιος (γωνία αζιμουθίου: $\gamma=0$) και η κλίση τους επιλέγεται ίση με 22° . Η επιλογή της κλίσης του συλλέκτη έγινε για μέγιστη ενέργεια κατά τους θερινούς μήνες εφόσον κατά την περίοδο αυτή λειτουργεί το υπό μελέτη σύστημα, δηλαδή:

$$\beta = \varphi - 15^\circ$$

β : κλίση συλλέκτη

φ : γεωγραφικό πλάτος για την Αθήνα, 37°

Η συνολική ροή στους συλλέκτες υπολογίστηκε με βάση την ονομαστική τιμή παροχής που δίνεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συλλέκτη (45lit/hr), λαμβάνοντας υπόψιν την επιφάνεια κάθε συλλέκτη ($1,445 \text{ m}^2$) καθώς και την συνολική συλλεκτική επιφάνεια. Οι συλλέκτες τοποθετήθηκαν ανά 3 σε σειρά. Η σχέση υπολογισμού της συνολικής παροχής προς τους συλλέκτες προκύπτει ως εξής:

$$\dot{m} = \frac{1}{3} \cdot \frac{45}{1.445} \text{ A}$$

Το μοντέλο των ηλιακών συλλεκτών λαμβάνει τα δεδομένα της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος ως εισόδους από το μοντέλο 109. Το μοντέλο 109 λαμβάνει τα μετεωρολογικά δεδομένα από το αρχείο ATH1hour.tn2 όπως και στην προηγούμενη προσομοίωση. Επίσης ορίστηκε μια επιπλέον επιφάνεια υπολογισμού στο μοντέλο από την προηγούμενη προσομοίωση η οποία έχει νότιο προσανατολισμό και κλίση 22° για να είναι δυνατός ο υπολογισμός της ακτινοβολίας στο επίπεδο των συλλεκτών. Για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση Radiation όπου δημιουργείται το αθροίσμα της διάχυτης ακτινοβολίας προερχόμενης από τον ουρανό και αυτής που προέρχεται από την ανάκλαση της ολικής στο έδαφος.

Το πρόγραμμα της προσομοίωσης εκτελέστηκε διαδοχικά για συλλεκτικές επιφάνειες: 50m^2 , 75m^2 και 100m^2 . Για κάθε μια από τις παραπάνω τιμές συλλεκτικής επιφάνειας δοκιμάστηκε όγκος δεξαμενής αποθήκευσης: 6m^3 , 9m^3 , 12m^3 και 15m^3 . Για την συλλεκτική επιφάνεια των 50m^2 εκτελέστηκε επιπλέον προσομοίωση για δεξαμενή αποθήκευσης 3m^3 , ενώ για συλλεκτική επιφάνεια 100m^2 εκτελέστηκαν επιπλέον προσομοιώσεις για 18m^3 και 21m^3 δεξαμενής.

Για κάθε μία από τις παραπάνω προσομοιώσεις υπολογίσθηκαν οι ωριαίες και μηνιαίες τιμές για τα ακόλουθα μεγέθη: συνολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο επίπεδο των συλλεκτών, συλλεγόμενη ενέργεια από τους ηλιακούς συλλέκτες, προσδιδόμενη ενέργεια από τους ηλεκτρικούς θερμαντήρες, προσδιδόμενη ενέργεια από το ζεστό νερό στον ψύκτη απορρόφησης, παραγόμενη ψυκτική ενέργεια από τον ψύκτη. Επίσης υπολογίσθηκε η μηνιαία τιμή του ηλιακού λόγου (Solar Fraction), ο οποίος δίνεται ως εξής:

$$SF = \frac{Q}{Q - (-Q)}$$

Το πρόγραμμα υπολογίζει επίσης τις ωριαίες τιμές των θερμοκρασιών στην είσοδο και έξοδο κάθε μοντέλου καθώς και την τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς COP του ψύκτη, για κάθε ώρα του έτους.

4 Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

Όπως περιγράφηκε στο κεφάλαιο 4, το πρόγραμμα της προσομοίωσης εκτελέστηκε διαδοχικά για συλλεκτικές επιφάνειες 50m², 75m² και 100m². Για κάθε μια από τις παραπάνω τιμές συλλεκτικής επιφάνειας, δοκιμάστηκε χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης 6m³, 9m³, 12m³ και 15m³. Εκτελέστηκε, επιπλέον, προσομοίωση για συλλεκτική επιφάνεια 50m² και δεξαμενή αποθήκευσης 3m³, ενώ για τα 100m² συλλέκτη δοκιμάστηκαν και δεξαμενές χωρητικότητας 18m³ και 21m³.

Για κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις, εξήχθησαν οι μηνιαίες τιμές για την συνολικά προσπίπτουσα ακτινοβολία, την ενέργεια που συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες, την απαιτούμενη ενέργεια από τους ηλεκτρικούς θερμαντήρες, την ενέργεια που προσδίδεται από το ζεστό νερό στον ψύκτη απορρόφησης, την παραγόμενη από τον ψύκτη ενέργεια καθώς και τον ηλιακό λόγο (Solar Fraction – SF) . Στην συνέχεια, παρατίθενται πινακοποιημένα τα παραπάνω αποτελέσματα:

Δεξαμενή Αποθήκευσης 3m³

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: Συλλεκτική Επιφάνεια 50m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	2273,230951	0	0	0	14705,2702	
2	2143,360282	0	0	0	13272,99106	
3	2552,621069	0	0	0	15074,0082	
4	3373,124735	0	0	0	20321,67806	
5	4236,255253	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	5390,825544	2650,9734	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,2300981
7	6847,460125	5253,1311	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,1261354
8	7757,253653	4929,6211	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,2125613
9	5936,84158	2961,0105	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,2732302
10	3806,252964	648,1151	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,360983
11	2297,779535	0	0	0	13715,5586	
12	1519,71845	0	0	0	9620,936048	
	33974,88912	16442,851	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,2425901

Δεξαμενή Αποθήκευσης 6m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: Συλλεκτική Επιφάνεια 50m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	2330,084332	0	0	0	7352,635099	
2	2277,975247	0	0	0	6636,495528	
3	2652,704972	0	0	0	7537,004101	
4	3389,760515	0	0	0	10160,83903	
5	4269,490899	0	1482,670825	905,9088542	12214,02342	1
6	5441,165003	2481,60725	5635,470776	3443,261166	14260,79323	0,27928579
7	6935,944923	4781,32235	9838,623093	6011,378672	16706,08322	0,204621334
8	7835,966862	4418,55387	10246,06303	6260,323646	18015,79806	0,294197214
9	5995,651186	2772,4288	6668,118649	4074,206914	14880,22905	0,319516937
10	3824,421757	681,058067	1659,968852	1014,237588	10235,54734	0,328502438
11	2316,818014	0	0	0	6857,779298	
12	1596,740944	0	0	0	4810,468024	
	34302,64063	15134,9703	35530,91523	21709,31684	86312,47432	0,302835255

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: Συλλεκτική Επιφάνεια 75m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	3371,180685	0	0	0	11028,95265	
2	3162,846862	0	0	0	9954,743292	
3	3779,30914	0	0	0	11305,50615	
4	5034,105978	0	0	0	15241,25854	
5	6333,353489	0	1482,670825	905,9088542	18321,03513	1
6	8094,208073	1798,28579	5635,470776	3443,261166	21391,18984	0,477737616
7	10338,98406	3252,43499	9838,623093	6011,378672	25059,12483	0,458953567
8	11669,52284	2699,29228	10246,06303	6260,323646	27023,69709	0,568825443
9	8914,848221	1743,96028	6668,118649	4074,206914	22320,34357	0,571950979
10	5686,143177	492,447646	1659,968852	1014,237588	15353,32101	0,514465199
11	3403,899617	0	0	0	10286,66895	
12	2204,158016	0	0	0	7215,702036	
	51037,05986	9986,42098	35530,91523	21709,31684	129468,7115	0,539993771

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4447,15056	0	0	0	14705,2702	
2	4128,275473	0	0	0	13272,99106	
3	4949,407386	0	0	0	15074,0082	
4	6687,336085	0	0	0	20321,67806	
5	8417,844735	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10760,84982	1383,74173	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,598130475
7	13727,14889	2704,87011	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,550041636
8	15499,52962	2143,73811	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,657567527
9	11851,97235	1254,79431	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,692015075
10	7547,051217	417,334876	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,588523556
11	4503,209007	0	0	0	13715,5586	
12	2754,877581	0	0	0	9620,936048	
	67804,39663	7904,47913	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,635894617

Δεξαμενή Αποθήκευσης 9m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: Συλλεκτική Επιφάνεια 50m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	2386,0743	0	0	0	7352,635099	
2	2424,981672	0	0	0	6636,495528	
3	2861,844461	0	0	0	7537,004101	
4	3465,943812	0	0	0	10160,83903	
5	4311,039571	0	1482,670825	905,9088542	12214,02342	1
6	5480,522617	2698,697598	5635,470776	3443,261166	14260,79323	0,216237901
7	6988,609319	5184,050602	9838,623093	6011,378672	16706,08322	0,13762701
8	7878,375731	4685,903289	10246,06303	6260,323646	18015,79806	0,251491847
9	6017,868497	3027,315377	6668,118649	4074,206914	14880,22905	0,256955908
10	3839,550002	736,1486177	1659,968852	1014,237588	10235,54734	0,274185234
11	2390,949312	0	0	0	6857,779298	
12	1646,453943	0	0	0	4810,468024	
	34515,96574	16332,11548	35530,91523	21709,31684	86312,47432	0,247690952

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6: Συλλεκτική Επιφάνεια 75m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	3408,503708	0	0	0	11028,95265	
2	3237,626116	0	0	0	9954,743292	
3	3840,427294	0	0	0	11305,50615	
4	5046,451119	0	0	0	15241,25854	
5	6354,525908	0	1482,670825	905,9088542	18321,03513	1
6	8111,49926	1564,274898	5635,470776	3443,261166	21391,18984	0,545699608
7	10389,65335	2578,465145	9838,623093	6011,378672	25059,12483	0,571069253
8	11727,11162	2085,523536	10246,06303	6260,323646	27023,69709	0,666866499
9	8929,516486	1773,978266	6668,118649	4074,206914	22320,34357	0,564583168
10	5705,325744	461,1574543	1659,968852	1014,237588	15353,32101	0,545316147
11	3416,99139	0	0	0	10286,66895	
12	2278,820748	0	0	0	7215,702036	
	51217,63237	8463,399299	35530,91523	21709,31684	129468,7115	0,610148981

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4459,488439	0	0	0	14705,2702	
2	4175,141642	0	0	0	13272,99106	
3	4994,227315	0	0	0	15074,0082	
4	6693,708582	0	0	0	20321,67806	
5	8424,639337	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10778,97624	982,9754473	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,71452196
7	13779,18209	1623,950168	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,729853956
8	15556,91804	886,0720594	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,85846226
9	11874,54513	1004,761185	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,753384841
10	7560,414299	388,2452264	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,617204853
11	4509,14645	0	0	0	13715,5586	
12	2867,109434	0	0	0	9620,936048	
	67974,67514	4886,004085	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,774935152

Δεξαμενή Αποθήκευσης 12m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: Συλλεκτική Επιφάνεια 50m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	2426,225422	0	0	0	7352,635099	
2	2523,592113	0	0	0	6636,495528	
3	3012,587402	0	0	0	7537,004101	
4	3650,192676	0	0	0	10160,83903	
5	4368,736153	0	1482,670825	905,9088542	12214,02342	1
6	5507,579951	2949,2566	5635,470776	3443,261166	14260,79323	0,143469962
7	7011,756972	5575,318	9838,623093	6011,378672	16706,08322	0,072539205
8	7905,811095	5043,5837	10246,06303	6260,323646	18015,79806	0,19435736
9	6042,928343	3404,2636	6668,118649	4074,206914	14880,22905	0,164435278
10	3873,529118	725,59113	1659,968852	1014,237588	10235,54734	0,28459452
11	2478,78346	0	0	0	6857,779298	
12	1715,06633	0	0	0	4810,468024	
	34710,34163	17698,013	35530,91523	21709,31684	86312,47432	0,184773378

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: Συλλεκτική Επιφάνεια 75m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	3458,683614	0	0	0	11028,95265	
2	3397,319446	0	0	0	9954,743292	
3	3987,47226	0	0	0	11305,50615	
4	5067,177803	0	0	0	15241,25854	
5	6379,546575	0	1482,670825	905,9088542	18321,03513	1
6	8127,763514	1482,412	5635,470776	3443,261166	21391,18984	0,569474436
7	10435,18753	2570,3706	9838,623093	6011,378672	25059,12483	0,572415787
8	11757,61463	2039,7914	10246,06303	6260,323646	27023,69709	0,674171575
9	8936,764845	1911,0701	6668,118649	4074,206914	22320,34357	0,530934457
10	5713,445621	490,92377	1659,968852	1014,237588	15353,32101	0,515967679
11	3444,129471	0	0	0	10286,66895	
12	2325,251565	0	0	0	7215,702036	
	51350,32272	8494,5678	35530,91523	21709,31684	129468,7115	0,60871326

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4488,623143	0	0	0	14705,2702	
2	4219,034314	0	0	0	13272,99106	
3	5047,027685	0	0	0	15074,0082	
4	6703,378115	0	0	0	20321,67806	
5	8429,279489	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10789,08815	841,222	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,755690331
7	13791,11112	1360,2814	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,773715568
8	15557,82041	481,79872	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,923039327
9	11877,7475	1067,8351	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,737903571
10	7578,631933	327,49991	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,67709744
11	4517,149897	0	0	0	13715,5586	
12	2943,875584	0	0	0	9620,936048	
	68023,67861	4078,6371	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,812125036

Δεξαμενή Αποθήκευσης 15m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: Συλλεκτική Επιφάνεια 50m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	2453,170378	0	0	0	7352,635099	
2	2593,562882	0	0	0	6636,495528	
3	3125,767046	0	0	0	7537,004101	
4	3862,742813	0	0	0	10160,83903	
5	4426,20174	0	1482,670825	905,9088542	12214,02342	1
6	5531,41515	3309,019975	5635,470776	3443,261166	14260,79323	0,038986642
7	7021,744901	5958,754299	9838,623093	6011,378672	16706,08322	0,008754127
8	7917,405964	5438,746859	10246,06303	6260,323646	18015,79806	0,131235513
9	6064,149718	3736,394185	6668,118649	4074,206914	14880,22905	0,082914966
10	3912,27943	791,2513405	1659,968852	1014,237588	10235,54734	0,219856028
11	2556,458459	0	0	0	6857,779298	
12	1769,438719	0	0	0	4810,468024	
	34873,1969	19234,16666	35530,91523	21709,31684	86312,47432	0,114013269

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12: Συλλεκτική Επιφάνεια 75m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	3502,702253	0	0	0	11028,95265	
2	3521,518149	0	0	0	9954,743292	
3	4174,509335	0	0	0	11305,50615	
4	5141,199844	0	0	0	15241,25854	
5	6417,299471	0	1482,670825	905,9088542	18321,03513	1
6	8157,283651	1534,272144	5635,470776	3443,261166	21391,18984	0,554413078
7	10494,96282	2794,158262	9838,623093	6011,378672	25059,12483	0,535188446
8	11790,61255	2132,492977	10246,06303	6260,323646	27023,69709	0,659363781
9	8956,565779	1965,921767	6668,118649	4074,206914	22320,34357	0,5174713
10	5736,973539	466,499896	1659,968852	1014,237588	15353,32101	0,540048701
11	3500,305699	0	0	0	10286,66895	
12	2355,951235	0	0	0	7215,702036	
	51553,69781	8893,345045	35530,91523	21709,31684	129468,7115	0,590344316

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4533,610814	0	0	0	14705,2702	
2	4331,172211	0	0	0	13272,99106	
3	5106,941582	0	0	0	15074,0082	
4	6717,12279	0	0	0	20321,67806	
5	8433,420453	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10809,67289	682,813644	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,801695657
7	13799,61372	1281,19963	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,786870916
8	15547,81982	342,2697908	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,945327141
9	11889,63118	1051,299943	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,741962064
10	7595,455264	280,9999199	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,722944679
11	4536,45491	0	0	0	13715,5586	
12	2995,42065	0	0	0	9620,936048	
	68075,61333	3638,582928	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,832395328

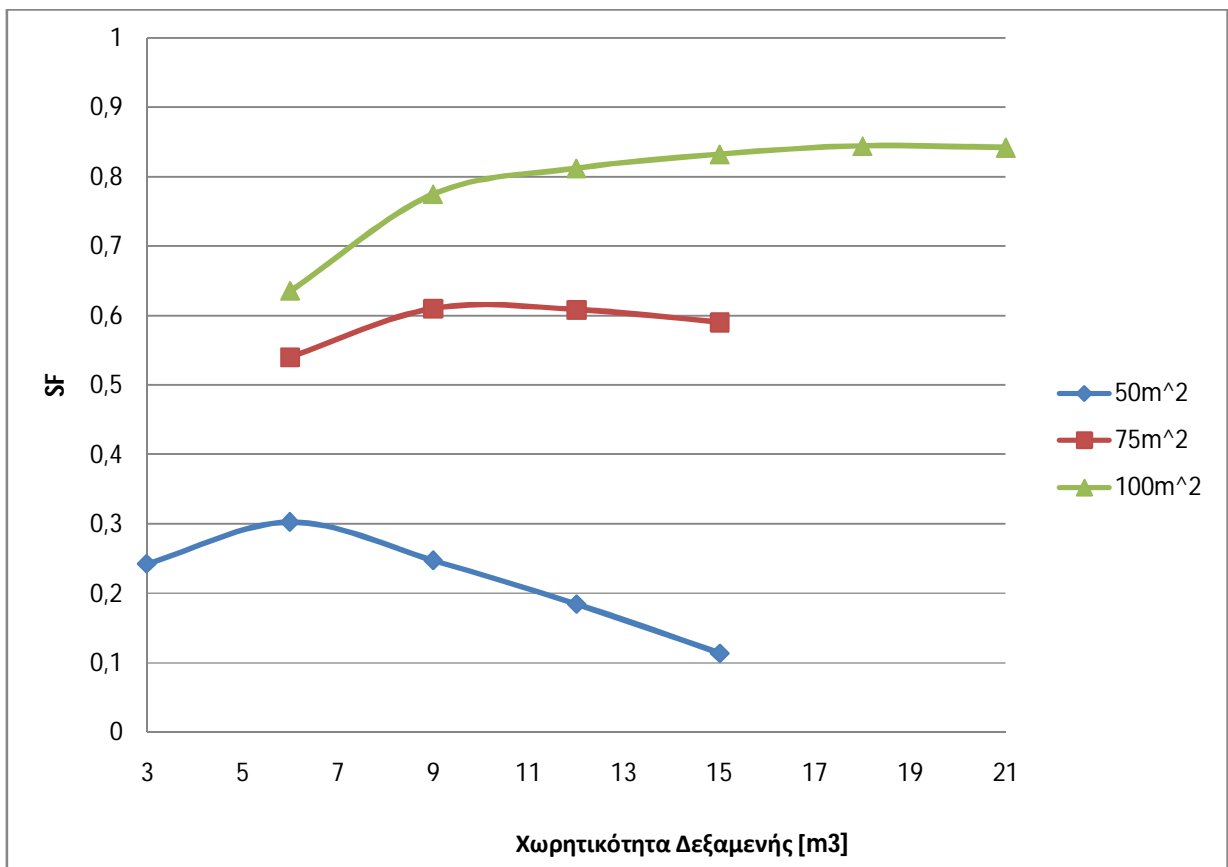
Δεξαμενή Αποθήκευσης 18m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.14: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4574,155655	0	0	0	14705,2702	
2	4469,991256	0	0	0	13272,99106	
3	5262,780983	0	0	0	15074,0082	
4	6738,084677	0	0	0	20321,67806	
5	8450,626549	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10823,47984	658,95299	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,808625324
7	13830,18712	1168,1	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,805685177
8	15547,00118	243,4	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,961120222
9	11901,20062	1061,507	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,739456782
10	7610,786767	247,69992	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,755777223
11	4559,884344	0	0	0	13715,5586	
12	3033,056912	0	0	0	9620,936048	
	68163,28208	3379,6599	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,844322145

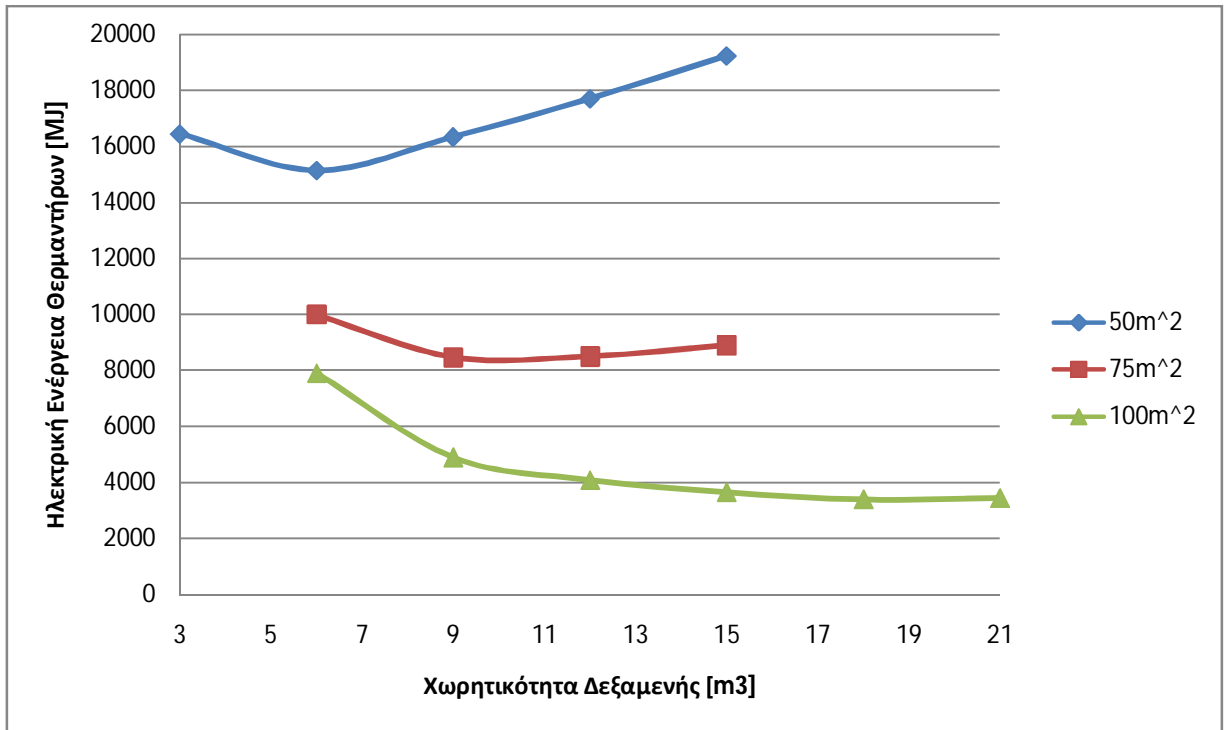
Δεξαμενή Αποθήκευσης 21m³**ΠΙΝΑΚΑΣ 4.15: Συλλεκτική Επιφάνεια 100m²**

ΜΗΝΑΣ	Ενέργεια Συλλεκτών	Ηλεκτρική Ενέργεια	Ενέργεια Ζεστού Νερού	Ενέργεια Ψύξης	Συνολική Ακτινοβολία	SF
1	4615,301947	0	0	0	14705,2702	
2	4586,271517	0	0	0	13272,99106	
3	5441,395476	0	0	0	15074,0082	
4	6795,864646	0	0	0	20321,67806	
5	8474,440235	0	1482,670825	905,9088542	24428,04685	1
6	10841,34413	681,6999756	5635,470776	3443,261166	28521,58646	0,802019091
7	13844,97144	1199,651611	9838,623093	6011,378672	33412,16644	0,800436526
8	15572,93702	226,1999965	10246,06303	6260,323646	36031,59612	0,963867683
9	11917,87713	1106,699952	6668,118649	4074,206914	29760,45809	0,728364323
10	7628,45984	214,8999211	1659,968852	1014,237588	20471,09468	0,788116785
11	4603,48801	0	0	0	13715,5586	
12	3060,890081	0	0	0	9620,936048	
	68280,0298	3429,151457	35530,91523	21709,31684	172624,9486	0,842042406

Με βάση τους παραπάνω πίνακες και με τη βοήθεια του προγράμματος Excel δημιουργήθηκε το διάγραμμα του μέσου ηλιακού λόγου (SF) συναρτήσει της χωρητικότητας της δεξαμενής αποθήκευσης του ζεστού νερού, για κάθε συλλεκτική επιφάνεια. Επίσης δημιουργήθηκε το διάγραμμα της συνολικής ενέργειας των ηλεκτρικών θερμαντήρων συναρτήσει του όγκου της δεξαμενής αποθήκευσης, για κάθε συλλεκτική επιφάνεια. Τα διαγράμματα αυτά παρατίθενται παρακάτω:



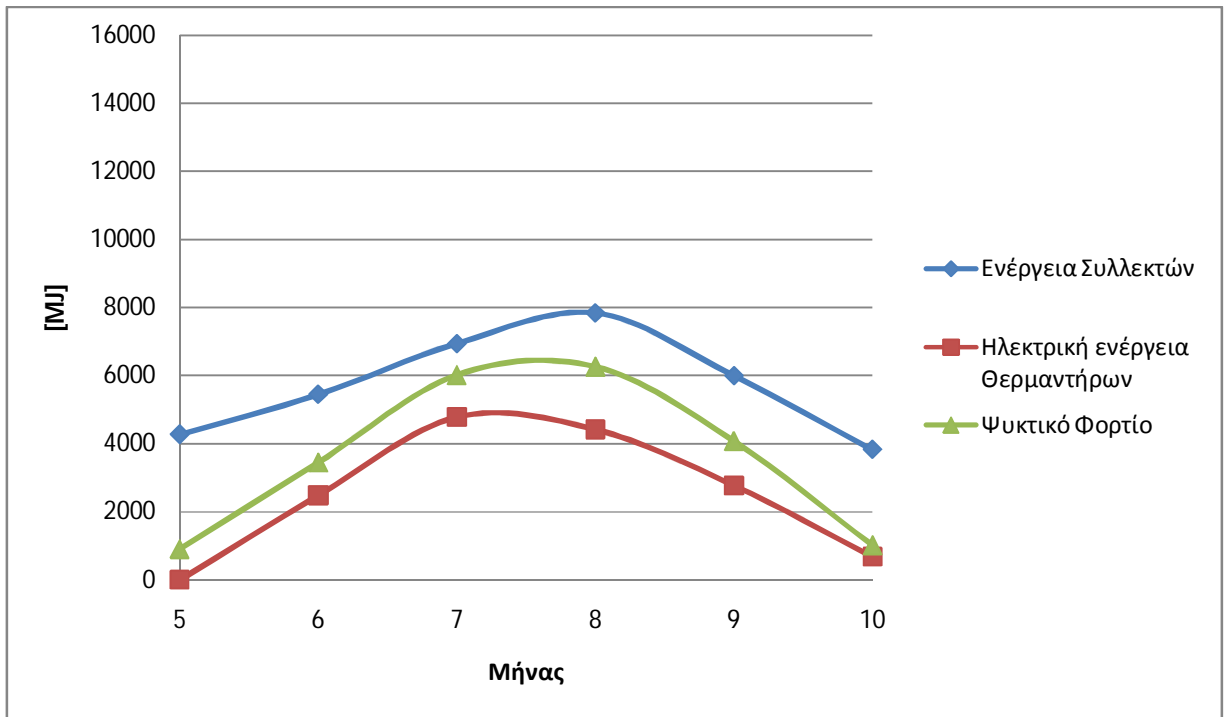
Σχ.4.1: Διάγραμμα Ηλιακού Λόγου (SF) – Χωρητικότητας Δεξαμενής Αποθήκευσης (m³).



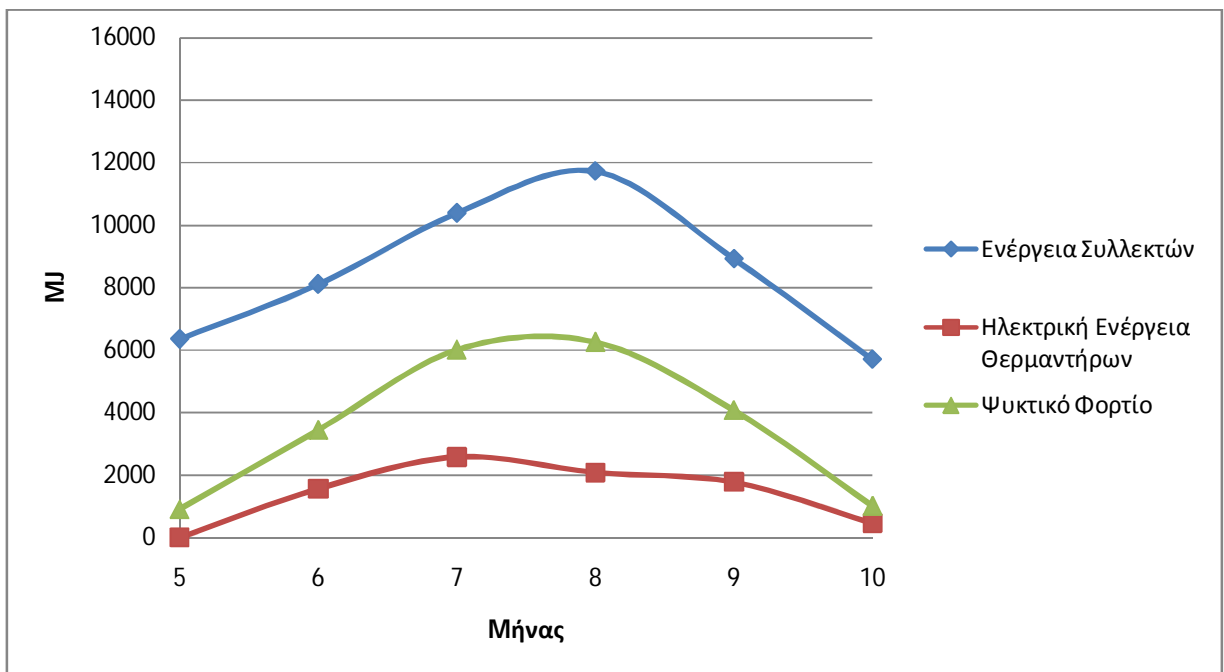
Σχ.4.2: Διάγραμμα Ηλεκτρικής Ενέργειας Θερμαντήρων (MJ) – Χωρητικότητας Δεξαμενής Αποθήκευσης (m³).

Όπως ήταν αναμενόμενο, στα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι ο ηλιακός λόγος SF και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια από τους θερμαντήρες είναι αντιστρόφως ανάλογα ποσά. Επίσης, μπορούμε να δούμε τον βέλτιστο όγκο δεξαμενής αποθήκευσης για κάθε τιμή της συλλεκτικής επιφάνειας. Η βέλτιστη χωρητικότητα της δεξαμενής, είναι αυτή που μεγιστοποιεί τον ηλιακό λόγο και κατά συνέπεια ελαχιστοποιεί την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Στο εύρος χωρητικότητας που μελετήθηκε, ο βέλτιστος όγκος δεξαμενής αποθήκευσης για τα 50m² συλλέκτη είναι 6m³, για τα 75m² συλλέκτη είναι 9m³ και για τα 100m² συλλέκτη είναι 18m³.

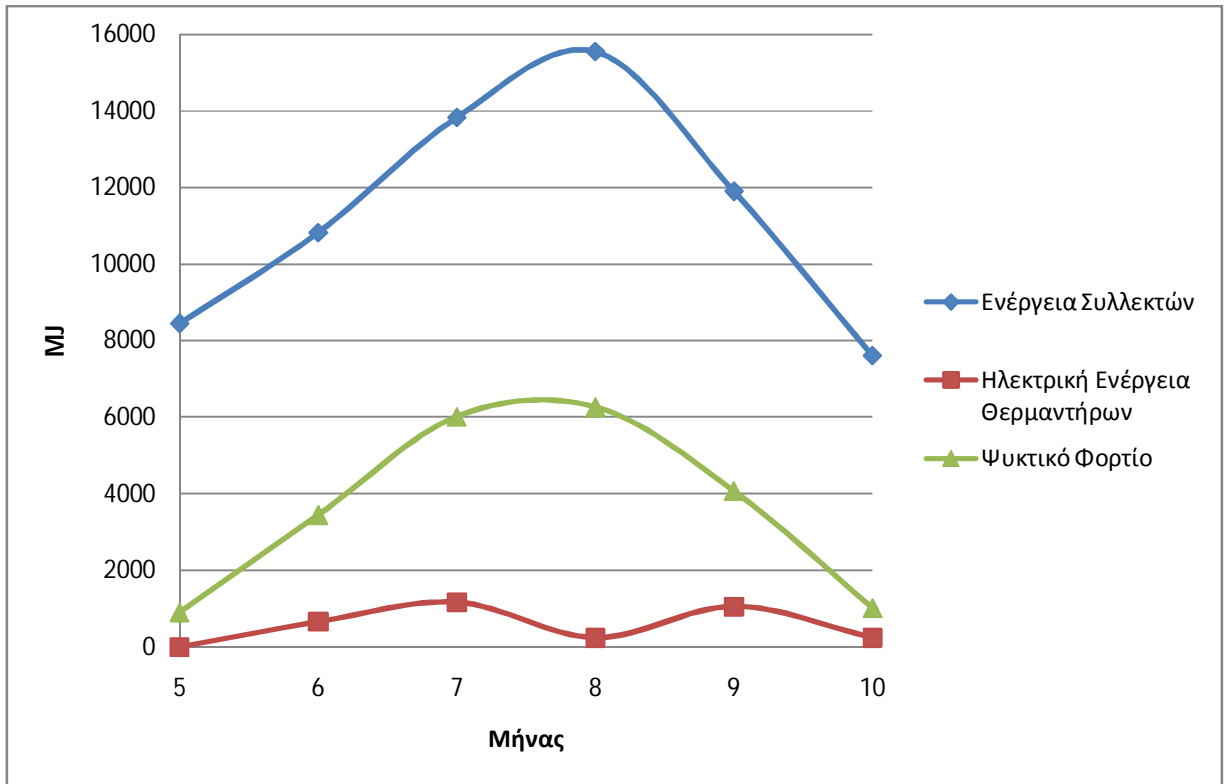
Τέλος δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα των μηνιαίων τιμών της ενέργειας συλλεκτών, της ηλεκτρικής ενέργειας των θερμαντήρων και της παραγόμενης ψυκτικής ενέργειας για κάθε έναν από τους βέλτιστους συνδυασμούς συλλεκτικής επιφάνειας – χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης, για τους μήνες που απαιτείται ψύξη από το κτίριο. Τα διαγράμματα αυτά παρατίθενται παρακάτω:



Σχ.4.3: Μηνιαίες Τιμές Ενέργειας για Συλλεκτική Επιφάνεια 50m² και Χωρητικότητα Δεξαμενής Αποθήκευσης 6m³.



Σχ.4.4: Μηνιαίες Τιμές Ενέργειας για Συλλεκτική Επιφάνεια 75m² και Χωρητικότητα Δεξαμενής Αποθήκευσης 9m³.



Σχ.4.5: Μηνιαίες Τιμές Ενέργειας για Συλλεκτική Επιφάνεια 100m² και Χωρητικότητα Δεξαμενής Αποθήκευσης 18m³.

Γενικά Συμπεράσματα

Κατά τις προσομοιώσεις, παρατηρήθηκε ότι το υπο μελέτη σύστημα λειτουργεί αποδοτικότερα με μεγάλες δεξαμενές αποθήκευσης του ζεστού νερού. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλου ποσού ενέργειας, η οποία δίνει το πλεονέκτημα λειτουργίας του ψύκτη και σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας χωρίς την χρήση μεγάλου ποσού επιπρόσθετης ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης, η χρήση μικρής δεξαμενής αποθήκευσης προκαλεί αστάθεια στο σύστημα καθώς έτσι υπάρχουν μεγάλες αυξομειώσεις της θερμοκρασίας μέσα σε αυτήν.

Η χρήση μεγάλων δεξαμενών αποθήκευσης έχει ως φυσικό επακόλουθο την απαίτηση για μεγάλες τιμές συλλεκτικής επιφάνειας. Βέβαια κατά τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται υψηλές τιμές ηλιακού λόγου καθώς και σταθερότητα του συστήματος.

Το γεγονός ότι ο ψύκτης απορρόφησης απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες για να λειτουργήσει, της τάξης των 90°C- 100°C, ενισχύει την απαίτηση για χρήση μεγάλης συλλεκτικής επιφάνειας καθώς και μεγάλης χωρητικότητας δεξαμενής αποθήκευσης.

Γενικά, είναι εμφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συλλεκτική επιφάνεια, τόσο αυξάνεται ο ηλιακός λόγος και μειώνεται η χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική ενέργεια. Οι βέλτιστες μέσες τιμές ηλιακού λόγου (SF) που προκύπτουν, για κάθε συλλεκτική επιφάνεια, είναι 0,302 για τα 50m² (δεξαμενή 6m³), 0,610 τα 75m² (δεξαμενή 9m³) και 0,842 για επιφάνεια συλλεκτών 100m² (δεξαμενή 21m³). Για 50m² συλλεκτών η ετήσια προσδιδόμενη ενέργεια από τους ηλεκτρικούς θερμαντήρες είναι 15.135MJ, για τα 75m² είναι 8.463,4MJ και για τα 100m² είναι 3.379,6MJ. Βέβαια, το ποιά από τις παραπάνω τιμές συλλεκτικής επιφάνειας θα επιλεγεί δεν εξαρτάται μόνο από τον ηλιακό λόγο και την ελάχιστη καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια, αλλά αποτελεί αντικείμενο τεχνοοικονομικής μελέτης. Επίσης, θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και για μηδενικές τιμές του ηλιακού λόγου να υπάρχει ενεργειακό κέρδος καθώς έτσι η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται ισούται με το ψυκτικό φορτίο και οι ηλιακοί συλλέκτες καλύπτουν την επιπλέον απαιτούμενη ενέργεια από τη μηχανή καθώς αυτή δεν έχει βαθμό απόδοσης ίσο με την μονάδα. Κατά συνέπεια, τόσο το αρχικό κόστος εγκατάστασης όσο και τα ετήσια κόστη συντήρησης καθώς και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να συνυπολογιστούν πριν την τελική επιλογή.

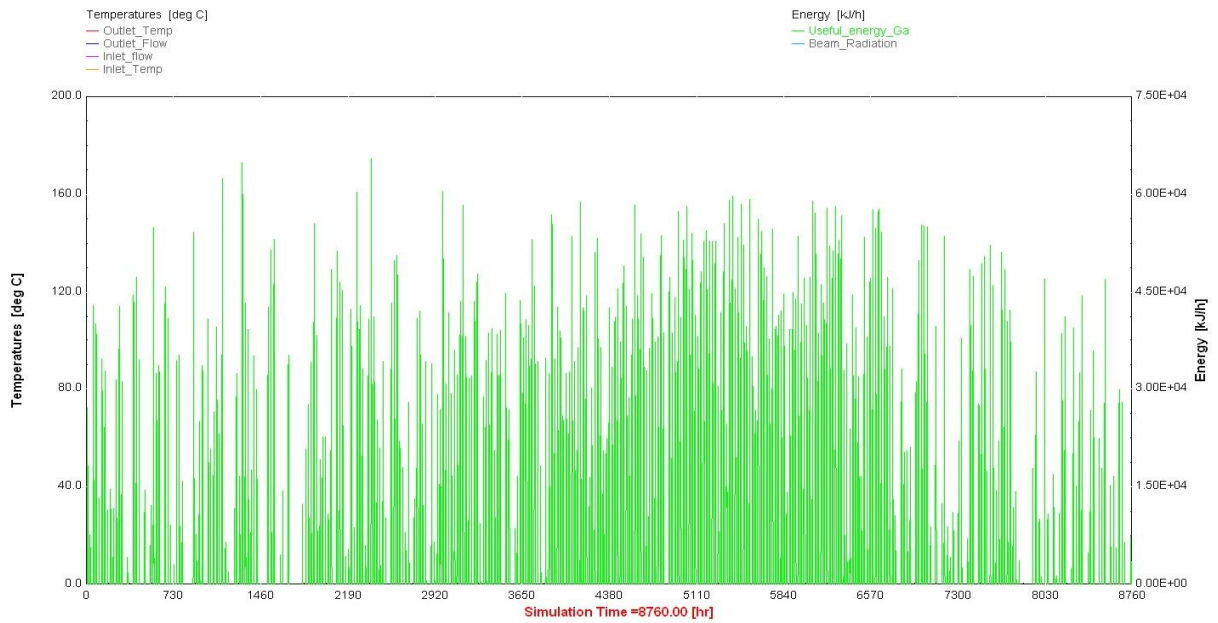
Ακολουθεί το Παράρτημα στο οποίο παραθέτονται αναλυτικά διαγράμματα από τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν για κάθε τιμή συλλεκτικής επιφάνειας και για την βέλτιστη χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης.

5 Βιβλιογραφία

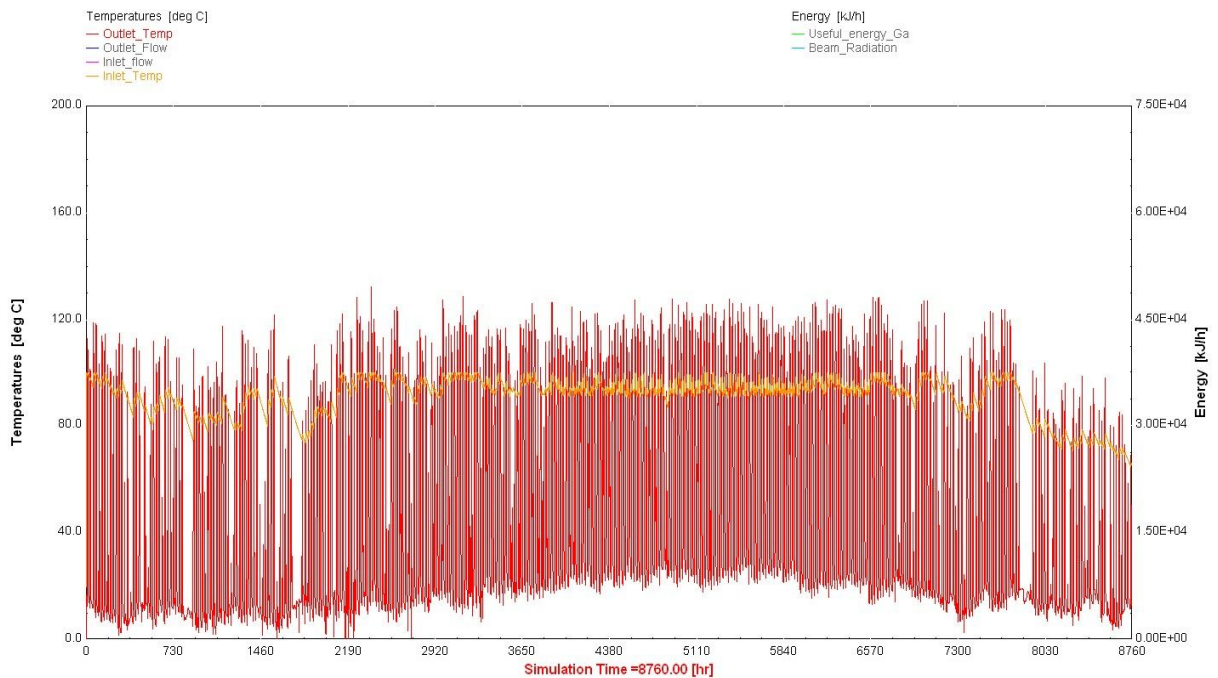
1. **Αντωνόπουλος, Κίμων. Α.** *Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα, Μέρος Πρώτο.* Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.,2004.
2. **Αντωνόπουλος, Κίμων. Α.** *Κλιματισμός, Μέρος Πρώτο.* Αθήνα: Εκδόσεις Ε.Μ.Π.,2004.
3. **Ursula, Eicker.** *Solar Technologies for Buildings.* John Wiley & Sons Ltd, 2003.
4. **Duffie, John. A. Beckman, William .A.** *Solar Engineering of Thermal Processes,* John Wiley & Sons, Inc, Second Edition.
5. **Petchers, Neil.** *Combined Heating, Cooling & Power Handbook Technologies and Applications: an Integrated Approach to Energy Resource Optimization,*Routledge, USA, 2002.
6. TRNSYS 16.00 Manual : TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
7. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ): Οδηγός Ηλιακού Κλιματισμού.
8. **Y. Gupta, L. Metchopt, A. Frantzis, P.E. Phelan.** *Comparative analysis of Thermally activated, environmentally friendly cooling systems.*
9. **G.A. Florides, S.A. Kalogirou, S.A. Tassou, L.C. Wrobel.** *Modeling and simulation of an absorption solar cooling system for Cyprus.*
10. **Khalid A. Joudi, Qussai J. Abdul- Gafour.** *Development of design charts for solar cooling systems. Part I: computer simulation for a solar cooling system and development of solar coolingdesign charts.*
11. **F. Assilzadeh, S.A. Kalogirou, Y. Ali, K. Sophian.** *Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors.*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

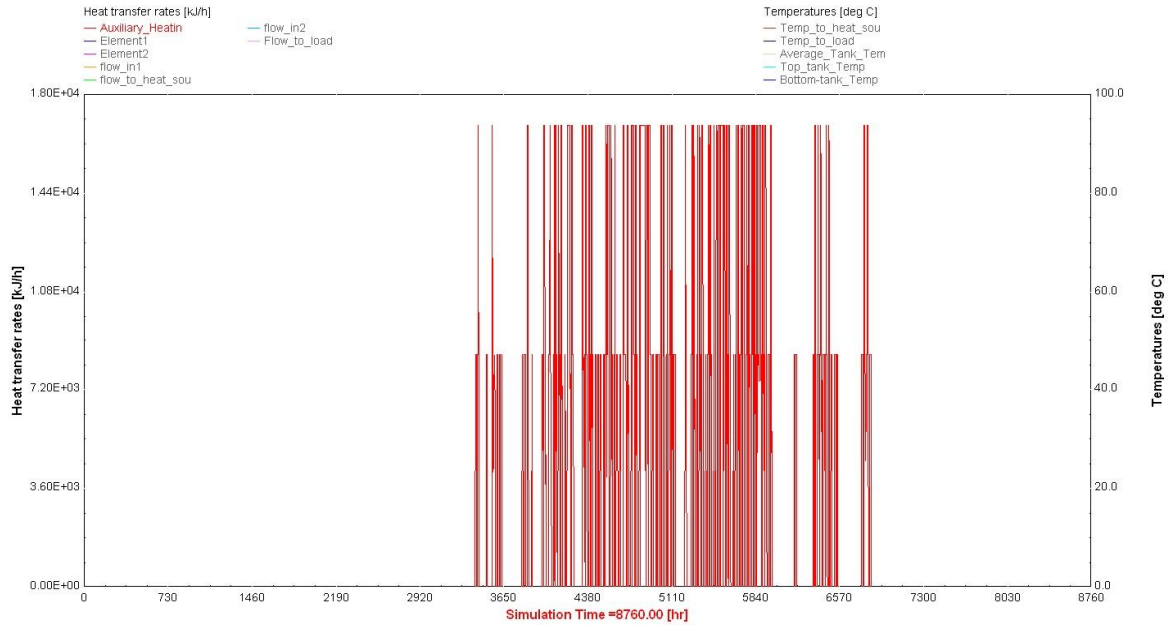
Διαγράμματα για συλλεκτική επιφάνεια 50m² και δεξαμενή αποθήκευσης 6m³



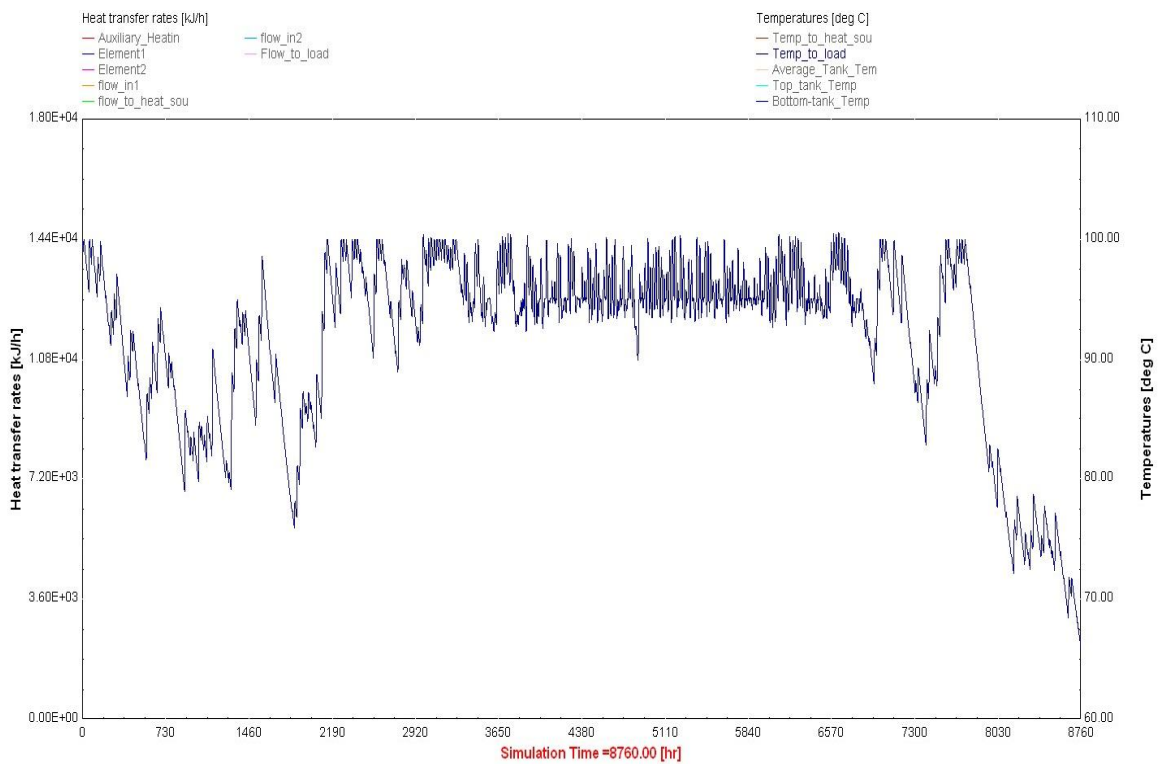
Απορροφόμενη Ηλιακή Ισχύς από τους Συλλέκτες



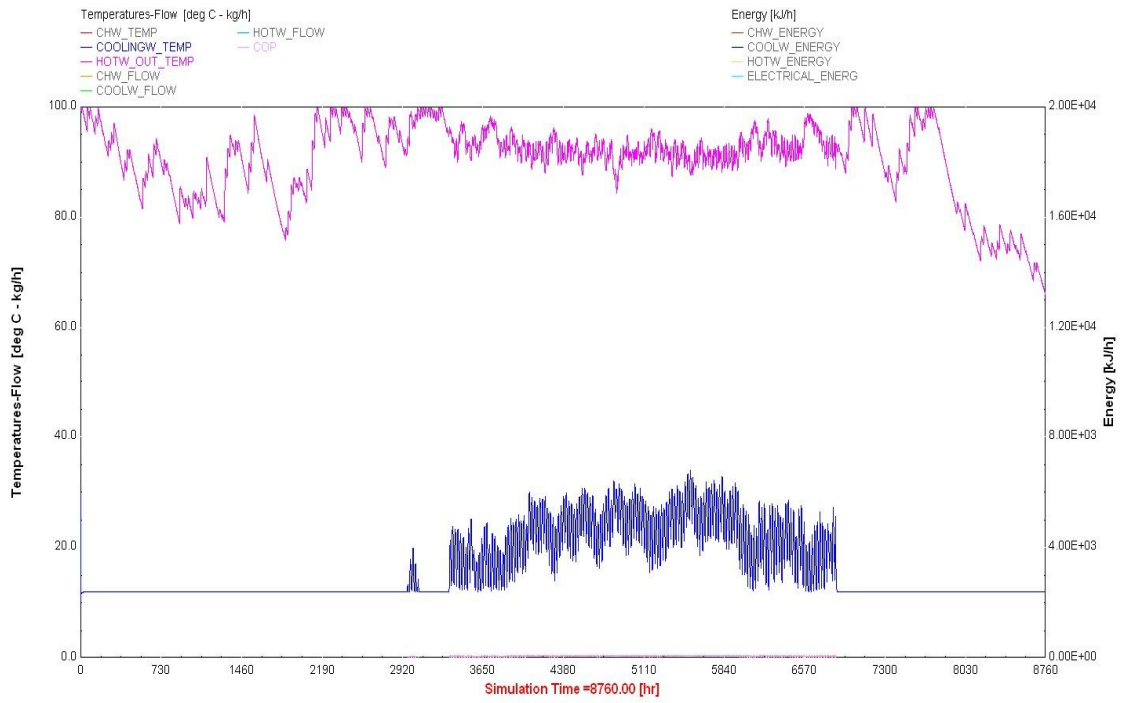
Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στους συλλέκτες



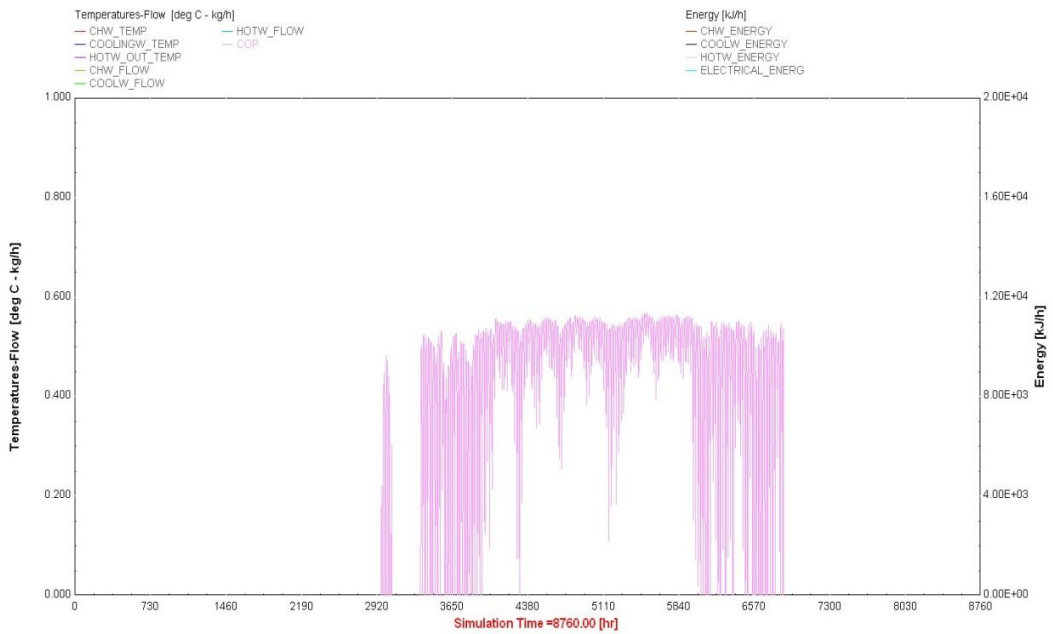
Προσφερόμενη Ισχύς από τους Ηλεκτρικούς Θερμαντήρες



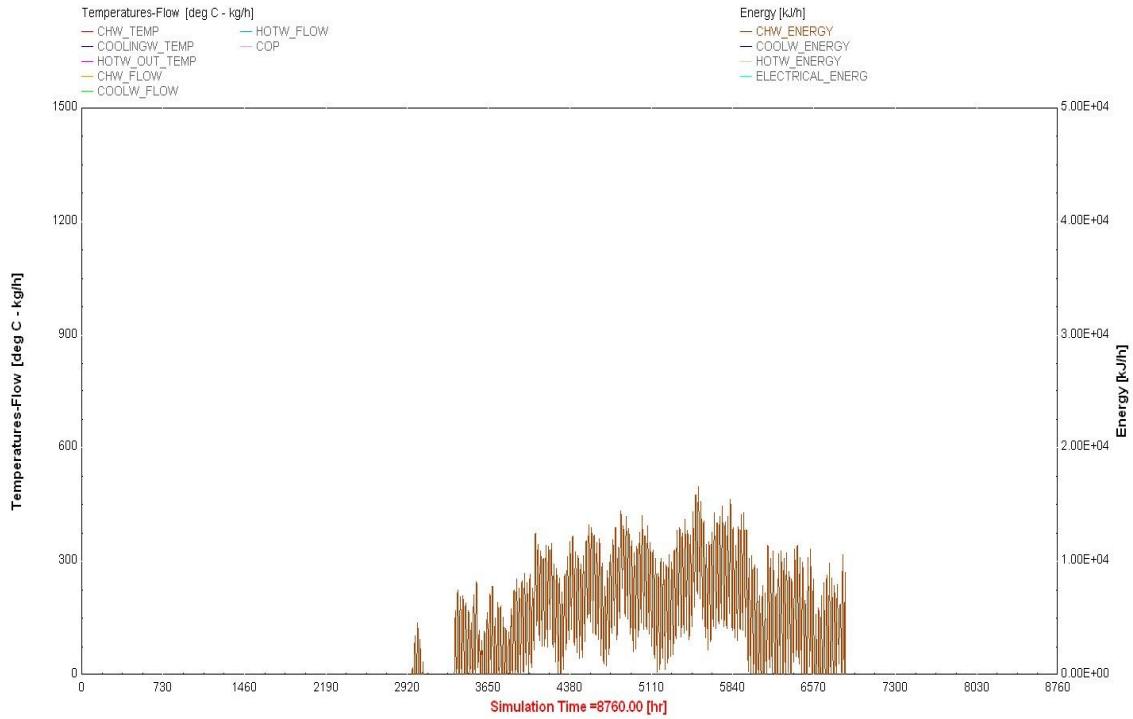
Θερμοκρασία Εισόδου Ζεστού Νερού στον Ψύκτη Απορρόφησης



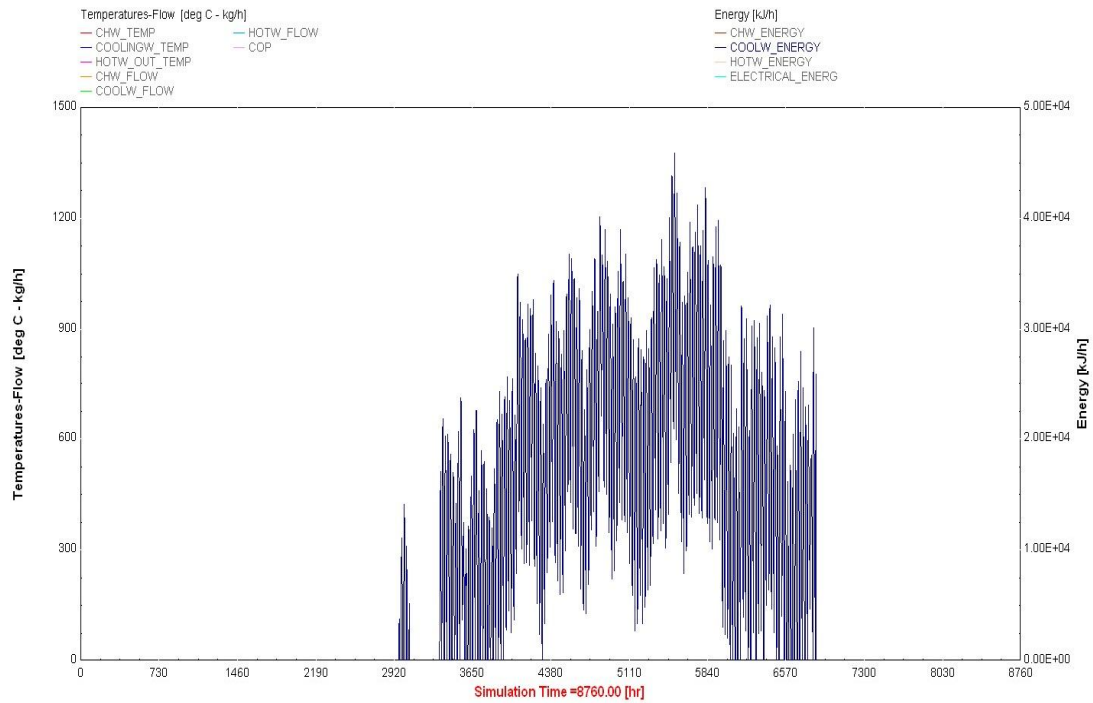
Θερμοκρασίες Εξόδου από τον Ψύκτη του Ζεστού Νερού και του Νερού Ψύξης



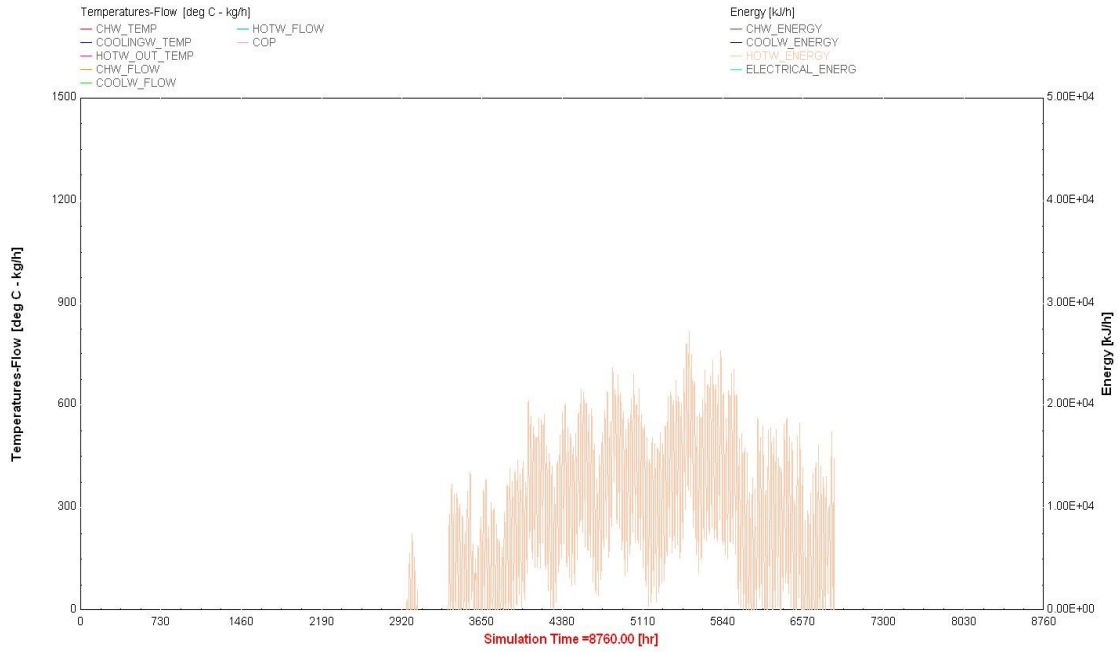
COP Ψυκτικής Μηχανής



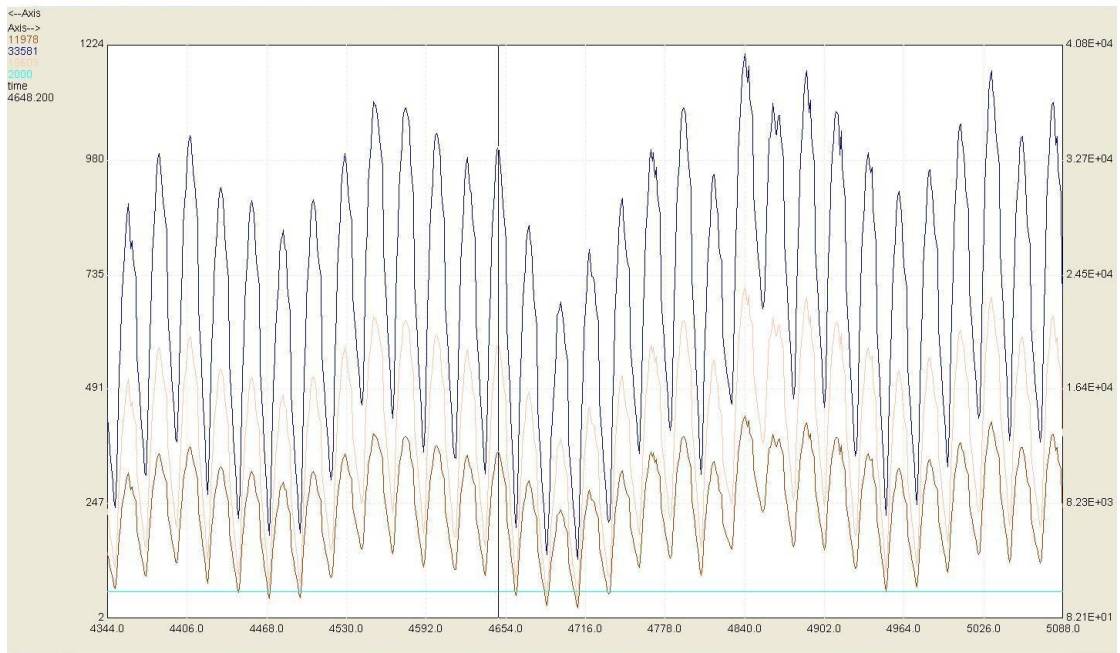
Ψυκτική Ισχύς Μηχανής



Ισχύς Νερού Ψύξης

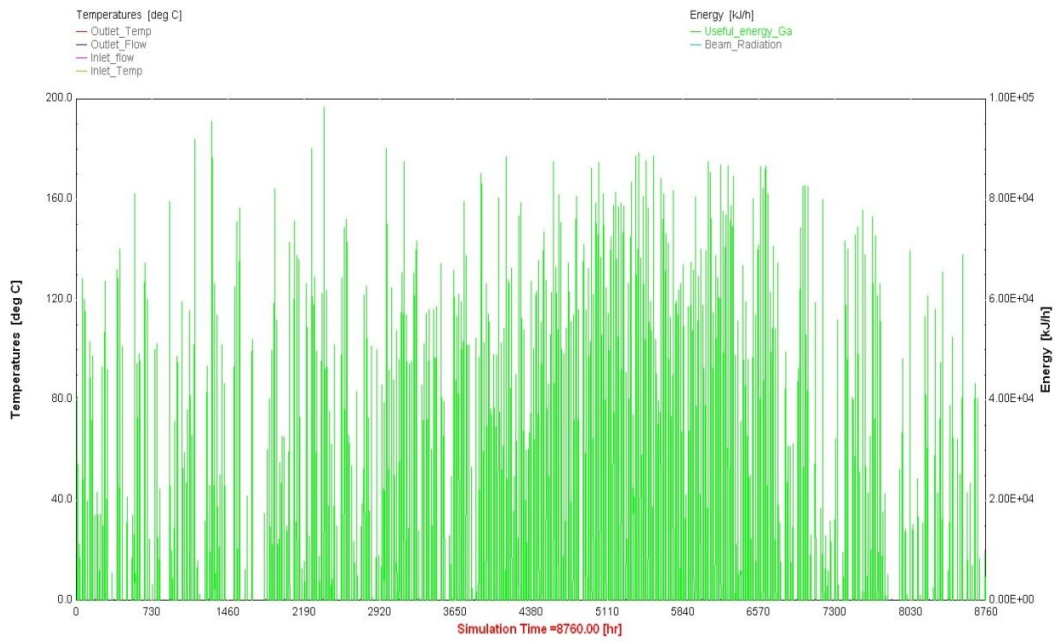


Προσδιδόμενη Ισχύς στην Μηχανή

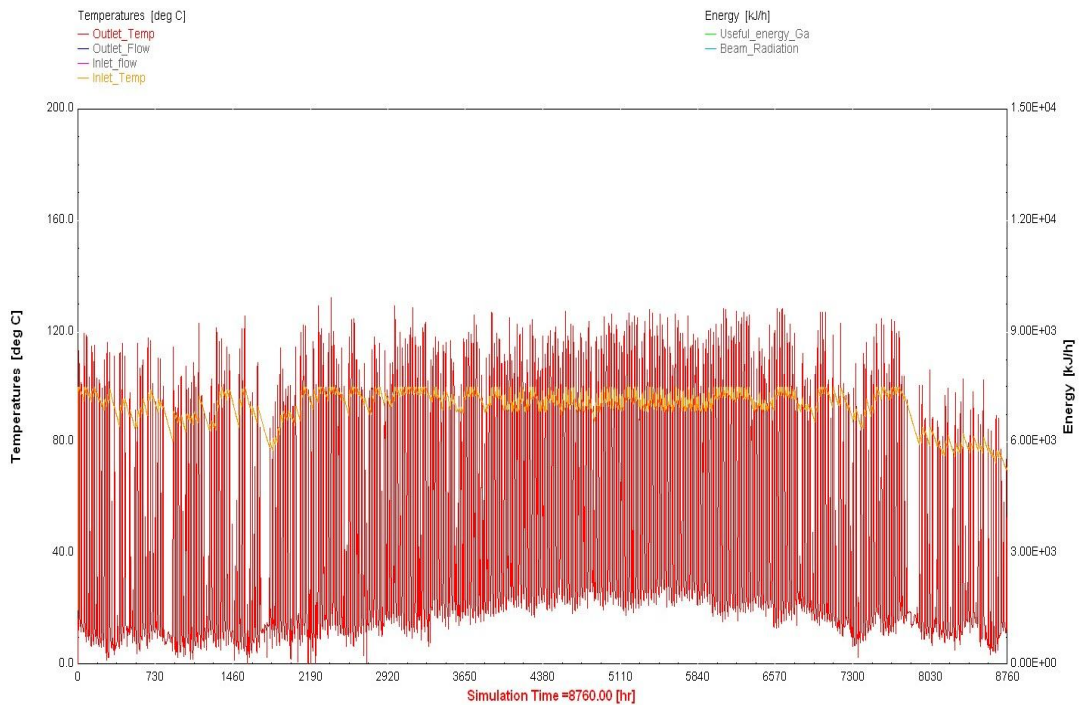


Ενεργειακός Ισολογισμός στον Ψύκτη κατά τον Μήνα Ιούλιο

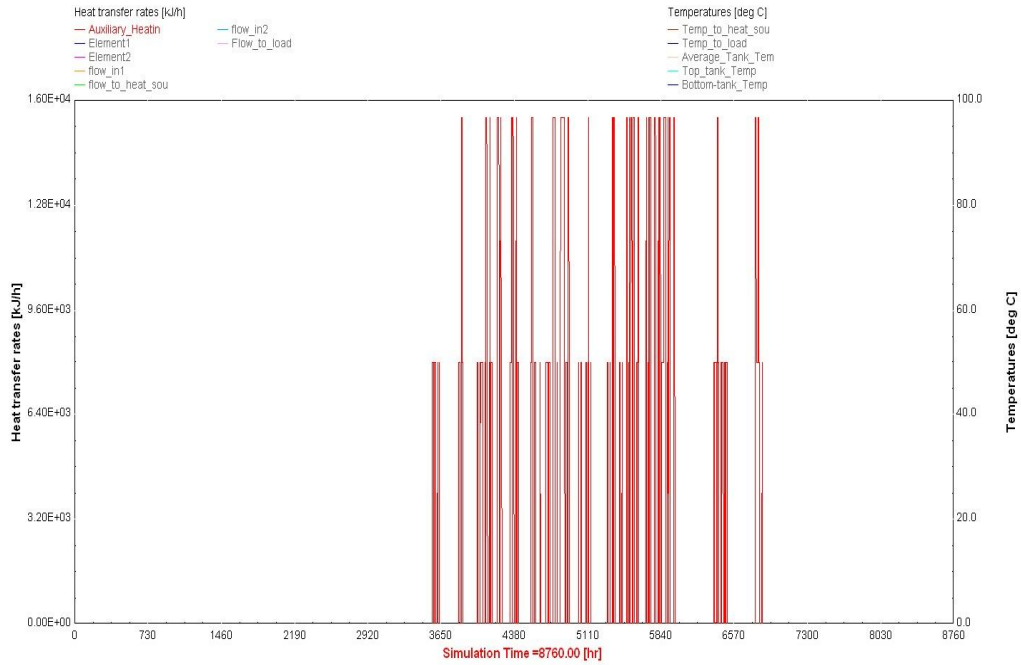
Διαγράμματα για συλλεκτική επιφάνεια 75m² και δεξαμενή αποθήκευσης 9m³



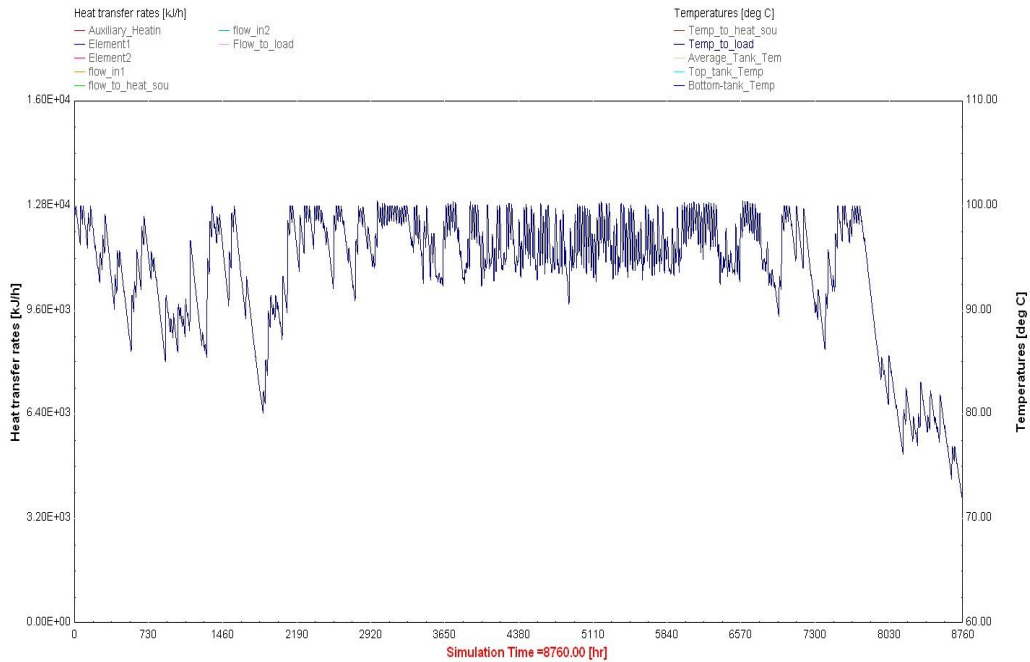
Απορροφόμενη Ηλιακή Ισχύς απο τους Συλλέκτες



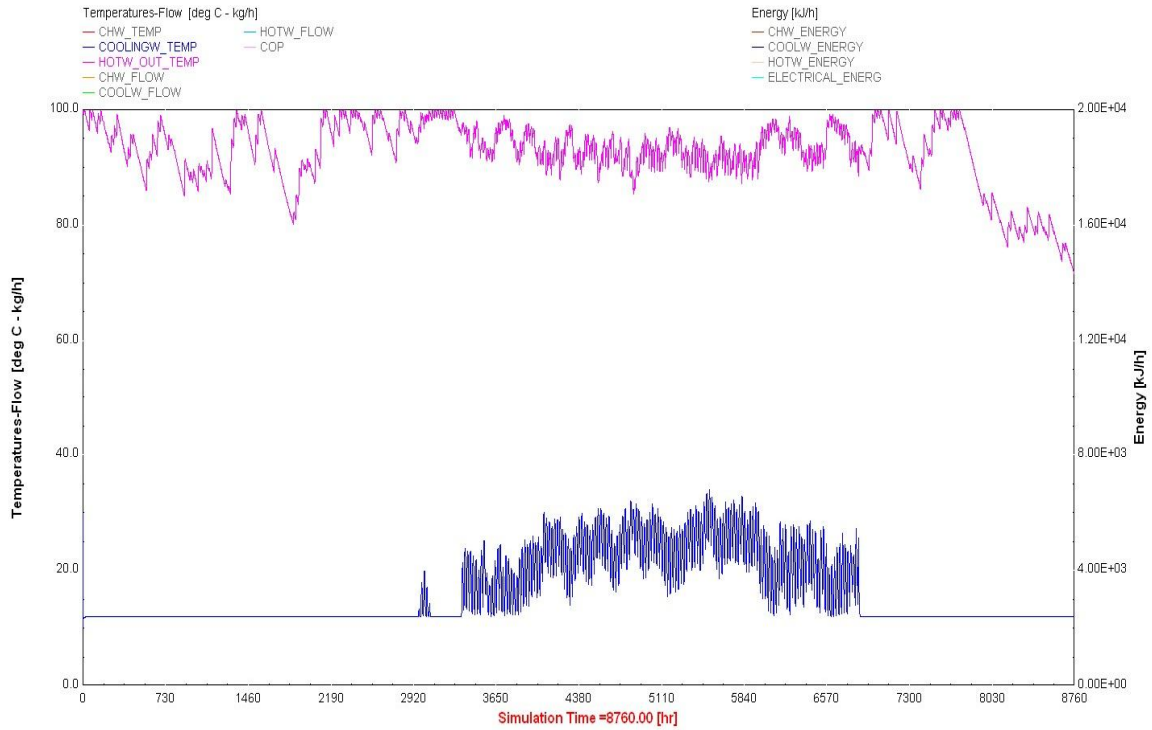
Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στους συλλέκτες



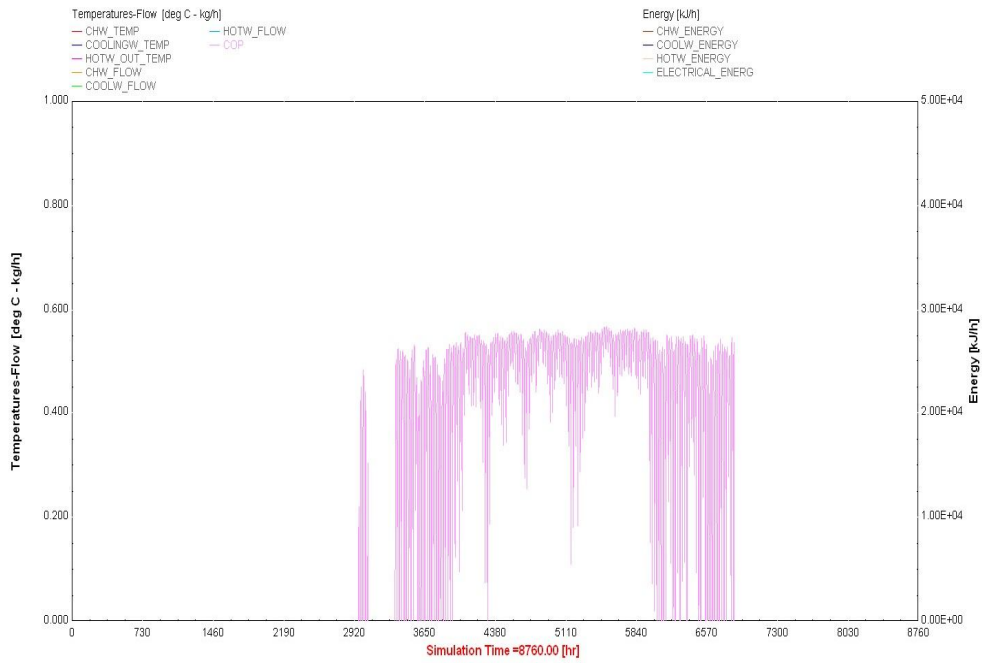
Προσφερόμενη Ισχύς από τους Ηλεκτρικούς Θερμαντήρες



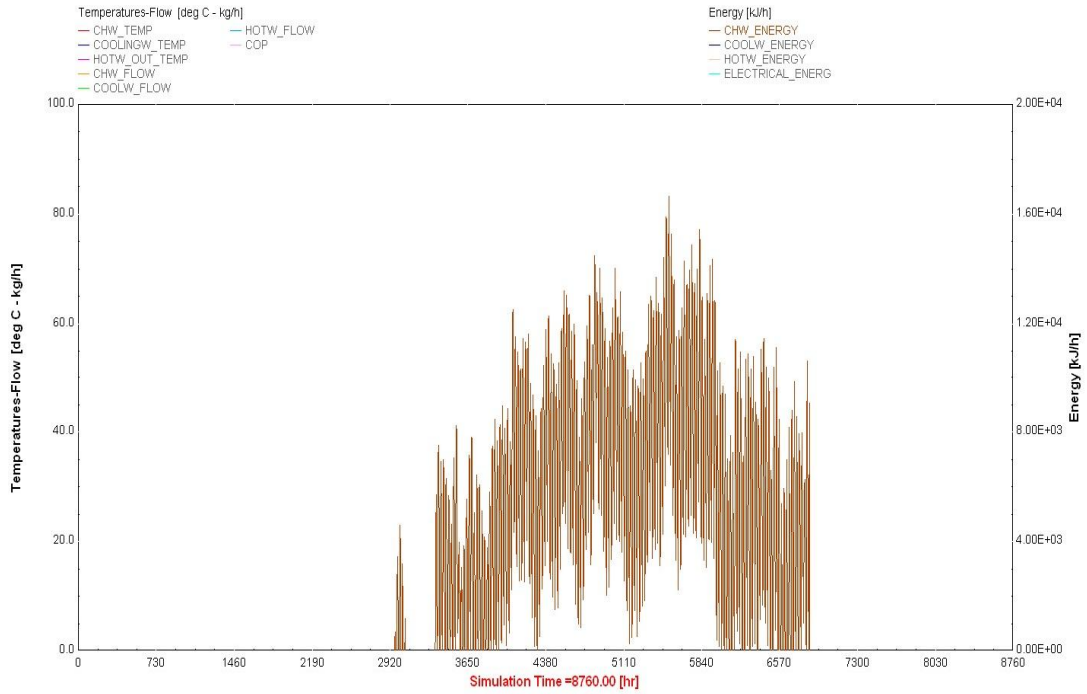
Θερμοκρασία Εισόδου Ζεστού Νερού στον Ψύκτη Απορρόφησης



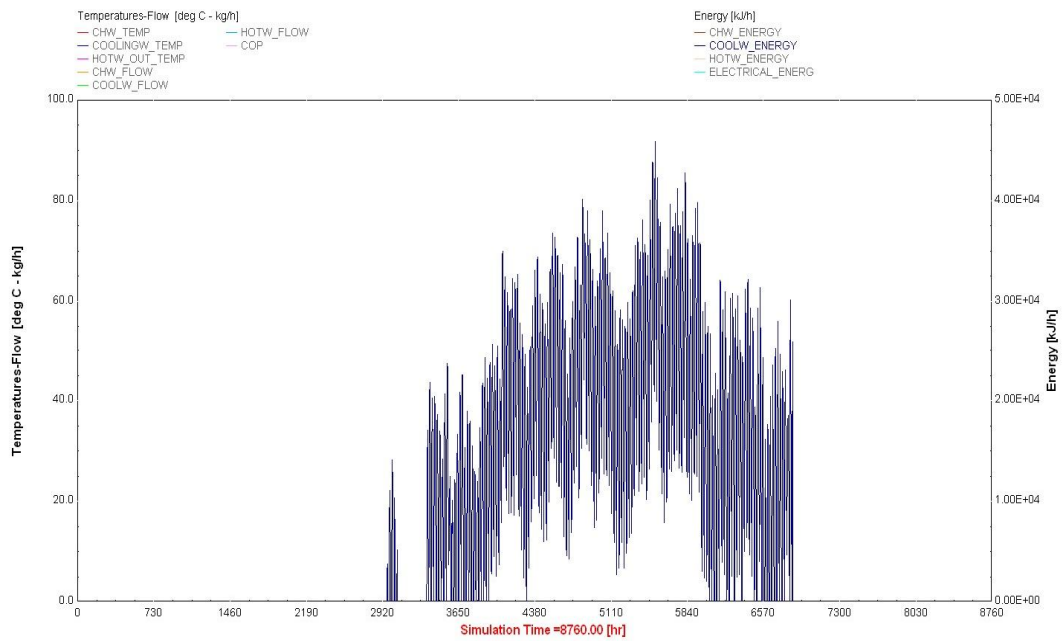
Θερμοκρασίες Εξόδου από τον Ψύκτη του Ζεστού Νερού και του Νερού Ψύξης



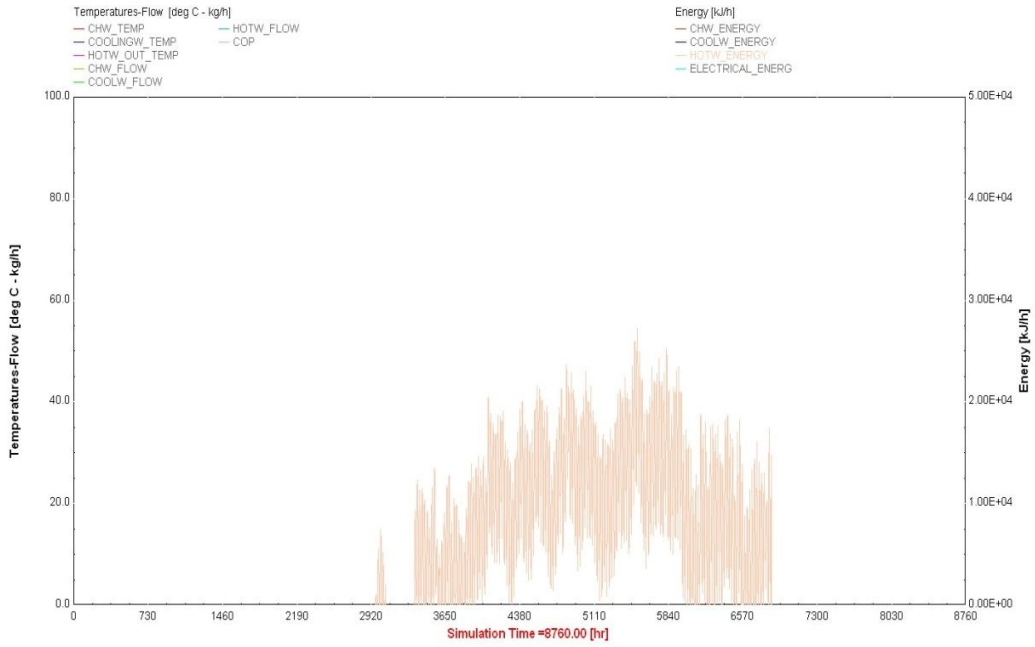
COP Ψυκτικής Μηχανής



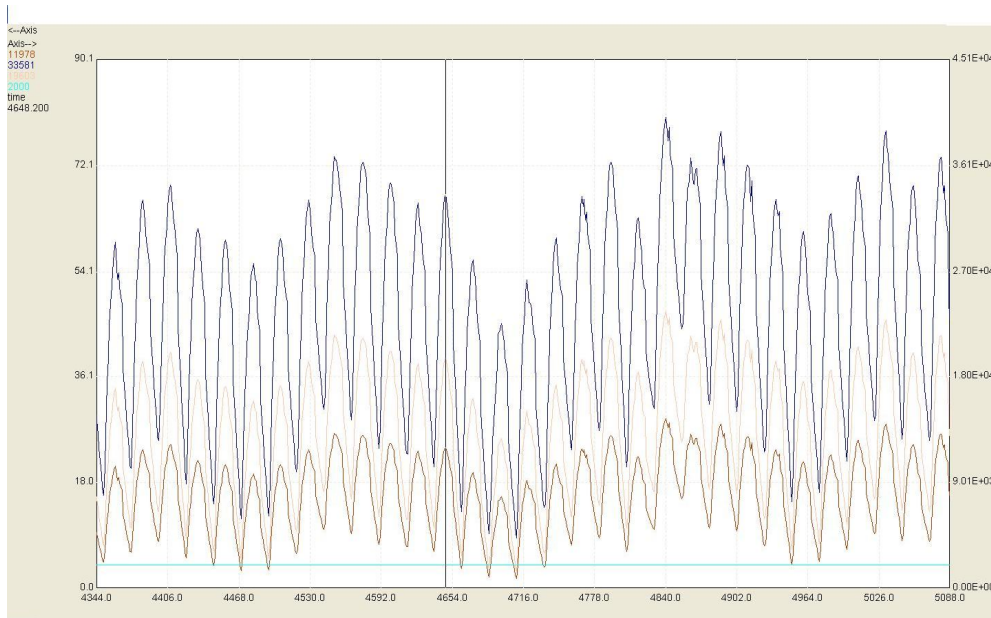
Ψυκτική Ισχύς Μηχανής



Ισχύς Νερού Ψύξης

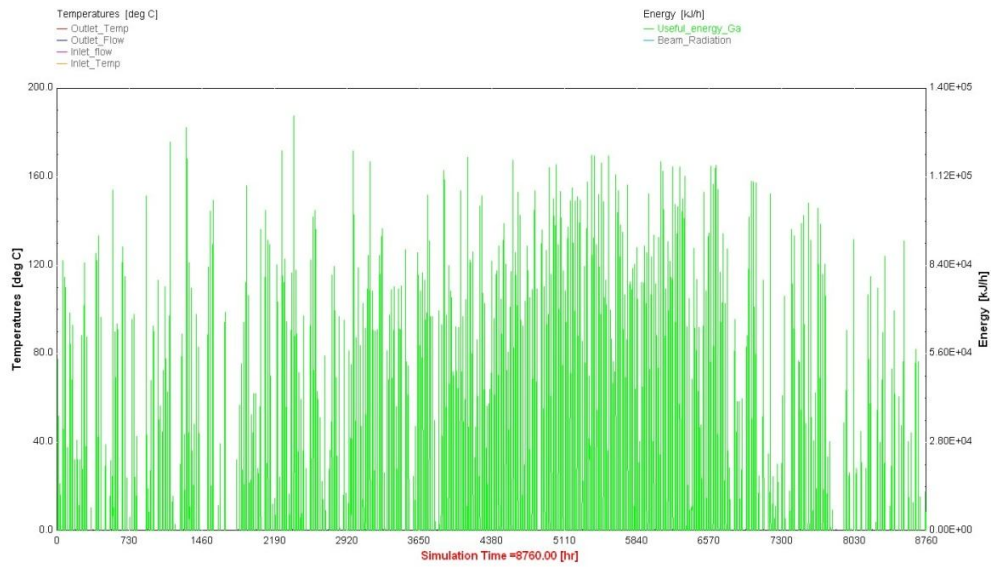


Προσδιδόμενη Ισχύς στην Μηχανή

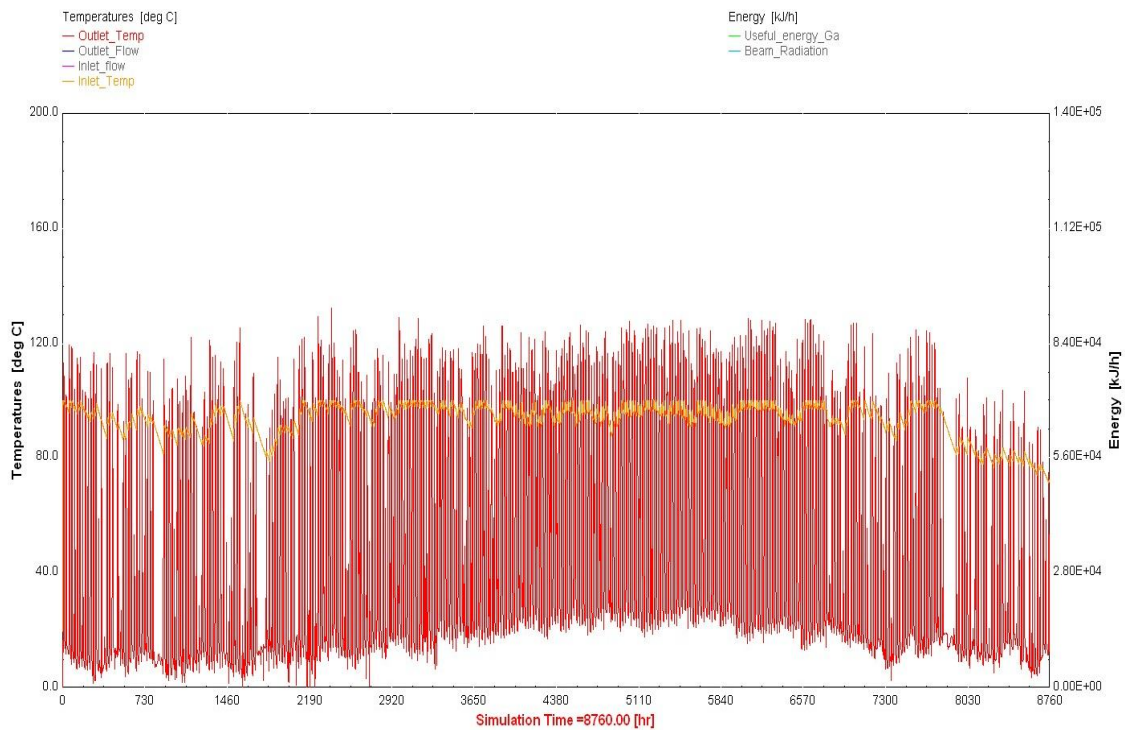


Ενεργειακός Ισολογισμός στον Ψύκτη κατά τον Μήνα Ιούλιο

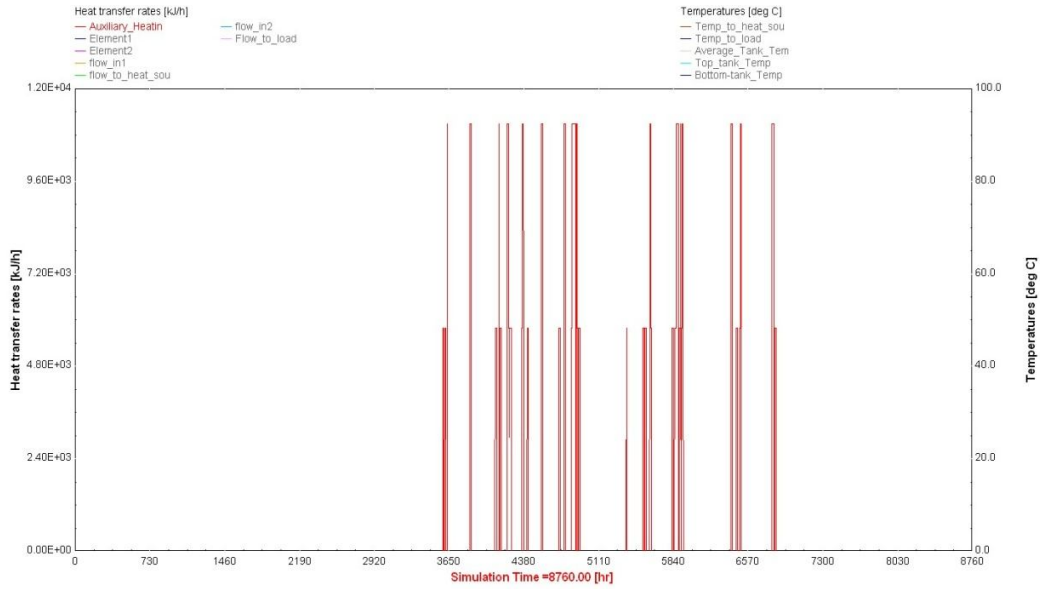
Διαγράμματα για συλλεκτική επιφάνεια 100m² και δεξαμενή αποθήκευσης 18m³



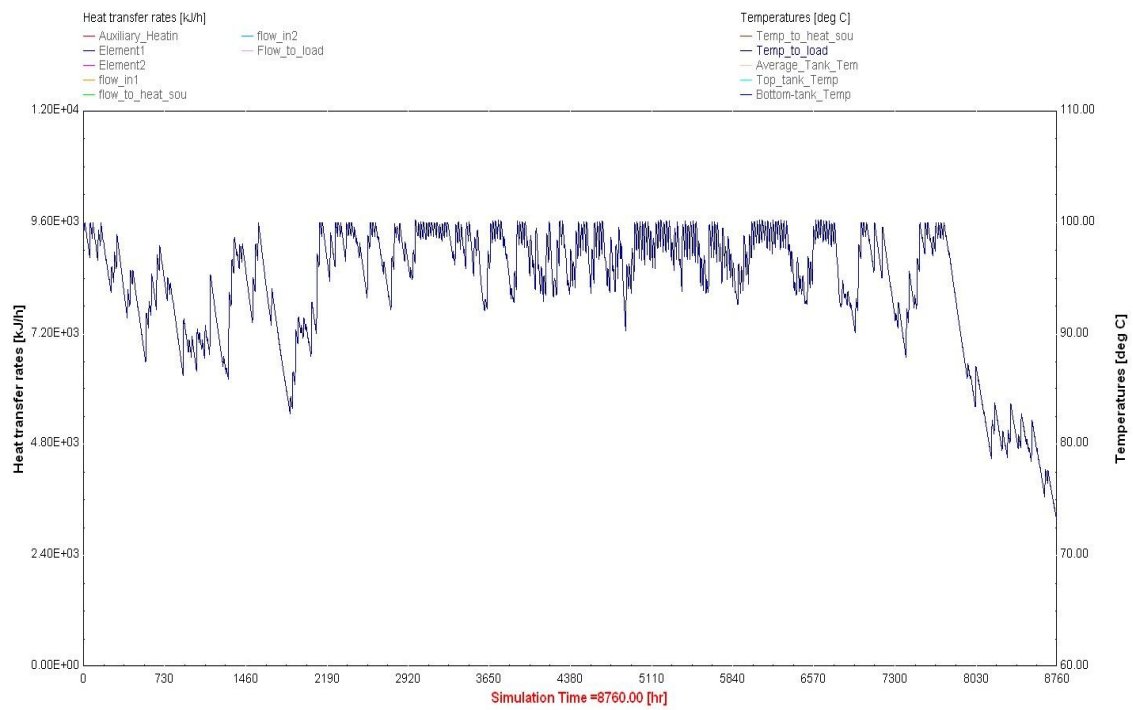
Απορροφόμενη Ηλιακή Ισχύς απο τους Συλλέκτες



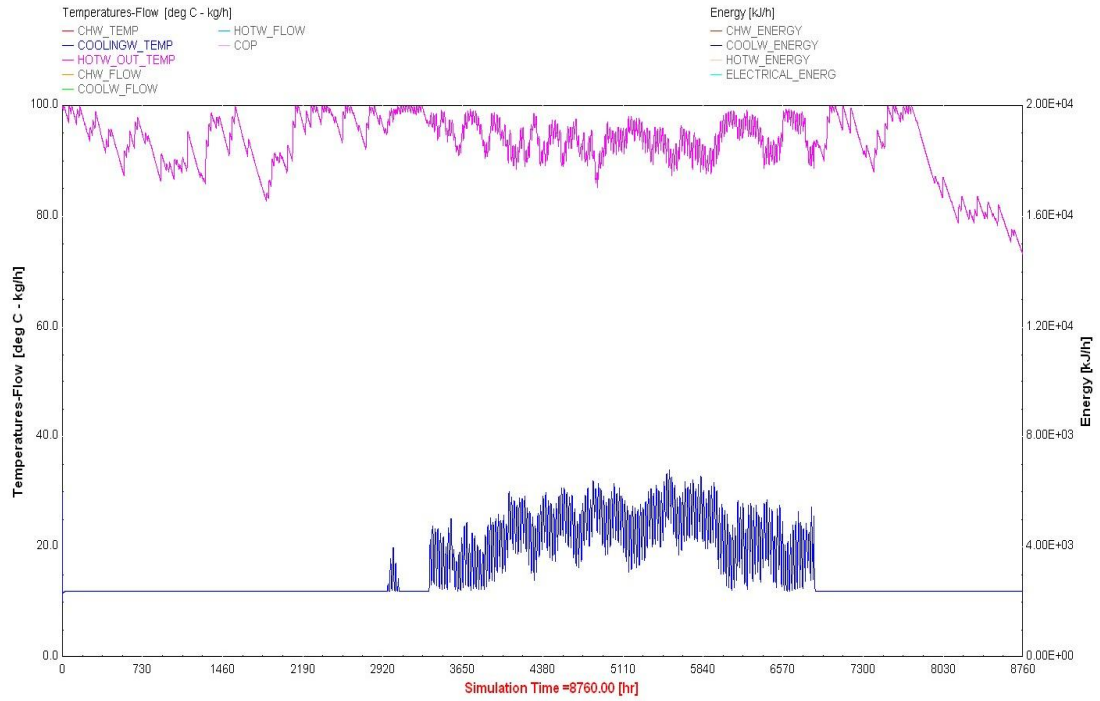
Θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού στους συλλέκτες



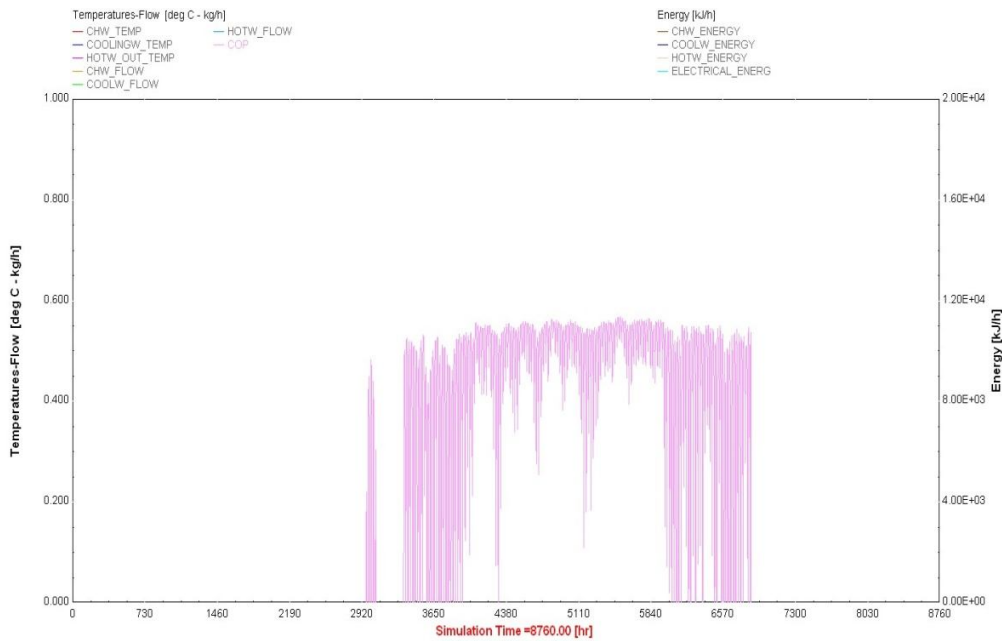
Προσφερόμενη Ισχύς από τους Ηλεκτρικούς Θερμαντήρες



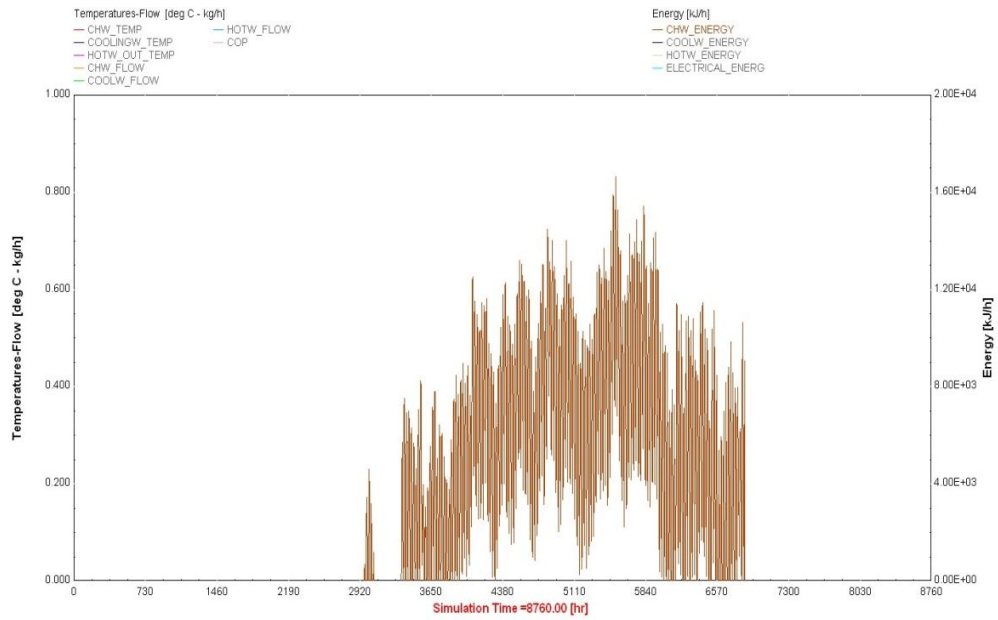
Θερμοκρασία Εισόδου Ζεστού Νερού στον Ψύκτη Απορρόφησης



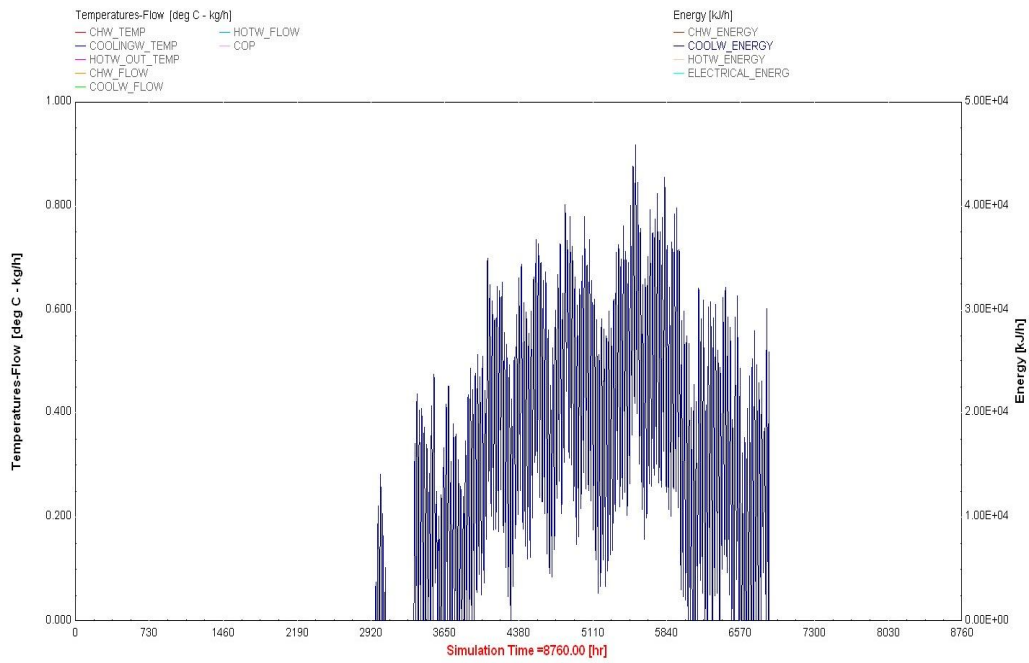
Θερμοκρασίες Εξόδου από τον Ψύκτη του Ζεστού Νερού και του Νερού Ψύξης



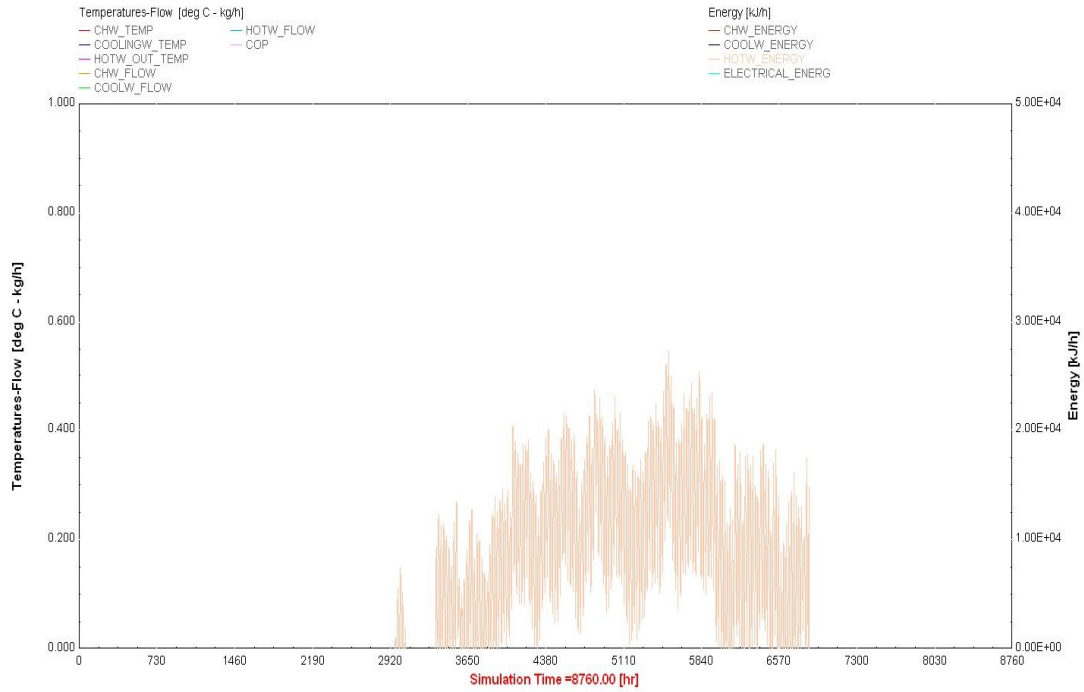
COP Ψυκτικής Μηχανής



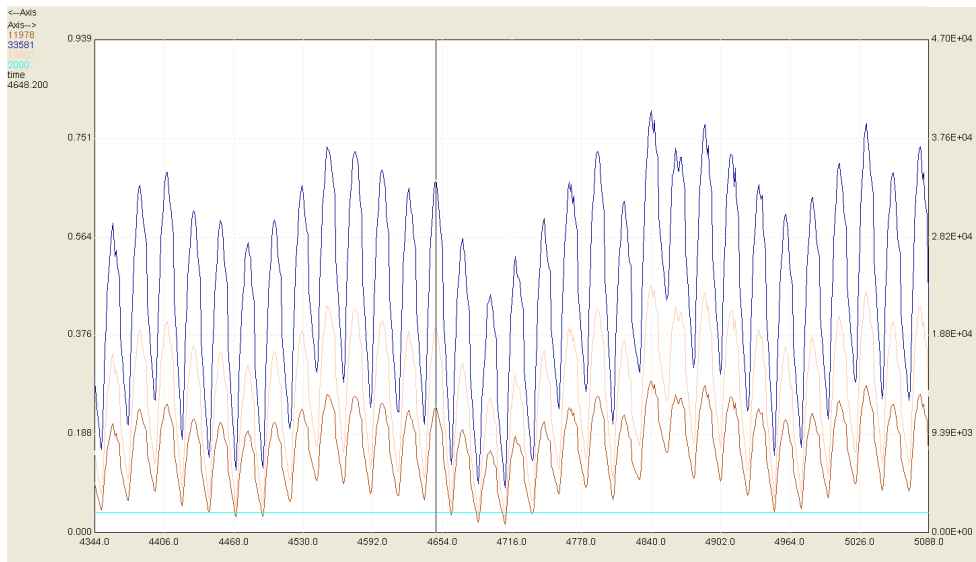
Ψυκτική Ισχύς Μηχανής



Ισχύς Νερού Ψύξης



Προσδιόμενη Ισχύς στην Μηχανή



Ενεργειακός Ισολογισμός στον Ψύκτη κατά τον Μήνα Ιούλιο