



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Θερμότητας

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΗΛΙΑΚΑ
ΥΠΟΒΟΗΘΟΥΜΕΝΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΜΕ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ TRNSYS**

ΤΟΥ

Ασημάκη Γ. Δελή

Επιβλέπων

Χ.Τζιβανίδης, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2014

*Στους γονείς μου Γιώργο και Γεωργία
και
στον αδερφό μου Βασίλη*

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος.....	5
Περίληψη	6
Summary.....	7
1 Θερμική Άνεση.....	8
1.1 Ιστορική Αναδρομή	8
1.2 Σύγχρονες επιδιώξεις.....	8
1.3 Άνθρωπος και περιβάλλον.....	9
2 Θέρμανση-Κλιματισμός	13
2.1 Βασικές Έννοιες Θέρμανσης-Κλιματισμού	13
2.2 Συστήματα Θέρμανσης-Κλιματισμού	14
3 Η Αντλία Θερμότητας	20
3.1 Αρχή λειτουργίας.....	20
3.2 Τεχνολογία της Αντλίας Θερμότητας.....	23
3.3 Θερμοδυναμικός Κύκλος της Αντλίας Θερμότητας.....	26
3.4 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες της Αντλίας Θερμότητας	28
3.5 Διάκριση Αντλιών Θερμότητας.....	33
3.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αντλίας Θερμότητας.....	35
3.7 Ηλιακά Υποβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας	36
4 Ηλιακή Ενέργεια	37
4.1 Ο Ήλιος	37
4.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών	40
4.3 Συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Νερού	44
5 Πρόγραμμα Προσομοίωσης TRNSYS 16	46
5.1 Εισαγωγή στο TRNSYS	46
5.2 Στούντιο Προσομοίωσης (Simulation Studio)	47
5.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτηρίου (TRNBuild).....	57
5.4 Εφαρμογές TRNSED και TRNEdit.....	65
6 Αριθμητική Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας στο TRNSYS.....	66
6.1 Εισαγωγή	66
6.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio.....	66

6.3 Παρουσίαση των Στοιχείων της Προσομοίωσης και της Συνδεσμολογίας τους στο Simulation Studio	83
6.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης	111
6.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	116
7 Αριθμητική Προσομοίωση Εγκατάστασης Θέρμανσης Ηλιακών Συλλεκτών με Fan Coil και Ηλεκτρικές Αντιστάσεις στο TRNSYS.....	128
7.1 Εισαγωγή	128
7.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio.....	128
7.3 Παρουσίαση των Στοιχείων της Προσομοίωσης και της Συνδεσμολογίας τους στο Simulation Studio	129
7.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης	136
7.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	140
8 Αριθμητική Προσομοίωση Εγκατάστασης Θέρμανσης με Αντλία Θερμότητας Αέρα-Αέρα στο TRNSYS	152
8.1 Εισαγωγή	152
8.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio.....	152
8.3 Παρουσίαση των Στοιχείων της Προσομοίωσης και της Συνδεσμολογίας τους στο Simulation Studio	153
8.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης	158
8.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	161
9 Σύγκριση των 3 Εγκαταστάσεων	172
9.1 Οικονομική Αξιολόγηση των Εγκαταστάσεων	172
9.2 Θερμοδυναμική Αξιολόγηση των Εγκαταστάσεων	174
9.3 Συμπεράσματα.....	175
Βιβλιογραφία	177

Πρόλογος

Όπως όλοι γνωρίζουμε και πληροφορούμαστε καθημερινά από τα Μ.Μ.Ε και όχι μόνο, η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση της συνεχώς αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο θεωρείται επιτακτική αλλά και νομοθετικά πλέον υποχρεωτική. Από έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτό το γνωστικό αντικείμενο γνωρίζουμε ότι στα κτίρια και τις κατοικίες καταναλώνεται περισσότερο από 40 % της συνολικής ενέργειας που διατίθεται στη σύγχρονη πλέον κτιριακή δομή της κοινωνίας. Αυτό σημαίνει δηλαδή ότι εάν επιτευχθεί μία σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια θα έχουμε πραγματοποιήσει ένα σημαντικό άλμα προόδου. Στα πλαίσια αυτού του προβλήματος εντάσσεται φυσικά και το ζήτημα θέρμανσης-κλιματισμού των κτιρίων. Θα πρέπει δηλαδή να γίνει είτε μια προσπάθεια περιορισμού της χρήσης ορυκτών καυσίμων για τη θέρμανση, είτε επειδή τεχνολογικά είναι ακόμα δύσκολο να παύσουμε τη χρήση τους στον τομέα αυτό, να γίνει μια προσπάθεια εύρεσης νέων μεθόδων οι οποίες να εξοικονομούν ενέργεια.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω επέλεξα και την παρούσα διπλωματική εργασία. Η εργασία αυτή πραγματεύεται τη χρήση μίας αντλίας θερμότητας, η οποία καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια αλλά σε συνδυασμό με την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας προσφέρει μία αξιοσημείωτη εξοικονόμηση ενέργειας στο σύστημα θέρμανσης ενός τυπικού κτιρίου. Στη συνέχεια, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα μελετήθηκαν ακόμα δύο συστήματα θέρμανσης, ένα επίσης με τη χρήση της ηλιακής ενέργειας και ένα συμβατικό με τη χρήση αντλίας θερμότητας αέρα-αέρα.

Καθοριστική ήταν η συμβολή του επιβλέποντα καθηγητή κ. Χ. Τζιβανίδη, Επίκουρου Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω θερμά για το ενδιαφέρον, την άψογη συνεργασία και την επιστημονική καθοδήγηση που μου προσέφερε.

Θερμές ευχαριστίες οφείλονται στον διδακτορικό ερευνητή κ. Ε. Μπέλλο για τη διαρκή βοήθεια, την καθοδήγηση καθώς και τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε συμβουλευόντάς με για οποιαδήποτε απορία είχα στο κομμάτι της προσομοίωσης των εγκαταστάσεων.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία μελετά τη θέρμανση ενός τυπικού κτιρίου 100 m² τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο στην Αθήνα, με μία ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας. Στη συνέχεια, προκειμένου να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα, για το ίδιο κτίριο μελετήσαμε τη θέρμανσή του με ένα σύστημα από fan coils και ηλιακούς συλλέκτες και τέλος με ένα σύστημα με μία αντλία θερμότητας αέρα-αέρα. Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται με σαφήνεια οι απαραίτητες συνθήκες που προσδιορίζουν τη θερμική άνεση σε ένα χώρο. Στη συνέχεια, στο 2^ο κεφάλαιο περιγράφονται βασικά μεγέθη της θέρμανσης και του κλιματισμού, καθώς επίσης παρουσιάζονται και τα βασικά συστήματα κλιματισμού. Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο τρόπος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας, καθώς επίσης και τα διάφορα είδη αντλιών θερμότητας που υπάρχουν. Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην ηλιακή ενέργεια και τους τρόπους με τους οποίους μπορούμε να την χρησιμοποιήσουμε για τη θέρμανση νερού. Έπειτα, στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας και η δομή του λογισμικού TRNSYS που χρησιμοποιήθηκε για να προσομοιώσουμε τις 3 εγκαταστάσεις μας. Στο 6^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται για την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας το πρόγραμμα που δημιουργήσαμε στο TRNSYS, η διαστασιολόγηση και βελτιστοποίηση της εγκατάστασης καθώς επίσης και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στο 7^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται για το σύστημα με τα fan coils και τους ηλιακούς συλλέκτες επίσης το πρόγραμμα που δημιουργήσαμε στο TRNSYS, η διαστασιολόγηση και βελτιστοποίηση της εγκατάστασης καθώς επίσης και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Στο 8^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται για την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα επίσης το πρόγραμμα που δημιουργήσαμε στο TRNSYS, η διαστασιολόγηση και βελτιστοποίηση της εγκατάστασης καθώς επίσης και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Τέλος, στο 9^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σύγκριση των 3 αυτών συστημάτων θέρμανσης από ενεργειακή αλλά και από οικονομική σκοπιά και επισημαίνονται χρήσιμα συμπεράσματα.

Summary

This diploma thesis examines the heating system of a typical building 100 m² during the months November-April in Athens with a solar assisted heat pump. In addition, in order to exact important conclusions for the same building we studied a heating system which was consisted of fan coils and solar collectors and also a system with an air to air heat pump. At the 1st chapter the necessary conditions are presented that define the thermal comfort in a room. Moreover, at the 2nd chapter basic parameters are presented for heating and air conditioning systems and we also highlight which systems of air conditioning exist nowadays. At the 3rd chapter we explain analytically how a heat pump functions and we also present the different types of heat pumps. At the 4th chapter solar energy is presented and with which ways we are able to take advantage of it. At the 5th chapter we show how TRNSYS program works and its basic parts. At the 6th chapter we present the program that we created in TRNSYS for the solar assisted heat pump, the optimization we made for the system and also the results of the simulation. At the 7th chapter we show the program that we created in TRNSYS for the system with the fan coils and the solar collectors, the optimization we made for the system and also the results of the simulation. At the 8th chapter we present the program that we created in TRNSYS for the air to air heat pump, the optimization we made for the system and also the results of the simulation. Finally, at the 9th chapter we present the comparisons we made for the 3 heating systems not only from an energy consumption view but also from an economical one and we highlight useful conclusions.

1 Θερμική Άνεση

1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η προσπάθεια του ανθρώπου να προστατευτεί από ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές είναι αποτέλεσμα της βιολογικής του ανάγκης για επιβίωση. Για τον λόγο αυτό, από τα πανάρχαια κιόλας χρόνια προσπαθούσε να εξασφαλίσει μια ανεκτή και ευχάριστη κατάσταση περιβάλλοντος, στους χώρους παραμονής, διαμονής και απασχολήσεώς του. Η σπηλιά του πρωτόγονου ανθρώπου, ήταν η πρώτη κατοικία που τον προστάτευε από την παγωνιά του χειμώνα και τον θερινό καύσωνα το καλοκαίρι. Στην συνέχεια μία από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις που πραγματοποίησε ,αυτή της φωτιάς, τον βοήθησε να προστατευθεί από τα καιρικά φαινόμενα αφού μπορούσε να ρυθμίσει άμεσα την θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντός του. Η φωτιά, η κατοικία, η θέρμανση και αργότερα οι ευφυείς μέθοδοι δροσισμού που επινόησε βοήθησαν τον άνθρωπο να εξελιχθεί και να δημιουργήσει τον πολιτισμό.

1.2 Σύγχρονες επιδιώξεις

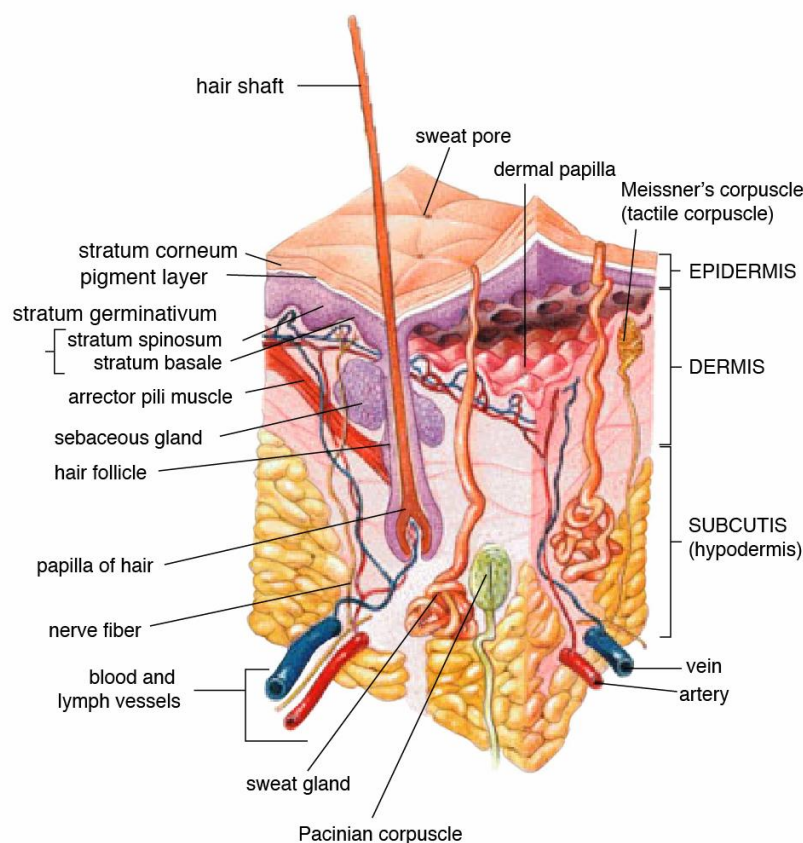
Στη σύγχρονη εποχή που ζούμε με τα διάφορα συστήματα κεντρικής θέρμανσης και κλιματισμού των κτηρίων, επιδιώκεται όχι μόνο να επιτευχθούν αλλά και να διατηρηθούν συνθήκες που να εξασφαλίζουν άνετη και υγιεινή διαβίωση στους κλειστούς χώρους και σε προσιτό φυσικά κόστος. Η τεχνολογία και οι οικονομικές δυνατότητες του ανθρώπου σήμερα έχουν δημιουργήσει ένα πλήθος απαιτήσεων, οι οποίες θα πρέπει να πληρούνται από κάθε είδους τέτοιο σύστημα. Για παράδειγμα, η αναγκαία συνθήκη για πλήρη κλιματική άνεση περιλαμβάνει τη θερμοκρασία και υγρασία του χώρου, την καθαρότητα, τον τρόπο και την ταχύτητα κινήσεως του αέρα, την ένταση των θορύβων, την λειτουργικότητα αλλά και την αισθητική των χώρων. Για να επιτευχθεί αυτή η θερμική άνεση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη με ποιούς τρόπους αλληλεπιδρά ο άνθρωπος θερμικά με το περιβάλλον του.

1.3 Άνθρωπος και περιβάλλον

Στον ανθρώπινο οργανισμό πραγματοποιείται συνεχώς μια σειρά από φυσικές και χημικές διεργασίες. Ακρογωνιαίος λίθος όλων αυτών των διεργασιών είναι η διαδικασία της καύσης, η μετατροπή δηλαδή της προσληφθείσας τροφής σε ενέργεια για το ανθρώπινο σώμα. Η παραγόμενη αυτή ενέργεια χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη του σώματος, την παραγωγή μηχανικού έργου (κίνηση και λειτουργία οργάνων) αλλά και τη διατήρηση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος στους 37 °C περίπου, σ' ένα περιβάλλον που η θερμοκρασία του μεταβάλλεται διαρκώς.

Ο μεταβολισμός και η δραστηριότητα του ανθρώπινου σώματος οδηγούν κατά κύριο λόγο σε έκλυση θερμότητας, η οποία πρέπει να αποβληθεί προς το περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται μέσω του δέρματος και των εκκρίσεων (αναπνοή, εφίδρωση κλπ) του ανθρώπινου σώματος. Η θερμότητα που παράγεται από κάποιον ενήλικα σε κατάσταση ακινησίας/ανάπαυσης είναι 100 W περίπου. Θεωρώντας ότι ένας μέσος ενήλικας έχει επιφάνεια δέρματος 1,8 m² έχουμε μια παραγωγή θερμότητας 58 W/m² (ή αλλιώς 1 met) σε ακινησία/ ανάπαυση.

Το κέντρο ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος είναι ο υποθάλαμος, ο οποίος βρίσκεται στον εγκέφαλο. Έχει αισθητήρες θερμοκρασίας και βρίσκεται εμβαπτισμένος σε αρτηριακό αίμα και λόγω της συνεχούς κυκλοφορίας του μπορεί να αποδώσει με ικανοποιητική ακρίβεια μια μέση εσωτερική θερμοκρασία του σώματος. Όταν η θερμοκρασία δεν είναι μέσα στα φυσιολογικά όρια, τότε ξεκινούν κάποιες συγκεκριμένες διαδικασίες για τη ρύθμισή της. Η πιο βασική διαδικασία που λαμβάνει χώρα είναι η ρύθμιση της παροχής αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία. Έτσι, όταν η εσωτερική θερμοκρασία υπερβεί το φυσιολογικό όριο αυξάνεται η παροχή του αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία και ταυτόχρονα έχουμε διαστολή των αγγείων. Η παροχή αίματος μπορεί να αυξηθεί μέχρι και 15 φορές σε ακραίες περιπτώσεις σε σχέση με τη φυσιολογική κατάσταση. Με αυτό τον τρόπο, το εσωτερικό θερμικό φορτίο μεταφέρεται στο δέρμα και από το δέρμα στο περιβάλλον. Αντίθετα, όταν η εσωτερική θερμοκρασία βρεθεί κάτω από το φυσιολογικό όριο έχουμε μείωση της παροχής αίματος προς τα επιδερμικά αγγεία και ταυτόχρονα έχουμε τη συστολή τους, έτσι ώστε να επιτευχθεί εξοικονόμηση της εσωτερικής θερμότητας. Σύμφωνα με μελέτες αυτή η συστολή των αγγείων μπορεί να συγκριθεί με τη μονωτική δράση ενός μάλλινου πουλόβερ. Τέλος, αν η εσωτερική θερμοκρασία συνεχίσει να μειώνεται τότε πραγματοποιείται παραγωγή επιπλέον θερμότητας με σύσπαση των μυών.



Σχήμα 1.1: Τομή ανθρώπινου δέρματος

Όταν η εσωτερική θερμοκρασία φτάσει σε υψηλά επίπεδα τότε πραγματοποιείται η λεγόμενη εφίδρωση. Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένη στους ανθρώπους σε αντίθεση με τα ζώα και είναι ένα πολύ χρήσιμο ‘εργαλείο’ για τη θερμική άνεση του ανθρώπου. Μέσω ειδικών αδένων μεταφέρεται ο ιδρώτας στην επιφάνεια του δέρματος. Με τη διαδικασία της εφίδρωσης επιτυγχάνεται η ψύξη της επιφάνειας του δέρματος σε περιπτώσεις υψηλού μεταβολικού ρυθμού. Αυτό πραγματοποιείται λόγω της εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος. Αυξάνεται δηλαδή η μεταφορά θερμότητας από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον. Απαραίτητη προϋπόθεση για να συμβεί αυτό είναι ο αέρας του χώρου να μην έχει υψηλό ποσοστό σχετικής υγρασίας ώστε να μπορεί να παραλάβει τον ιδρώτα του δέρματος. Το κλάσμα της επιδερμικής επιφάνειας που είναι καλυμμένο με νερό προς το συνολικό ονομάζεται υγρασία δέρματος και παίζει σημαντικό ρόλο στη θερμική άνεση. Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι η αίσθηση της άνεσης ελαττώνεται σημαντικά φτάνοντας τα επίπεδα της ‘ενόχλησης’ όταν το ποσοστό εφίδρωσης αυξηθεί πέραν του 25% της επιφάνειας του σώματος (υγρασία δέρματος) για περιπτώσεις ανάπαυσης ή καθιστικής εργασίας.

Ακόμη, ο ιδρώτας περιέχει αλάτι σε περιεκτικότητα μικρότερη από αυτή του πλάσματος ή άλλων σωματικών υγρών. Η περιεκτικότητα αυτή σταδιακά μικραίνει ακόμα περισσότερο ύστερα από συνεχόμενες επιδρώσεις επειδή ο οργανισμός θέλει να εξοικονομήσει μια σημαντική ποσότητα αλατιού. Κατά τη διάρκεια της εξάτμισης του ιδρώτα από το δέρμα ενώ το νερό αλλάζει φάση, το διαλυμένο αλάτι παραμένει στο δέρμα δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα. Η αυξημένη περιεκτικότητα του άλατος στο νερό οδηγεί σε ελάττωση της μερικής του πίεσης, εμποδίζοντας έτσι την εξάτμισή του. Το αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζεται υψηλότερη από το κανονικό υγρασία του δέρματος μετά από συνεχείς επιδρώσεις για όμοιες περιβαλλοντικές συνθήκες. Σε αυτή τη περίπτωση για να επιτευχθεί μεγαλύτερο ποσοστό εξάτμισης του ιδρώτα θα πρέπει η σχετική υγρασία του αέρα να μειωθεί και η ταχύτητα του αέρα να αυξηθεί.

Εξ αιτίας της θερμοκρασιακής διαφοράς σώματος και περιβάλλοντος, το ανθρώπινο σώμα αποτελεί έναν θερμοπομπό, ο οποίος εκπέμπει στο άμεσο περιβάλλον του αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα. Το ανθρώπινο σώμα αποδίδει θερμότητα με εξάτμιση υγρασίας από την επιφάνεια του δέρματος, χωρίς αυτό να γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο. Εξατμίζει σε χαμηλές θερμοκρασίες (10-20°C) περίπου 40 g H₂O/h, που αυξάνεται πολύ στις υψηλότερες θερμοκρασίες. Επίσης, τα ρούχα λειτουργούν σαν θερμικές αντιστάσεις και γι' αυτό γίνονται τόσο περισσότερα, όσο μεγαλώνει η θερμοκρασιακή διαφορά με το περιβάλλον.

Η αισθητή θερμότητα, η οποία αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα, απάγεται με αγωγή, μεταφορά και ακτινοβολία και συντελεί στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα των χώρων. Η εξάτμιση της υγρασίας των πνευμόνων και της επιδερμίδας, οδηγεί παράλληλα σε αύξηση της απόλυτης υγρασίας του περιβάλλοντος αέρα, δηλαδή σε αύξηση της θερμοκρασίας υγρού θερμομέτρου (Wet Bulb Temperature).

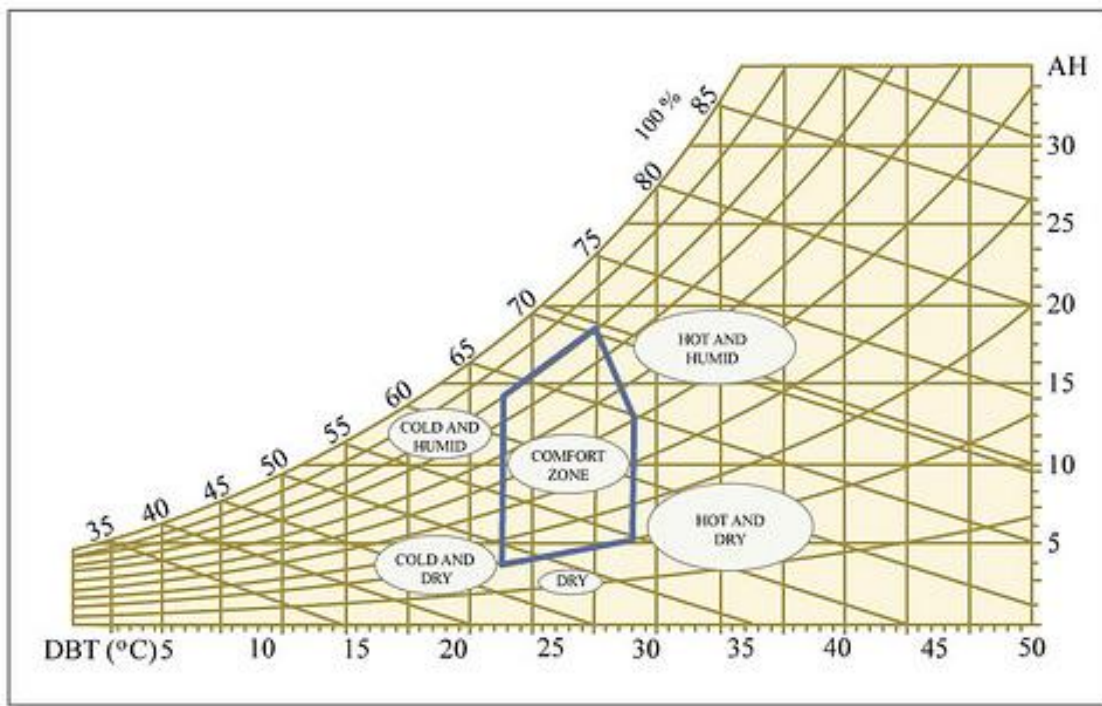
Σημαντικές έρευνες έχουν γίνει με στόχο να συσχετιστεί η βιολογική λειτουργία του ανθρώπινου σώματος με την δραστηριότητα του ανθρώπου και ειδικότερα την επαγγελματική του δραστηριότητα. Αφετηρία των σχετικών ερευνών είναι ότι με τον φυσικό μεταβολισμό παράγεται στο ανθρώπινο σώμα ποσό θερμικής ενέργειας. Η ενέργεια αυτή παράγεται κατά την οξυγόνωση των θρεπτικών συστατικών των τροφών στα κύτταρα και με το κυκλοφοριακό σύστημα μεταφέρεται και κατανέμεται σε όλο το σώμα. Ο ρυθμός αυτός παραγωγής θερμότητας λόγω μεταβολισμού **M** θα πρέπει να υπερκαλύπτει το έργο που παράγεται από το ανθρώπινο σώμα **W**. Η διαφορά **M-W** ή αποθηκεύεται στο ανθρώπινο σώμα (**S**) αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του ή μεταφέρεται προς το περιβάλλον από την επιφάνεια του δέρματος (**q_{sk}**) και την αναπνευστική οδό (**q_{res}**).

$$\mathbf{M} - \mathbf{W} = \mathbf{q}_{sk} + \mathbf{q}_{res} + \mathbf{S} \quad (1.1)$$

Η επιστήμη και η τεχνολογία με τη βοήθεια της στατιστικής, αναζητούν πλέον εξειδικευμένες συνθήκες ευχάριστου περιβάλλοντος, κατάλληλες για κάθε ανθρώπινη κατάσταση και δραστηριότητα. Ο προσεκτικός

αρχιτεκτονικός σχεδιασμός των κτηρίων, λαμβάνει υπ' όψη του τα περιβαλλοντικά δεδομένα, το σύστημα και την εγκατάσταση θερμάνσεως (ή κλιματισμού) και προνοεί για προσανατολισμούς, ανοίγματα και άλλες κατασκευές, που διασφαλίζουν την ποιότητα και κατά το δυνατόν την καθαρότητα του αέρα που είναι αναγκαίος για την αναπνοή, ενώ παράλληλα διευκολύνουν την εργασία του μηχανικού που θα θερμάνει ή θα κλιματίσει τον χώρο. Με τις εγκαταστάσεις θερμάνσεως και κλιματισμού, προσπαθούμε να προσεγγίσουμε τις συνθήκες της θερμικής άνεσης. Επομένως, ο κλιματισμός έχει να αντιμετωπίσει ένα 'εχθρικό' εξωτερικό περιβάλλον και μια σειρά απαιτήσεων στο εσωτερικό σχετικά με την κλιματική άνεση.

Σύμφωνα με σχετικά διαγράμματα της A.S.H.R.A.E, διαπιστώνουμε ότι αίσθηση άνεσης εξασφαλίζεται σε θερμοκρασία 25 °C και σχετική υγρασία 60 % ή σε θερμοκρασία 26,5 °C και σχετική υγρασία 30 %. Τέλος, έρευνες έδειξαν πως η σχετική υγρασία, για λόγους υγιεινής δεν πρέπει σε καμιά περίπτωση να είναι χαμηλότερη από 30 % και υψηλότερη από 70 % ενώ οι επιθυμητές τιμές κοινής αποδοχής κυμαίνονται 40-50%. Επειδή ο έλεγχος όμως της υγρασίας ενός χώρου παρουσιάζει αρκετές δυσκολίες, καθώς απαιτεί πλήρη κλιματισμό, στα περισσότερα συστήματα θερμάνσεως προκαθορίζεται μόνο η επιθυμητή θερμοκρασία των χώρων.



Σχήμα 1.2: Περιοχή Θερμικής Άνεσης στον Ψυχομετρικό Χάρτη

2 Θέρμανση-Κλιματισμός

2.1 Βασικές Έννοιες Θέρμανσης-Κλιματισμού

2.1.1 Θερμότητα

Η θερμότητα είναι μία μορφή ενέργειας, η οποία μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο. Η θερμότητα οφείλεται στην κινητική ενέργεια των σωματιδίων του σώματος καθώς και στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία των ηλεκτρονίων του. Σύμφωνα με τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο η θερμότητα μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης θερμοκρασίας μέχρις ότου τα δύο αυτά να έχουν την ίδια θερμοκρασία ή αλλιώς να έρθουν σε θερμική ισορροπία μεταξύ τους όπως λέμε. Ακόμη, σύμφωνα με τον ίδιο νόμο υπάρχει η δυνατότητα να παραχθεί μηχανικό έργο από την ενεργειακή αυτή ροή, να κατασκευάσουμε δηλαδή μία θερμική μηχανή. Μονάδα μέτρησης της θερμότητας στο διεθνές σύστημα μονάδων S.I είναι το Joule (J). Επίσης, σε κάποιες τεχνικές περιγραφές χρησιμοποιείται και το calorie (cal), το οποίο ορίζεται ως το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να ανεβάσουμε τη θερμοκρασία του νερού από τους 14,5 °C στους 15,5 °C. Η αντιστοιχία μεταξύ τους είναι $1\text{cal}=4.19\text{J}$ ή $1\text{J}=0,239\text{cal}$. Στις αγγλοσαξονικές χώρες ωστόσο χρησιμοποιείται το 1Btu (British thermal unit), το οποίο ορίζεται ως το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία 1 lb νερού ($1\text{lb}=0,453\text{kg}$) κατά 1 βαθμό της κλίμακας Fahrenheit (1βαθμός Fahrenheit = 5/9 του βαθμού Celsius). Για την αντιστοιχία των μονάδων ισχύει: $1\text{Btu}=1,05\text{kJ}$ ή $1\text{kJ}=0,95\text{Btu}$.

Η θερμότητα μεταδίδεται με 3 τρόπους:

1. Με αγωγή: Όταν δύο σώματα με διαφορετική θερμοκρασία έρχονται σε επαφή, τότε μεταφέρεται θερμότητα από το θερμότερο στο ψυχρότερο σώμα.
2. Με συναγωγή: Όταν ρευστό (π.χ αέρας) θερμαίνεται και είτε με φυσική είτε με τεχνητή κυκλοφορία ζεσταίνει τον χώρο (π.χ θερμαντικά σώματα).
3. Με ακτινοβολία: Είναι η μετάδοση θερμότητας με κύματα υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όλα τα σώματα με θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν (-273 °C) εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία στο περιβάλλον τους.

2.1.2 Αισθητή θερμότητα

Αισθητή είναι η θερμότητα που μεταβάλλει τη θερμοκρασία του αέρα χωρίς να μεταβάλλει το περιεχόμενό του σε υγρασία.

2.1.3 Λανθάνουσα θερμότητα

Λανθάνουσα είναι η θερμότητα που απαιτείται για τη μεταβολή του νερού σε υδρατμό χωρίς να μεταβληθεί η θερμοκρασία ή η πίεση του αέρα.

2.1.4 Θερμοκρασία

Η θερμοκρασία είναι το μέγεθος που προσδιορίζει πρακτικά την ένταση της θερμότητας ενός σώματος προς το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα η θερμοκρασία αποτελεί την ένδειξη για την κίνηση των μορίων του σώματος. Μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το 1 Kelvin. Επίσης χρησιμοποιείται η κλίμακα Celsius, όπου ένας βαθμός Celsius ισούται με ένα βαθμό Kelvin. Το μηδέν της κλίμακας Kelvin αποτελεί το απόλυτο μηδέν, δηλαδή τη χαμηλότερη θερμοκρασία που υπάρχει, όπου τα σωματίδια ενός υλικού παύουν να κινούνται.

2.1.5 Σχετική υγρασία

Σχετική υγρασία (%) είναι ο λόγος του ποσού υγρασίας που περιέχεται στον αέρα προς το μέγιστο ποσό υγρασίας που μπορεί να περιέχει ο αέρας στην ίδια θερμοκρασία και πίεση. Για παράδειγμα, αέρας με σχετική υγρασία 50 % σημαίνει ότι ο αέρας φέρει το 50% από τη συνολική υγρασία που θα μπορούσε να έχει.

2.2 Συστήματα Θέρμανσης-Κλιματισμού

Τα συστήματα θέρμανσης διακρίνονται σε αυτόνομα και σε κεντρικές θερμάνσεις, με κριτήριο τον αριθμό των θερμαινόμενων χώρων από μία κεντρική πηγή θερμάνσεως (π.χ λέβητας).

Με κριτήριο το καύσιμο οι θερμάνσεις διακρίνονται σε θερμάνσεις πετρελαίου, μαζούτ, καυσίμου αερίου, ηλεκτρικές κλπ.

Τέλος, με κριτήριο το είδος των θερμαντικών σωμάτων και τον τρόπο μεταφοράς της θερμότητας στους χώρους, διακρίνονται σε θερμάνσεις ζεστού νερού, θερμάνσεις υπέρθερμου νερού, θερμάνσεις ατμού, θερμάνσεις αέρα κ.ά.

Τα συστήματα κλιματισμού διακρίνονται επίσης σε αυτόνομα ή τοπικά και σε κεντρικά.

2.2.1 Αυτόνομες μονάδες κλιματισμού

Οι αυτόνομες μονάδες κλιματισμού αποτελούν κατάκτηση των τελευταίων ετών και χάρις σ' αυτές τις μονάδες και το προσιτό τους κόστος, ο κλιματισμός έγινε απόκτημα μεσαίων κοινωνικών στρωμάτων και τοποθετήθηκε σε μικρά γραφεία και εγκαταστάσεις. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιονδήποτε χώρο χωρίς να χρειάζεται κάποιο κεντρικό μηχανοστάσιο. Διακρίνονται σε:

- Μονάδες ενός τεμαχίου μέσα σ' ένα κέλυφος που περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία της μονάδος.
- Σε διμερείς μονάδες (split units) που αποτελούνται από το εξωτερικό και το εσωτερικό τμήμα. Το ένα εξ' αυτών αποτελεί τη μονάδα συμπυκνώσεως (συμπιεστής, εναλλάκτης ψυκτικού ρευστού-αέρα), περιέχει ανεμιστήρα και στραγγαλιστική δικλείδα και βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον. Το δεύτερο τμήμα περιλαμβάνει τον εξατμιστή (εναλλάκτη ψυκτικού ρευστού-αέρα του χώρου), τον αθόρυβο ανεμιστήρα ο οποίος ανακυκλοφορεί τον αέρα του χώρου, φίλτρα καθαρισμού, περσίδες εισόδου του εσωτερικού αέρα και πτερύγια κατευθύνσεως της ροής του κλιματιζόμενου αέρα. Ακόμη στο εσωτερικό τμήμα περιλαμβάνεται η διάταξη ελέγχου, δηλαδή ο πίνακας ελέγχου με τους διακόπτες (χειμώνας-θέρος), τη ρύθμιση της ταχύτητας του ανεμιστήρα και τον θερμοστάτη του χώρου. Τα δύο τμήματα συνδέονται με σωλήνες καταθλίψεως και αναρροφήσεως του ψυκτικού ρευστού και με τις καλωδιώσεις της ηλεκτρικής παροχής.
- Μονάδες επεξεργασίας εξωτερικού αέρα, οι οποίες τροφοδοτούν εσωτερική συσκευή με κλιματισμένο αέρα.

Στα κεντρικά συστήματα κλιματισμού υπάρχει κεντρικό μηχανοστάσιο το οποίο βρίσκεται σχετικά μακριά από τους κλιματιζόμενους χώρους. Οι τερματικές μονάδες που βρίσκονται σε κάθε χώρο, συνδέονται με το κεντρικό μηχανοστάσιο με τη βοήθεια κατάλληλων αγωγών (αεραγωγών, νερού ζεστού-κρύου, ψυκτικού).

Ο κεντρικός κλιματισμός αποτελεί τη βέλτιστη λύση για μεγάλες εγκαταστάσεις όπως νοσοκομεία, ξενοδοχεία, εμπορικά κέντρα κλπ.

2.2.2 Κεντρικό σύστημα κλιματισμού

Ένα κεντρικό σύστημα κλιματισμού περιλαμβάνει:

- Την κεντρική κλιματιστική μονάδα (αποτελείται από το τμήμα ρύθμισης της θερμοκρασίας του αέρα, ανεμιστήρες, το κιβώτιο μείξης νοπού-ανακυκλοφορούντος αέρα και τα φίλτρα). Πιο συγκεκριμένα αποτελείται από:

Θερμαντικά στοιχεία

Οι εναλλάκτες αυτοί ανάλογα με το θερμαινόμενο μέσο διακρίνονται σε στοιχεία νερού, ατμού ή ηλεκτρικά. Ο σχεδιασμός τους γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η ταχύτητα του αέρα διαμέσου της επιφάνειάς τους να κατανέμεται ομοιόμορφα. Το υλικό τους είναι χαλκός ή αλουμίνιο ώστε να μην διαβρώνονται.

Ψυκτικά στοιχεία

Τα ψυκτικά στοιχεία κατασκευάζονται από χαλκοσωλήνες, συνήθως με πτερύγια από χαλκό ή αλουμίνιο και είναι χωρισμένα σε τμήματα. Το κέλυφος κάθε τμήματος κατασκευάζεται από γαλβανισμένη λαμαρίνα και πρέπει να έχει κατάλληλες εγκοπές (λούκια) για τη συλλογή των συμπυκνωμάτων.

Κιβώτιο παραλαβής του αέρα

Είναι χώροι στιβαρής κατασκευής στους οποίους προσάγεται ο νοπός αέρας και ο αέρας που θα ανακυκλοφορήσει στο δίκτυο. Η αναλογία αναμείξεως νοπού και ανακυκλοφορούντος αέρα, εξαρτώνται από τη διατομή των αντίστοιχων αεραγωγών προσαγωγής, τις πιέσεις και την κλίση των πτερυγίων στα διαφράγματα (ντάμπερ).

Ρυθμιστές υγρασίας

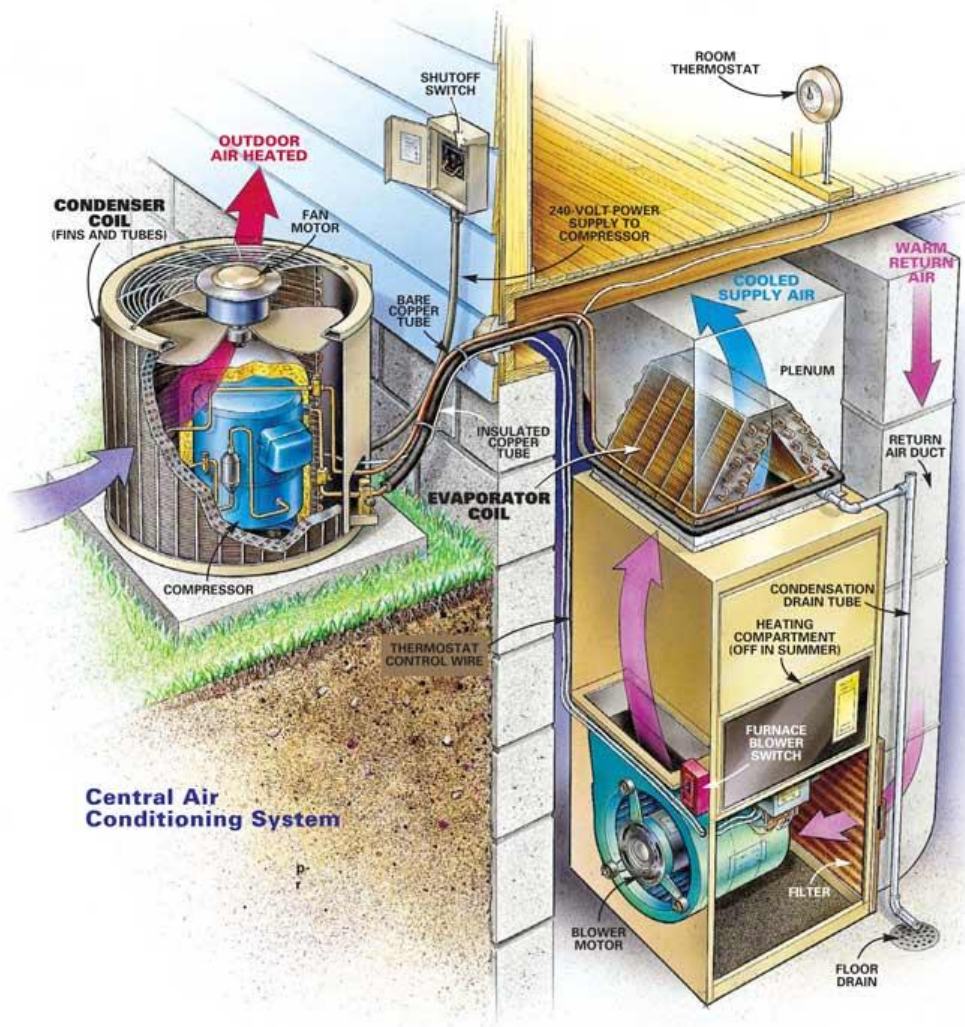
Το σύστημα θερμάνσεως ή ψύξεως του αέρα, συνδυάζεται συνήθως με συστήματα υγρανσεως ή αφυγρανσεως του αέρα.

Κιβώτια ανεμιστήρων

Ειδικά κιβώτια με ανεμιστήρες, συνήθως στην αναχώρηση του αέρα, προσφέρουν την αναγκαία στατική πίεση για την αναχώρηση του κλιματιζόμενου αέρα και την προώθησή του στους αεραγωγούς που θα τον διοχετεύσουν στους κλιματιζόμενους χώρους.

- Το δίκτυο σωληνώσεων και αεραγωγών.

- Τα στοιχεία τοπικής επεξεργασίας του αέρα ή προσαγωγής κλιματιζόμενου αέρα και παραλαβής του αέρα επιστροφής.
- Το σύστημα ελέγχου και αυτοματισμών που απαιτείται για τους χώρους.



Σχήμα 2.1: Στοιχεία Κεντρικού Συστήματος Κλιματισμού

Με κριτήριο το ‘μέσο’ μεταφοράς της θερμικής ενέργειας οι εγκαταστάσεις κλιματισμού διακρίνονται σε:

- Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα
- Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό
- Συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού
- Συστήματα κλιματισμού με ψυκτικό ρευστό στις τερματικές μονάδες

2.2.3 Συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα

Διακρίνονται σε συστήματα απλής και διπλής διανομής:

- Τα συστήματα απλής διανομής έχουν τους εναλλάκτες της ψύξεως και της θέρμανσεως του προσαγόμενου αέρα εν σειρά, ως προς τη ροή τους, και χρησιμοποιούν ένα και μόνο δίκτυο αεραγωγών για την προσαγωγή του αέρα στα στόμια. Έτσι η θερμοκρασία του αέρα σ' όλο το δίκτυο είναι η ίδια. Στην απλή τους μορφή είναι σταθερής παροχής και η θερμοκρασία του προσαγόμενου αέρα μπορεί να μεταβάλλεται. Το σύστημα μεταβαλλόμενης παροχής αντίθετα, έχει σταθερή θερμοκρασία .
- Τα συστήματα διπλής διανομής έχουν τους εναλλάκτες της ψύξεως και της θέρμανσεως του προσαγόμενου αέρα σε παράλληλη διάταξη ως προς τη ροή του. Για τη διανομή του αέρα χρησιμοποιείται ένα διπλό δίκτυο αεραγωγών (ένα για τον ψυχρό και ένα για τον ζεστό αέρα) ή ένα ξεχωριστό δίκτυο αεραγωγών προσαγωγής για κάθε ζώνη, αφού προηγουμένως έχει γίνει η ανάμειξη ψυχρού και θερμού αέρα σε μία κλιματιστική μονάδα.

2.2.4 Συστήματα κλιματισμού μόνο με νερό

Τα συστήματα κλιματισμού που λειτουργούν μόνο με νερό, επιτυγχάνουν τον δροσισμό ή τη θέρμανση του αέρα των κλιματιζόμενων χώρων, διανέμοντας στις τερματικές μονάδες ψυχρό ή αντίστοιχα θερμό νερό που παρασκευάζεται σε κεντρική εγκατάσταση. Συνήθως σε αυτά τα συστήματα ως τερματικές μονάδες χρησιμοποιούνται τοπικές συσκευές ανεμιστήρα στοιχείου, γνωστές και σαν Fan Coils. Το σύστημα αυτό προσφέρει μόνο ψύξη ή μόνο θέρμανση σε όλους τους κλιματιζόμενους χώρους γιατί το ζεστό η κρύο νερό κυκλοφορεί στους ίδιους σωλήνες. Μπορεί ωστόσο να χρησιμοποιηθεί σύστημα πολλαπλών σωλήνων, ώστε να επιτευχθεί η ταυτόχρονη διάθεση ψυχρού και θερμού νερού στα Fan Coils. Το πρόβλημα του αερισμού των κλιματιζόμενων χώρων με τη χρήση των Fan Coils αντιμετωπίζεται με είτε με φυσική διείδυση, είτε με ανοίγματα στους εξωτερικούς χώρους, είτε με εισαγωγή στον χώρο μη επεξεργασμένου νωπού αέρα μέσω των Fan Coils από έναν κεντρικό αγωγό διανομής νωπού αέρα.

2.2.5 Συστήματα κλιματισμού αέρα-νερού

Σε αυτά τα συστήματα για την επίτευξη των επιθυμητών συνθηκών στον κλιματιζόμενο χώρο προσάγονται από κεντρικές εγκαταστάσεις ταυτόχρονα νερό και 'προκλιματισμένος' αέρας. Ο αέρας αυτός ικανοποιεί τις ανάγκες αερισμού του χώρου και παραλαμβάνει ταυτόχρονα σημαντικό μέρος του θερμικού φορτίου. Η τελική διαμόρφωση των επιθυμητών συνθηκών γίνεται από κατάλληλη τερματική μονάδα που τροφοδοτείται με νερό. Αξιοσημείωτο είναι ότι λόγω της μεγαλύτερης θερμοχωρητικότητας και πυκνότητας

του νερού σε σχέση με τον αέρα, η συνολική διατομή των αεραγωγών που οδεύουν στους κλιματιζόμενους χώρους είναι μικρότερη σε σύγκριση με αυτή των συστημάτων μόνο με αέρα.

2.2.6 Συστήματα κλιματισμού με ψυκτικό ρευστό στις τερματικές μονάδες

Στα συστήματα αυτά κυκλοφορεί μόνο ψυκτικό ρευστό, το οποίο οδηγείται σε κατάλληλες τερματικές μονάδες στους κλιματιζόμενους χώρους. Σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα κάλυψης ποικιλίας αναγκών, που διαφέρουν ως προς τη θερμοκρασία ή τη χρονική στιγμή που πρέπει να καλυφθούν. Μειονέκτημα μπορεί ωστόσο να θεωρηθεί η παρουσία ψυκτικού ρευστού μέσα στους χώρους και η ανάγκη χρησιμοποίησης ισχυρών ψυκτικών μέσων όπως το R22, η χρήση των οποίων περιορίζεται με τον καιρό για περιβαλλοντικούς κυρίως λόγους.

3 Η Αντλία Θερμότητας

3.1 Αρχή λειτουργίας

Σύμφωνα με τα παραπάνω η αντλία θερμότητας κατατάσσεται στην κατηγορία των διαιρούμενων αυτόνομων κλιματιστικών μονάδων ψυκτικού ρευστού-αέρα. Ας την εξετάσουμε όμως αναλυτικότερα.

3.1.1 Ιστορική Εξέλιξη της μηχανής

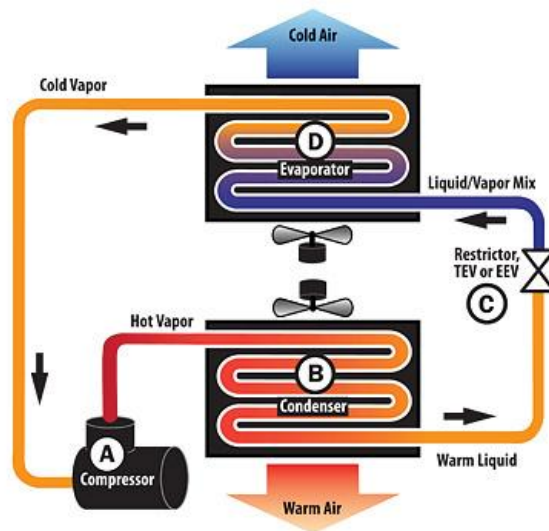
Η πρώτη αντλία θερμότητας κατασκευάστηκε από τον Perkins το 1820. Τέσσερα χρόνια αργότερα ο Carnot κατάφερε τη θεωρητική της θεμελίωση. Ο Kelvin ήταν ο πρώτος που το 1852 διαπίστωσε στην πράξη ότι μια ψυκτική μηχανή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για θέρμανση. Η πρώτη εγκατάσταση αντλίας θερμότητας, έγινε στη Σκωτία το 1927. Πέρασε μια μεγάλη περίοδος που η χρήση της θεωρήθηκε ασύμφορη. Μετά το 1950 έγιναν πολλές βελτιώσεις στον σχεδιασμό και τα συστήματα ελέγχου της και έτσι άρχισε η αντλία θερμότητας να χρησιμοποιείται εκτεταμένα, ειδικά σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπου η απόδοσή τους αναμενόταν αυξημένη.

Κατά την περίοδο 1963-1972 παρουσιάζεται μια νέα ύφεση στην παραγωγή και χρήση των μηχανών αυτών λόγω τεχνικών δυσκολιών, αλλά συνέχισαν να βελτιώνονται τεχνικά και ποιοτικά από τους ερευνητές και τους τεχνικούς. Έτσι, με την εμφάνιση της ενεργειακής κρίσης του 1973, η αντλία θερμότητας άρχισε να επανεξετάζεται ως λύση καθώς επιτυγχάνει όχι μόνο εξοικονόμηση ενέργειας αλλά εκμεταλλεύεται επίσης ενέργεια που είναι διάχυτη στη φύση.

Στις μέρες μας η αντλία θερμότητας αποτελεί διάταξη κλιματισμού ή απλής ψύξης με μεγάλο εύρος εφαρμογών στη βιομηχανία, σε χώρους γραφείων, κατοικίες κ.λ.π.

3.1.2 Θεωρητική αρχή λειτουργίας- Βαθμός απόδοσης

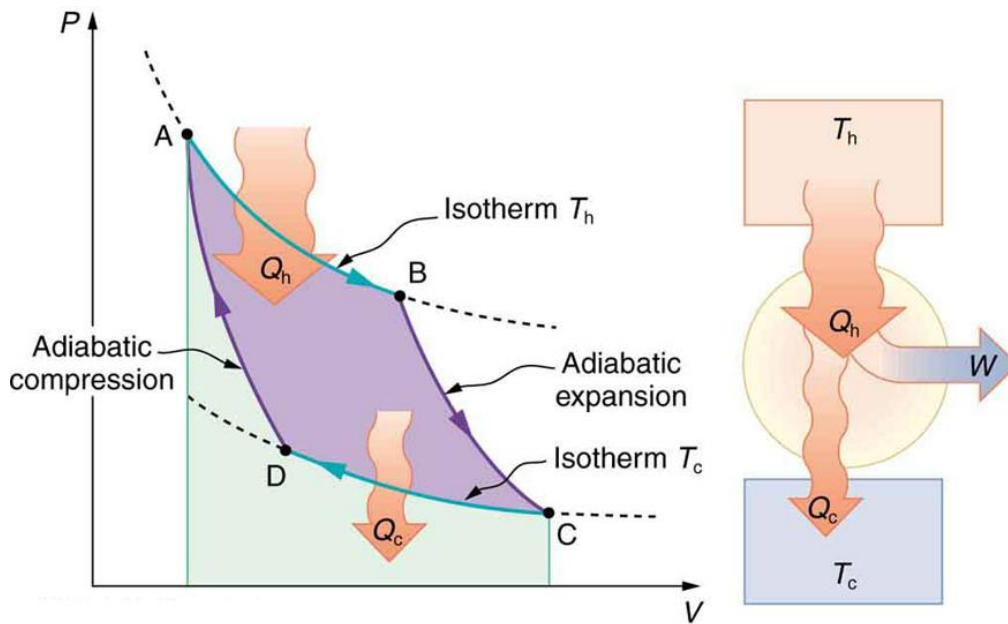
Από το 2ο θερμοδυναμικό αξίωμα γνωρίζουμε ότι η θερμότητα μεταδίδεται μόνη της από ένα σώμα υψηλότερης θερμοκρασίας σε ένα σώμα χαμηλότερης και ποτέ προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η αντιστροφή του φυσικού αυτού φαινομένου είναι δυνατό να επιτευχθεί με την κατανάλωση κάποιας μορφής ενέργειας π.χ ηλεκτρική από μία θερμική μηχανή όπως είναι η αντλία θερμότητας. Επομένως, με τη βοήθεια μιας πηγής ηλεκτρικού ρεύματος και ενός ψυκτικού κύκλου συμπίεσεως ατμού επιτυγχάνεται η μεταφορά διπλάσιου ή ακόμα και τριπλάσιου ποσού ενέργειας σε σχέση με αυτό της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 3.1: Διάταξη λειτουργίας ψυκτικού κύκλου συμπίεσης ατμού

Η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας στηρίζεται στη θεωρητική αρχή της μηχανής Carnot, με αντίθετη φορά. Για τη λειτουργία της μηχανής Carnot απαιτούνται, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2 δύο θερμοδοχεία, ένα θερμοδοχείο υψηλής θερμοκρασίας T_H και ένα χαμηλής θερμοκρασίας T_C . Κατά τη λειτουργία της μηχανής αυτής έχουμε την παραγωγή έργου με πρόσδοση θερμότητας. Σε ιδανικές συνθήκες πλήρους αντιστρεψιμότητας, χωρίς απώλειες θερμότητας ο βαθμός απόδοσης του κύκλου Carnot δίνεται από τη σχέση:

$$\eta = \frac{T_H - T_C}{T_H} \quad (3.1)$$

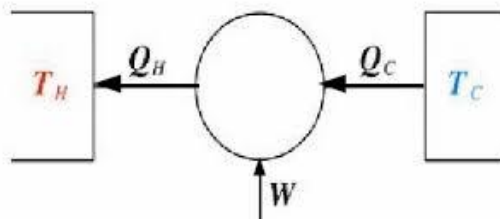


Σχήμα 3.2: Κύκλος Carnot

Με αντιστροφή της λειτουργίας αυτού του κύκλου προκύπτει η λειτουργία της αντλίας θερμότητας. Σε αυτό τον κύκλο έχουμε την παραγωγή ψυκτικής ισχύος με κατανάλωση μηχανικού έργου. Ο βαθμός απόδοσης της αντλίας θερμότητας σε ιδανικές συνθήκες προκύπτει από τον αντίστροφο του συντελεστή η, γνωστός και ως COP:

$$COP = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (3.2)$$

Αυτός ο 'βαθμός απόδοσης' ονομάζεται συντελεστής συμπεριφοράς και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2,5 και 3,5.



Σχήμα 3.3: Κύκλος Αντλίας Θερμότητας

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

$$COP = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C} \quad (3.3)$$

Ακόμη, από τον κύκλο Carnot έχουμε:

$$\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0 \quad (3.4)$$

Από τη σχέση 3.2 συμπεραίνουμε ότι όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας της πηγής από όπου αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας στην οποία αποβάλλεται, τόσο βελτιώνεται ο συντελεστής συμπεριφοράς COP. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η αντλία θερμότητας συμφέρει οικονομικά περισσότερο σε χώρες με ήπιο κλίμα, όπως είναι και η Ελλάδα.

3.2 Τεχνολογία της Αντλίας Θερμότητας

Σύμφωνα με όσα έχουν αναφερθεί η αντλία θερμότητας είναι μια μηχανή, η οποία με τη δαπάνη μηχανικού έργου μεγαλώνει τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ δύο θερμοδοχείων, αντιμαχόμενη τη θερμοδυναμική τάση προς εξισορρόπηση των θερμοκρασιών. Η αρχή λειτουργίας της, της επιτρέπει να χρησιμοποιείται τόσο για ψύξη το καλοκαίρι, όσο και για θέρμανση τον χειμώνα. Επομένως, υπάρχουν κάποιοι αυτοματισμοί που αντιστρέφουν τη λειτουργία της όταν χρειάζεται.

Πιο συγκεκριμένα, η αντλία θερμότητας αποτελείται από ένα εσωτερικό τμήμα, το οποίο τοποθετείται εντός του χώρου που θέλουμε να κλιματίσουμε και από ένα εξωτερικό τμήμα, το οποίο βρίσκεται στο εξωτερικό περιβάλλον, όπου είναι διαθέσιμη μια μεγάλη ενεργειακή 'δεξαμενή', όπως είναι ο αέρας, το έδαφος ή το νερό. Οι φυσικές αυτές ενεργειακές 'δεξαμενές' έχουν ουσιαστικά σταθερή θερμοκρασία κάθε χρονική στιγμή. Δηλαδή, αν τους προσδώσουμε ή τους αφαιρέσουμε ένα σχετικά μικρό ποσό θερμότητας η θερμοκρασία τους θα παραμείνει αμετάβλητη λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητάς τους.

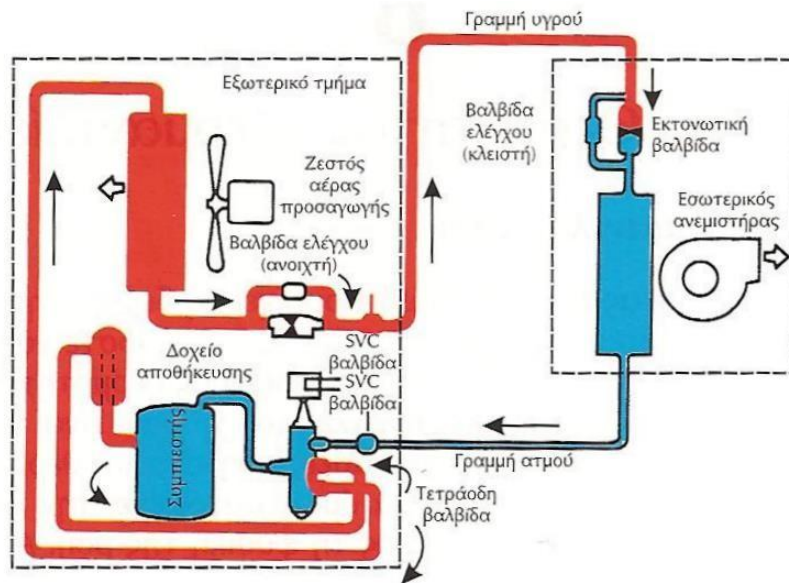
Η αντλία θερμότητας αποτελείται από έναν συμπιεστή, έναν συμπυκνωτή, έναν ατμοποιητή, τους ανεμιστήρες συμπυκνωτή και εξατμιστή, το σύστημα ελέγχου, τη στραγγαλιστική διάταξη και τον μηχανισμό για την αντιστροφή της λειτουργίας για ψύξη ή θέρμανση.

Η απορρόφηση και απόδοση θερμότητας γίνονται με εναλλαγή φάσεων ,από υγρό σε αέριο και από αέριο σε υγρό, του ψυκτικού μέσου.

3.2.1 Κύκλος ψύξης της μηχανής

Ο κύκλος που πραγματοποιείται για την παραγωγή ψύξης έχει ως εξής:

Το ψυκτικό μέσο σε αέρια κατάσταση και χαμηλή πίεση εισέρχεται στον συμπιεστή, ο οποίος κινείται από έναν κινητήρα, και εξέρχεται σε αέρια μορφή υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Έπειτα, διέρχεται μέσα από τον συμπυκνωτή, ο οποίος είναι ένας εναλλάκτης, και βρίσκεται σε έμμεση επαφή με τον αέρα εξωτερικού περιβάλλοντος ,ο οποίος είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας και με αυτόν τον τρόπο αποβάλλει θερμότητα προς το περιβάλλον υπό σταθερή σχεδόν θερμοκρασία. Με την αποβολή της θερμότητας το ψυκτικό μέσο αλλάζει φάση και μετατρέπεται από αέριο σε υγρό, με σταθερή την υψηλή πίεση που έχει αποκτήσει από τον συμπιεστή. Στη συνέχεια, διέρχεται μέσα από τη βαλβίδα εκτόνωσης και η πίεση και η θερμοκρασία του μειώνονται σημαντικά. Σε αυτό το σημείο συνυπάρχουν οι δύο φάσεις, υγρή και αέρια. Η θερμοκρασία έχει μειωθεί σε χαμηλότερα επίπεδα από τη θερμοκρασία του εσωτερικού χώρου και το ψυκτικό μέσο διέρχεται μέσα από τον ατμοποιητή, ο οποίος είναι και αυτός ένας εναλλάκτης που βρίσκεται στον εσωτερικό χώρο που θέλουμε να ψύξουμε. Με αυτόν τον τρόπο, ο αέρας στο εσωτερικό του χώρου απορροφά τη θερμότητα του ψυκτικού μέσου, υπό σταθερή σχεδόν θερμοκρασία και παράγεται η απαιτούμενη ψυκτική ισχύς. Το αποτέλεσμα αυτού είναι το ψυκτικό μέσο να φθάσει σε κατάσταση κορεσμένου ή και υπέρθερμου αερίου. Στη συνέχεια, οδηγείται στον συμπιεστή και ο κύκλος επαναλαμβάνεται. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι η αποβολή και η πρόσδοση θερμότητας στον συμπυκνωτή και τον ατμοποιητή αντίστοιχα πραγματοποιείται με τη βοήθεια ανεμιστήρων για την ταχύτερη κυκλοφορία του αέρα σε κάθε περίπτωση.

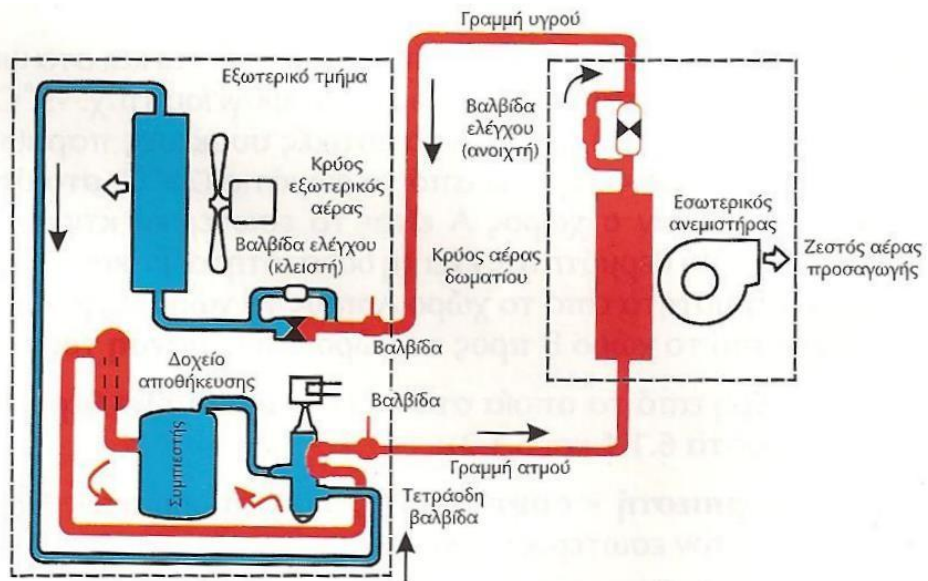


Σχήμα 3.4: Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για ψύξη

3.2.2 Κύκλος θέρμανσης της μηχανής

Ο κύκλος που πραγματοποιείται για την παραγωγή θέρμανσης έχει ως εξής:

Ο κύκλος που πραγματοποιείται είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν για την παραγωγή ψύξης αλλά η φορά του ψυκτικού μέσου είναι αντίστροφη και με αυτόν τον τρόπο οι δύο εναλλάκτες, ο συμπυκνωτής και ο εξατμιστής αλλάζουν ρόλους. Έτσι, έχουμε πρόσληψη θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον και αποβολή θερμότητας στον εσωτερικό χώρο, σύμφωνα και με τα παραπάνω. Αυτή η αντιστροφή πραγματοποιείται συνήθως με μία τετράοδη βαλβίδα.

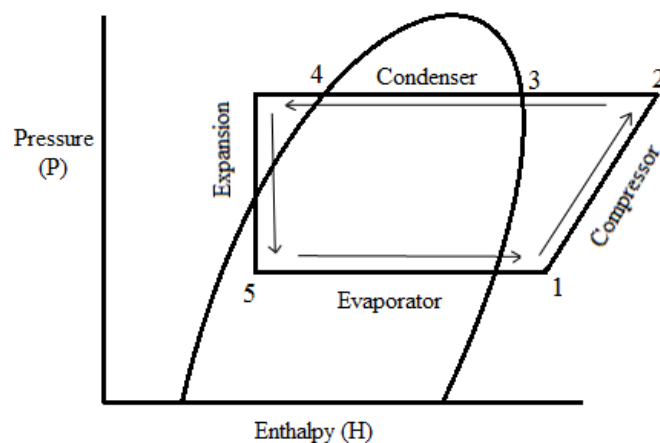


Σχήμα 3.5: Κύκλος Αντλίας Θερμότητας για θέρμανση

3.3 Θερμοδυναμικός Κύκλος της Αντλίας Θερμότητας

3.3.1 Θεωρητικός Κύκλος

Ο κύκλος λειτουργίας της αντλίας θερμότητας παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με αυτόν της μηχανής Carnot. Οι θερμοδυναμικές μεταβολές που πραγματοποιούνται είναι οι εξής:



Σχήμα 3.6: Θερμοδυναμικός Κύκλος Αντλίας Θερμότητας

➤ Μεταβολή 1-2

Ο ατμός από την έξοδο του ατμοποιητή εισέρχεται στον συμπιεστή. Με τη συμπίεση, η οποία θεωρητικά είναι ισεντροπική και αδιαβατική, ανεβαίνει η θερμοκρασία, η ενθαλπία και η πίεση του ατμού.

➤ Μεταβολή 2-3

Ο υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στον συμπυκνωτή και αποβάλλει θερμότητα μέχρι την κατάσταση κορεσμού. Η πίεση παραμένει σταθερή ενώ παρατηρείται μια μικρή πτώση της θερμοκρασίας.

➤ Μεταβολή 3-4

Ο κορεσμένος ατμός, με σταθερή πίεση, υγροποιείται αποδίδοντας μεγαλύτερο πλέον ποσό θερμότητας.

➤ Μεταβολή 4-5

Το κορεσμένο, πολλές φορές και υπόψυκτο υγρό, εξέρχεται από τον συμπυκνωτή και διέρχεται της εκτονωτικής βαλβίδας και ελαττώνεται η πίεσή του. Η μεταβολή αυτή είναι ισενθαλπική, μη αντιστρεπτή και χαρακτηρίζεται από μεγάλη πτώση της θερμοκρασίας.

➤ Μεταβολή 5-1

Το υγρό εισέρχεται στον ατμοποιητή και παραλαμβάνει θερμότητα από τον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε, υπό σταθερή πίεση και θερμοκρασία.

3.3.2 Πραγματικός Κύκλος

Στην πραγματικότητα επειδή οι μεταβολές δεν είναι ιδανικές πραγματοποιούνται οι εξής τροποποιήσεις στον κύκλο:

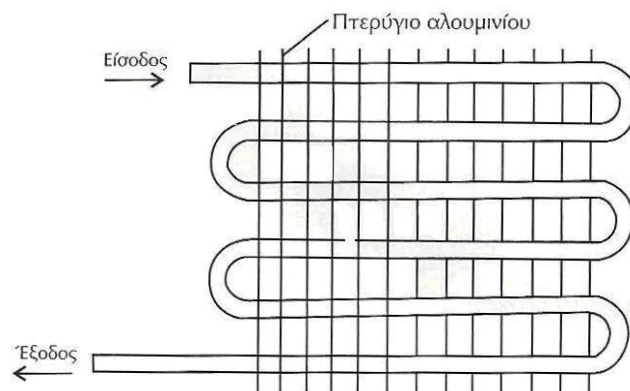
1. Επειδή υπάρχει κίνδυνος να σχηματιστούν σταγόνες υγρού στον συμπιεστή, ο ατμός οδηγείται υπέρθερμος στον συμπιεστή και όχι κορεσμένος.
2. Επειδή ο συμπιεστής δεν πραγματοποιεί μια καθαρά ισεντροπική συμπίεση απαιτεί περισσότερο μηχανικό έργο. Το επιπλέον αυτό έργο γίνεται θερμότητα που αυξάνει τη θερμοκρασία εξόδου του ρευστού.
3. Στους εναλλάκτες θερμότητας (συμπυκνωτής-ατμοποιητής) παρατηρείται πτώση πίεσης λόγω της αρκετά μεγάλης ταχύτητας του ρευστού.

4. Λόγω κινδύνου εμφάνισης ατμού πριν την εκτονωτική βαλβίδα, πραγματοποιείται υπόψυξη του υγρού με χρήση ενός ενδιάμεσου ψύκτη.

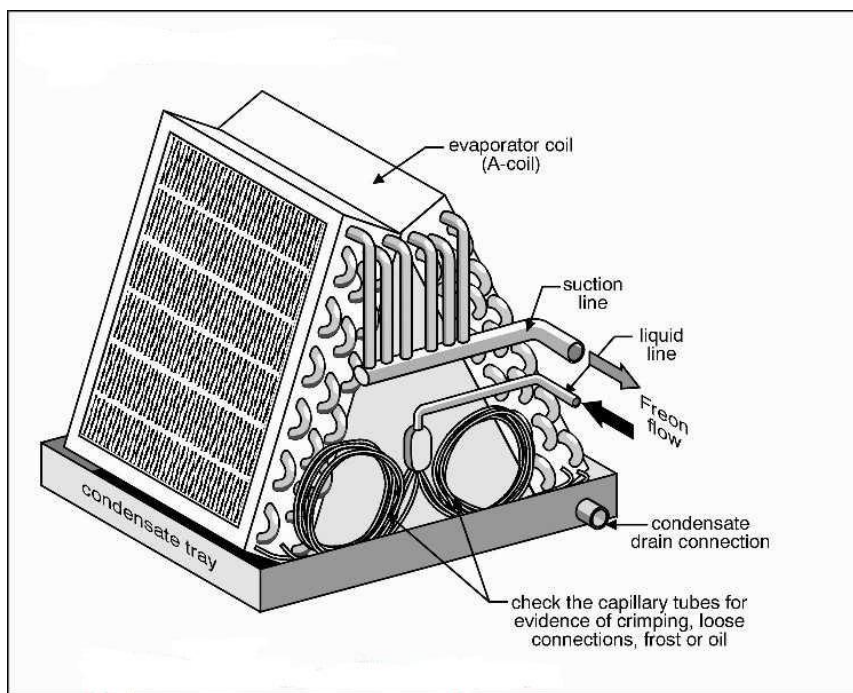
3.4 Κατασκευαστικές Λεπτομέρειες της Αντλίας Θερμότητας

3.4.1 Εναλλάκτες Θερμότητας

Ο συμπυκνωτής και ο ατμοποιητής δεν είναι τίποτα άλλο παρά εναλλάκτες θερμότητας. Οι εναλλάκτες θερμότητας είναι συσκευές συναλλαγής θερμότητας ανάμεσα σε δύο ρευστά. Ο εναλλάκτης αποτελείται από ένα ευθερμαγωγό τοίχωμα (από χαλκό, αλουμίνιο ή χάλυβα), το οποίο επιτρέπει την απρόσκοπτη ροή θερμότητας από το θερμό προς το ψυχρό ρευστό. Για την καλύτερη απόδοσή του αυξάνεται η επιφάνεια συναλλαγής, με σωλήνες με πτερύγια ή με οφιοειδείς σωλήνες. Ανάλογα με την κατάσταση των ρευστών διακρίνονται σε εναλλάκτες υγρού, υγρού αερίου- αερίου, υγρού-αερίου. Ακόμη, αν τα ρευστά είναι διαβρωτικά χρησιμοποιείται χαλκός, ανοξείδωτος χάλυβας ή ειδικό κράμα χαλκού. Τέλος, επισημαίνεται ότι θα πρέπει να γίνεται μια βελτιστοποίηση ανάμεσα στο μέγεθος του εναλλάκτη και τον συντελεστή συμπεριφοράς COP της αντλίας θερμότητας.



Σχήμα 3.7: Αερόψυκτος συμπυκνωτής, τύπου διασταυρούμενου πτερυγίου-τυλίγματος



Σχήμα 3.8: Διάταξη ατμοποιητή

3.4.2 Συμπιεστής

Ο συμπιεστής χρησιμοποιείται, αφενός για την εξασφάλιση της ροής του ψυκτικού ρευστού στο κύκλωμα και αφετέρου για την πρόσδοση της αναγκαίας πίεσης και θερμοκρασίας στο ψυκτικό ρευστό για τις απαραίτητες συναλλαγές θερμότητας.

Συνήθως χρησιμοποιούνται οι εμβολοφόροι συμπιεστές, οι οποίοι έχουν καλό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης και πλεονεκτούν σε μεταβαλλόμενες συνθήκες. Παρουσιάζουν ωστόσο μειονεκτήματα στη λίπανση και τις βαλβίδες, οι οποίες στραγγαλίζουν τη ροή και είναι ευαίσθητες στη θερμοκρασία.

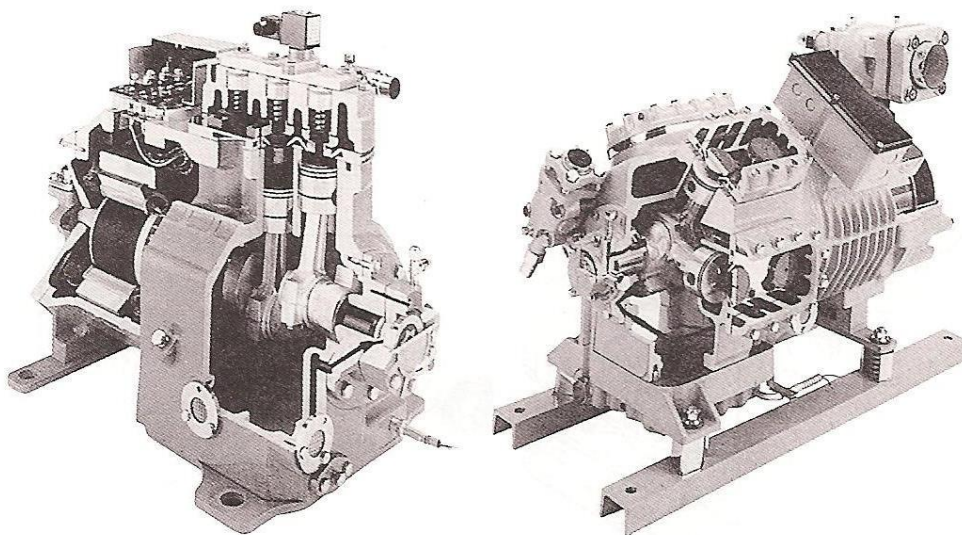
Υπάρχουν επίσης οι κοχλιωτοί, οι περιστρεφόμενου τυμπάνου και οι φυγοκεντρικοί.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές παρουσιάζουν κακό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης αλλά έχουν τη δυνατότητα να παραλάβουν μεγάλες παροχές. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλες εγκαταστάσεις.

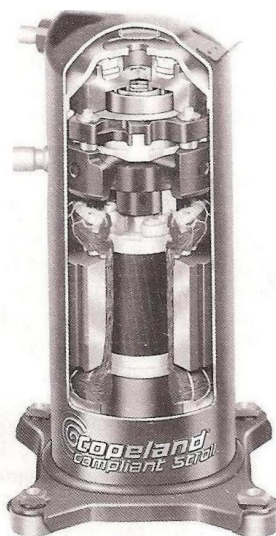
Οι συμπιεστές περιστρεφόμενου τυμπάνου χρησιμοποιούνται για μικρές ισχείς και διαφορές πίεσεως κάτω των 4 bar. Έχουν καλό ισεντροπικό βαθμό απόδοσης και ογκομετρική απόδοση και είναι πολύστροφοι αλλά από την άλλη παρουσιάζουν προβλήματα φθοράς και λίπανσης. Τέλος, είναι αθόρυβοι και γι' αυτό συνήθως χρησιμοποιούνται για γραφεία και οικιακές εφαρμογές.

Στις μικρές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται συμπιεστές κλειστού τύπου, όπου το σύστημα κινητήρας-συμπιεστής είναι στεγανά κλεισμένο.

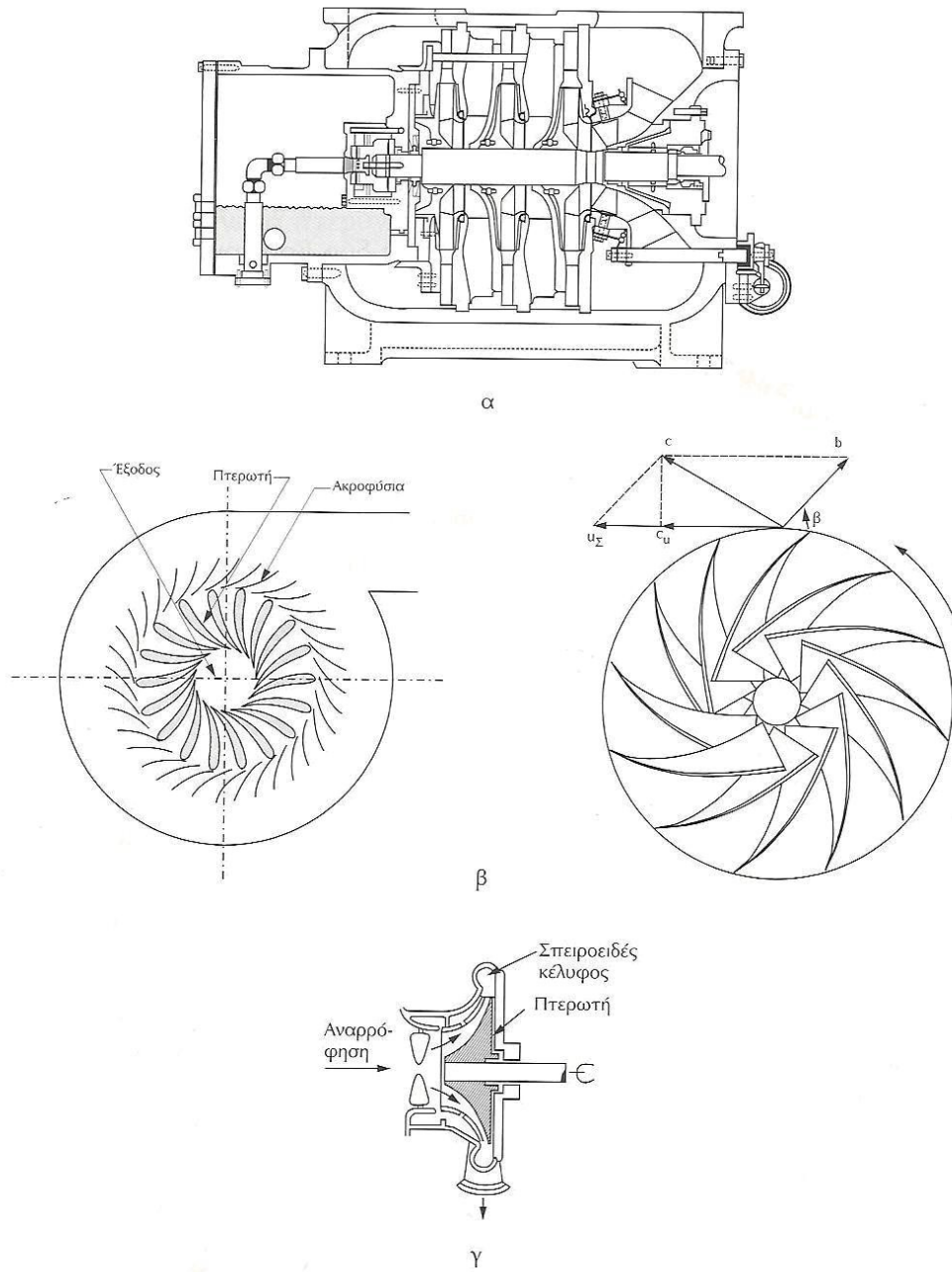
Στις μεγάλες εγκαταστάσεις οι συμπιεστές είναι ημίκλειστου τύπου, δηλαδή ο συμπιεστής και ο κινητήρας του είναι προσβάσιμοι για συντήρηση. Τέλος, σε ακόμη μεγαλύτερες μονάδες (150 kW) ο συμπιεστής και ο κινητήρας είναι ανεξάρτητοι, έχουμε δηλαδή συμπιεστή ανοικτού τύπου.



Σχήμα 3.9: Τομή εμβολοφόρου συμπιεστή



Σχήμα 3.10: Συμπιεστής ελικοειδούς μορφής



Σχήμα 3.11: Φυγοκεντρικός συμπιεστής πολλών βαθμίδων

3.4.3 Κινητήρας

Οι μικρές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες για την κίνηση των συμπιεστών. Επίσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν κινητήρες υγρών καυσίμων (MEK, κύκλος Rankine, Stirling κ.α). Τέλος, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το μέγιστο φορτίο συμπίεσης καθώς και ένα περιθώριο ισχύος, περίπου 25% για τον κινητήρα.

3.3.4 Ψυκτικό μέσο

Τα κριτήρια επιλογής του ψυκτικού μέσου είναι:

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

Ως ψυκτικά μέσα μέχρι το 1920 χρησιμοποιήθηκαν η αμμωνία NH_3 , το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 και το διοξείδιο του θείου SO_2 . Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν τα χλωριούχα-φθωριούχα παράγωγα του αιθανίου και μεθανίου, μερικά από τα οποία θεωρούνται υπεύθυνα για την καταστροφή του ατμοσφαιρικού όζοντος και ήδη αντικαθίστανται από νέα ψυκτικά μέσα φιλικότερα προς το περιβάλλον.

Η **αμμωνία** είναι φθηνή, με καλές θερμοδυναμικές ιδιότητες και υψηλή ογκομετρική απόδοση και χρησιμοποιείται σε ψυκτικές εγκαταστάσεις μεσαίου ή μεγάλου μεγέθους με παλινδρομικούς συμπιεστές. Τα υλικά κατασκευής των εγκαταστάσεων αμμωνίας είναι ο χάλυβας, ο χυτοσίδηρος και κράματα ορείχαλκου, υλικά που δεν προσβάλλονται από την αμμωνία. Γι' αυτό το λόγο αποφεύγονται οι γαλβανικές επιστρώσεις σιδήρου, ο χαλκός και κράματα χαλκού-ψευδαργύρου. Ακόμη, λόγω της διαλυτότητάς της δεν παρατηρείται η λόγω στερεοποίησης απόφραξη των οργάνων ρυθμίσεως και διακοπή της λειτουργίας της εγκατάστασης.

Τέλος, βασικό μειονέκτημα της χρήσης αμμωνίας είναι η τοξικότητά της και γι' αυτό η χρήση της θα πρέπει να γίνεται με προσοχή.

Το **R11** (τριχλωροφθορομεθάνιο C Cl_3 , F11 ή Freon 11) χρησιμοποιείται λόγω του μεγάλου μοριακού του βάρους σε μονοβάθμιους και πολυβάθμιους φυγοκεντρικούς συμπιεστές μεγάλης ισχύος και κυρίως στη βιομηχανία για την ψύξη ύδατος ή σε μεγάλες εγκαταστάσεις κλιματισμού.

Το **R12** (διχλωροδιφθορομεθάνιο, C Cl₂, F12 ή Freon 12) λόγω των χαμηλών πιέσεων συμπυκνώσεως, είναι πιο κατάλληλο για τη λειτουργία αντλιών θερμότητας. Παρουσιάζει σημείο ζέσεως -29,8 °C, μοριακό βάρος 120,92 και θερμοκρασιακή περιοχή χρήσεως από -40 έως 10 °C.

Το **R22** έχει σημείο ζέσεως -40,8 °C, μοριακό βάρος 86,48 και θερμοκρασιακή περιοχή χρήσεως -80 °C έως 5 °C. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εμβολοφόρους συμπιεστές ανοικτού ή κλειστού τύπου.

3.4.5 Μηχανισμός αντιστροφής της λειτουργίας

Συνήθως χρησιμοποιείται σωληνωτή βαλβίδα, η οποία περιλαμβάνεται στο ψυκτικό κύκλωμα και επιτρέπει στην πίεση αναρροφήσεως να κινεί τα λειτουργικά στοιχεία. Με αυτό τον τρόπο, βαλβίδες ελέγχου μετατρέπουν τον συμπυκνωτή σε ατμοποιητή και αντίστροφα.

3.4.6 Αυτοματισμοί

Είναι απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία της αντλίας θερμότητας να υπάρχουν οι κατάλληλοι αυτόματοι έλεγχοι. Αυτοί περιλαμβάνουν:

1. Αυτόματη απόψυξη του σπειρώματος του εξωτερικού εναλλάκτη την περίπτωση που η θερμοκρασία περιβάλλοντος πέσει κάτω από τους 0 °C. Αυτό επιτυγχάνεται με χρονομετρητές που παρέχουν απόψυξη κάθε 60 με 90 λεπτά, όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από τους 3 °C αλλά και με συστήματα αυξήσεως της πίεσεως του αέρα κατά μήκος του εξωτερικού εναλλάκτη.
2. Θερμοστάτες για τον έλεγχο της ψύξης και της θέρμανσης. Ο θερμοστάτης που βρίσκεται στο εξωτερικό τμήμα της αντλίας θερμότητας μετρά τη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ενεργοποιεί όταν απαιτείται τον ανάλογο αριθμό βοηθητικών ηλεκτρικών αντιστάσεων.

3.5 Διάκριση Αντλιών Θερμότητας

Ανάλογα με το υλικό μέσο που αντλείται και κυκλοφορεί στο κύκλωμα αλλά και το υλικό μέσο που αποβάλλεται στο περιβάλλον έχουμε τις εξής κατηγορίες για τις αντλίες θερμότητας:

1. Αέρα-Αέρα: Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος και ευρέως διαδεδομένος στο εμπόριο. Η αντιστροφή της λειτουργίας χειμώνα και καλοκαίρι γίνεται, είτε με τετράοδη βαλβίδα, είτε με αλλαγή της ροής μέσω αεροδιαφραγμάτων (dampers).
2. Αέρα-Νερού: Χρησιμοποιείται μόνο για θέρμανση νερού ή για θέρμανση και ψύξη νερού με χρήση τετράοδης βαλβίδας.

3. Νερού- Νερού: Και εδώ συνήθως η αντιστροφή λειτουργίας γίνεται μέσω τετράοδης βαλβίδας στον κύκλο του ψυκτικού υγρού.
4. Νερού-Αέρα: Η πηγή (ή ο αποδέκτης της θερμότητας) είναι το νερό, ενώ ο αέρας είναι το μέσο μεταφοράς της θερμοκρασίας στον ή από τον κλιματιζόμενο χώρο.
5. Εδάφους-Αέρα (και Εδάφους-Νερού): Η αποδοτικότητα του συστήματος εξαρτάται από την ποιότητα του εδάφους που περιβάλλει το θαμμένο στο έδαφος τμήμα της αντλίας θερμότητας, την υγρασία, την πυκνότητα και την ομοιομορφία του.

Ανάλογα με τη θέση των διαφόρων μηχανισμών των αντλιών θερμότητας, τις διακρίνουμε σε:

- Ενιαίες ή αυτόνομες: Όλοι οι μηχανισμοί βρίσκονται σε κοινό κέλυφος.
- Διαιρούμενες: Όπου ο συμπυκνωτής διαχωρίζεται από το υπόλοιπο σύστημα

Ανάλογα με τον τρόπο αναστροφής της λειτουργίας διακρίνονται σε:

- Σταθερού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Η ροή του ψυκτικού μέσου διατηρείται σταθερή και αλλάζει η θέση των μέσω προσαγωγής ή απαγωγής της θερμότητας.
- Μεταβλητού κυκλώματος ψυκτικού μέσου: Αντιστρέφεται η ροή του ψυκτικού μέσου.

Ανάλογα με το είδος του κύκλου που εκτελείται, τις διακρίνουμε σε:

- Κλειστού κύκλου συμπιεσμένου ατμού
- Κύκλου μηχανικής ανασυμπιέσεως ατμού με εναλλάκτη θερμότητας
- Ανοικτού κύκλου ανασυμπιέσεως ατμού
- Οδηγούμενης απορριπτόμενης θερμότητας από κύκλο Rankine

3.6 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Αντλίας Θερμότητας

Το κόστος λειτουργίας των αντλιών θερμότητας εξαρτάται μόνο από την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος.

Στις περισσότερες περιπτώσεις το κόστος αυτό είναι χαμηλότερο από το κόστος λειτουργίας και συντήρησης μικρής εγκατάστασης συνηθισμένου συστήματος κεντρικής θέρμανσης με ζεστό νερό και θερμαντικά σώματα.

Ωστόσο, το κόστος εγκατάστασης μια αντλίας θερμότητας είναι μεγαλύτερο από το αντίστοιχο μιας εγκατάστασης με θερμαντικά σώματα.

Ακόμη, η αντλία θερμότητας δεν συμβάλλει άμεσα στη ρύπανση του περιβάλλοντος, δεν απαιτεί μεγάλο χώρο εγκατάστασης και έχει τη δυνατότητα να θερμαίνει ή να ψύχει ένα χώρο ανάλογα με τις απαιτήσεις, κάτι που δεν μπορεί να προσφέρει ένα θερμαντικό σώμα.

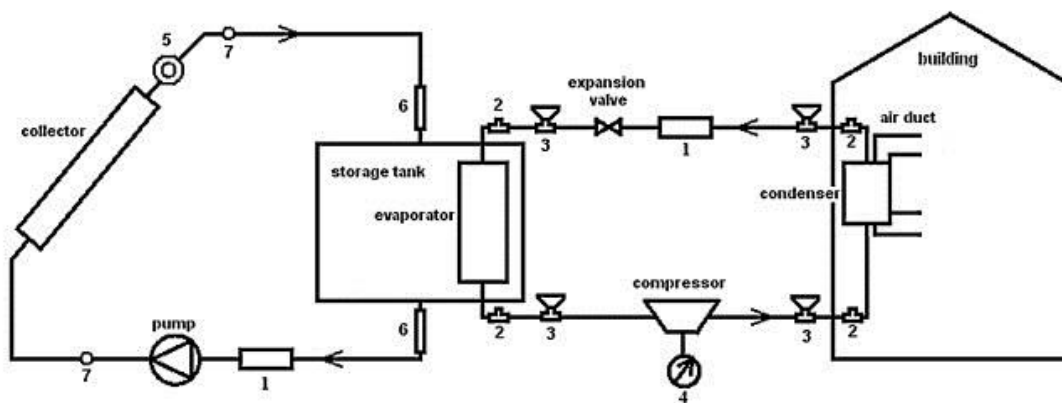
Από την άλλη όμως, ο συντελεστής απόδοσης της αντλίας θερμότητας μειώνεται κατά πολύ σε περιόδους που η θερμοκρασιακή διαφορά εσωτερικού με εξωτερικού περιβάλλοντος είναι μεγάλη. Έτσι, ενώ μπορεί ο ονομαστικός συντελεστής συμπεριφοράς COP να είναι 3,25 για 10 °C στο εξωτερικό περιβάλλον και 21 °C στο εσωτερικό, ο συντελεστής αυτός πέφτει κάτω από 1,5 όταν η εξωτερική θερμοκρασία είναι κάτω από τους -6 °C. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται μια επιπλέον πηγή θερμότητας (ηλεκτρικές αντιστάσεις, ηλιακοί συλλέκτες) για να καλύψει το απαιτούμενο φορτίο . Αυτό το πρόβλημα πραγματεύεται και η παρούσα διπλωματική εργασία, τη χρήση δηλαδή των ηλιακών συλλεκτών ως επιπλέον πηγή θερμότητας για θέρμανση το χειμώνα.

Τελικά, η αντλία θερμότητας γίνεται εξαιρετικά ανταγωνιστική από οικονομική σκοπιά όταν χρησιμοποιείται τόσο για θέρμανση τον χειμώνα όσο και για ψύξη το καλοκαίρι.

3.7 Ηλιακά Υποβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στην περίπτωση της θέρμανσης, είναι δυνατόν η αντλία θερμότητας να ενταχθεί σε ένα σύστημα με ηλιακούς συλλέκτες. Η θέρμανση του χώρου σε αυτή τη περίπτωση θα γίνεται ως εξής:

Νερό θερμαίνεται από τους ηλιακούς συλλέκτες που έχουμε εγκαταστήσει και αποθηκεύεται σε ένα δοχείο αδρανείας. Το δοχείο αδρανείας θα αποτελεί την πηγή θερμότητας της αντλίας θερμότητάς μας. Πρόκειται δηλαδή για μία αντλία θερμότητας νερού-αέρα ή νερού-νερού. Με αυτό τον τρόπο θα παρέχεται ζεστός αέρας ή ζεστό νερό για θέρμανση στον χώρο.



Σχήμα 3.12: Ηλιακά Υποβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας

Με την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών επιθυμούμε να εκμεταλλευτούμε την ηλιακή ενέργεια έχοντάς την ως πηγή θερμότητας για την αντλία θερμότητας και να μειώσουμε με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

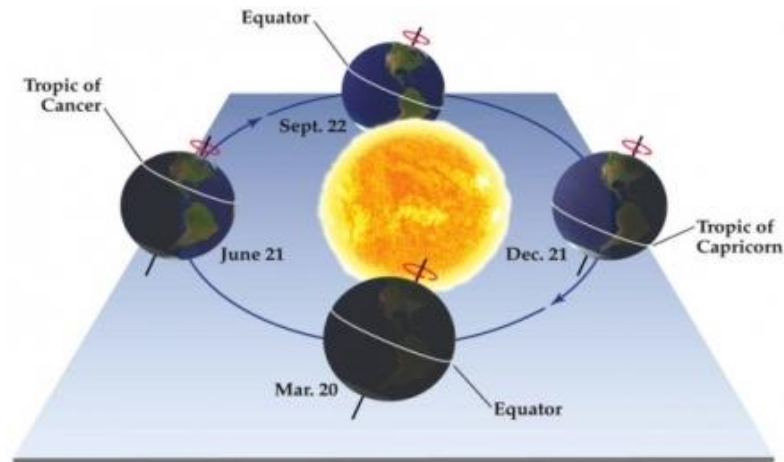
4 Ηλιακή Ενέργεια

4.1 Ο Ήλιος

Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος. Ο όρος αστέρας στην Αστρονομία προσδίδεται σε κάθε ουράνιο σώμα που διατηρεί όλες τις ιδιότητες που έχει ο Ήλιος του δικού μας ηλιακού συστήματος, γύρω από τον οποίο περιστρέφεται η Γη. Είναι το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Είναι σχεδόν μια τέλεια σφαίρα με διάμετρο 1,4 εκατομμύρια χιλιόμετρα, 109 φορές μεγαλύτερη από της Γης περίπου. Η φωτεινότητά του είναι τόσο έντονη, ώστε κατά τη διάρκεια της ημέρας να μην επιτρέπει στα άλλα ουράνια σώματα να φαίνονται, εκτός από τη Σελήνη και σπανιότερα την Αφροδίτη. Η ύπαρξή του είναι θεμελιώδους σημασίας για τη ζωή στη Γη, καθώς προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών, μέσω της φωτοσύνθεσης. Ακόμη, αποτέλεσμα της ύπαρξής του είναι και τα ανεκτά για τη διαβίωση επίπεδα θερμοκρασιών στη Γη.

Όλα τα παραπάνω συμβαίνουν λόγω της δομής του Ήλιου. Στην επιφάνειά του τα κυρίαρχα αέρια που υπάρχουν είναι το υδρογόνο και το ήλιο. Η θερμοκρασία του Ήλιου είναι τόσο μεγάλη ώστε όλα τα μέταλλα να εξαερώνονται. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας (6000 ° C περίπου) , πραγματοποιείται η μετατροπή του υδρογόνου σε ήλιο με ρυθμό 4 εκατομμυρίων τόνων το δευτερόλεπτο με ταυτόχρονη απελευθέρωση μεγάλης ποσότητας ενέργειας. Ο Ήλιος είναι δηλαδή ένας τεράστιος θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας που μετατρέπει το υδρογόνο σε ήλιο πραγματοποιώντας μια εξώθερμη αντίδραση. Παρόλο που η μάζα του μειώνεται συνεχώς λόγω της παραπάνω αντίδρασης, η μάζα του είναι τόσο μεγάλη που απαιτούνται δισεκατομμύρια χρόνια για να χάσει ένα εκατοστό της μάζα του.

Η ενέργεια που απελευθερώνεται στον Ήλιο ακτινοβολείται στο διάστημα και κάποια ποσότητα φθάνει στη Γη. Το ένα τρίτο της ακτινοβολίας που προσπίπτει στη Γη ανακλάται πίσω στο διάστημα. Η υπόλοιπη απορροφάται και εκπέμπεται τελικά στο διάστημα ως υπέρυθρη ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος. Αντιλαμβανόμαστε την ηλιακή ακτινοβολία ως λευκό φως. Στην πραγματικότητα , διαδίδεται με ένα ευρύ φάσμα μήκους κυμάτων από την υπέρυθρη έως την υπεριώδη ακτινοβολία.

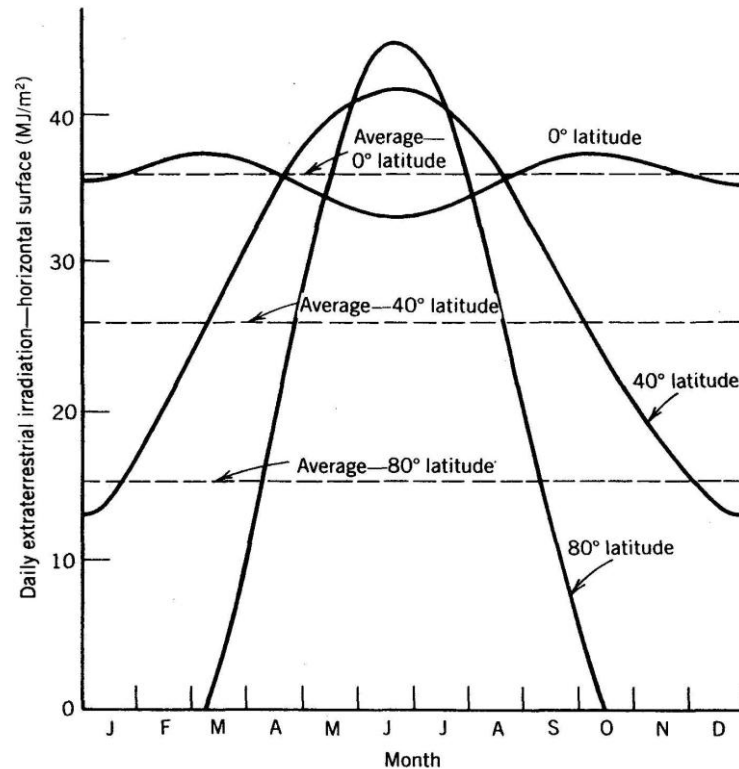


Σχήμα 4.1: Η περιστροφή της Γης γύρω από τον Ήλιο

Η Γη περιστρέφεται γύρω από τον Ήλιο με τον πολικό της άξονα σε κλίση ως προς το επίπεδο περιστροφής $23,5^\circ$. Τον Ιούνιο, η Γη βρίσκεται με τον βόρειο πόλο προς τον ήλιο. Έτσι, οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο βόρειο ημισφαίριο πιο κάθετα και ο ήλιος εμφανίζεται υψηλότερα στον ουρανό. Τον Δεκέμβριο, ο βόρειος πόλος έχει απομακρυνθεί λόγω κλίσης από τον ήλιο. Οι ακτίνες του ήλιου πέφτουν περισσότερο πλάγια, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Με τον όρο ενεργειακή πυκνότητα ονομάζουμε το ποσό ενέργειας που προσπίπτει σε ένα τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της Γης μια χρονική στιγμή.

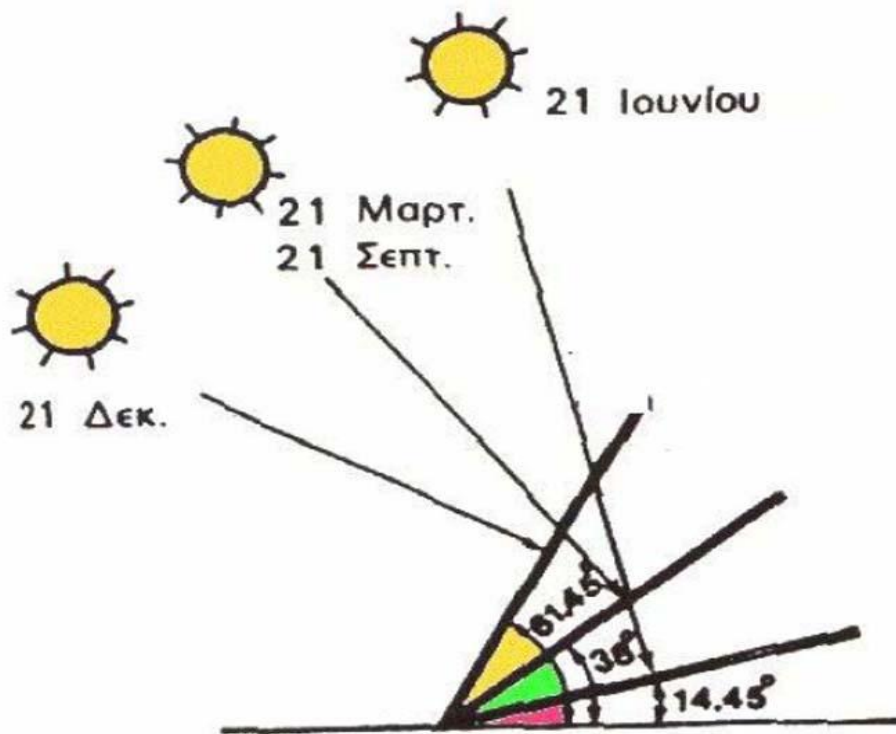
Όταν οι ακτίνες του Ήλιου φθάνουν στην ατμόσφαιρα, το φως διαχέεται σε κάποιο βαθμό, ανάλογα με τη νέφωση. Ένα κλάσμα από το φως που διαχέεται φθάνει στη γη ως διάχυτη ακτινοβολία. Η άμεση ακτινοβολία είναι το ποσοστό του φωτός που φθάνει απευθείας από τον ήλιο. Και οι δύο τύποι ακτινοβολίας είναι χρήσιμοι για εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας, αλλά μόνο η άμεση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παραγωγή υψηλών θερμοκρασιών. Μια ηλιόλουστη μέρα, η πυκνότητα ισχύος της άμεσης ακτινοβολίας μπορεί να φθάσει την τιμή 1 kWm^{-2} .

Η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με την εποχή του έτους, το γεωγραφικό πλάτος αλλά και την ώρα της ημέρας.



Σχήμα 4.2: Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος και τον μήνα του έτους

Η επιφάνεια συλλογής θα πρέπει να έχει κλίση προς τον ήλιο για τη μέγιστη συλλογή ακτινοβολίας. Η κλίση της επιφάνειας εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής και την εποχή του χρόνου που απαιτείται η περισσότερη ενέργεια. Εάν η κλίση της επιφάνειας είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος τότε οι ακτίνες του ήλιου θα την βρίσκουν κάθετα το μεσημέρι του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου. Για τη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ενέργειας το καλοκαίρι, η επιφάνεια θα πρέπει να έχει κλίση πιο κοντά στο οριζόντιο επίπεδο. Αντίθετα, το χειμώνα η επιφάνεια θα πρέπει να έχει κλίση πιο κοντά στο κάθετο επίπεδο. Αντίστοιχη είναι και η επίδραση του προσανατολισμού σε κατεύθυνση διαφορετική από τη νότια, όσον αφορά περιοχές στο βόρειο ημισφαίριο της Γης. Για τις περισσότερες ηλιακές εφαρμογές ο προσανατολισμός μπορεί να είναι από νοτιανατολικός μέχρι νοτιοδυτικός.



Σχήμα 4.3: Βέλτιστη κλίση επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη ανάλογα με την εποχή για Αθήνα (γεωγραφικό πλάτος 38°)

4.2 Τύποι ηλιακών συλλεκτών

Ο ηλιακός συλλέκτης απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατρέπει σε θερμότητα για τη θέρμανση ρευστού (αέρας ή υγρό μέσο). Το ρευστό στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να θερμάνει με άμεσο ή έμμεσο τρόπο. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλιακών συλλεκτών:

- Επίπεδος συλλέκτης
- Συλλέκτης κενού
- Συγκεντρωτικός συλλέκτης

4.2.1 Επίπεδος συλλέκτης

Η πλέον διαδεδομένη μορφή συλλέκτη για οικιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Τον απορροφητήρα ή πλάκα απορρόφησης, δηλαδή μία μαύρη επίπεδη επιφάνεια που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Ο απορροφητήρας είναι εφοδιασμένος με σύστημα μεταφοράς της ενέργειας στο ρευστό, π.χ σωλήνες αν πρόκειται για συλλέκτη θέρμανσης υγρού ή αεραγωγούς αν πρόκειται για θερμαντήρα αέρα.
2. Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον.
3. Μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες.
4. Πλαίσιο που περιβάλλει τον συλλέκτη.

Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας, η συμπεριφορά του συλλέκτη περιγράφεται από την παρακάτω σχέση ισολογισμού ενέργειας που εκφράζει τον καταμερισμό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, θερμικές απώλειες και οπτικές απώλειες:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)]$$

όπου

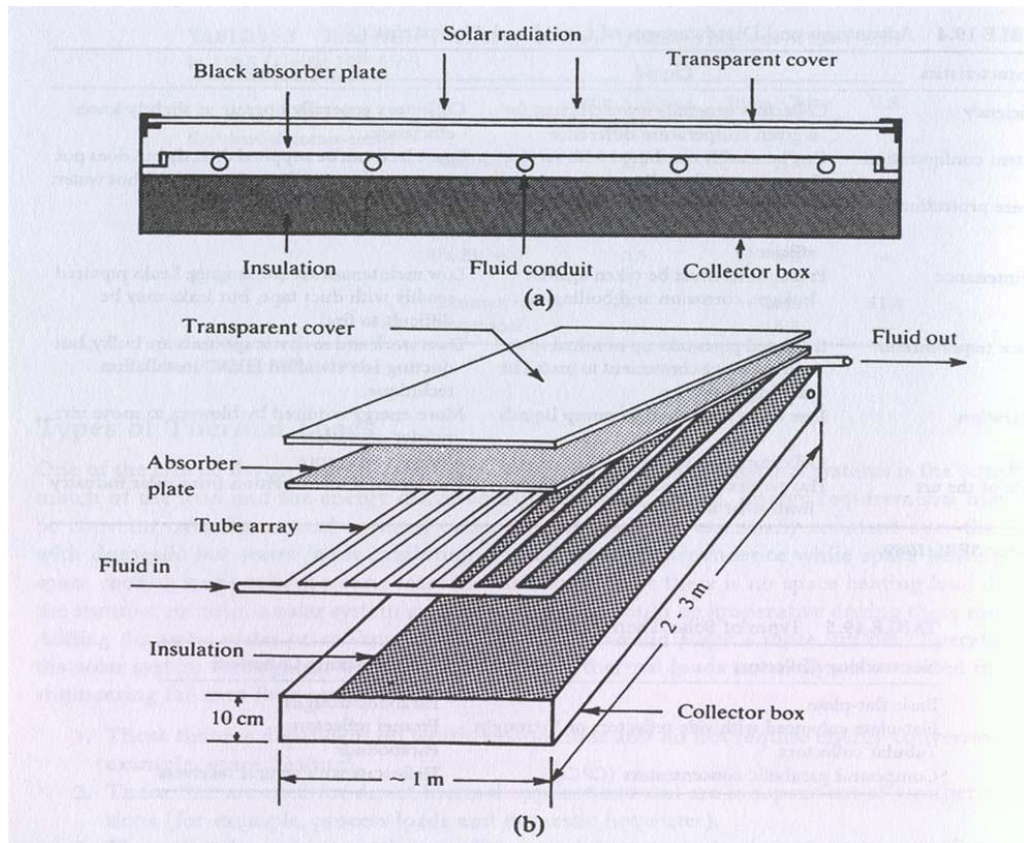
Q_u = Ωφέλιμη αποδιδόμενη ισχύς (W)

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

U_L = Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από το συλλέκτη στο περιβάλλον με αγωγή, συναγωγή και ακτινοβολία (W/m^2C)

$T_{p,m}$ = Μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα ($^{\circ}C$)

T_a = Θερμοκρασία περιβάλλοντος ($^{\circ}C$)



Σχήμα 4.4: Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

4.2.2 Συλλέκτης κενού

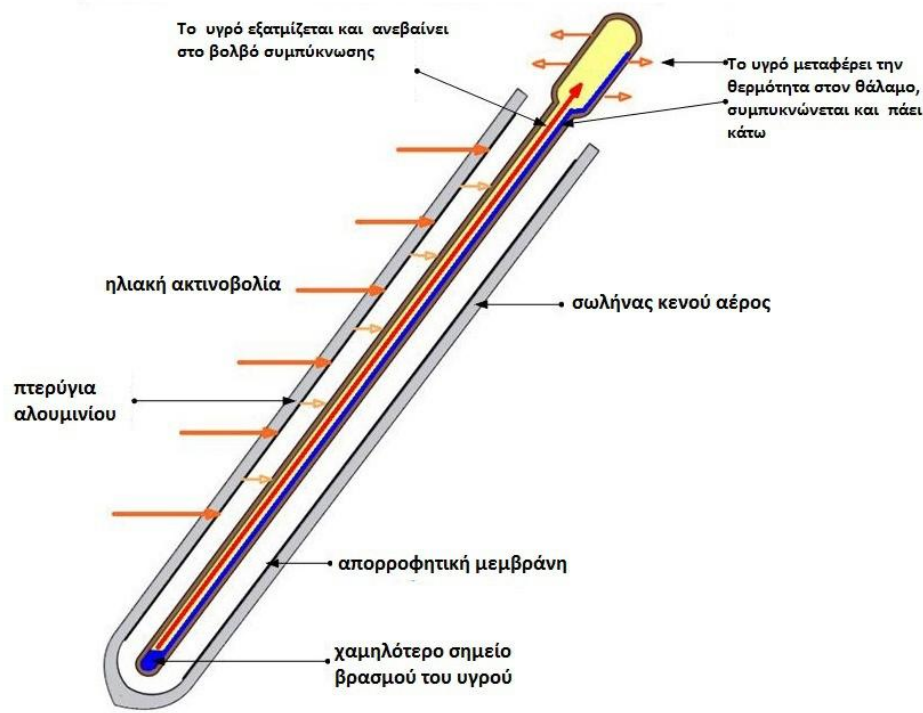
Αποτελείται από ένα σύστημα αρθρωτών αγωγών. Κάθε επιμέρους αγωγός είναι λεπτός, μεταλλικός με απορροφητική επιφάνεια στο κέντρο του. Οι απώλειες θερμότητας λόγω συναγωγής μειώνονται λόγω των συνθηκών κενού.

Η λειτουργία του έχει ως εξής: Σε κοίλο σωλήνα τοποθετείται υγρό σε τέτοια πίεση ώστε να βράζει στο ζεστό άκρο και η συμπύκνωση του ατμού να γίνεται στο κρύο άκρο. Η θερμική αγωγιμότητα ενός τέτοιου σωλήνα είναι πολλές φορές μεγαλύτερη σε σχέση με συμπαγή μεταλλικό σωλήνα με δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων ποσών θερμότητας για μικρή θερμοκρασιακή διαφορά.

Οι συλλέκτες κενού έχουν μεγαλύτερη απόδοση από τους επίπεδους συλλέκτες επειδή:

1. Εκμεταλλεύονται τόσο την άμεση όσο και τη διάχυτη ακτινοβολία. Το χαρακτηριστικό αυτό μαζί με την ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών λόγω κενού κάνει το συλλέκτη κενού κατάλληλο για κρύα κλίματα και περιοχές με μικρή ηλιοφάνεια το χειμώνα.

2. Λόγω του κυλινδρικού σχήματος των αγωγών το ηλιακό φως προσπίπτει κάθετα στην απορροφητική επιφάνεια το μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Αν και οι συλλέκτες κενού επιτυγχάνουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες και αποδόσεις από τον επίπεδο συλλέκτη, είναι πολύ περισσότερο ακριβοί.



Σχήμα 4.5: Ηλιακός συλλέκτης κενού

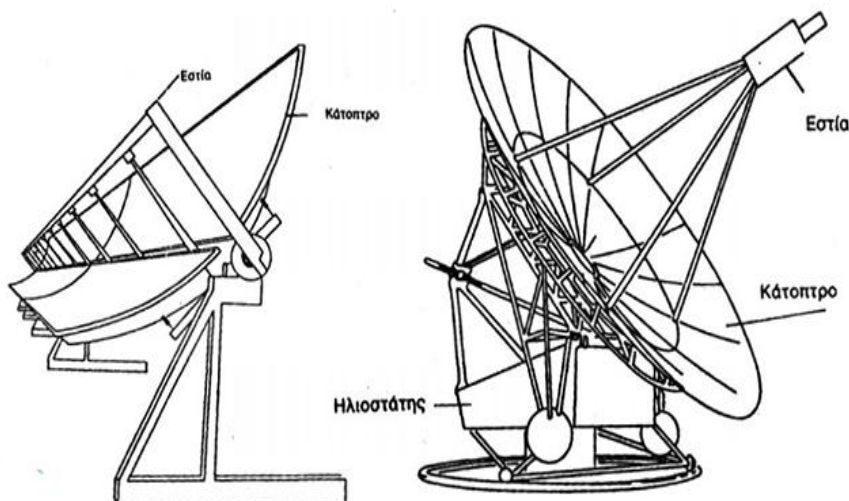
4.2.3 Συγκεντρωτικός συλλέκτης

Συλλέκτης γραμμικής εστίασης

Εστιάζει τις ακτίνες του ήλιου σε σωλήνα κατά μήκος του κέντρου παραβολικής επιφάνειας. Χρησιμοποιείται κυρίως σε εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής για την παραγωγή ατμού. Η επιφάνειά του μπορεί να περιστρέφεται πάνω-κάτω ή ανατολικά-δυτικά ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου. Ο προσανατολισμός ενός συλλέκτη γραμμικής εστίασης μπορεί να γίνει με τον άξονά του στο οριζόντιο ή στο κατακόρυφο επίπεδο.

Συλλέκτης σημειακής εστίασης

Χρησιμοποιείται για την παραγωγή ατμού. Η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου γίνεται σε δύο διαστάσεις.



Σχήμα 4.6: Συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης, γραμμικής (αριστερά) και σημειακής (δεξιά) εστίασης

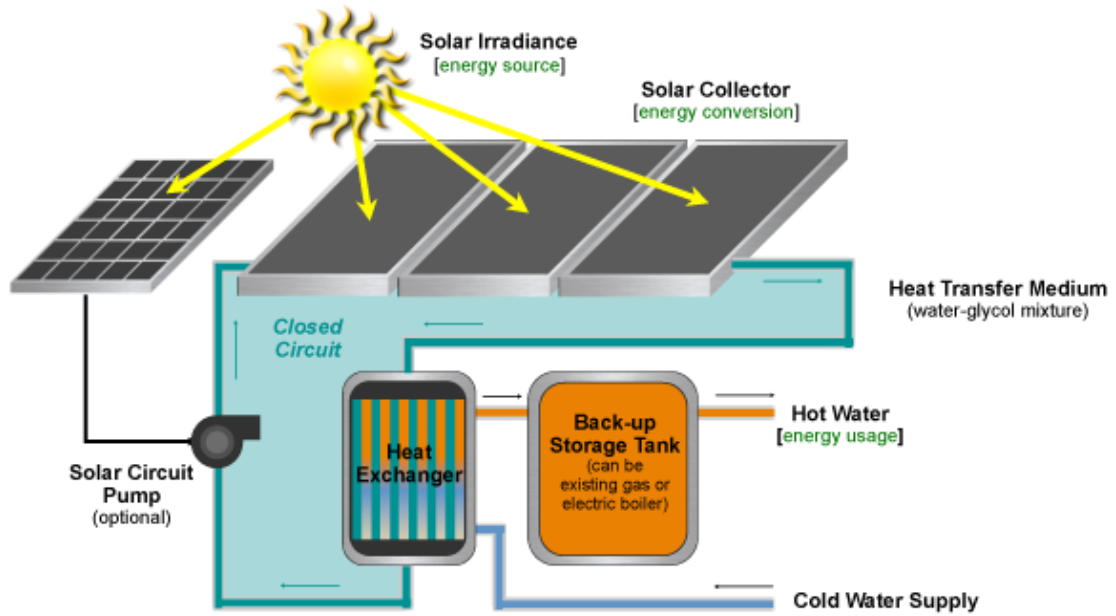
4.3 Συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Νερού

Τα ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού διακρίνονται σε ενεργητικά ή παθητικά. Ένα ενεργητικό σύστημα χρησιμοποιεί ηλεκτρική αντλία (κυκλοφορητής) για την κυκλοφορία του νερού. Ένα παθητικό σύστημα δεν έχει κυκλοφορητή. Τα συστήματα χαρακτηρίζονται επίσης ως ανοικτού ή κλειστού κυκλώματος.

Σ' ένα σύστημα ανοικτού κυκλώματος κυκλοφορεί πόσιμο νερό στον συλλέκτη. Ένα σύστημα κλειστού κυκλώματος χρησιμοποιεί ρευστό μεταφοράς θερμότητας (νερό ή διάλυμα αντιψυκτικού) για τη συλλογή της θερμότητας και έναν εναλλάκτη θερμότητας για τη μεταφορά θερμότητας στην κατοικία.

Τα ενεργητικά συστήματα είναι πιο ακριβά αλλά έχουν και μεγαλύτερη απόδοση. Επίσης μπορούν να ενταχθούν σε υφιστάμενα κτήρια γιατί οι δεξαμενές αποθήκευσης δεν είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν πιο ψηλά από τους συλλέκτες.

Τα παθητικά ή θερμοσιφωνικά συστήματα η δεξαμενή τοποθετείται πιο ψηλά από τον συλλέκτη. Είναι αξιόπιστα συστήματα αλλά απαιτούν προσεκτικό σχεδιασμό. Είναι φθηνότερα από τα ενεργητικά αλλά και λιγότερο αποδοτικά.



Σχήμα 4.7: Ενεργητικό σύστημα κλειστού κυκλώματος

5 Πρόγραμμα Προσομοίωσης TRNSYS 16

5.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων και των πολυζωνικών κτιρίων (multi-zone buildings). Χρησιμοποιείται παγκοσμίως από μηχανικούς και ερευνητές για την αξιολόγηση νέων ενεργειακών συστημάτων για διάφορες χρήσεις, από ένα απλό σύστημα θέρμανσης νερού μέχρι και τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτιρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένων στρατηγικών ελέγχου, συμπεριφορά των κατοίκων και συστήματα εναλλακτικών πηγών ενέργειας (ηλιακά, φωτοβολταϊκά, συστήματα υδρογόνου κ.λ.π.).

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

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

Οι εφαρμογές που περιλαμβάνονται στο TRNSYS είναι οι παρακάτω:

- ✓ Ηλιακά συστήματα (ηλιακά θερμικά και φωτοβολταϊκά)
- ✓ Κτίρια χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και συστήματα HVAC με στοιχεία προηγμένου σχεδιασμού (φυσικός αερισμός κ.λ.π.)
- ✓ Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- ✓ Συμπαγωγή, κυψέλες καυσίμου
- ✓ Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση

Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι οι εφαρμογές στο TRNSYS δημιουργούνται ενώνοντας γραφικά τα στοιχεία (components) στο στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio). Κάθε τύπος στοιχείου περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο στην μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS τα οποία συνδέονται με το στούντιο προσομοίωσης μέσω των «αιτήσεων» (Proformas). Η Proforma λειτουργεί σαν ένα «μαύρο κουτί» περιγραφής ενός στοιχείου που περιέχει τα εισαγόμενα και τα εξαγόμενα μεγέθη (inputs-outputs), τις μεταβλητές κ.λ.π. Τα στοιχεία συνήθως αναφέρονται ως types.

5.2 Στούντιο Προσομοίωσης (Simulation Studio)

Το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS αποτελεί το Στούντιο Προσομοίωσης, στο οποίο μπορούμε να δημιουργήσουμε τις εφαρμογές «ρίχνοντας» με το ποντίκι (drag – drop) τα επιλεγόμενα στοιχεία στο παράθυρο εργασίας, συνδέοντας τα μεταξύ τους και καθορίζοντας τις παραμέτρους της προσομοίωσης.

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.

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

Πολλές επιπρόσθετες εργασίες μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσα από το στούντιο προσομοίωσης, όπως η δημιουργία νέων υπολογιστικών μοντέλων προς εισαγωγή στο TNSYS 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.

5.2.1 Παράθυρα στο Στούντιο Προσομοίωσης

Το κεντρικό παράθυρο (main window) είναι αυτό που βλέπει ο χρήστης όταν ανοίξει το Στούντιο Προσομοίωσης. Όπως συμβαίνει και σε άλλα προγράμματα των Microsoft Windows, το κεντρικό παράθυρο περιέχει pull-down επιλογές, διάφορες μπάρες εργαλείων (toolbars) και ένα ή περισσότερα ενεργά παράθυρα (active windows). Στην αρχή το κεντρικό παράθυρο είναι άδειο. Όταν ο χρήστης δημιουργεί ένα καινούριο πρόγραμμα ή ανοίγει ένα που υπάρχει ήδη, εμφανίζεται στο κεντρικό παράθυρο ο Πίνακας Σύνταξης

(Assembly panel), ο οποίος περιγράφεται παρακάτω. Επίσης, όλα τα υπόλοιπα απαραίτητα χαρακτηριστικά του Στούντιο Προσομοίωσης καθώς και τα άλλα εργαλεία του TRNSYS είναι προσβάσιμα από το κεντρικό παράθυρο εργασίας του Στούντιο Προσομοίωσης. Κάποια από αυτά τα χαρακτηριστικά στοιχεία (features) ανοίγουν ξεχωριστά προγράμματα, τα οποία αναδύονται σε δικά τους παράθυρα.

Ο Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel Window) είναι το παράθυρο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, να τροποποιήσει και να “τρέξει” τις εφαρμογές προσομοίωσης.

Ο Κατάλογος Άμεσης Πρόσβασης (Direct Access Menu) περιλαμβάνει όλα τα μοντέλα (models) που είναι διαθέσιμα για την εκπόνηση των μελετών-εφαρμογών. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι οι όροι μοντέλο (model) και στοιχείο (component) εκφράζουν ακριβώς το ίδιο πράγμα και χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. Αυτοί οι όροι εκφράζουν ένα κομμάτι εξοπλισμού ή μια ενότητα που περιλαμβάνεται στο TRNSYS. Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω, τα μοντέλα που περιέχονται στον Κατάλογο Άμεσης Πρόσβασης χρησιμοποιούνται με την μέθοδο “drag and drop” στην τρέχουσα μελέτη.

Η Proforma είναι μια πρότυπη μέθοδος για την τεκμηρίωση των μοντέλων.

5.2.2 Proforma

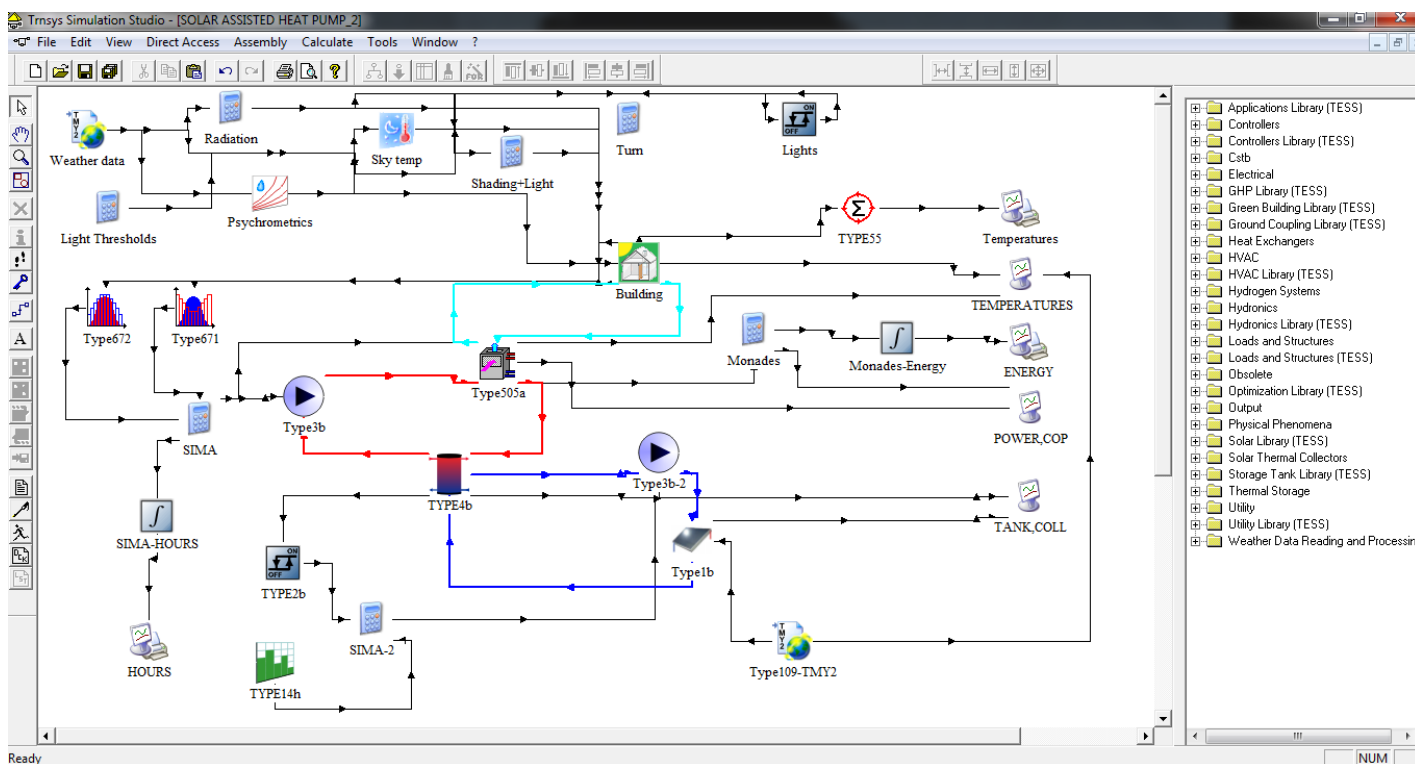
Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω, το αρχείο Proforma (*.TMF – TRNSYS model file) είναι το πρότυπο τεκμηρίωσης των μοντέλων που χρησιμοποιούνται στο Στούντιο Προσομοίωσης. Όλα τα στοιχεία που δημιουργούνται ή προστίθενται στο Στούντιο Προσομοίωσης πρέπει να έχουν μια ολοκληρωμένη Proforma έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια εφαρμογή προσομοίωσης.

Τα αρχεία Proforma στο Στούντιο Προσομοίωσης αποτελούνται από τέσσερις καρτέλες, οι οποίες περιέχουν όλες τις πληροφορίες που απαιτούνται για διευκολύνουν τη μεταφορά των πληροφοριών σχετικά με τα στοιχεία, και επιτρέπουν στα μοντέλα να χρησιμοποιούνται στην σωστή διάταξη. Η πρώτη καρτέλα περιέχει γενικές πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία του στοιχείου. Η δεύτερη καρτέλα περιέχει μια σύντομη περιγραφή, και μια αναλυτική περιγραφή του μοντέλου. Η Τρίτη καρτέλα περιλαμβάνει μια αναλυτική περιγραφή της κάθε μεταβλητής (παράμετροι, είσοδοι, έξοδοι και παράγωγοι) η οποία είναι απαραίτητη για τον προσδιορισμό του μοντέλου καθώς και της σύνδεσής του με τα άλλα στοιχεία. Η τέταρτη και τελευταία καρτέλα περιέχει συνδέσεις και εργαλεία για τη συνεργασία με τα αρχεία που σχετίζονται με το μοντέλο. Αυτό περιλαμβάνει πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα και σε άλλα αρχεία περιγραφής καθώς και την ικανότητα σύνδεσης των εξωτερικών αρχείων με το μοντέλο. Τα αρχεία αυτά μπορούν να ανοιχτούν με το κατάλληλο πρόγραμμα.

5.2.3 Πίνακας Σύνταξης (Assembly Panel)

Όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω ο Πίνακας Σύνταξης είναι το παράθυρο στο οποίο ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, να τροποποιήσει και να “τρέξει” τις εφαρμογές προσομοίωσης.

Το κεντρικό μενού Σύνταξης παρέχει πολλές χρήσιμες εντολές για την εργασία με τον Πίνακα Σύνταξης. Επιπρόσθετα, η εργαλειοθήκη της μελέτης (Project toolbar) περιλαμβάνει πολλά εικονίδια για τις απαραίτητες ενέργειες. Ακολουθεί η αναλυτική περιγραφή των ενεργειών που λαμβάνουν μέρος:



Εικόνα 5.1: Παράθυρο Πίνακα Σύνταξης

Μετακίνηση Στοιχείων και Συνδέσεων

Για την τοποθέτηση ενός μοντέλου/στοιχείου στον Πίνακα Σύνταξης, πρέπει να επιλεγεί ένα στοιχείο από την Εργαλειοθήκη Άμεσης Πρόσβασης, η οποία έχει δενδροειδή μορφή. Στη συνέχεια, κάνοντας κλικ στον Πίνακα Σύνταξης τοποθετείται το στοιχείο που έχουμε επιλέξει για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η σύνδεση των στοιχείων γίνεται με μια “σωλήνωση”, η οποία συνδέει τις εξόδους και τις εισόδους των στοιχείων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετακινεί τη θέση των συνδέσεων με σκοπό να γίνεται ο Πίνακας Σύνταξης ευκολότερος στην κατανόηση.

Επίσης, για να μπορεί ο χρήστης να δει τις παραμέτρους, τις εισόδους, τις εξόδους, τις παραγώγους, τις ειδικές κάρτες (special cards) και τα σχόλια που σχετίζονται με το συγκεκριμένο στοιχείο, πρέπει να κάνει δεξί κλικ στο εικονίδιο του μοντέλου και να πατήσει την επιλογή Μεταβλητές (Variables).

Διαγραφή στοιχείων

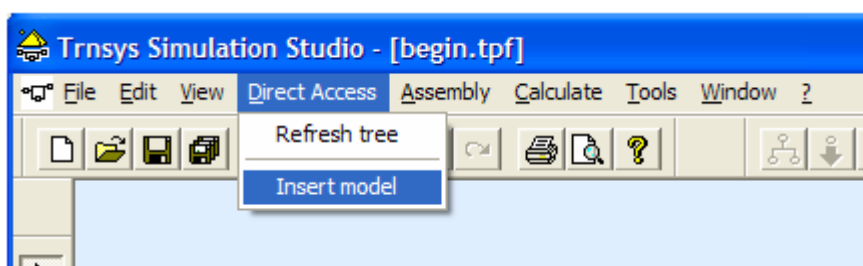
Ο χρήστης μπορεί να διαγράψει ένα στοιχείο ή μια σύνδεση μεταξύ δυο στοιχείων απλά κάνοντας αριστερό κλικ πάνω στο στοιχείο και πατώντας το πλήκτρο DEL.

Διπλασιασμός ή αντιγραφή στοιχείων

Η εντολή Edit/Copy στο μενού δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα ακριβές αντίγραφο του στοιχείου στον Πίνακα Σύνταξης. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το καινούριο στοιχείο θα περιέχει τις ίδιες πληροφορίες που είχε εισάγει ο χρήστης στο πρότυπο μοντέλο.

Χρησιμοποίηση της Εργαλειοθήκης Άμεσης Πρόσβασης

Η Εργαλειοθήκη Άμεσης Πρόσβασης (Direct Access Toolbar) επιτρέπει στον χρήστη να ανακτεί εύκολα και γρήγορα οποιοδήποτε από τα μοντέλα και να τα τοποθετεί στον πίνακα σύνταξης.



Εικόνα 5.2: Παράθυρο εργαλειοθήκης άμεσης πρόσβασης

Λήψη πληροφοριών (Πρόσβαση στην Proforma)

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στην Proforma του στοιχείου. Αρχικά, επιλέγουμε το στοιχείο και στη συνέχεια κάνουμε δεξί κλικ και επιλέγουμε το εικονίδιο “Πληροφορίες” από την εργαλειοθήκη της εφαρμογής. Η Proforma, όπως έχουμε αναφέρει και πιο πάνω,

περιέχει μια ολοκληρωμένη περιγραφή του στοιχείου, από μια επισκόπηση του μοντέλου μέχρι και πλήρη περιγραφή όλων των παραμέτρων, εισόδων, εξόδων και παραγώγων.

Αλλάζοντας την κατηγορία των στοιχείων

Κάθε στοιχείο είναι καταχωρημένο σε “κατηγορίες” (layers), στις οποίες εμφανίζονται και όλα τα στοιχεία της ίδιας κατηγορίας. Οποιοσδήποτε συνδυασμός κατηγοριών (layers) μπορεί να επιτευχθεί οποιαδήποτε στιγμή. Η αρχική ιδέα είναι να είναι τα στοιχεία καταχωρημένα σε διαφορετικές κατηγορίες, με σκοπό την διευκόλυνση του χρήστη. Στο περιβάλλον TRNSYS υπάρχουν προκαθορισμένες κατηγορίες: Μετεωρολογικά Δεδομένα, Κυκλοφορία Ύδατος, Κεντρικοί Αγωγοί, Κυκλοφορία Αέρα, Έξοδοι, και Κείμενο (weather/data files, water loop, main, air loop, outputs, text).

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετακινήσει ένα στοιχείο από μια κατηγορία σε μια άλλη.

Δημιουργία Συνδέσεων

Η εντολή Assembly/Link Mode από το μενού επιτρέπει στο χρήστη τον προσδιορισμό της ροής πληροφοριών από το ένα στοιχείο σε ένα άλλο. Η κατεύθυνση της πληροφορίας είναι από το πρώτο στοιχείο προς το δεύτερο (οι έξοδοι του πρώτου είναι οι εισοδοί για το δεύτερο). Οι έξοδοι παρουσιάζονται σαν μια γραμμή που εξέρχεται από το πρώτο στοιχείο, ενώ οι εισοδοί σαν μια γραμμή που εισέρχονται στο δεύτερο.

Δημιουργία Macro-Στοιχείου (Macro Component)

Η ιδέα του macro επιτρέπει στον χρήστη να αντικαταστήσει επιλεγμένα στοιχεία και τις μεταξύ τους συνδέσεις με ένα macro-στοιχείο, το οποίο θα έχει:

- > Σαν παραμέτρους, τις παραμέτρους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό
- > Σαν εξόδους, τις εξόδους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό
- > Σαν εισόδους, τις μη συνδεδεμένες εισόδους όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό
- > Σαν μεταβλητές, τις μεταβλητές όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό
- > Σαν εξωτερικά αρχεία, τα εξωτερικά αρχεία όλων των στοιχείων περιέχονται σε αυτό
- > Σαν ειδικές κάρτες, τις ειδικές κάρτες όλων των στοιχείων που περιέχονται σε αυτό

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

συνέχεια επιλέγουμε την εντολή Assembly/Create Macro από το μενού. Το πρόγραμμα αυτόματα αντικαθιστά τα επιλεγμένα στοιχεία με ένα macro-στοιχείο

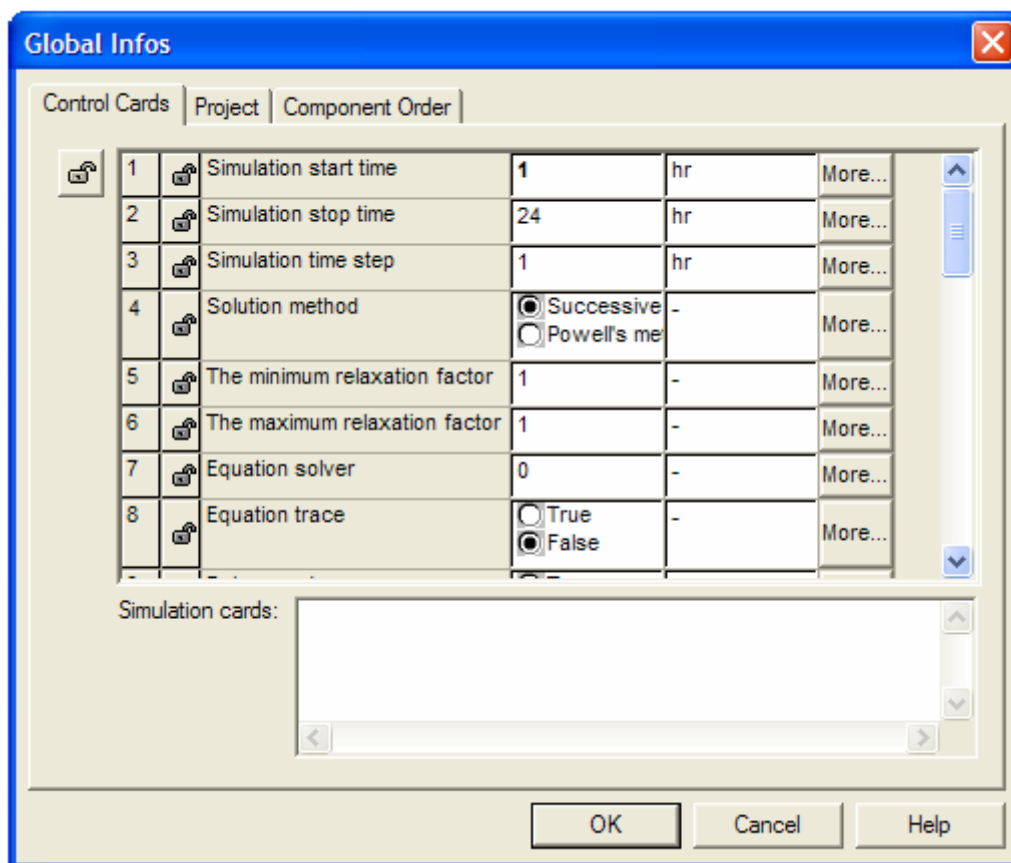
Με την εντολή Assembly/Explode Macro αντικαθιστούμε το macro-στοιχείο με τα στοιχεία και τις συνδέσεις που χρησιμοποιούνταν για την δημιουργία του. Ουσιαστικά είναι η αντίστροφη ενέργεια αυτής που αναφέραμε πιο πάνω. Επίσης, μπορούμε να αποθηκεύσουμε το macro-στοιχείο για μελλοντική του χρήση.

Κλείδωμα και Ξεκλείδωμα στοιχείων

Μια πολύ σημαντική ενέργεια που αξίζει να αναφέρουμε είναι το κλείδωμα/ξεκλείδωμα των στοιχείων. Η εντολή Assembly/Lock-Unlock επιτρέπει στον δημιουργό μιας μελέτης να “κλειδώσει” συγκεκριμένα στοιχεία στον Πίνακα Σύνταξης. Τα κλειδωμένα στοιχεία δεν μπορούν να διαγραφούν ή να τροποποιηθούν.

Πρόσβαση στις Καρτέλες Ελέγχου της Προσομοίωσης

Η εντολή Assembly/Control Cards επιτρέπει στον χρήστη να προσδιορίσει τις καρτέλες ελέγχου που απαιτούνται από το πρόγραμμα TRNSYS. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κλειδώσει και να ξεκλειδώσει οποιεσδήποτε από τις καρτέλες ελέγχου για μια προσομοίωση πατώντας το κατάλληλο εικονίδιο. Όπως έχουμε πει και πιο πάνω οι κλειδωμένες κάρτες ελέγχου δεν μπορούν να τροποποιηθούν. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι οι κάρτες ελέγχου θα καταγράφονται στο αρχείο εισόδου του TRNSYS το οποίο καθορίζεται στο περιθώριο με την ετικέτα “deck file name”.



Εικόνα 5.3: Καρτέλες Ελέγχου (Control Cards)

Παραγωγή μόνο του αρχείου εισόδου (Generate Input File)

Με την εντολή Calculate/Create input file ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει μόνο το αρχείο εισόδου χωρίς να γίνει η προσομοίωση. Αυτή η δυνατότητα είναι πολύ χρήσιμη για τον χρήστη διότι μπορεί να ελέγξει εάν όλα τα στοιχεία είναι σωστά συνδεδεμένα μεταξύ τους, χωρίς να ξεκινήσει η προσομοίωση.

Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να έχει πρόσβαση στο αρχείο εισόδου. Πρέπει να σημειώσουμε ότι οι αλλαγές που μπορεί να γίνουν από τον χρήστη στο αρχείο εισόδου δεν προσομοιώνονται.

Εκτέλεση της Προσομοίωσης

Με την εντολή Calculate/Run simulation τίθεται σε εφαρμογή το πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS για την τρέχουσα μελέτη. Εκτελώντας την παραπάνω εντολή αυτόματα διενεργούνται οι παρακάτω διαδικασίες:

- Η μελέτη αποθηκεύεται και γίνεται έλεγχος για λάθη ή παραλείψεις τις οποίες μπορεί να εντοπίσει το Στούντιο Προσομοίωσης
- Δημιουργείται το αρχείο εισόδου του TRNSYS
- Εκτελείται η προσομοίωση με το καινούριο αρχείο εισόδου

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

Πρόσβαση στο Αρχείο Καταλόγου (*.Ist) μέσω Διαχειριστή Σφαλμάτων (Error Manager)

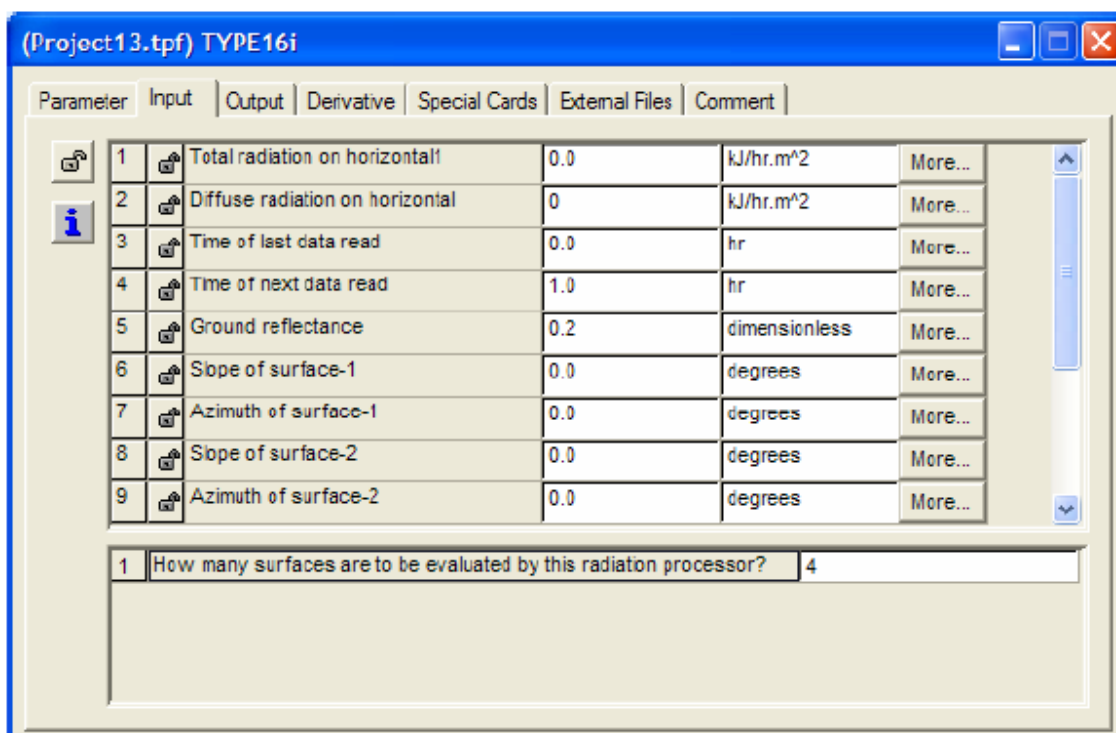
Με την εντολή Calculate/Open/List File επιτρέπεται στους χρήστες να έχουν πρόσβαση στον Διαχειριστή Σφαλμάτων, ο οποίος αναλύει το αρχείο καταλόγων που δημιουργείται από το TRNSYS κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο Διαχειριστής Σφαλμάτων περιέχει όλα τα παραγόμενα μηνύματα σφαλμάτων από το TRNSYS και είναι το πρώτο μέρος που πρέπει να κοιτάξουμε όταν η προσομοίωση αποτυγχάνει.

5.2.4 Μεταβλητές (Variables)

Ένα σημαντικό βήμα για την δημιουργία μιας μελέτης στο Στούντιο Προσομοίωσης είναι ο καθορισμός των απαραίτητων μεταβλητών για κάθε μοντέλο-στοιχείο. Η πρόσβαση στο παράθυρο των μεταβλητών γίνεται κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο του επιθυμητού μοντέλου. Οι παράμετροι, οι εισοδοι, οι έξοδοι και οι παράγωγοι είναι διαθέσιμες σε ένα παράθυρο με μορφή ετικετών. Από τον χρήστη απαιτείται να προσδιορίσει όλες τις παραμέτρους, τις αρχικές τιμές για όλες τις εισόδους, καθώς και όσες παραγωγούς χρειαστεί να παρουσιαστούν στο μοντέλο. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι το παράθυρο των εξόδων είναι καθαρά για πληροφοριακούς λόγους. Οποιαδήποτε παράλειψη προσδιορισμού κάποιας από τις παραπάνω πληροφορίες θα έχει σαν αποτέλεσμα η συγκεκριμένη πληροφορία να πάρει την προκαθορισμένη από το πρόγραμμα τιμή.

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

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

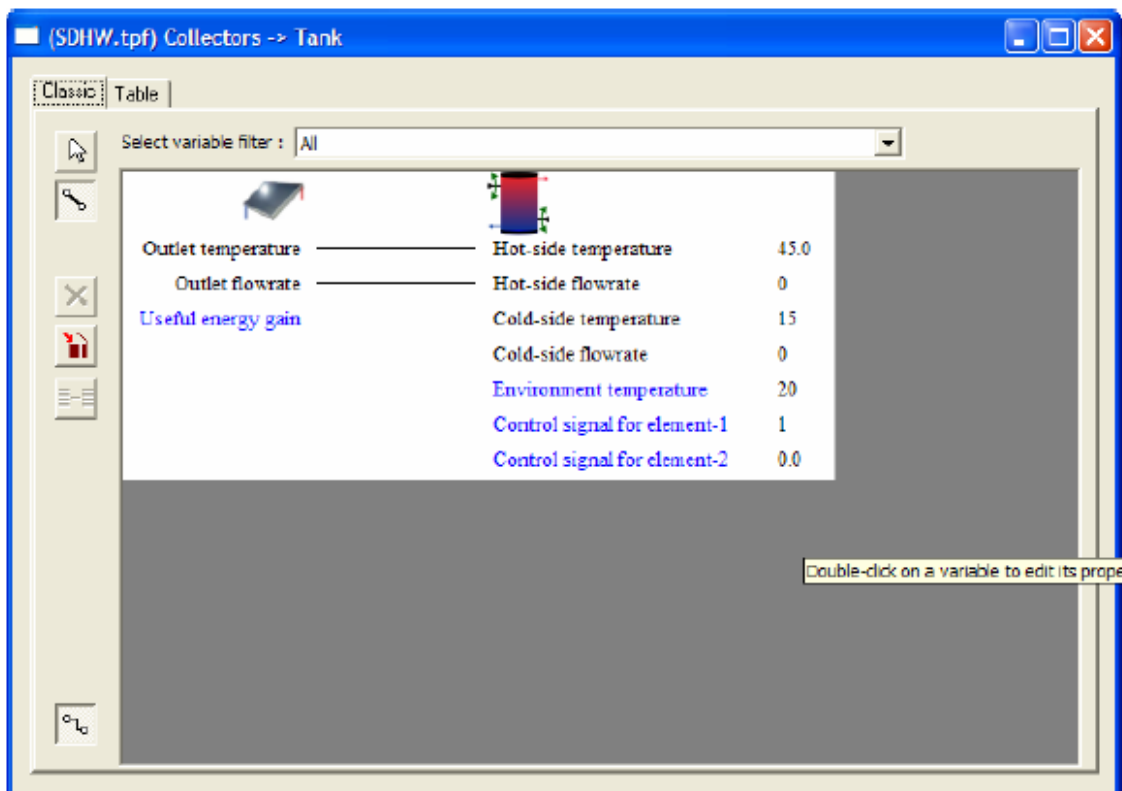


Εικόνα 5.4: Παράθυρο εισόδου των μεταβλητών

5.2.5 Συνδέσεις (Connections)

Αφού ο προσδιορισμός των τιμών των παραμέτρων των στοιχείων έχει ολοκληρωθεί, είναι σημαντικό να καθοριστεί ο τρόπος με τον οποίο ρέουν οι πληροφορίες από το ένα στοιχείο στο άλλο. Στο Στούντιο Προσομοίωσης η ροή αυτή παρουσιάζεται σαν ένας σύνδεσμος μεταξύ των δύο στοιχείων. Ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει τις λεπτομέρειες της σύνδεσης μεταξύ των δύο στοιχείων χρησιμοποιώντας το παράθυρο των συνδέσεων (Connections window).

Το παράθυρο των συνδέσεων αποτελείται από 2 καρτέλες (Classic, Table), κάθε μια από τις οποίες περιέχει 2 στήλες με μεταβλητές. Η πρώτη στήλη περιέχει τις εξόδους από το πρώτο στοιχείο ενώ η δεύτερη περιέχει τις εισόδους στο δεύτερο στοιχείο. Εάν κάποια είσοδος ενός στοιχείου μείνει ασύνδετη τότε θα λαμβάνει μια σταθερή τιμή η οποία είναι προκαθορισμένη. Πρέπει να σημειώσουμε ότι στο TRNSYS οι εισοδοί μπορούν να συνδεθούν μόνο μια φορά ενώ οι εξοδοί παραπάνω. Δεξιά από την στήλη των εισόδων υπάρχει μια άλλη στήλη η οποία περιέχει τις αρχικές τιμές για κάθε μεταβλητή, οι οποίες μπορούν να προσδιοριστούν από εδώ ή από το παράθυρο των μεταβλητών (Variables window).



Εικόνα 5.5: Παράθυρο συνδέσεων

Για να δημιουργήσουμε μια σύνδεση κάνουμε κλικ σε μια ασύνδετη έξοδο (αριστερή στήλη) και στη συνέχεια επιλέγουμε με τον ίδιο τρόπο την επιθυμητή είσοδο (δεξιά στήλη) δημιουργώντας μια γραμμή η οποία ενώνει τις μεταβλητές. Το TRNSYS επιτρέπει τη σύνδεση μεταβλητών του ίδιου μεγέθους (π.χ. θερμοκρασία με θερμοκρασία).

5.2.6 Εξισώσεις (Equations)

Ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο του TRNSYS είναι η δυνατότητα δημιουργίας εξισώσεων μέσα στο αρχείο εισόδου, οι οποίες δεν βρίσκονται μέσα σε κάποιο μοντέλο. Οι εξισώσεις αυτές μπορεί να είναι συναρτήσεις

των εξόδων κάποιων στοιχείων, αριθμητικές τιμές, ή εξισώσεις που έχουν προκαθοριστεί. Οι εξισώσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εισοδοί σε κάποιο μοντέλο, σαν παράμετροι, αρχικές τιμές εισόδων, ή παράγωγοι.

5.2.7 Μηχανή Προσομοίωσης του TRNSYS

Η μηχανή προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Engine) είναι προγραμματισμένη σε FORTRAN και ο κώδικάς της είναι διανεμημένος. Η μηχανή είναι συνταγμένη σε μια Windows Dynamic Link Library (DLL), TRNDLL. Ο πυρήνας του TRNSYS διαβάζει όλες τις πληροφορίες στην προσομοίωση (ποια στοιχεία χρησιμοποιούνται και πως συνδέονται) στο αρχείο εισόδων, γνωστό ως αρχείο deck (*.dck). Επίσης, ανοίγει πρόσθετα αρχεία εισόδων (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα) και δημιουργεί αρχεία εξόδων.

Η μηχανή προσομοίωσης καλείται από ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα, το TRNexe, το οποίο θέτει σε εφαρμογή και τον σχεδιαστή (online plotter), ένα χρήσιμο εργαλείο το οποίο δίνει την δυνατότητα της παρατήρησης πολλών μεταβλητών εξόδου κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

5.3 Γραφικό περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων κτηρίου (TRNBuild)

5.3.1 Γενική Περιγραφή

Το TRNBuild είναι το πρόγραμμα εισαγωγής των δεδομένων ενός πολυζωνικού κτιρίου. Επιτρέπει στον χρήστη τον λεπτομερή καθορισμό όλων των κατασκευαστικών στοιχείων του κτιρίου, 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 κ.λ.π.

5.3.2 Επεξεργασία των Στοιχείων του Κτιρίου

Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου εμπλέκει πολλές παραμέτρους ώστε να έχει ένα τυπικό αρχείο περιγραφής όπως τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Έτσι κάθε κτήριο που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του ειδικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui. Ο καθορισμός των στοιχείων του κτηρίου γίνεται κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου επιλέγοντας “edit building”. Με τον τρόπο αυτό εκκινεί το πρόγραμμα TRNBuild και ανοίγει το αρχείο περιγραφής του αρχείου.

5.3.3 Παράθυρο Μελέτης (Project Initialization Window)

Μέσω του TRNBuild καθορίζονται αρχικά οι γενικές παράμετροι του κτηρίου από την καρτέλα “Project” και οι θερμικές ζώνες. Στην καρτέλα “Project” ορίζονται:

Προσανατολισμοί (Orientation)

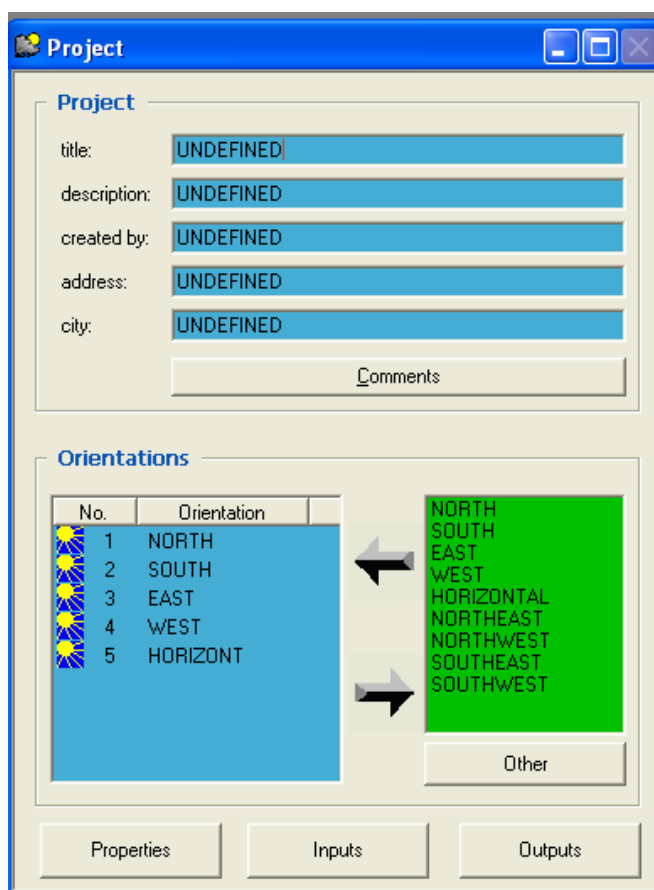
Όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων πρέπει να προσδιορίζονται με μοναδικά ονόματα. Υπάρχει η δυνατότητα να επιλεγούν συνήθεις προσανατολισμοί που ήδη υπάρχουν, οι οποίοι παρουσιάζονται και στον πίνακα στο δεξί μέρος της καρτέλας, ή να καθοριστούν νέοι δίνοντας ένα όνομα για τον προσανατολισμό και ορίζοντας νέες εισόδους στο μοντέλο για τον καθορισμό της ακτινοβολίας στον προσανατολισμό αυτό.

Ιδιότητες (Properties)

Οι ιδιότητες του κτηρίου περιλαμβάνουν τις τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, την πυκνότητα του αέρα καθώς και τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής:

$$A_{conv} = const(T_{surf} - T_{air})^{exp} \quad (5.1)$$

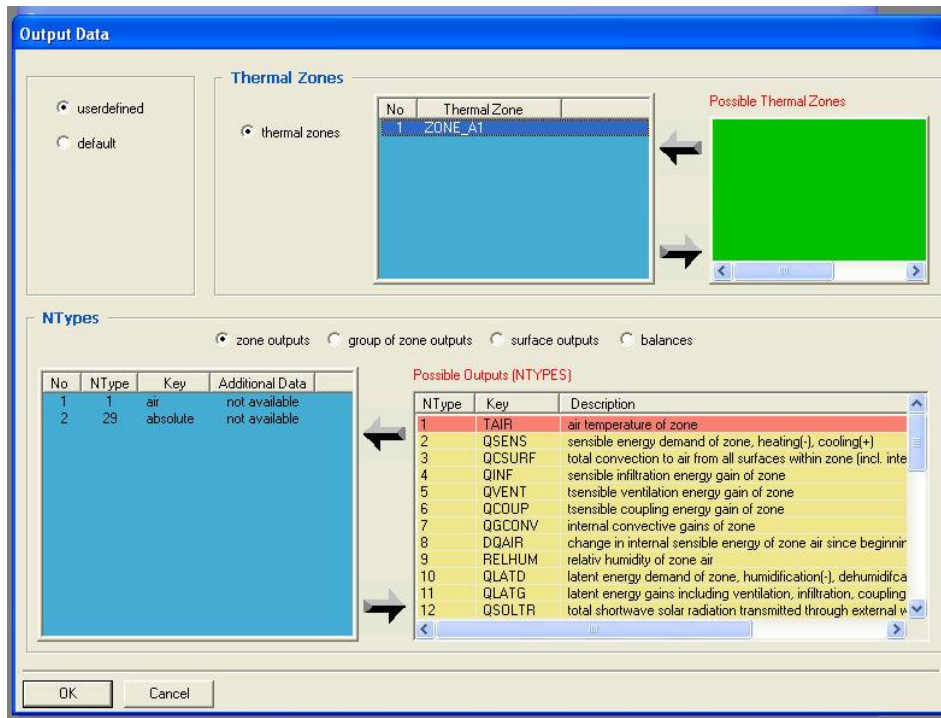
και στην καρτέλα αυτή καθορίζονται οι συντελεστές const και exp για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.



Εικόνα 5.6: Παράθυρο ιδιοτήτων της μελέτης

Είσοδοι – Έξοδοι (Inputs – Outputs)

Οι επιπλέον είσοδοι ορίζονται στην περίπτωση που επιθυμούμε τον καθορισμό της τιμής μιας μεταβλητής από άλλο μοντέλο που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Ο έξοδοι που μπορεί να έχει το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου είναι πολλές και συγκεκριμένες και αφορούν κάθε ζώνη ξεχωριστά, ή ένα σύνολο ζωνών, κάθε επιφάνεια ξεχωριστά ή το σύνολο των επιφανειών και τέλος ενεργειακά ισοζύγια σε επιφάνειες ή ζώνες μεμονωμένα ή στο σύνολό τους.



Εικόνα 5.7: Παράθυρο εξόδων

5.3.4 Παράθυρο Επεξεργασίας της Ζώνης (Zone Window)

Το παράθυρο επεξεργασίας Ζωνών περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή μιας θερμικής ζώνης του κτηρίου. Τα δεδομένα που περιγράφουν την κάθε ζώνη χωρίζονται σε 4 κύριες κατηγορίες:

1. Βασικά δεδομένα (REGIME DATA)
2. Δεδομένα των τοίχων
3. Δεδομένα των παραθύρων
4. Δεδομένα προαιρετικού εξοπλισμού και προδιαγραφές λειτουργίας, τα οποία περιλαμβάνουν δεδομένα Διείδυσης, Αερισμού, Ψύξης, Θέρμανσης, Φορτίων και Άνεσης

Είσοδοι των Απαιτούμενων Βασικών Εισόδων

Τα ακόλουθα δεδομένα εισάγονται στο τμήμα του παραθύρου ZONE με την ονομασία REGIME DATA:

- Όγκος του κτηρίου

- Ολική θερμική αγωγιμότητα του αέρα της ζώνης καθώς
- Αρχική θερμοκρασία του αέρα της ζώνης
- Αρχική σχετική υγρασία της ζώνης
- Μοντέλο υγρασίας (Humidity model)

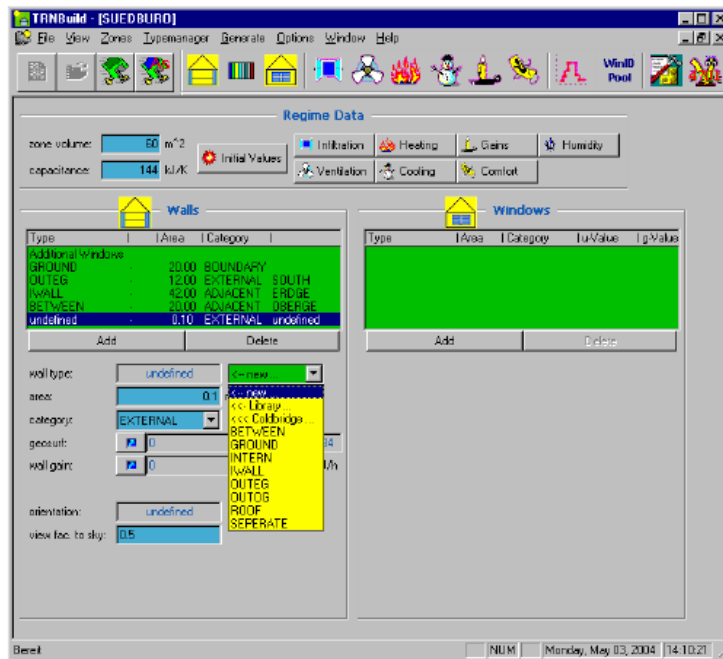
Δεδομένα των Τοίχων

Τα δεδομένα για τους τοίχους εισάγονται στο αριστερό μέρος του παραθύρου. Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (εξωτερικός, εσωτερικός, παρακείμενος σε άλλη ζώνη ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (τα υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγεί από τις βιβλιοθήκες που είναι στο TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή τοίχων στο άνω μέρος του κεντρικού παραθύρου.

Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν:

1. Την βασική βιβλιοθήκη, η οποία περιέχει συνηθισμένους τοίχους και οροφές,
2. Την Γερμανική βιβλιοθήκη, με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το Γερμανικό VDI 2078,
3. Την Αμερικάνικη βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.

Για τον προσδιορισμό ενός καινούριου τοίχου εκτός από την εισαγωγή ενός μοναδικού ονόματος του τοίχου, την ικανότητα του τοίχου για απορρόφηση ηλιακών ακτινών (οι οποίοι δίνονται σε πίνακα), και τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, ο χρήστης πρέπει να προσδιορίσει την κατασκευή του τοίχου. Η κατασκευή του τοίχου προσδιορίζεται από μια σειρά στρωμάτων από μέσα προς τα έξω.



Εικόνα 5.8: Παράθυρο δεδομένων των τοίχων

Δεδομένα των Παραθύρων

Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακειμένους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξί μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις, το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης, καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακειμένων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS η καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι:

1. Η γερμανική, η οποία περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με στοιχεία που πάρθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, Saint Gobain, Interpane, και Luxguard.
2. Η Αμερικάνικη, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE.

Η επιλογή της δημιουργίας ενός νέου παραθύρου πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Σε αντίθεση με τον προσδιορισμό νέων τοίχων, οι ιδιότητες των παραθύρων που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της

προσομοίωσης δεν μπορούν να προσδιοριστούν πλήρως από το TRNBuid. Για τον πλήρη προσδιορισμό τους είναι απαραίτητο να εκχωρηθεί ένα πρόσθετο αρχείο ASCII (W4-LIB.DAT) το οποίο περιέχει συγκεκριμένες πληροφορίες που είναι απαραίτητες για την προσομοίωση.

Λεδομένα Προαιρετικού Εξοπλισμού

Διείσδυση του αέρα

Η ροή του αέρα από έξω προς τα μέσα στη ζώνη μπορεί να καθοριστεί από την διείσδυση (Infiltration). Η επιλογή της διείσδυσης είναι προαιρετική και στην αρχική (default) ρύθμιση είναι ανενεργή. Επιλέγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Infiltration” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών του αέρα, ο οποίος εισέρχεται με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.

Αερισμός

Με την μέθοδο αυτή μπορεί να καθοριστεί η εισροή του αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο προσδιορισμός της μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μια καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα.

Θέρμανση

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

Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Heating” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας “New”. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την

επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, τη μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίνεται με ακτινοβολία και τέλος αν επιθυμείται υγραποίηση του αέρα στη ζώνη. Στην περίπτωση που επιλεγεί η υγραποίηση του αέρα πρέπει να οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία στη ζώνη.

Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο πικοντά στην πραγματικότητα πρέπει να οριστεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή.

Ψύξη

Όπως και στη θέρμανση δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Η μέθοδος ψύξης εισάγεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Όπως και πριν, έτσι και τώρα επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για την ψύξη και επιλέγεται αν γίνεται ή όχι αφύγρανση του αέρα καθώς και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.

Εσωτερικά φορτία

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο προσδιορισμός των φορτίων γίνεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων, ηλεκτρονικών υπολογιστών, και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους και το αν έχουν ή όχι έγχρωμη ή όχι οθόνη. Τέλος, για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε Watt/m² και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής.

Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό των ατόμων ή των ηλεκτρονικών υπολογιστών, ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική ελέγχου από το αντίστοιχο πεδίο “control strategy”. Τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας

κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο προσδιορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.

Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο είναι συνήθως περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο. Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και παρακάτω δίνονται πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθεις εργασίες.

Κατά τον ορισμό μιας από τις παραπάνω μεθόδους, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μια σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από μια είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους.

5.4 Εφαρμογές TRNSED και TRNEdit

Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας εξειδικευμένος επεξεργαστής, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS (decks). Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών οι οποίες είναι γνωστές ως TRNSED εφαρμογές. Οι εφαρμογές αυτές μπορούν να διανεμηθούν ελεύθερα μεταξύ των χρηστών που δεν έχουν άδεια χρήσης του TRNSYS με σκοπό να του παραχθεί ένα απλοποιημένο εργαλείο προσομοίωσης. Το πρόγραμμα TRNEdit παρέχεται με ένα κατάλληλο γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει το αρχείο εισόδου του TRNSYS εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται στοιχεία όπως πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. 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.

6 Αριθμητική Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας στο TRNSYS

6.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προσομοίωση της ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας, η οποία θερμαίνει τους χειμερινούς μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο ένα κτίριο. Αρχικά, θα αναφερθούν τα στοιχεία και οι παράμετροι που επιλέχθηκαν για τον σχεδιασμό του κτιρίου στο Simulation Studio και στη συνέχεια θα παρουσιαστεί η συνδεσμολογία των στοιχείων (components) που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα TRNSYS.

6.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio

Επιλέχθηκε ένα κτίριο με τις εξής διαστάσεις και ανοίγματα:

Μήκος: 10 m

Πλάτος: 10 m

Ύψος: 3 m

Άρα έχουμε έναν συνολικό όγκο 300 m^3

Επίσης, τα ανοίγματα που επιλέχθηκαν σύμφωνα με τον προσανατολισμό τους είναι:

Βορράς: 0 m^2

Νότος: 6 m^2

Ανατολή: 3 m^2

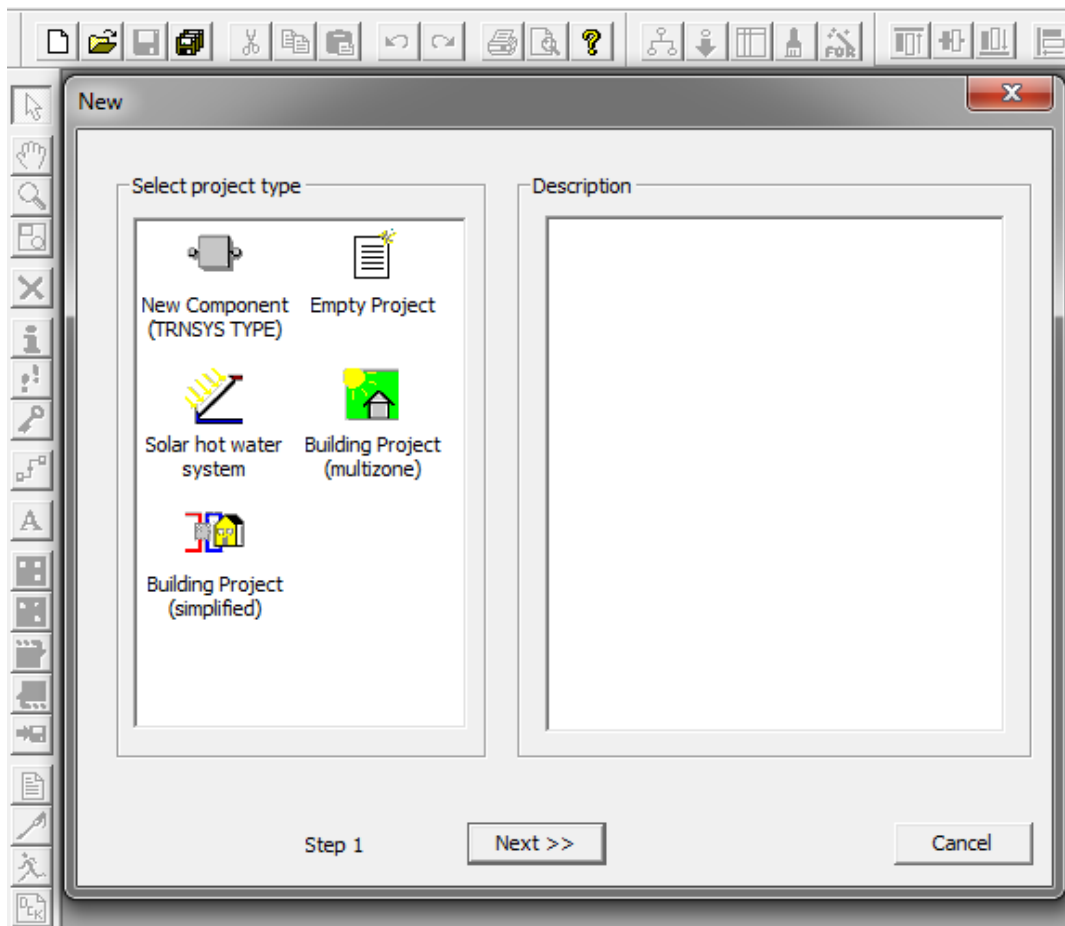
Δύση: 3 m^2

Συντελεστής σκίασης των παραθύρων: 0,7

Για την επιλογή των παραπάνω ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία:

Βήμα 1^ο

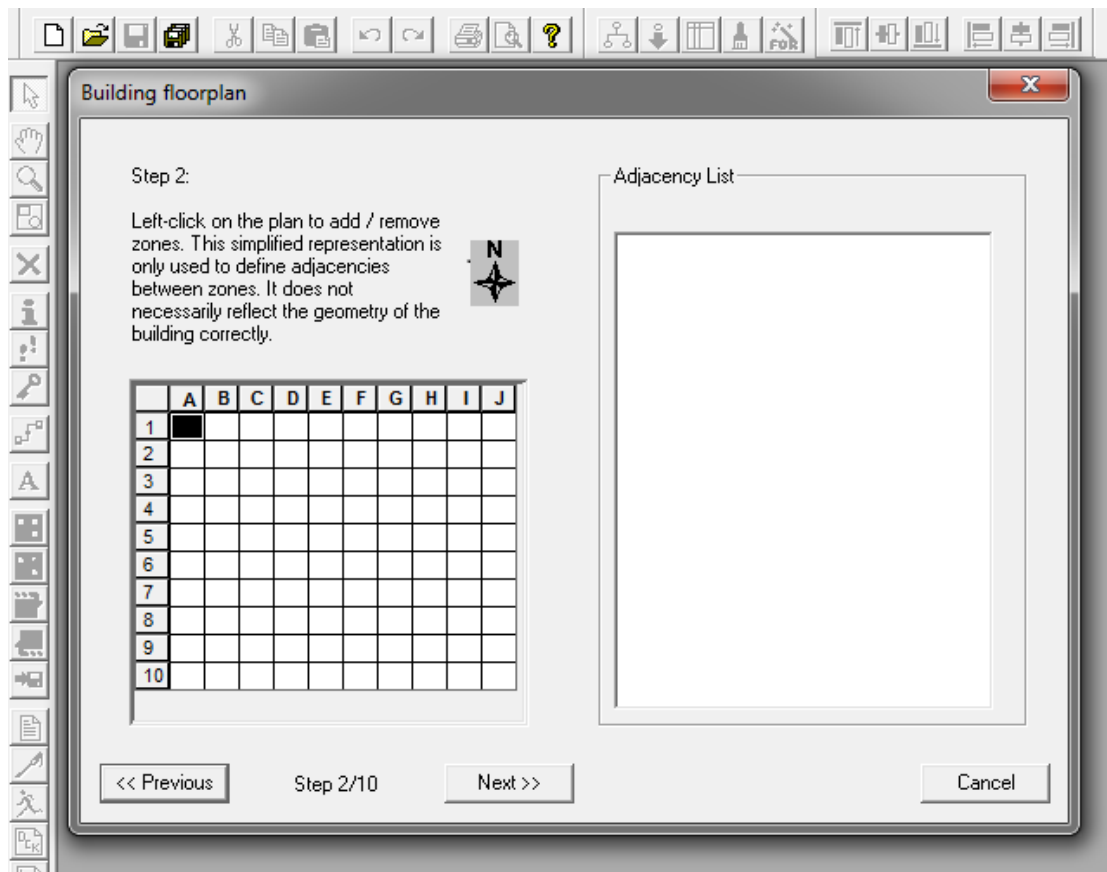
Ανοίγουμε το TRNYS Studio και επιλέγουμε να δημιουργήσουμε ένα νέο Building Project (multizone)



Εικόνα 6.1: Δημιουργία Building Project (multizone)

Βήμα 2^ο

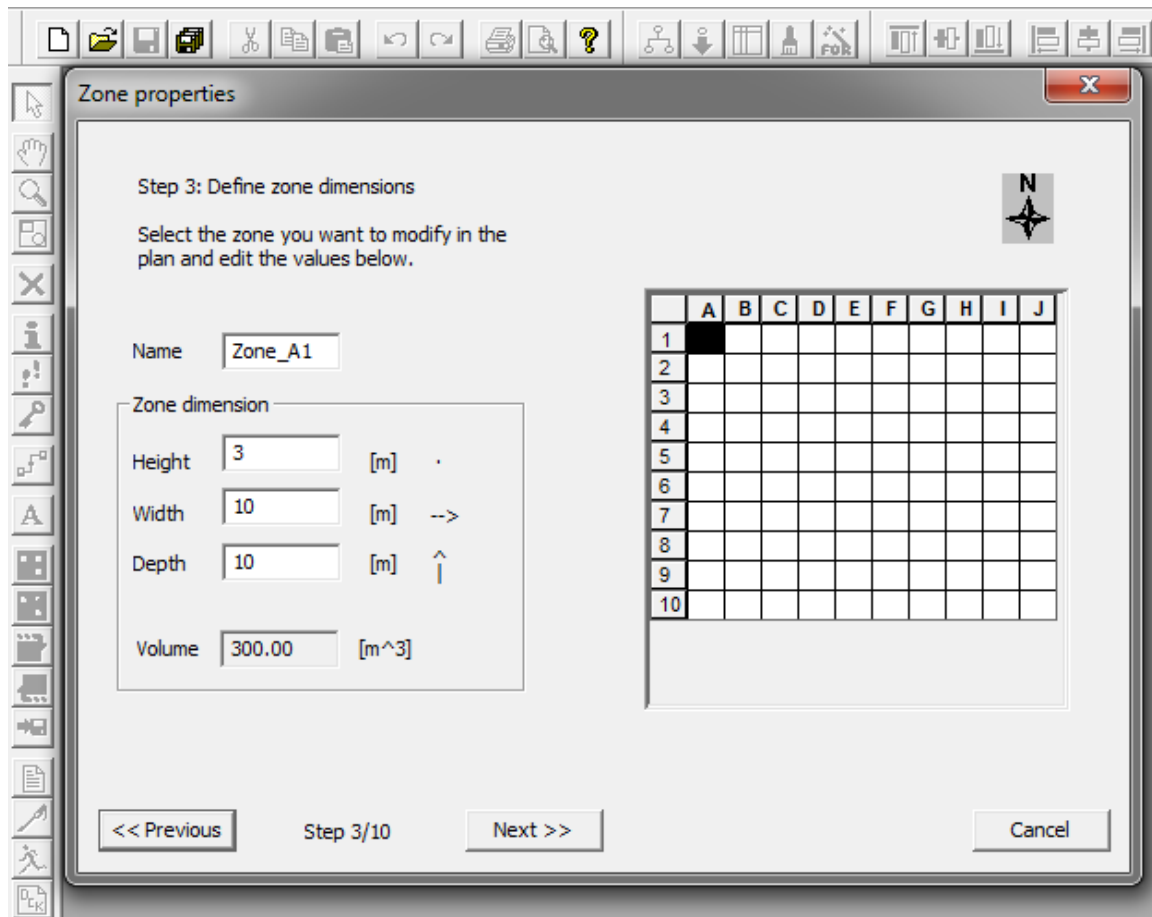
Επιλέγουμε τον αριθμό ζωνών που επιθυμούμε να έχουμε στο κτίριο. Έχουμε δηλαδή τη δυνατότητα ανάλογα με τη χρήση του χώρου να έχουμε διαφορετικές παραμέτρους για κάθε ζώνη. Εμείς επιλέξαμε μία ζώνη για το κτίριο.



Εικόνα 6.2: Επιλογή αριθμού ζωνών κτιρίου

Βήμα 3^ο

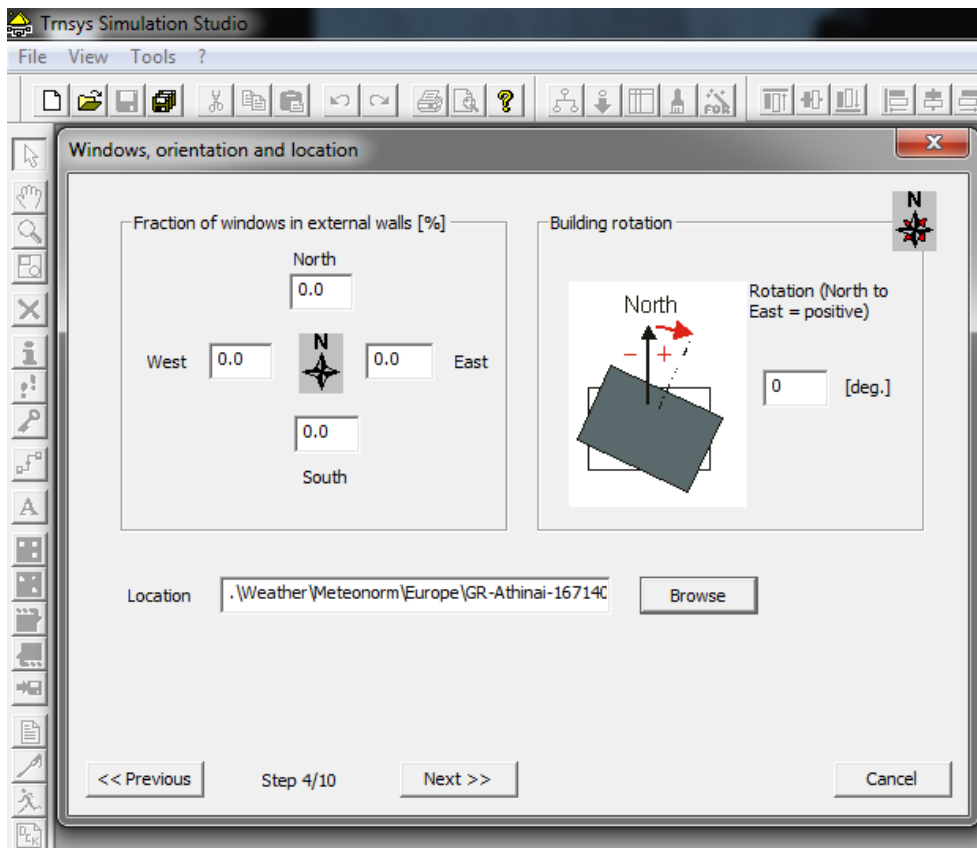
Επιλέγουμε τις διαστάσεις που θέλουμε να έχει η κάθε ζώνη. Εμείς έχουμε μία ζώνη, έναν ενιαίο χώρο δηλαδή, οπότε και είναι οι συνολικές διαστάσεις του κτιρίου μας.



Εικόνα 6.3: Επιλογή διαστάσεων των ζωνών του κτιρίου

Βήμα 4^ο

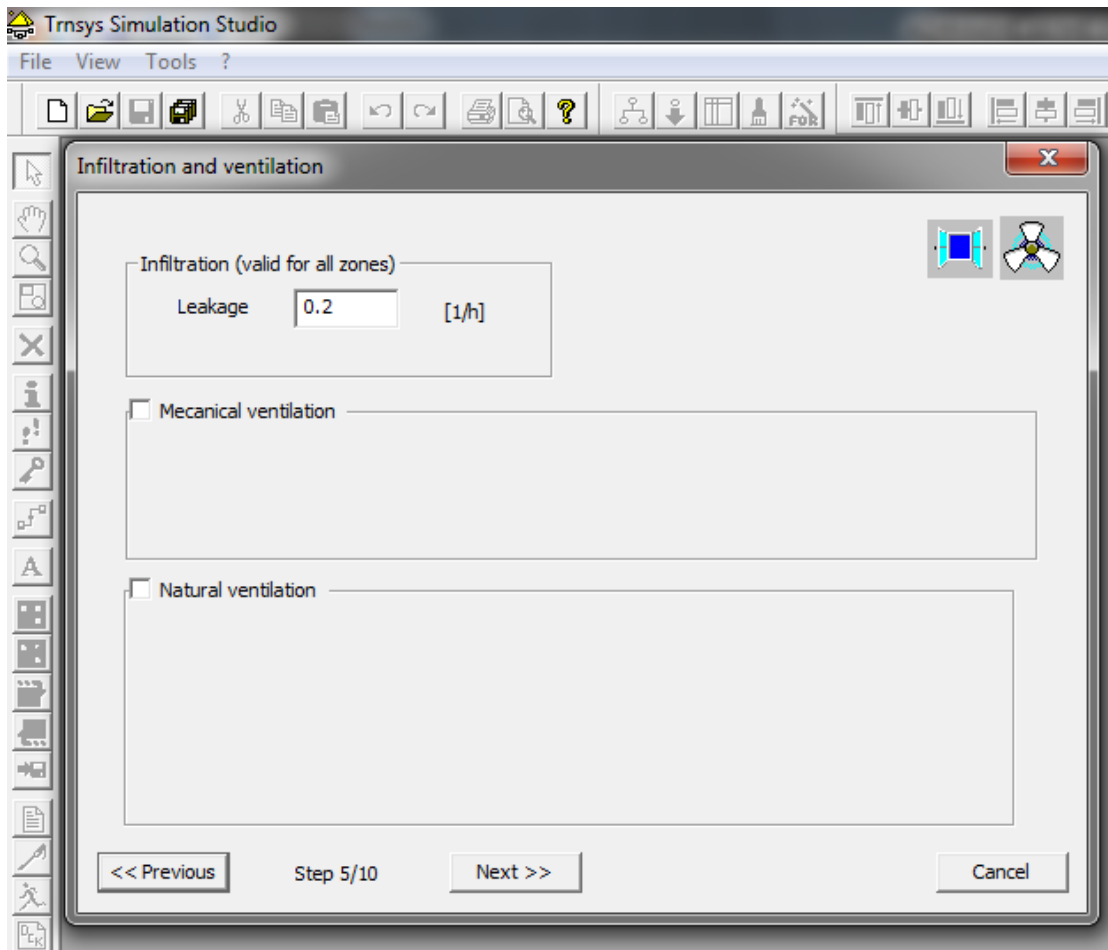
Επιλέγουμε το ποσοστό των διαστάσεων των παραθύρων σε σχέση με τον τοίχο, τον προσανατολισμό του κτιρίου και εισάγουμε τα μετεωρολογικά δεδομένα της Αθήνας, όπου βρίσκεται το κτίριο μας. Τον προσανατολισμό τον αφήνουμε όπως είναι από το πρόγραμμα και τα παράθυρα θα τα επεξεργαστούμε παρακάτω. Εισάγουμε μόνο τα μετεωρολογικά δεδομένα δηλαδή.



Εικόνα 6.4: Επιλογή ανοιγμάτων, προσανατολισμού και εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων

Βήμα 5^ο

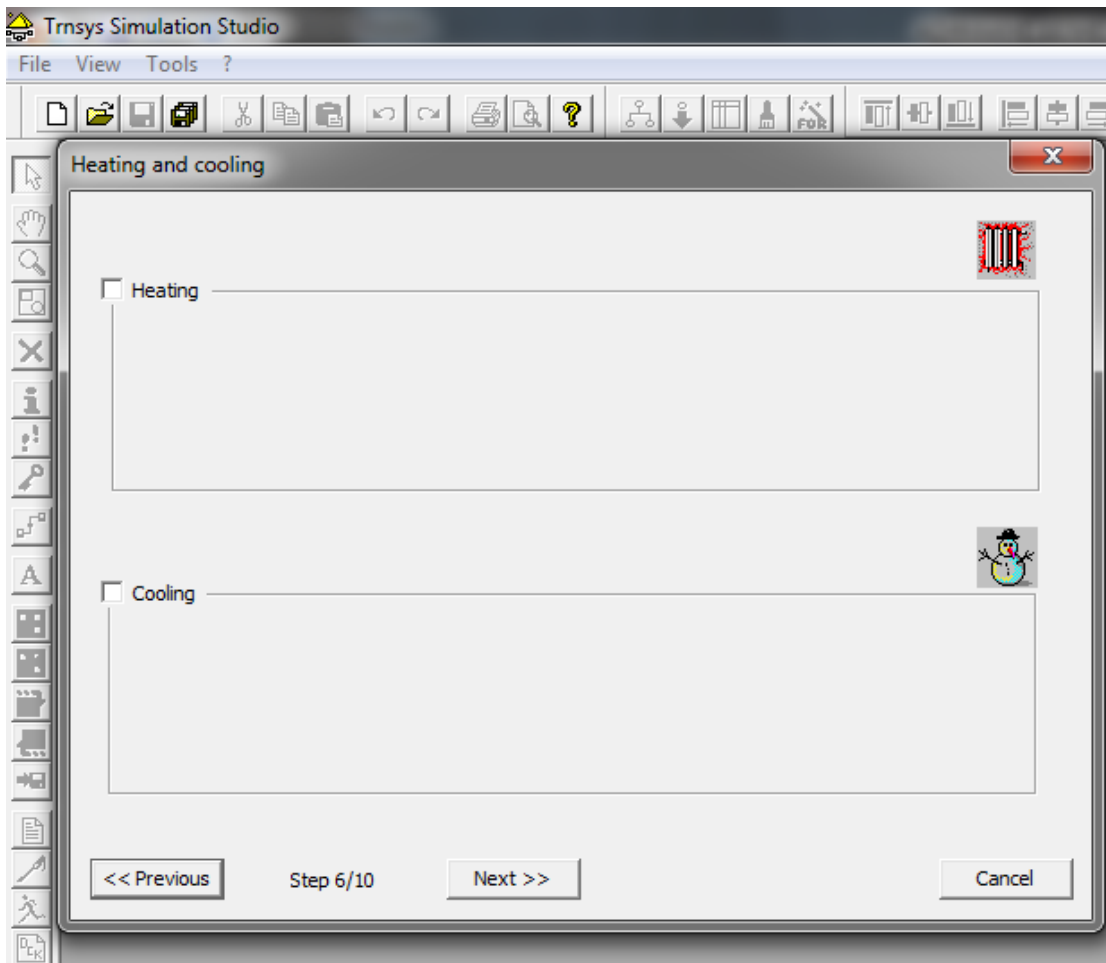
Επιλέγουμε παραμέτρους για τον αερισμό του χώρου. Δεν διαλέξαμε μηχανικό ή φυσικό αερισμό του χώρου και επιλέξαμε 0.2 1/h για διείσδυση αέρα στο χώρο.



Εικόνα 6.5: Επιλογή παραμέτρων για αερισμό του χώρου

Βήμα 6^ο

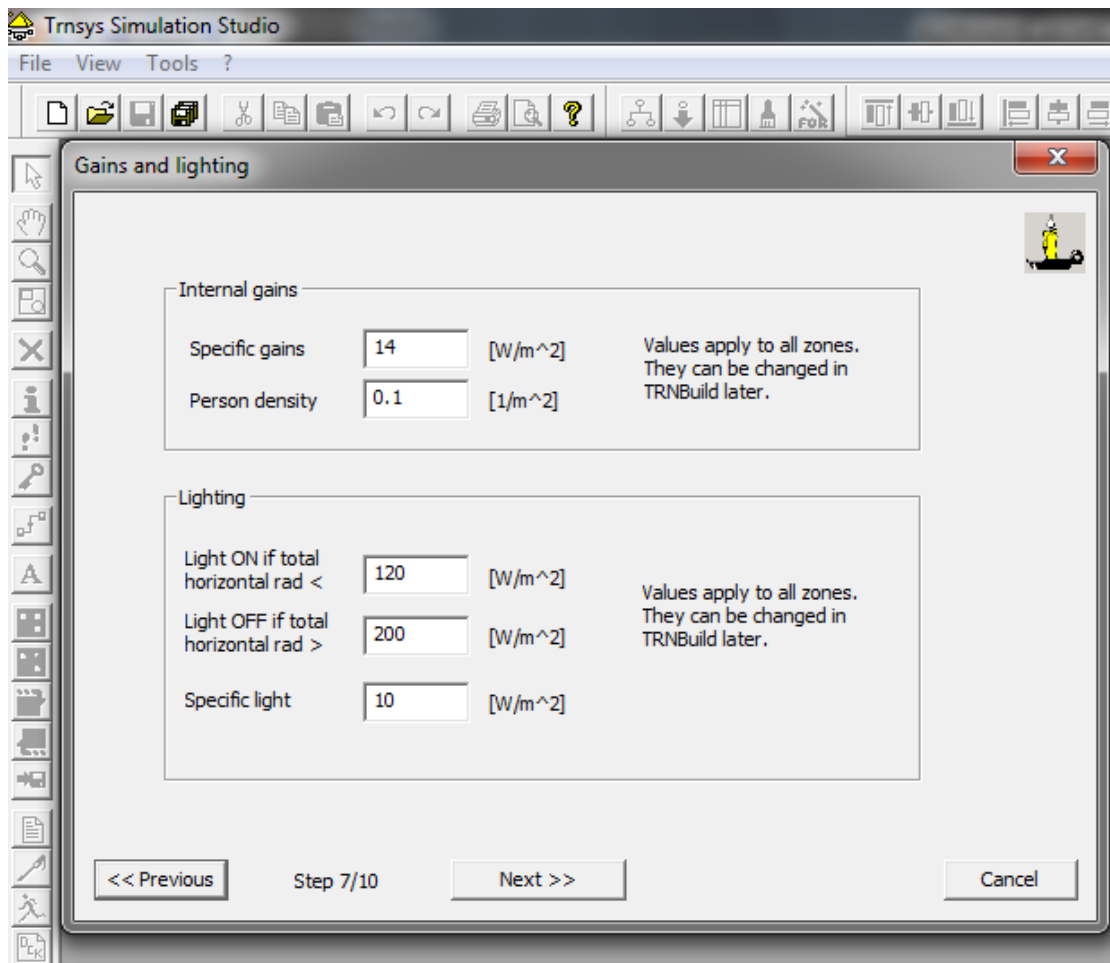
Σε αυτό το βήμα έχουμε τη δυνατότητα να διαλέξουμε αν το σπίτι θα θερμαίνεται η ψύχεται σε όποια θερμοκρασία επιθυμούμε. Τη θέρμανση ή την ψύξη την προσφέρει το πρόγραμμα και είναι θεωρητική. Εμείς δεν επιλέγουμε τίποτα από τα δύο γιατί επιθυμούμε να δημιουργήσουμε μια εγκατάσταση που θα θερμαίνει το χώρο σύμφωνα με αυτά που θέλουμε και όχι αυτόματα.



Εικόνα 6.6: Επιλογή θέρμανσης ή ψύξης του χώρου από το TRNSYS

Βήμα 7^ο

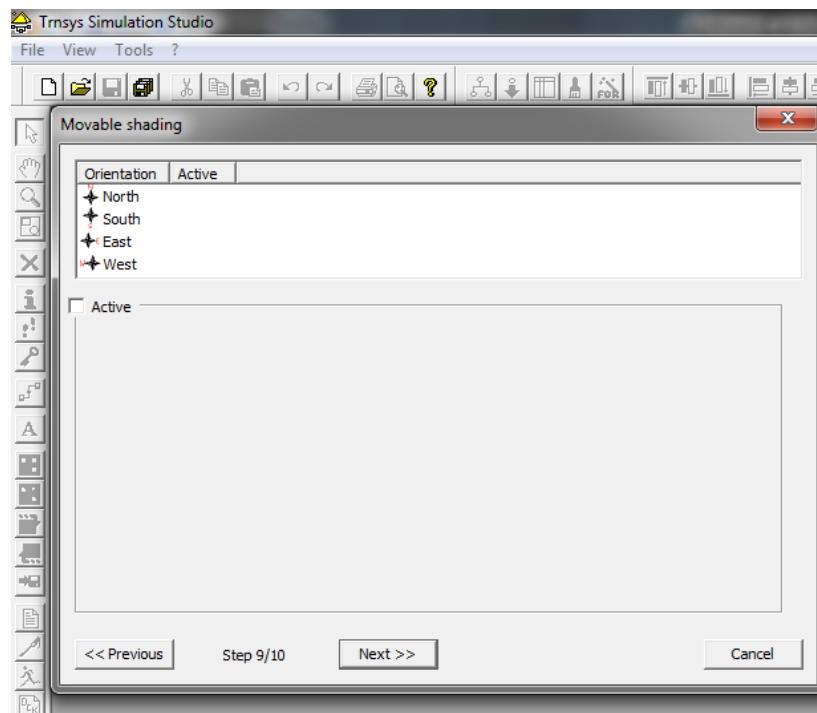
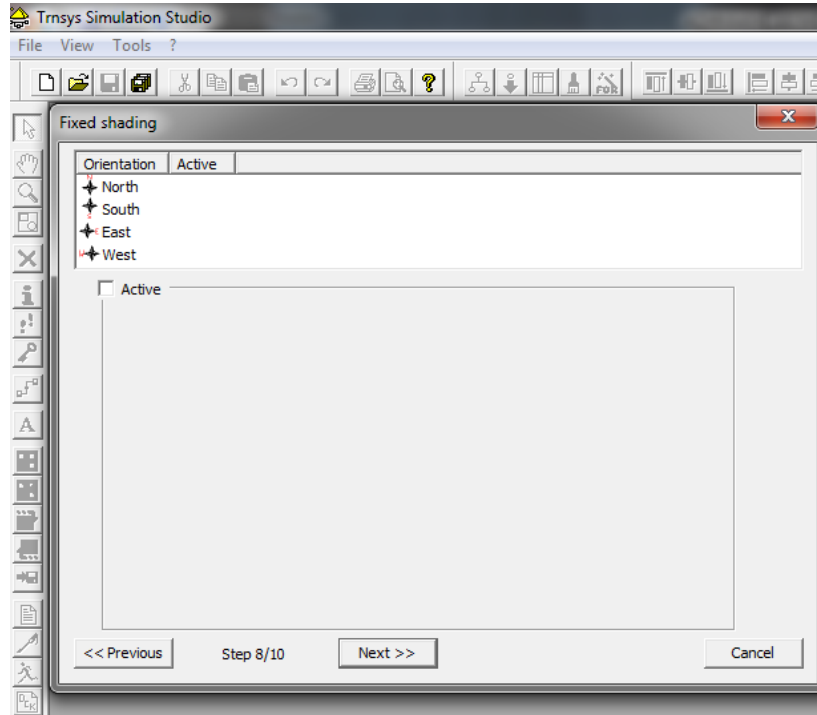
Σε αυτό το βήμα περιγράφονται κάποια θερμικά κέρδη που έχουμε από φωτισμό και από ανθρώπους. Τα αφήσαμε όπως είναι. Έχουμε τη δυνατότητα να επιλέξουμε και άλλα θερμικά κέρδη για περισσότερους ανθρώπους, ανάλογα με τη δραστηριότητά τους, άλλο φωτισμό, μηχανήματα κλπ σε επόμενη επεξεργασία αλλά δεν ασχοληθήκαμε με αυτό.



Εικόνα 6.7: Επιλογή θερμικών κερδών από ανθρώπους, φωτισμό και συσκευές

Βήμα 8°-9°

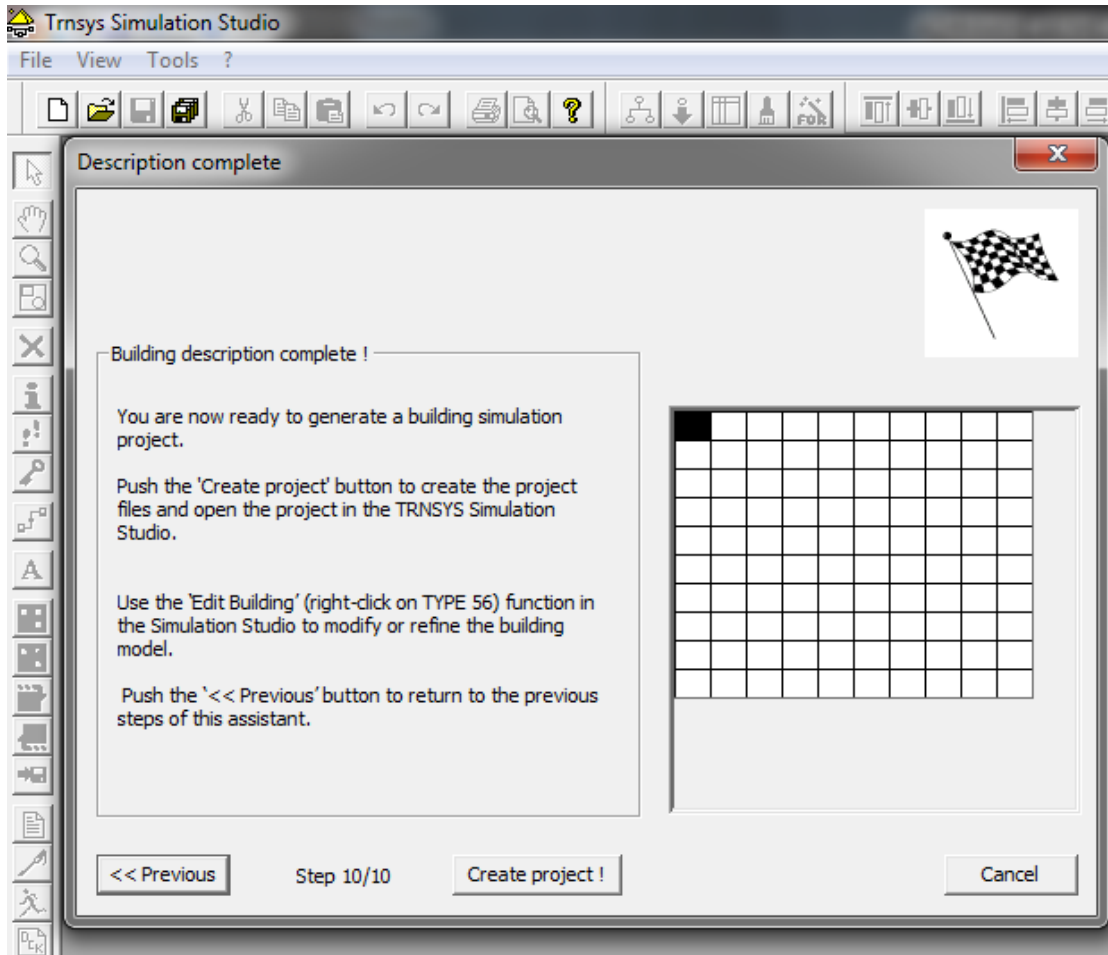
Σε αυτά τα βήματα επιλέγεις τη σκίαση του κτιρίου και με ποιον προσανατολισμό. Εμείς βάλαμε όπως θα δούμε αργότερα έναν συντελεστή σκίασης στα παράθυρα 0,7.



Εικόνες 6.8-6.9: Επιλογή σκίασης του κτιρίου

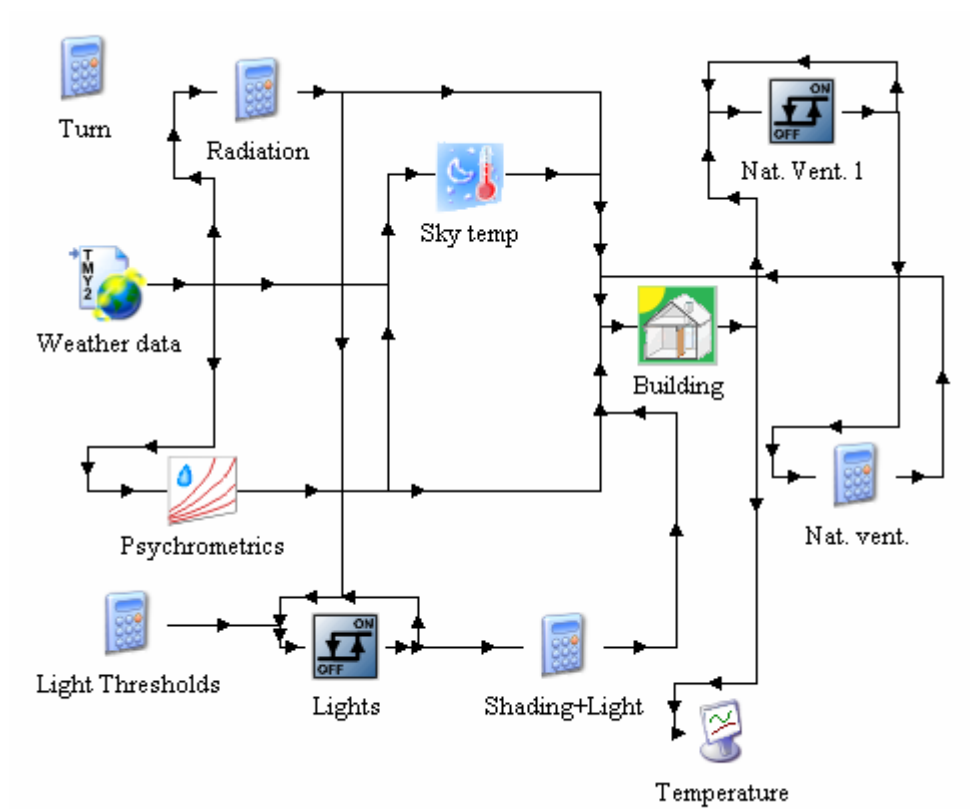
Βήμα 10^ο

Σε αυτό το βήμα ολοκληρώνεται ο αρχικός σχεδιασμός του κτιρίου μας. Μπορούμε όμως να τον επεξεργαστούμε και αργότερα όπως θα δούμε.



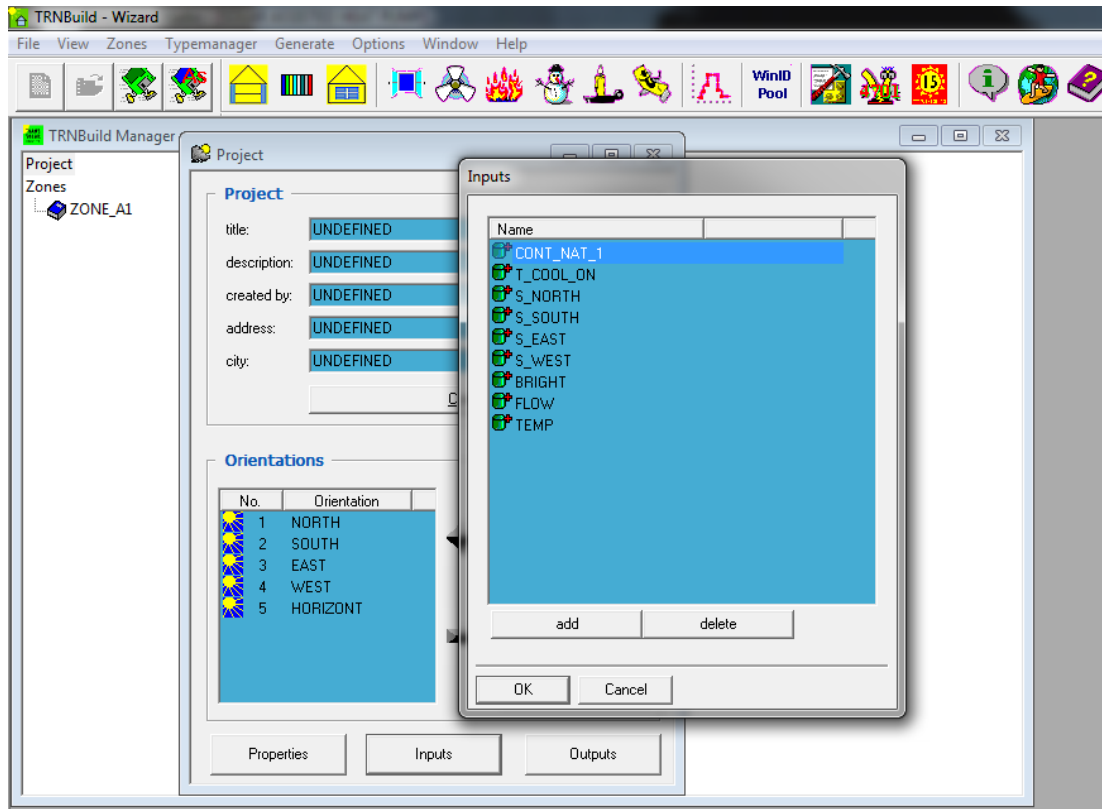
Εικόνα 6.10: Ολοκλήρωση του σχεδιασμού του κτιρίου

Αφού πατήσουμε Create Project εμφανίζεται η παρακάτω συνδεσμολογία στο πρόγραμμα:



Εικόνα 6.11: Το πρόγραμμα με τα components για το κτίριο στο Simulation Studio

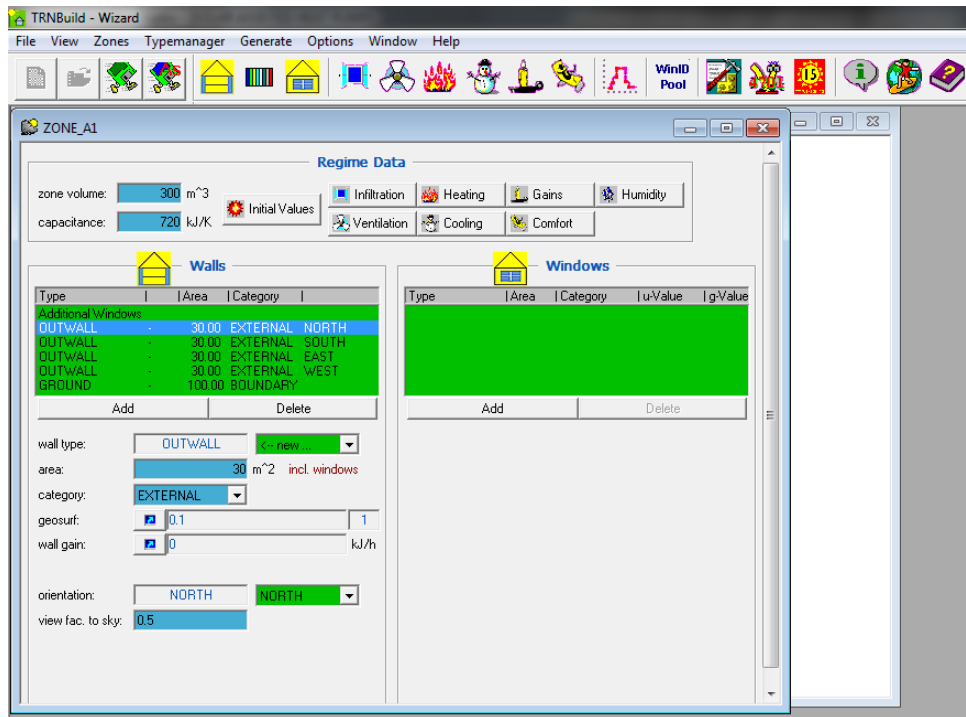
Στη συνέχεια επιλέγοντας με το ποντίκι το εικονίδιο Building και κάνοντας δεξί κλικ εμφανίζονται μια σειρά από επιλογές. Εμείς διαλέγουμε αυτή που γράφει Edit Building για να επεξεργαστούμε πιο συστηματικά το κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο εισαγόμαστε στο πρόγραμμα TRNBuild.



Εικόνα 6.12: Εισαγωγή μεταβλητών εισόδου στο κτίριο

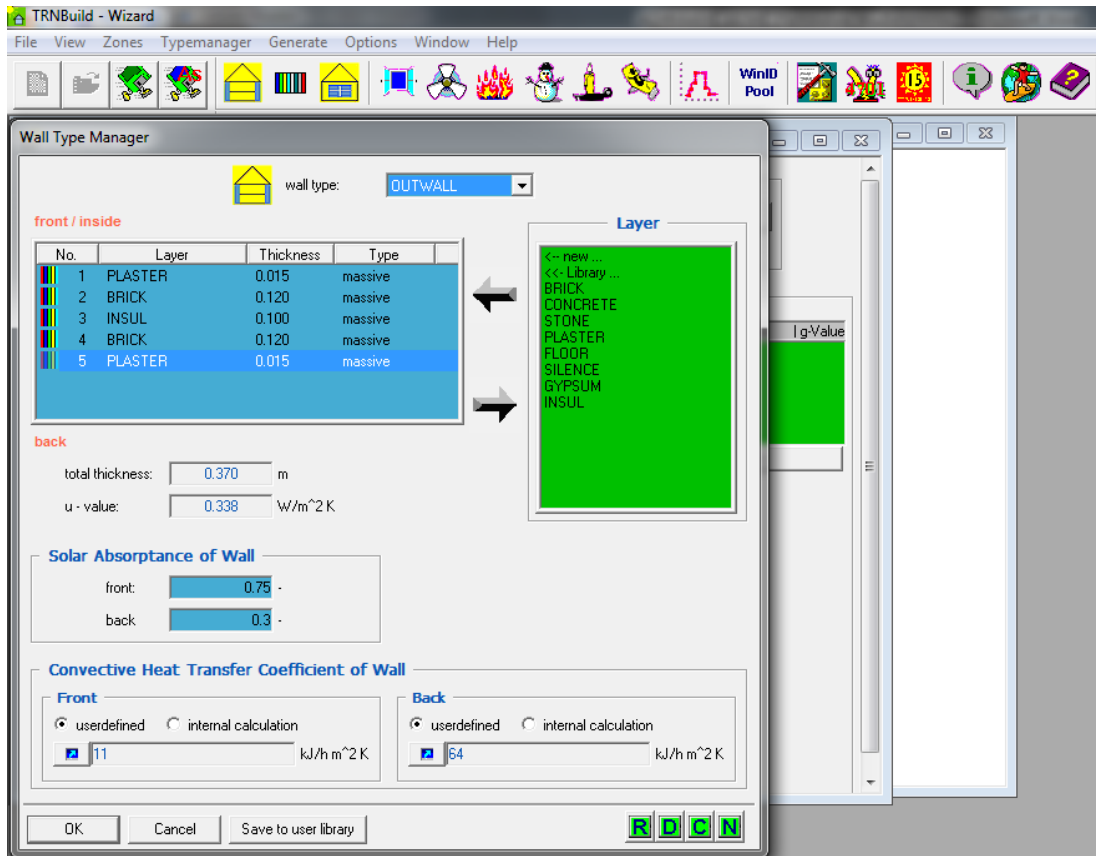
Στο παράθυρο Project του TRNBuild Manager επιλέγουμε με το ποντίκι το Inputs και εκεί εμφανίζονται οι παράμετροι εισόδου του κτιρίου. Εμείς προσθέτουμε τις εισόδους FLOW και TEMP, δηλαδή την παροχή αέρα και τη θερμοκρασία που θα εισάγει η αντλία θερμότητάς μας.

Στη συνέχεια επιλέγουμε με το ποντίκι στο TRNBuild Manager το ZONE_A1 και εμφανίζονται επιλογές για να επέμβουμε στους τοίχους του κτιρίου, στα παράθυρα, στον αερισμό, στην θέρμανση, στην ψύξη, στον αερισμό, στα θερμικά κέρδη, στα ωράρια λειτουργίας κλπ.



Εικόνα 6.13: Επεξεργασία των παραμέτρων του κτιρίου

Επιλέγοντας το αντίστοιχο εικονίδιο οδηγούμαστε στην επεξεργασία των τοίχων του κτιρίου για το πάτωμα, τους εξωτερικούς τοίχους και την οροφή του κτιρίου.



Εικόνα 6.14: Επεξεργασία των τοίχων του κτιρίου

Προσπαθώντας να έχουμε μία ρεαλιστική προσέγγιση στην προσομοίωση επιλέξαμε οι εξωτερικοί τοίχοι να αποτελούνται από τα εξής στοιχεία:

Επίχρισμα: 1,5 cm

Δρομική Οπτοπλινθοδομή: 12 cm

Μόνωση: 10 cm

Δρομική Οπτοπλινθοδομή: 12 cm

Επίχρισμα: 1,5 cm

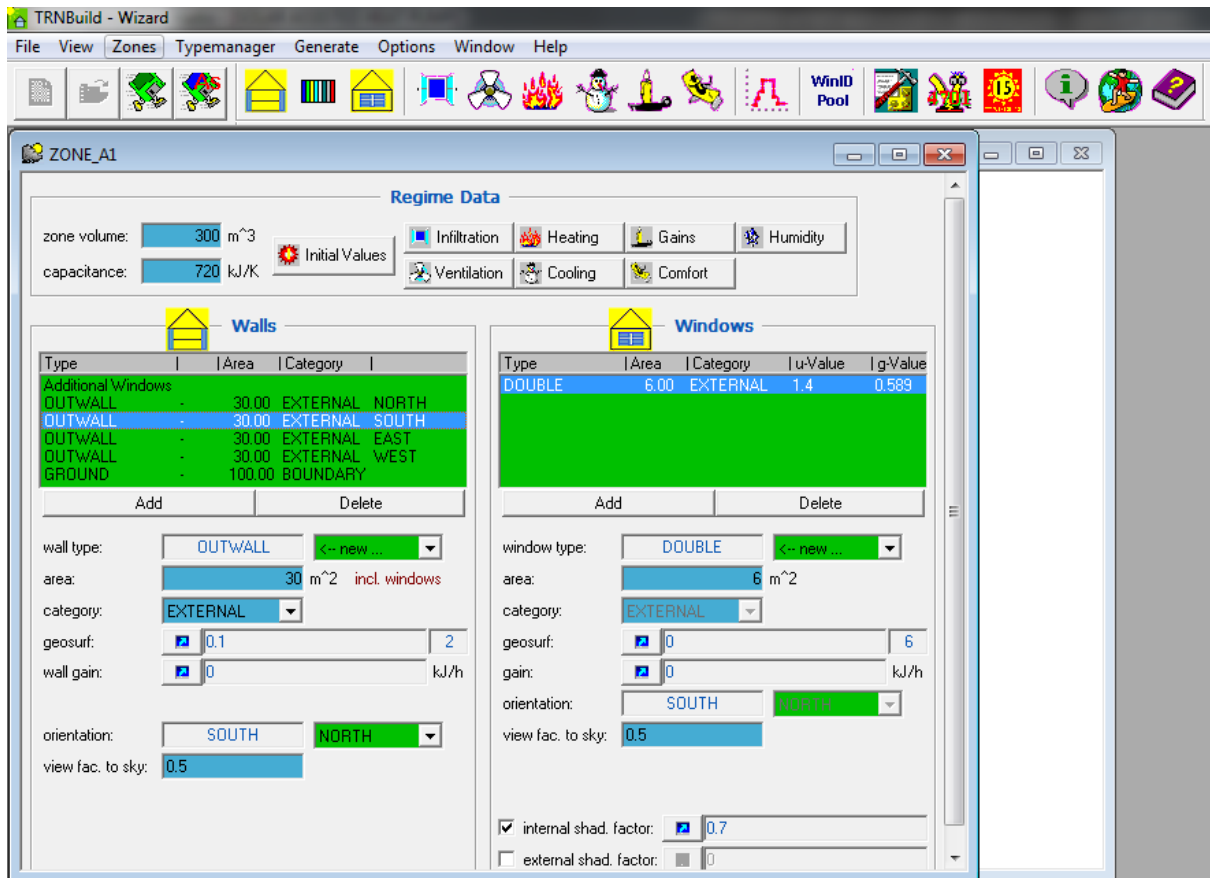
Η οροφή από:

Οπλισμένο σκυρόδεμα: 24 cm

Μόνωση: 16 cm

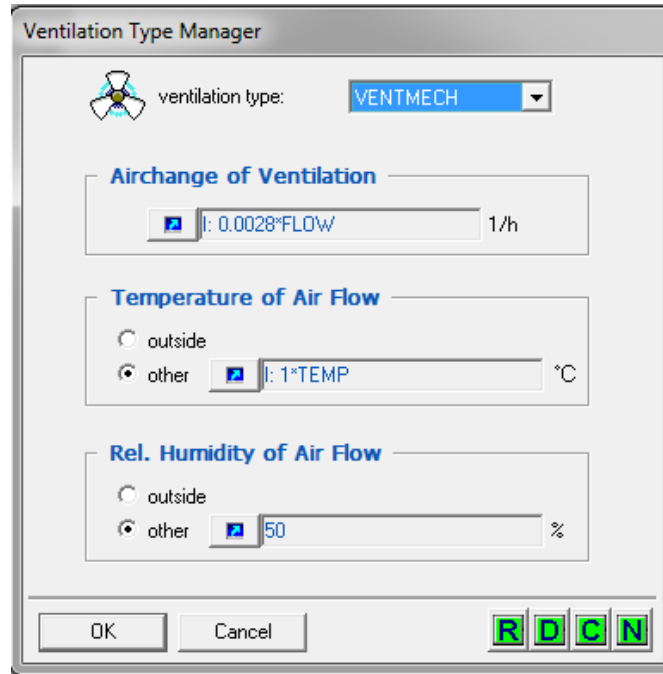
Επίχρισμα: 1,5 cm

Στη συνέχεια, επιλέγοντας το αντίστοιχο εικονίδιο διαμορφώσαμε τους υαλοπίνακές μας ώστε να είναι διπλοί, με έναν συντελεστή σκίασης όπως έχουμε αναφέρει νωρίτερα 0,7 και με τις επιφάνειες που αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου (βλ. σελ. 52).



Εικόνα 6.15: Επεξεργασία των υαλοπινάκων του κτιρίου

Έπειτα, επιλέγοντας το εικονίδιο Ventilation για την εισαγωγή αέρα εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:



Εικόνα 6.16: Επεξεργασία παραμέτρων του αέρα του κτιρίου

Έχοντας τελειώσει την προσομοίωση, σε αυτό το σημείο θα κάνουμε ένα 'άλμα'. Βλέπουμε ότι στην πρώτη επιλογή του παραπάνω παραθύρου ζητείται ο αριθμός εναλλαγών του αέρα του χώρου σε μονάδες 1/h. Ο αέρας στο χώρο εισέρχεται από την αντλία θερμότητας που δεν έχουμε τοποθετήσει ακόμα. Όπως θα δούμε στη συνέχεια όμως, η ροή του αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας μετράται σε kg/h. Καλούμαστε λοιπόν να υπολογίσουμε τις εναλλαγές του αέρα του χώρου που θερμαίνουμε. Η διαδικασία είναι η εξής:

$$[1/hr] = \frac{\dot{V}[m^3/hr]}{V[m^3]} = \frac{\dot{m}}{V} = \frac{1}{\rho V} \cdot \dot{m} = \frac{1}{1,18 \cdot 300} \cdot \dot{m} = 0,0028 \cdot \dot{m}$$

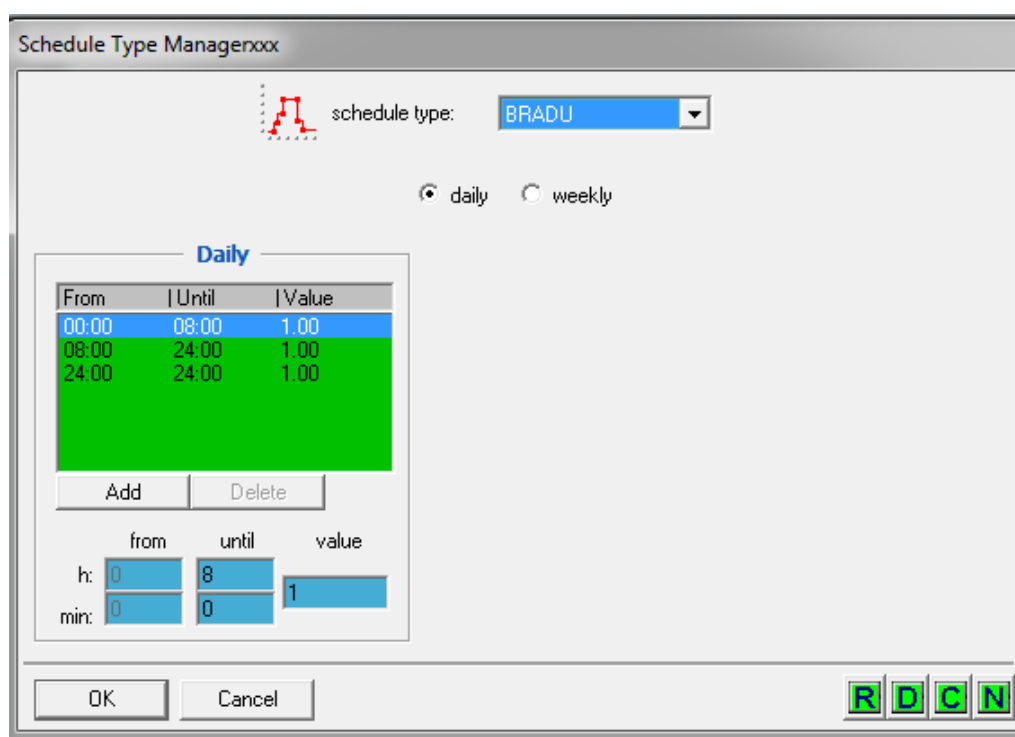
Επομένως, θα πρέπει στη συνέχεια την έξοδο της αντλίας θερμότητας που μετρά την παροχή αέρα σε kg/hr να τη συνδέσουμε με την μεταβλητή εισόδου του κτιρίου FLOW, η οποία πολλαπλασιάζεται με τον

συντελεστή 0,0028 που προέκυψε παραπάνω. Αυτό το βήμα θα μπορούσε να περιγραφεί και αργότερα με την εισαγωγή της αντλίας θερμότητας στο πρόγραμμα.

Όσον αφορά τη θερμοκρασία του αέρα, επιλέγουμε σύμφωνα με το παραπάνω παράθυρο να λαμβάνει την τιμή της μεταβλητής TEMP. Άρα θα πρέπει να συνδέσουμε αργότερα την μεταβλητή της θερμοκρασίας του αέρα της αντλίας θερμότητας με την μεταβλητή εισόδου του κτιρίου TEMP.

Να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο ότι θεωρήσαμε σταθερή σχετική υγρασία στο χώρο ίση με 50 %.

Στη συνέχεια επιλέγουμε στο Schedule Type Manager το κτίριό μας να λειτουργεί 24 ώρες το 24ωρο.

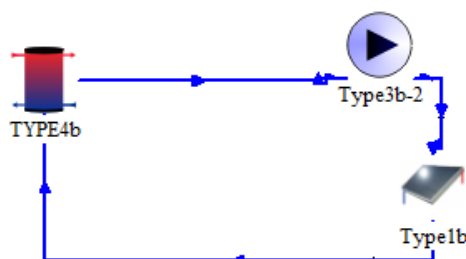


Εικόνα 6.17: Διαμόρφωση ωραρίου λειτουργίας του κτιρίου.

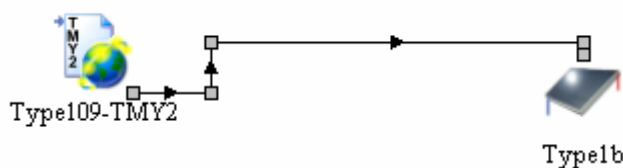
Σε αυτό το σημείο αφού αποθηκεύσουμε τις παραπάνω αλλαγές και παραμέτρους κλείνουμε το πρόγραμμα TRNBuild και μεταφερόμαστε στο Simulation Studio για να εισάγουμε τα components που θα προσομοιώσουν την εγκατάστασή μας.

6.3.1 Κύκλωμα Δοχείου Αδρανείας-Ηλιακών Συλλεκτών

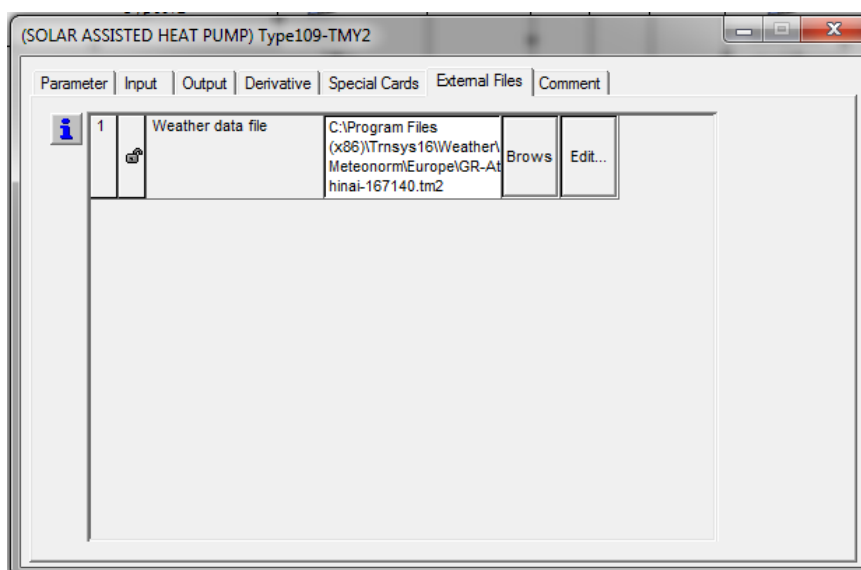
Οι παράμετροι των στοιχείων που παρουσιάζονται στη συνέχεια προέκυψαν ύστερα από τη βελτιστοποίηση και τη διαστασιολόγηση που πραγματοποιήσαμε κάνοντας δοκιμές έχοντας κάποια συγκεκριμένα κριτήρια. Αυτά θα παρουσιαστούν ύστερα από την περιγραφή της συνδεσμολογίας των στοιχείων.

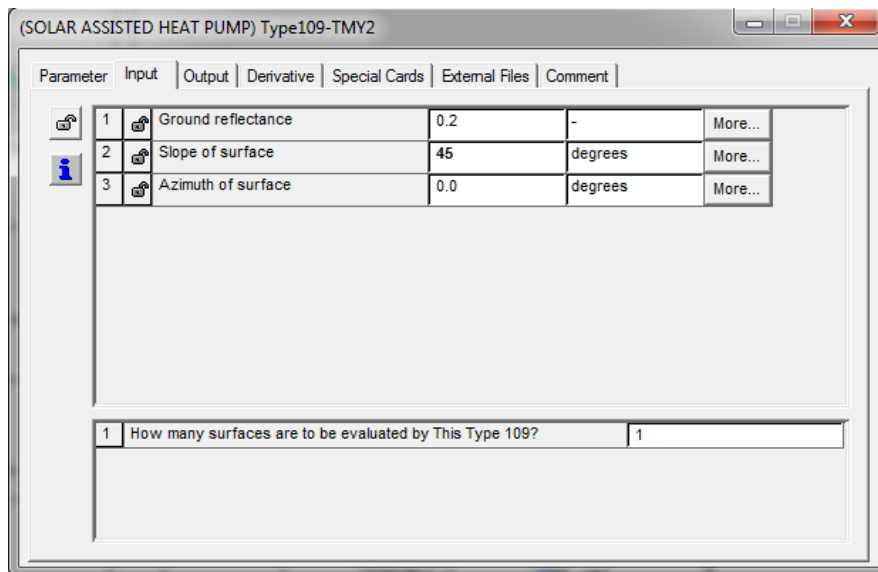


Η επιφάνεια του συλλέκτη ύστερα από διαστασιολόγηση προέκυψε 30 m^2 και τον τοποθετήσαμε με κλίση 45° (γεωγραφικό πλάτος Αθήνας 38°) και νότιο προσανατολισμό επειδή μας ενδιαφέρει μόνο ο χειμώνας για θέρμανση.

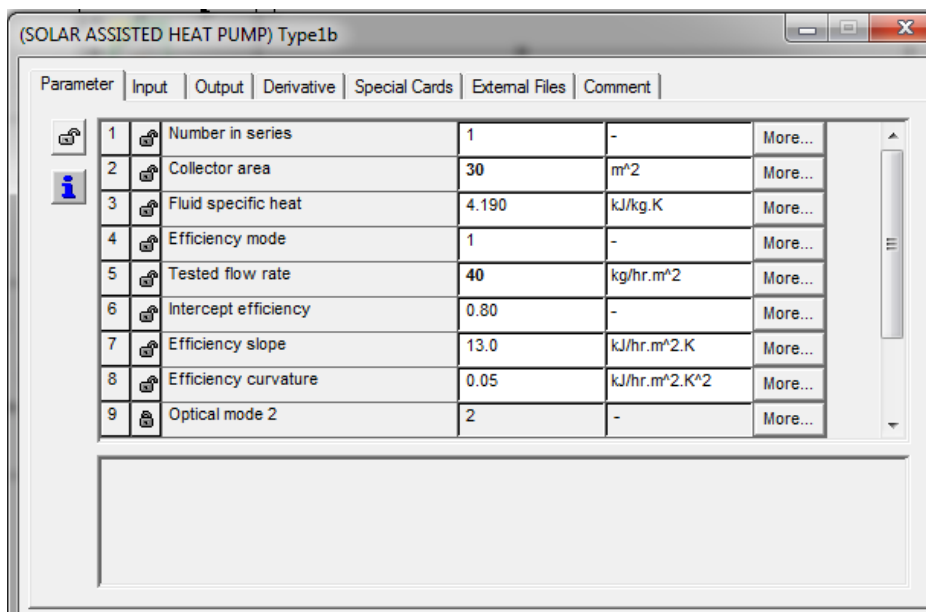


Επιλέγουμε στο στοιχείο Type 109 στα external files τα μετεωρολογικά δεδομένα της Αθήνας και κλίση επιφάνειας 45° .

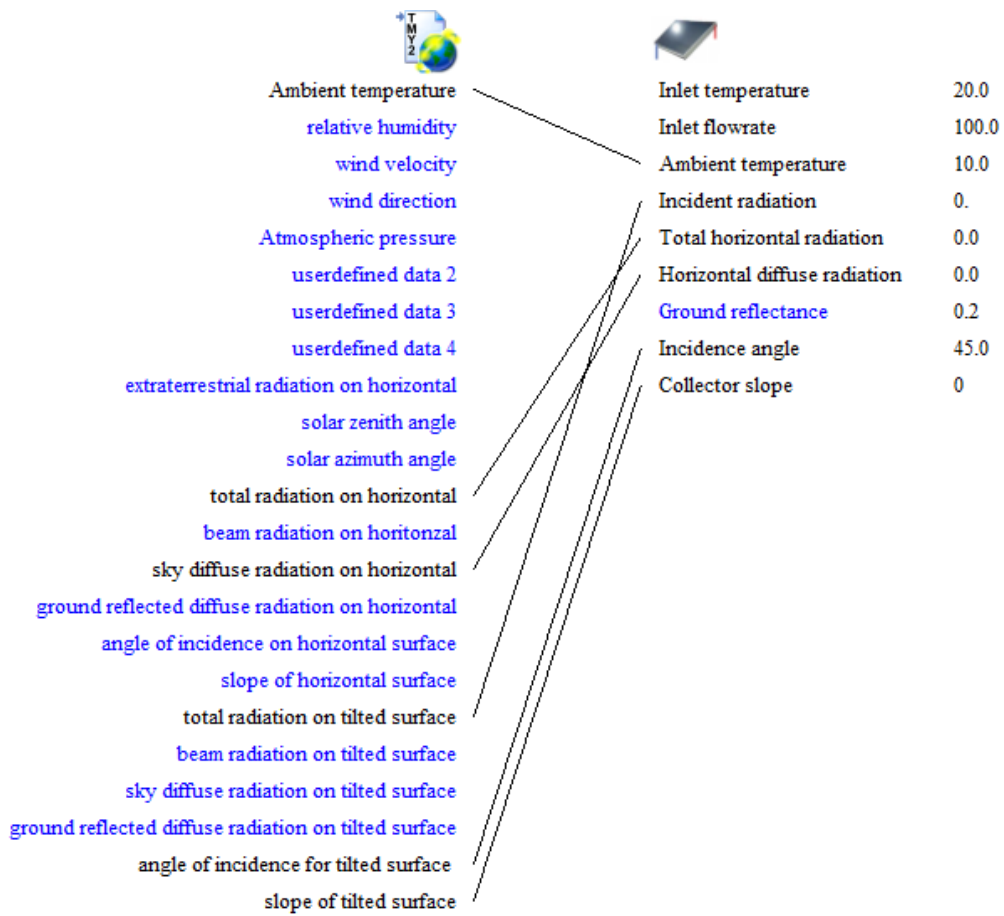




Στη συνέχεια στο στοιχείο type 1b επιλέγω επιφάνεια 30 m².



Η συνδεσμολογία τους είναι η εξής:



Το δοχείο αδρανείας, type 4b, ύστερα από τη διαστασιολόγηση προέκυψε **1,25 m³**. Τις υπόλοιπες παραμέτρους τις αφήσαμε όπως ήταν για ένα τυπικό δοχείο.

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) TYPE4b

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Fixed inlet positions	1	-	More...		
2	Tank volume	1.25	m ³	More...		
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...		
4	Fluid density	1000.0	kg/m ³	More...		
5	Tank loss coefficient (-)	-3	kJ/hr.m ² .K	More...		
6	Height of node	0.05	m	More...		
7	Auxiliary heater mode	1	-	More...		
8	Node containing heating element 1	1	-	More...		
9	Node containing thermostat 1	1	-	More...		

1	How many temperature levels (nodes) should be used in the tank?	1
---	---	---

Την παροχή του κυκλοφορητή, type 3b-2, την επιλέξαμε **1000 kg/h** και την ισχύ του **100 W**. Είναι τυπικές τιμές μια συνηθισμένης εγκατάστασης.

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) Type3b-2

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Maximum flow rate	1000	kg/hr	More...		
2	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...		
3	Maximum power	100	W	More...		
4	Conversion coefficient	0.05	-	More...		
5	Power coefficient	0.5	-	More...		

1	How many coefficients in the polynomial relating pump power to fluid flow rate?	1
---	---	---

Η συνδεσμολογία τους είναι η εξής:

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) Type1b -> TYPE4b

Classic Table

Select variable filter : All

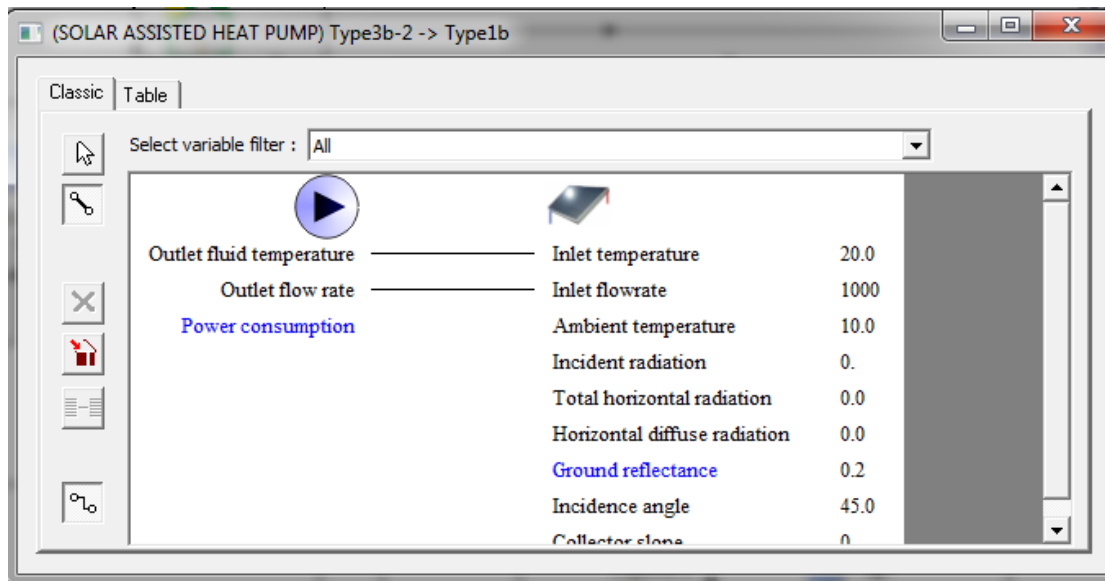
Outlet temperature	Hot-side temperature	45.0
Outlet flowrate	Hot-side flowrate	100.0
Useful energy gain	Cold-side temperature	20.0
	Cold-side flowrate	100.0
	Environment temperature	22.0
	Control signal for element-1	0.0
	Control signal for element-2	0.0

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) TYPE4b -> Type3b-2

Classic Table

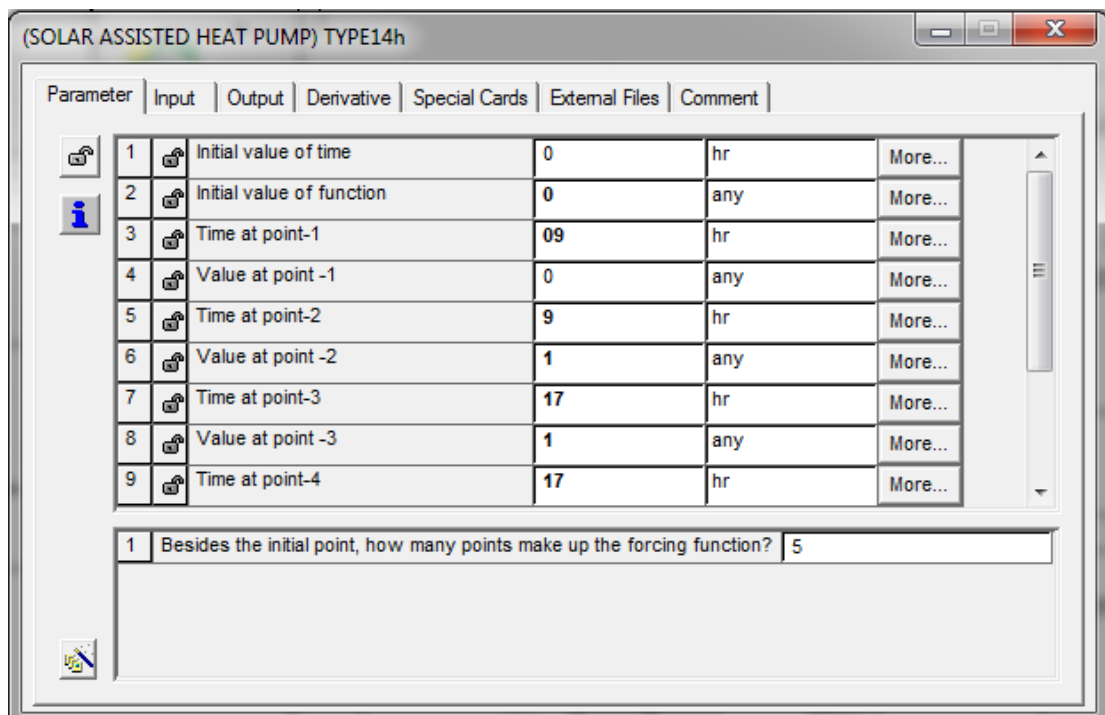
Select variable filter : All

Temperature to heat source	Inlet fluid temperature	20.0
Flowrate to heat source	Inlet mass flow rate	1000
Temperature to load	Control signal	1.0
Flowrate to load		
Thermal losses		
Energy rate to load		
Internal energy change		
Auxiliary heating rate		
Element 1 power		

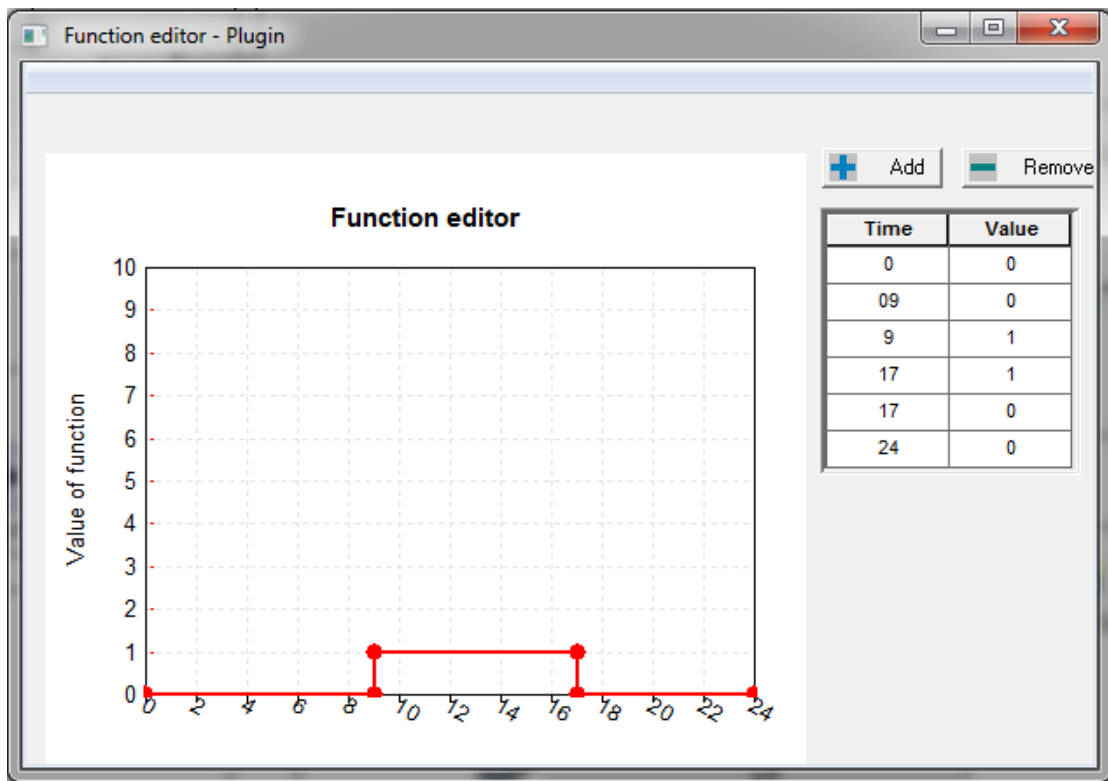


Για τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος επιθυμούμε το κύκλωμα με τα ηλιακά να λειτουργεί από τις 9:00 μέχρι τις 17:00 και επίσης να μην ξεπερνά τη θερμοκρασία των 90 °C. Για να το επιτύχουμε αυτό χρησιμοποιούμε το type 14h, το type 2b και ένα στοιχείο από την επιλογή Assembly-> Insert new equation ('κομπιουτεράκι').

Για το type 14h, επιλέγουμε τα εξής:



Επιλέγοντας το εικονίδιο κάτω αριστερά έχουμε το παρακάτω παράθυρο:

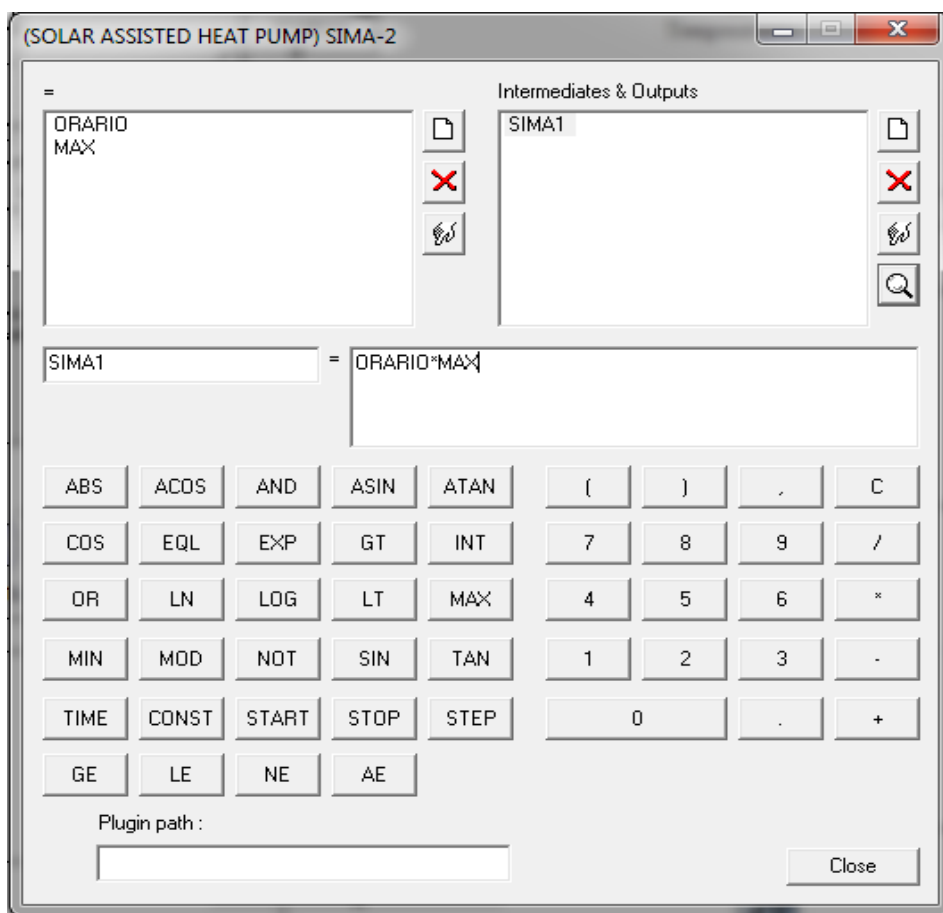


Για το type 2b:

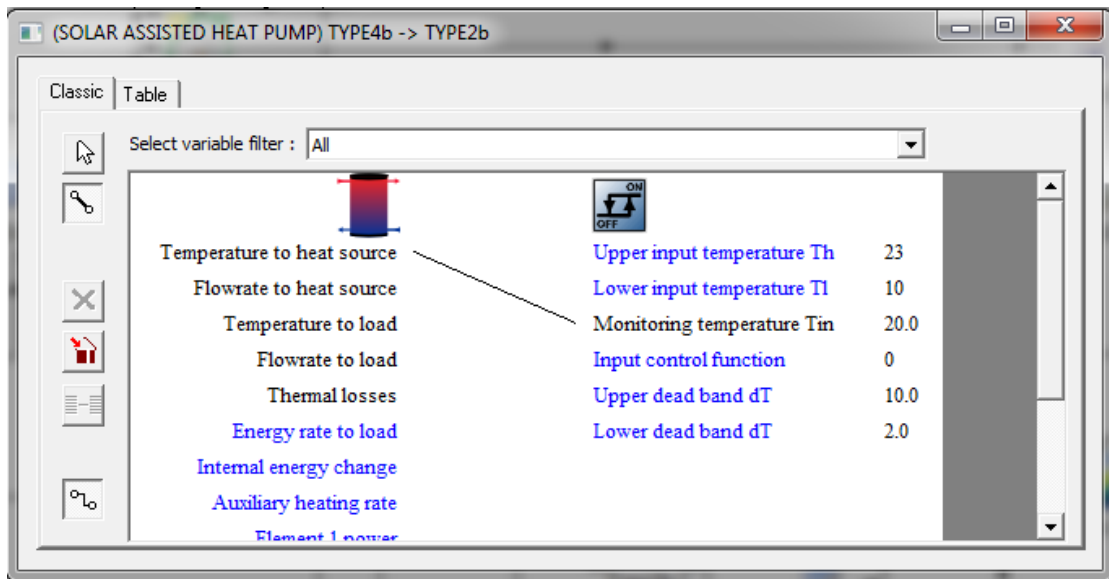
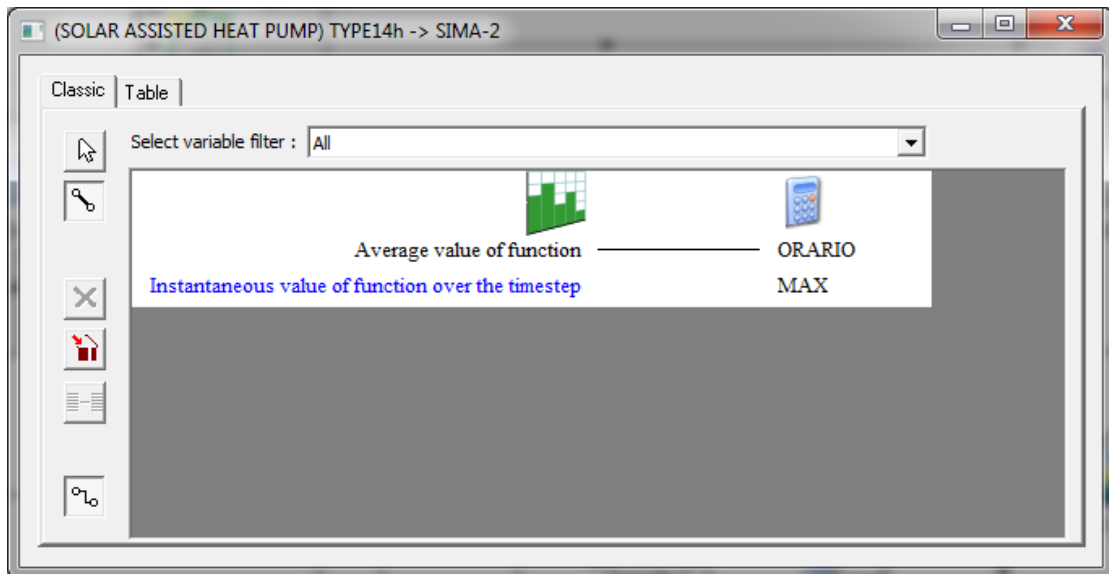
The image shows a software window titled "(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) TYPE2b". It has several tabs: "Parameter", "Input", "Output", "Derivative", "Special Cards", "External Files", and "Comment". The "Parameter" tab is active, showing a table with two rows of parameters.

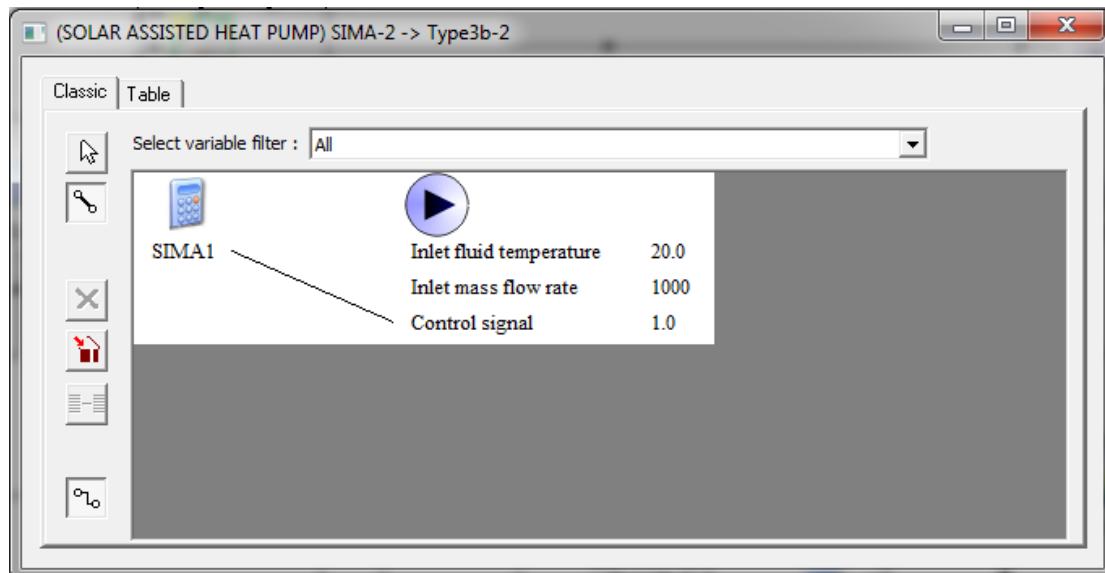
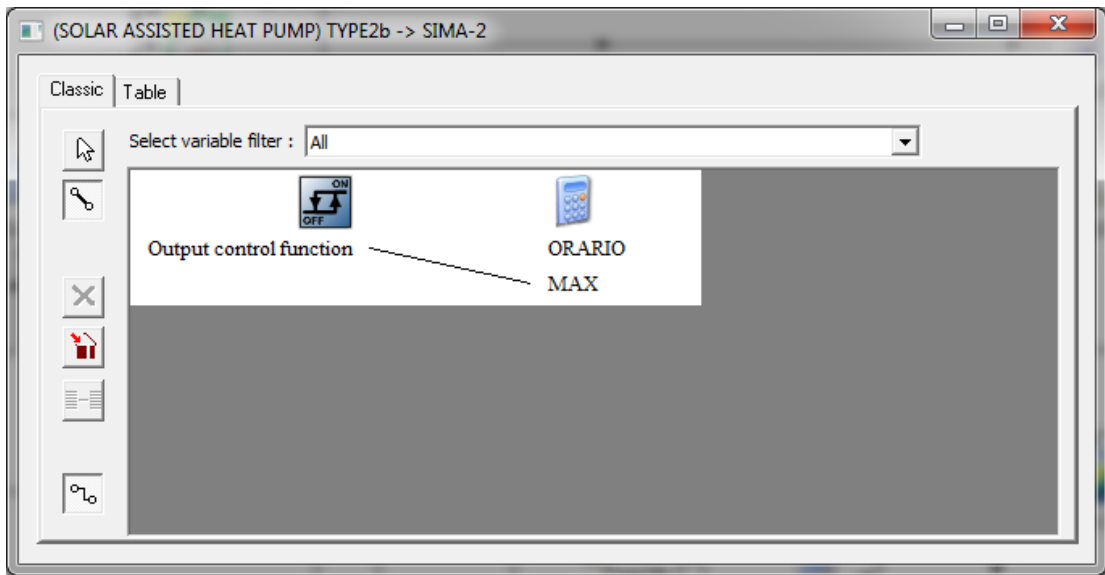
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	No. of oscillations	5	-	More...		
2	High limit cut-out	90	C	More...		

Για το ‘κομπιουτεράκι’ δημιουργούμε 2 μεταβλητές, τις ORARIO και MAX παίρνουν τιμές 0 ή 1 από τα type 14h και 2b αντίστοιχα. Η έξοδος στο κομπιουτεράκι είναι η μεταβλητή SIMA1 που ισούται με το γινόμενο των δύο προηγούμενων μεταβλητών και συνδέεται με την είσοδο του κυκλοφορητή Type 3b-2.

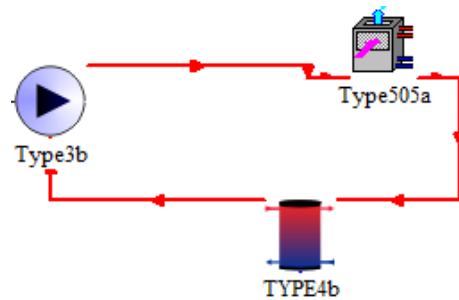


Ακολουθεί η συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων των παραπάνω στοιχείων:





6.3.2 Κύκλωμα Δοχείου Αδρανείας-Αντλίας Θερμότητας



Στο component της αντλίας θερμότητας που επιλέξαμε απενεργοποιήσαμε τη λειτουργία της ψύξης αλλά και της θέρμανσης για ζεστό νερό χρήσης. Επίσης, έχουμε τη δυνατότητα να αυξήσουμε ή να μειώσουμε γραμμικά την ισχύ της, η οποία δίνεται στο αρχείο heating performance data στα external files. Ύστερα από δοκιμές είδαμε ότι μας ικανοποιεί όμως όπως είναι οπότε και δεν αλλάξαμε τίποτα. Τέλος, ύστερα από τη βελτιστοποίηση που πραγματοποιήσαμε είδαμε ότι η παροχή του αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας είναι **700 l/sec**. Τα παραπάνω φαίνονται στις παρακάτω εικόνες:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
14	Density of liquid stream	1000.0	kg/m ³	More...		
15	Specific heat of liquid stream	4.190	kJ/kg.K	More...		
16	Specific heat of DHW fluid	4.190	kJ/kg.K	More...		
17	Blower power	671.1	kJ/hr	More...		
18	Controller power	36.0	kJ/hr	More...		
19	Capacity of stage-1 auxiliary	0.0	kJ/hr	More...		
20	Capacity of stage-2 auxiliary	0.0	kJ/hr	More...		
21	Total air flow rate	700	l/s	More...		

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) Type505a

Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External Files | Comment

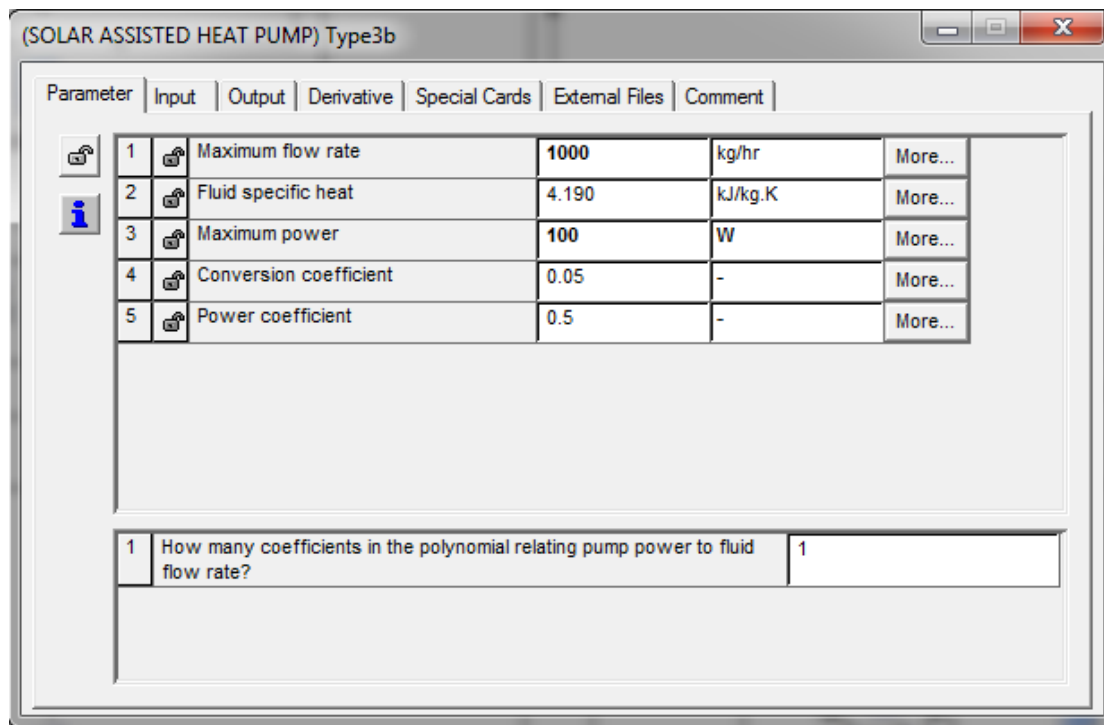
22	☞	Heating desuperheater temperature	55	C	More...
23	☞	Desuperheater UA - cooling	1500.0	kJ/hr.K	More...
24	☞	Desuperheater UA - heating	1500.0	kJ/hr.K	More...
25	☞	Fraction of rated cooling power	0	-	More...
26	☞	Fraction of rated cooling capacity	0	-	More...
27	☞	Fraction of rated heating power	1	-	More...
28	☞	Fraction of rated heating capacity	1	-	More...
29	☞	Pressure rise through heat pump	0.0	atm	More...

(SOLAR ASSISTED HEAT PUMP) Type505a

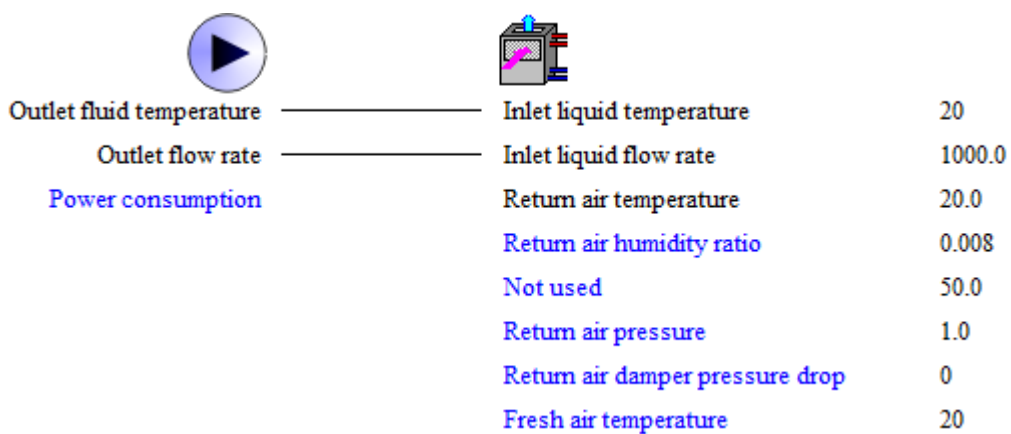
Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External Files | Comment



7	☞	Return air damper pressure drop	0	atm	More...
8	☞	Fresh air temperature	20	C	More...
9	☞	Fresh air humidity ratio	0.008	-	More...
10	☞	Not used	50.	% (base 100)	More...
11	☞	Fresh air pressure	1.0	atm	More...
12	☞	Fresh air damper pressure drop	0	atm	More...
13	☞	Inlet DHW temperature	40.0	C	More...
14	☞	Inlet DHW flow rate	0	kg/hr	More...
15	☞	Cooling control signal	0	-	More...



Την παροχή του κυκλοφορητή, type 3b, την επιλέξαμε **1000 kg/h** και την ισχύ του **100 W**. Είναι τυπικές τιμές μια συνηθισμένης εγκατάστασης.



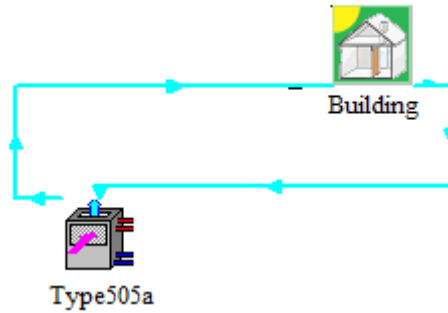
Ακολουθεί η συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων των παραπάνω στοιχείων:





		
Exiting fluid temperature	Hot-side temperature	45.0
Exiting fluid flow rate	Hot-side flowrate	100.0
Outlet air temperature	Cold-side temperature	20.0
Outlet air humidity ratio	Cold-side flowrate	100.0
Outlet air %RH	Environment temperature	22.0
Outlet air flow rate	Control signal for element-1	0.0
Outlet air pressure	Control signal for element-2	0.0
Exiting DHW temperature		
Exiting DHW flow rate		
Total heat transfer to air		
Sensible heat transfer to air		
Latent heat transfer to air		
Heat transfer to water		
Heat transfer to DHW stream		
Compressor power		
Heat pump power		
C.O.P.		
EER		
Auxiliary heater power		
Condensate temperature		
Condensate flow rate		



		
Temperature to heat source	Inlet fluid temperature	20.0
Flowrate to heat source	Inlet mass flow rate	1000
Temperature to load	Control signal	1.0
Flowrate to load		
Thermal losses		
Energy rate to load		
Internal energy change		
Auxiliary heating rate		

6.3.3 Κύκλωμα Αντλίας Θερμότητας- Κτιρίου



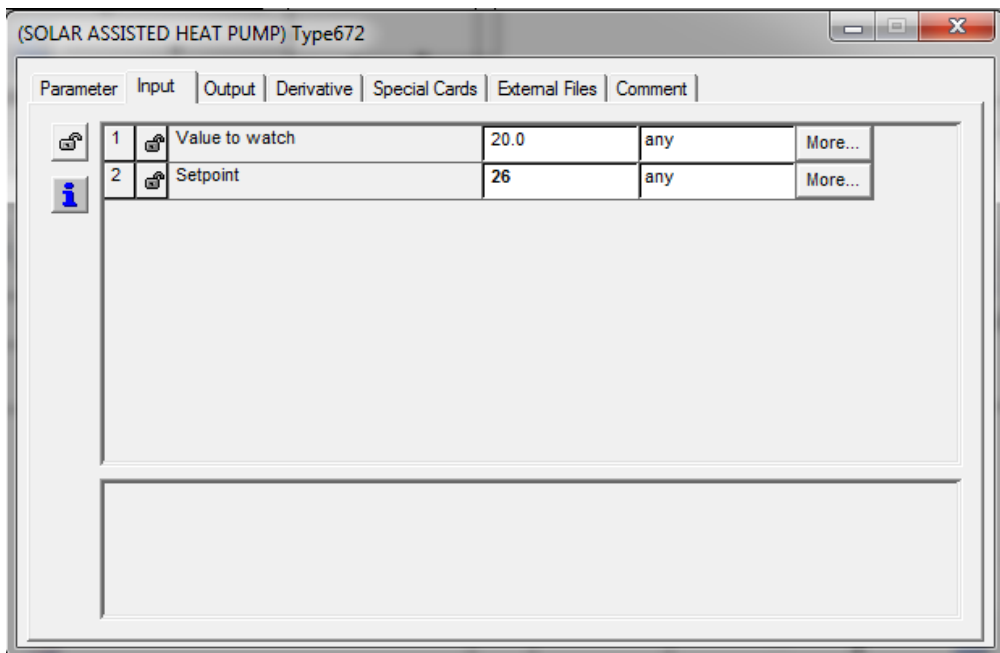
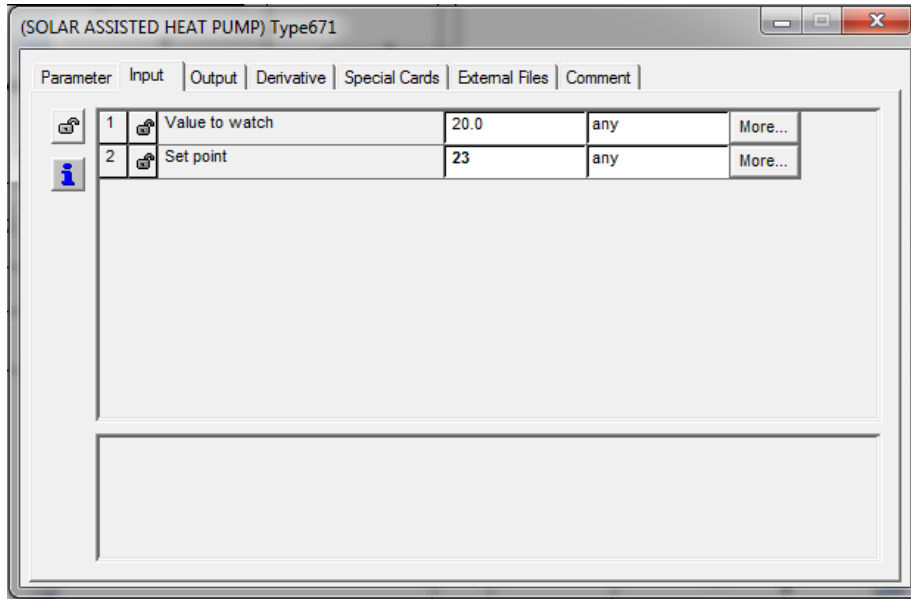
Ακολουθεί η συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων των παραπάνω στοιχείων:

		
Exiting fluid temperature	1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE)	0
Exiting fluid flow rate	2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY)	0
Outlet air temperature	3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE)	0
Outlet air humidity ratio	4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)	0
Outlet air %RH	5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)	0
Outlet air flow rate	6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST)	0
Outlet air pressure	7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST)	0
Exiting DHW temperature	8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
Exiting DHW flow rate	9- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)	0
Total heat transfer to air	10- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)	0
Sensible heat transfer to air	11- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST)	0
Latent heat transfer to air	12- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST)	0
Heat transfer to water	13- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
Heat transfer to DHW stream	14- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH)	0
Compressor power	15- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH)	0
Heat pump power	16- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST)	0
C.O.P.	17- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST)	0
EER	18- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
Auxiliary heater power	19- CONT_NAT_1 (INPUT)	0
Condensate temperature	20- T_COOL_ON (INPUT)	0
Condensate flow rate	21- S_NORTH (INPUT)	0
	22- S_SOUTH (INPUT)	0
	23- S_EAST (INPUT)	0
	24- S_WEST (INPUT)	0
	25- BRIGHT (INPUT)	0
	26- FLOW (INPUT)	0
	27- TEMP (INPUT)	0

		
temperature of zone) TAIR 1		
	Inlet liquid temperature	20
	Inlet liquid flow rate	1000.0
	Return air temperature	20.0
	Return air humidity ratio	0.008
	Not used	50.0
	Return air pressure	1.0
	Return air damper pressure drop	0
	Fresh air temperature	20

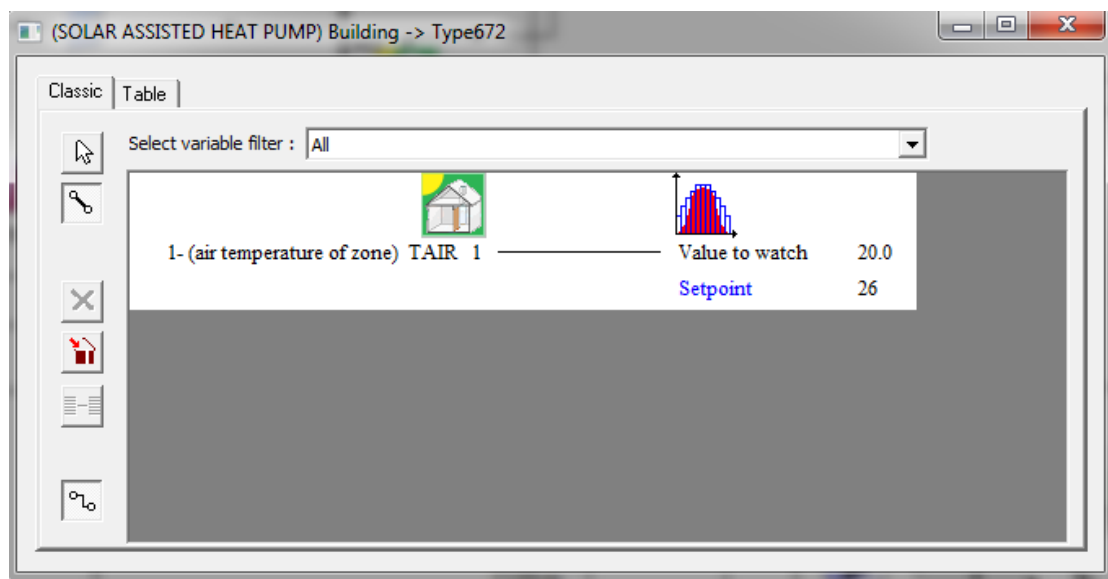
6.3.4 Υπόλοιπα Στοιχεία και Συνδεσμολογίες της Εγκατάστασης

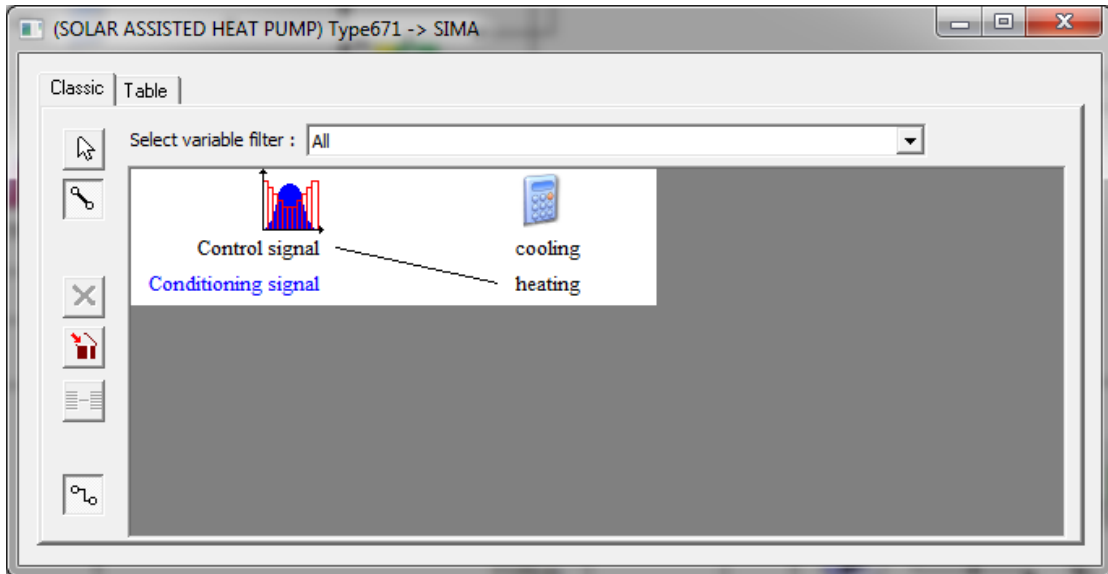
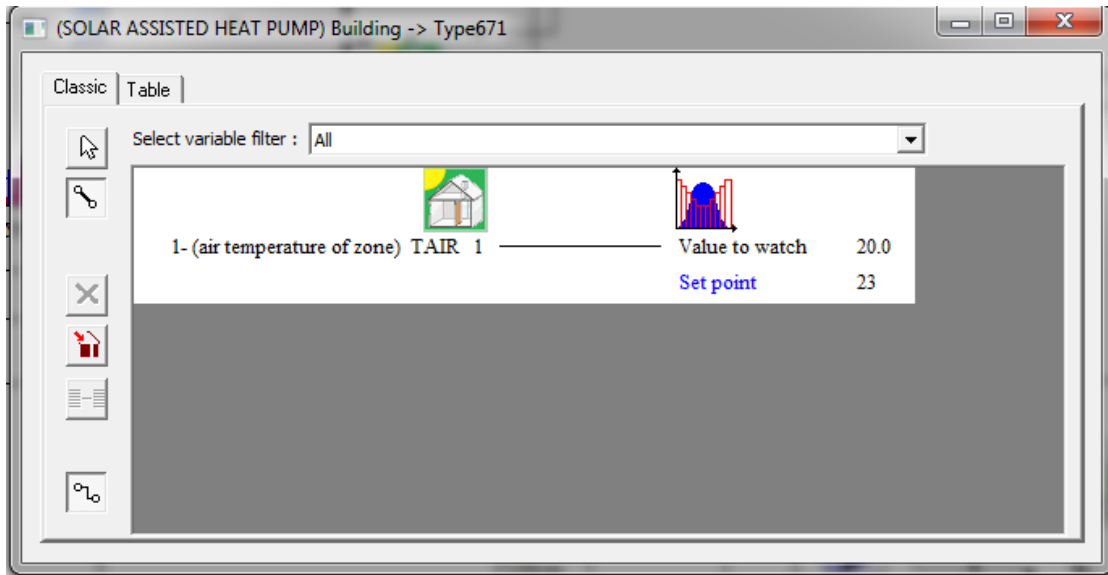
Επειδή επιθυμούμε η θερμοκρασία στο σπίτι να έχει ελάχιστη θερμοκρασία 23 °C και μέγιστη 26 °C χρησιμοποιούμε τα στοιχεία type 671 και 672 και άλλο ένα ‘κομπιουτεράκι’. Το type 671 που είναι θερμοστάτης για θέρμανση το ρυθμίζουμε στους 23 °C ενώ το type 672 που είναι για ψύξη το ρυθμίζουμε στους 26 °C. Δεν πρόκειται να ψύξουμε τον χώρο, αλλά είναι μία λύση που σκεφτήκαμε για να μην λειτουργεί συνέχεια η αντλία θερμότητας. Όταν η θερμοκρασία στον χώρο πέσει κάτω από 23 °C το type 671 δίνει σήμα 1 και αντίστοιχα όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 26 °C το type 672 δίνει σήμα 1. Χρησιμοποιώντας το ‘κομπιουτεράκι’, εμείς θέλουμε η αντλία θερμότητας να λειτουργεί όταν και η θερμοκρασία είναι 23-26 °C, τα type δηλαδή δίνουν και τα δύο σήμα 1. Δημιουργώντας την μεταβλητή sima στο κομπιουτεράκι που είναι ένα γινόμενο των δύο σημάτων πετυχαίνουμε αυτό που θέλουμε. Ακολουθούν οι εικόνες που παρουσιάζουν τα παραπάνω:

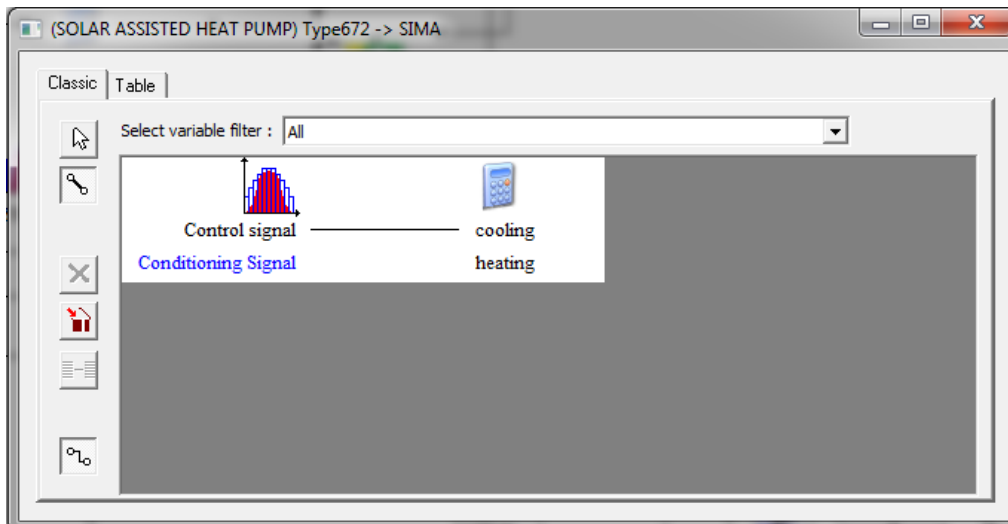




Ακολουθεί η συνδεσμολογία εισόδων και εξόδων των παραπάνω στοιχείων:



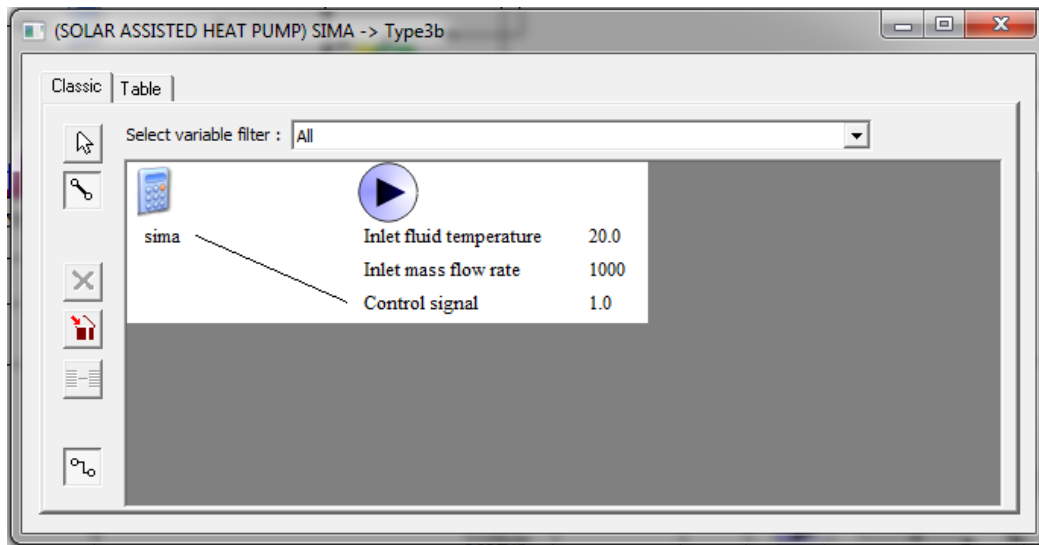




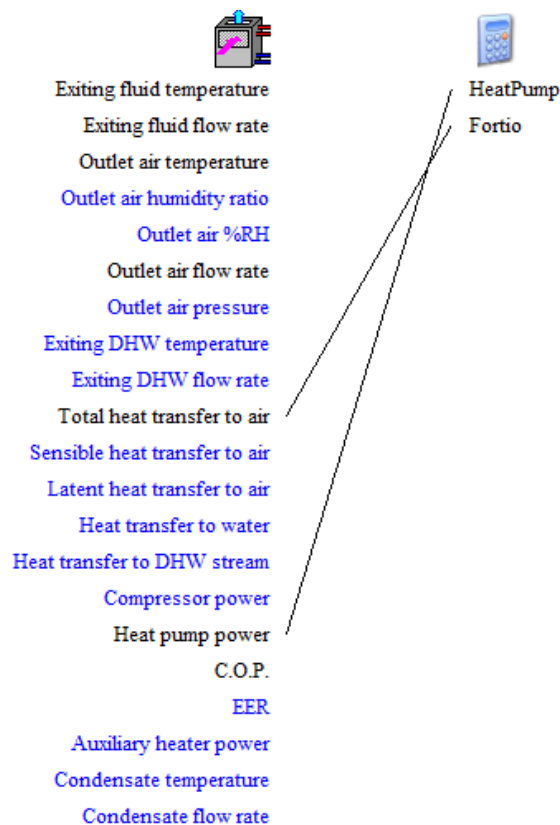
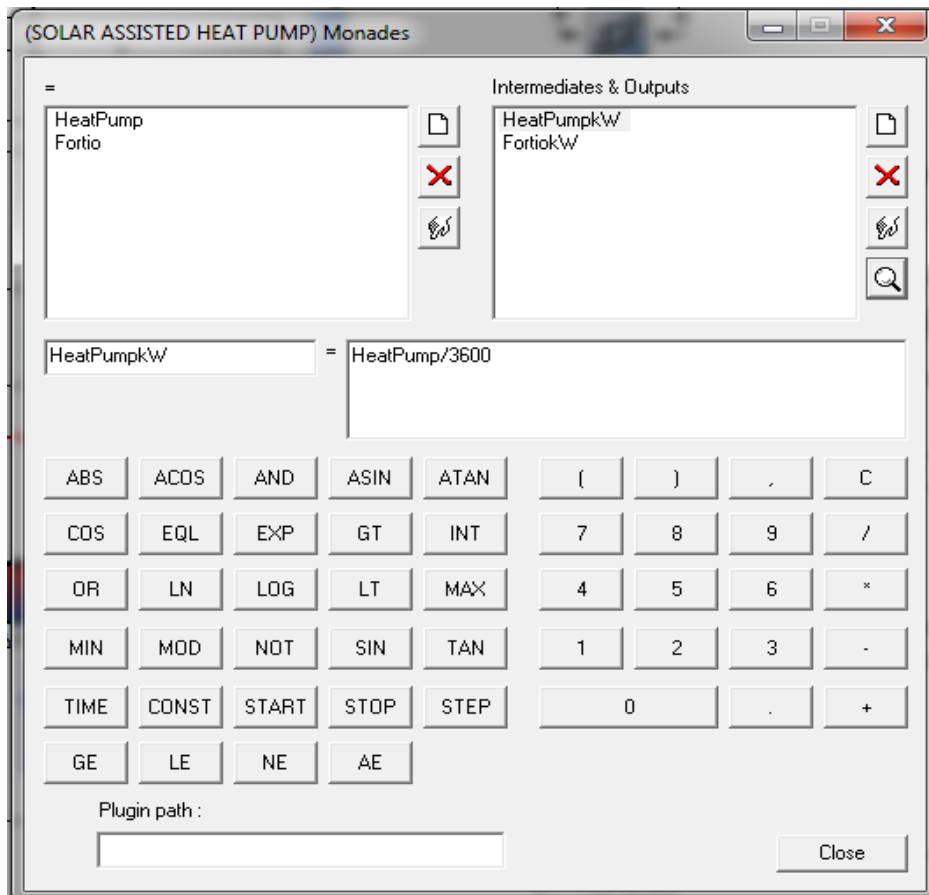
sima

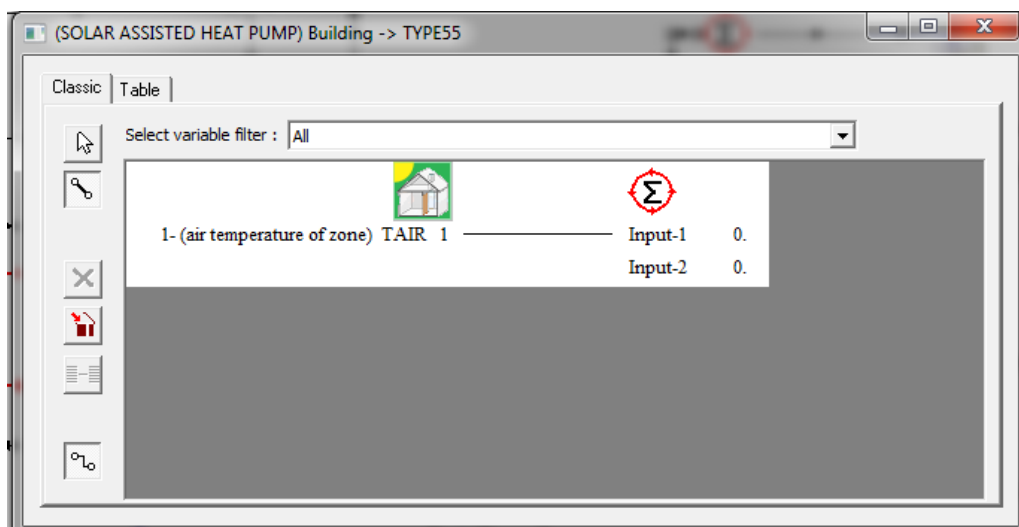
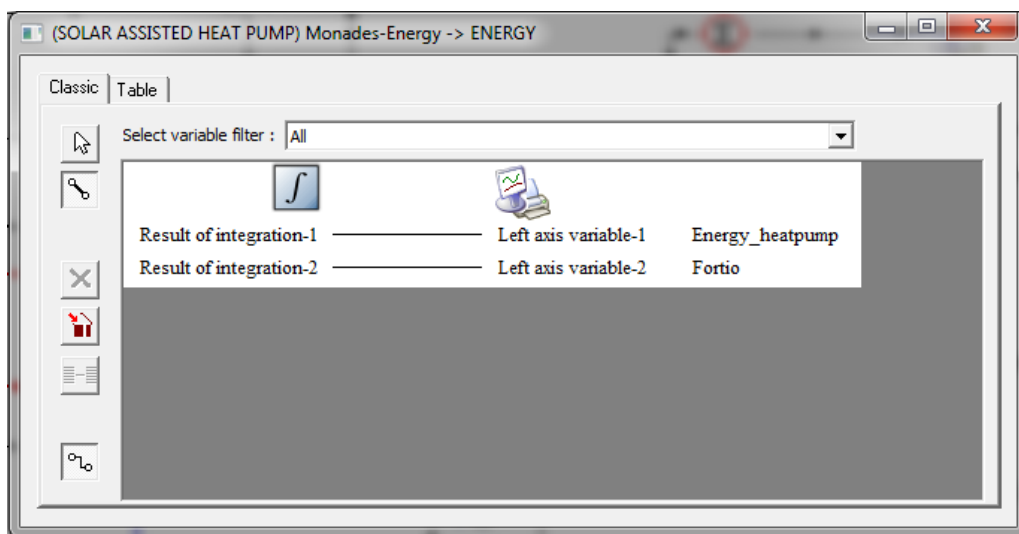
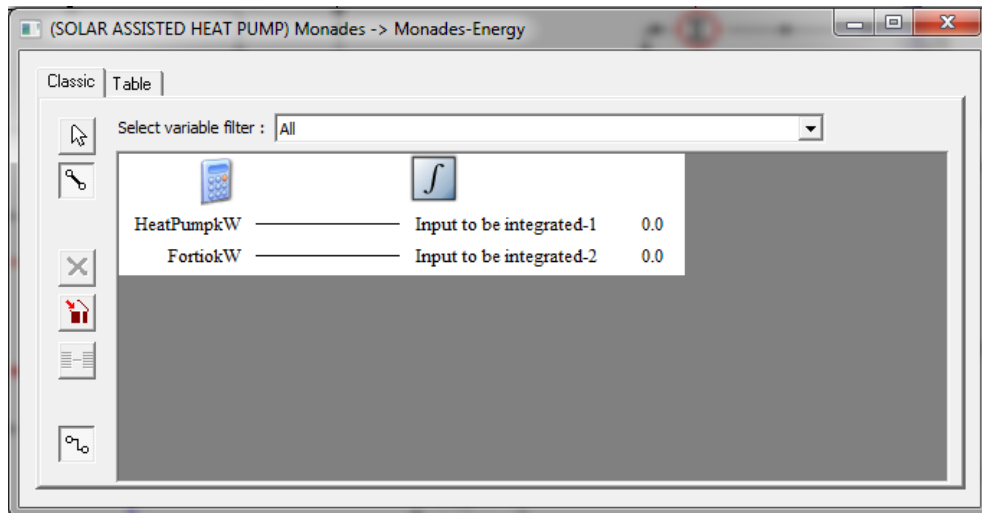


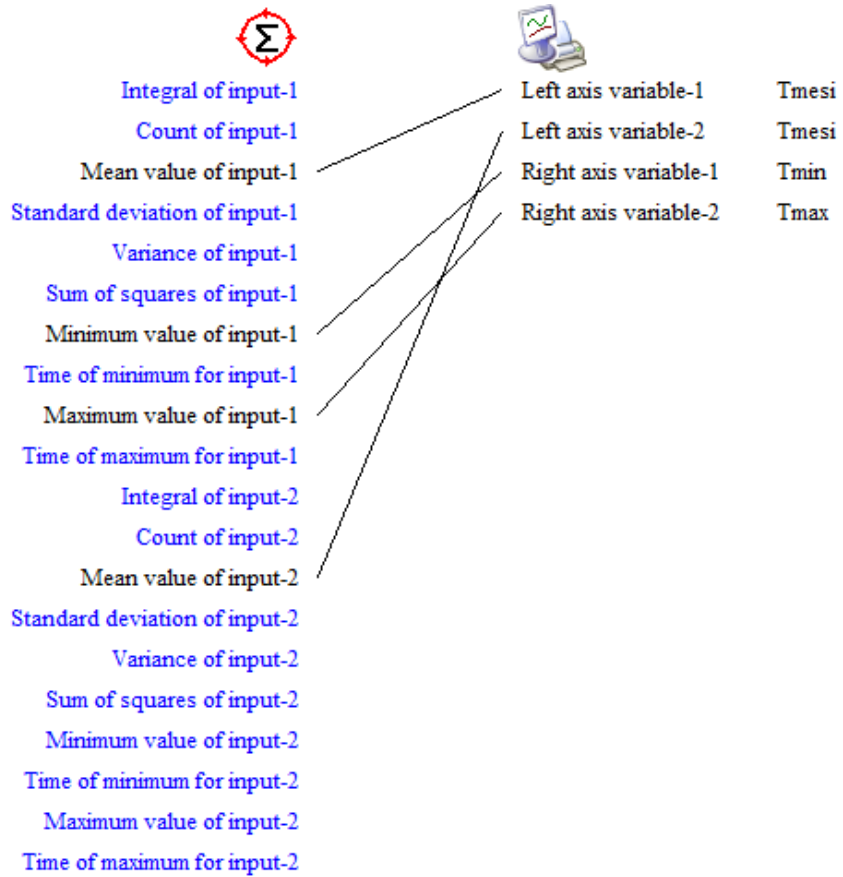
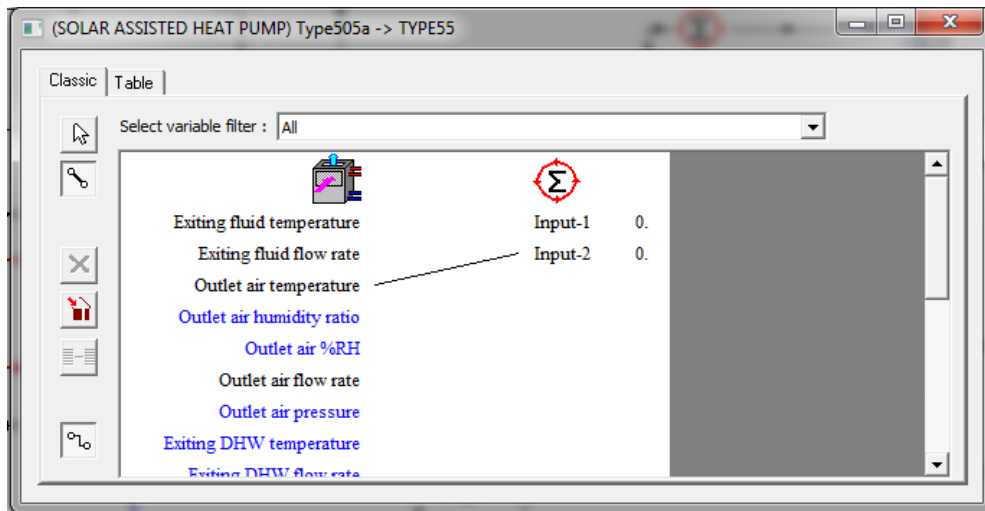
Inlet liquid temperature	20
Inlet liquid flow rate	1000.0
Return air temperature	20.0
Return air humidity ratio	0.008
Not used	50.0
Return air pressure	1.0
Return air damper pressure drop	0
Fresh air temperature	20
Fresh air humidity ratio	0.008
Not used	50.
Fresh air pressure	1.0
Fresh air damper pressure drop	0
Inlet DHW temperature	40.0
Inlet DHW flow rate	0
Cooling control signal	0
Heating control signal	0
Stage 1 auxiliary signal	0.0
Stage 2 auxiliary signal	0.0
Fan control signal	0
Fraction of outside air	0
Cooling desuperheater temperature	60.0
Heating desuperheater temperature	55
Desuperheater UA - cooling	1500.0
Desuperheater UA - heating	1500.0
Fraction of rated cooling power	0
Fraction of rated cooling capacity	0

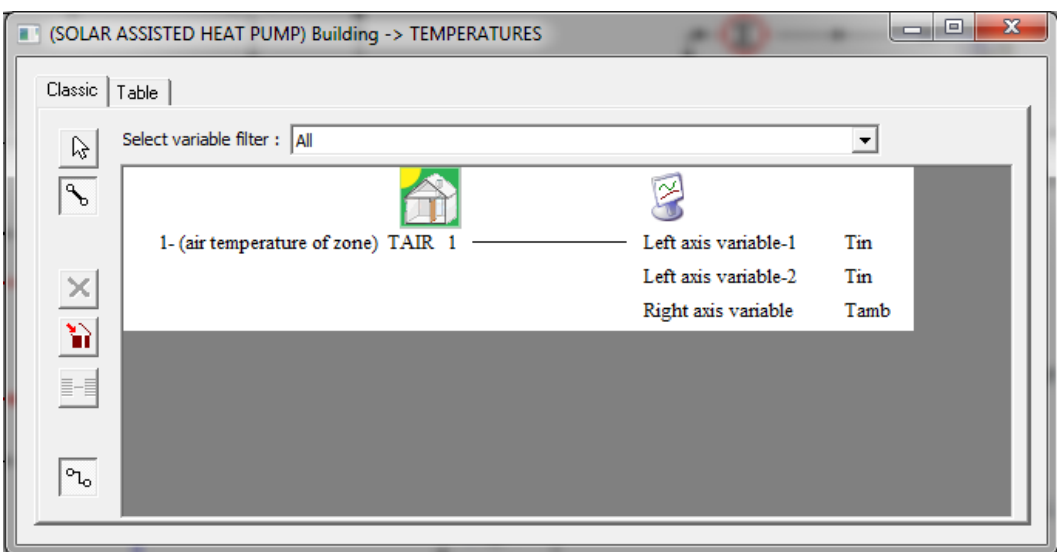
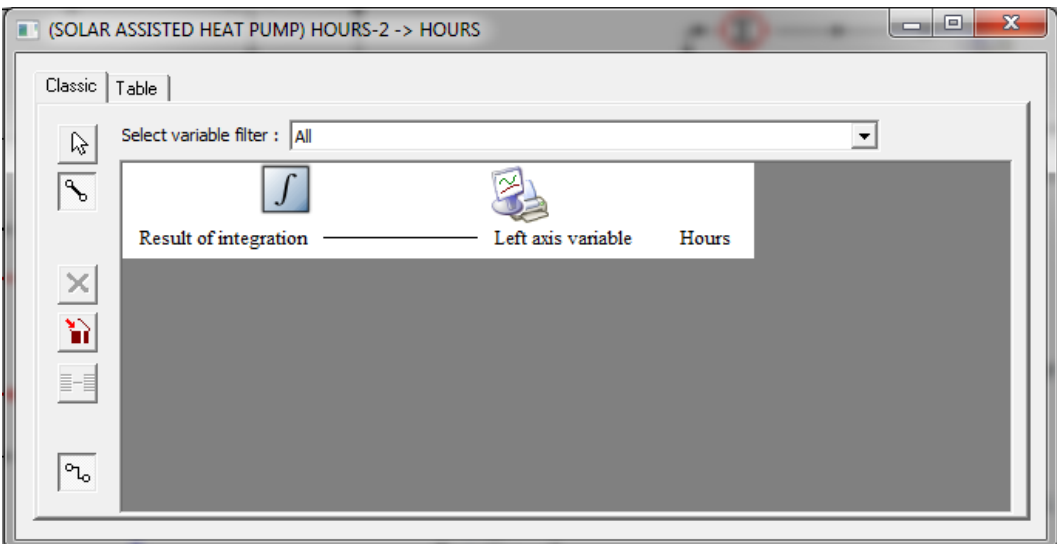
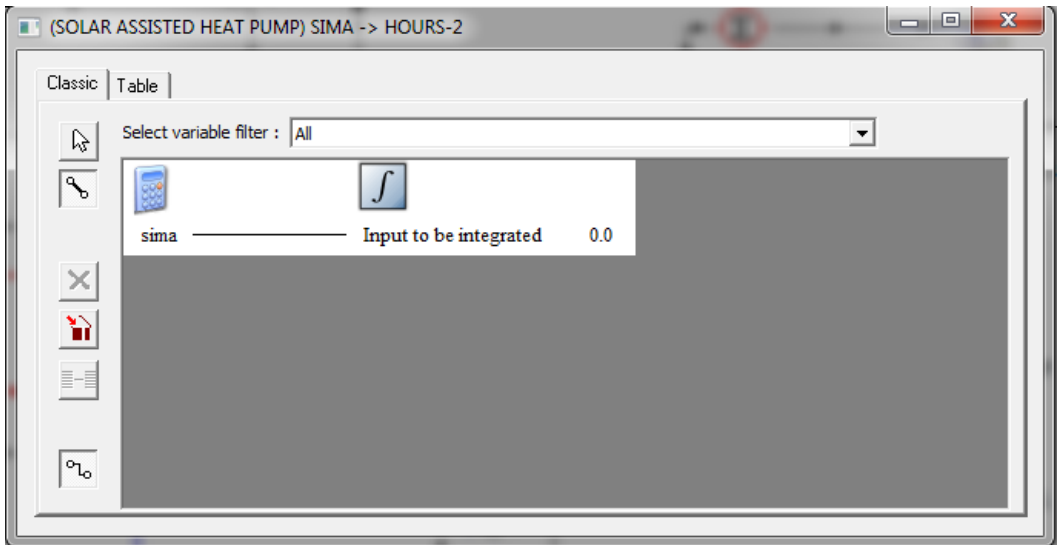


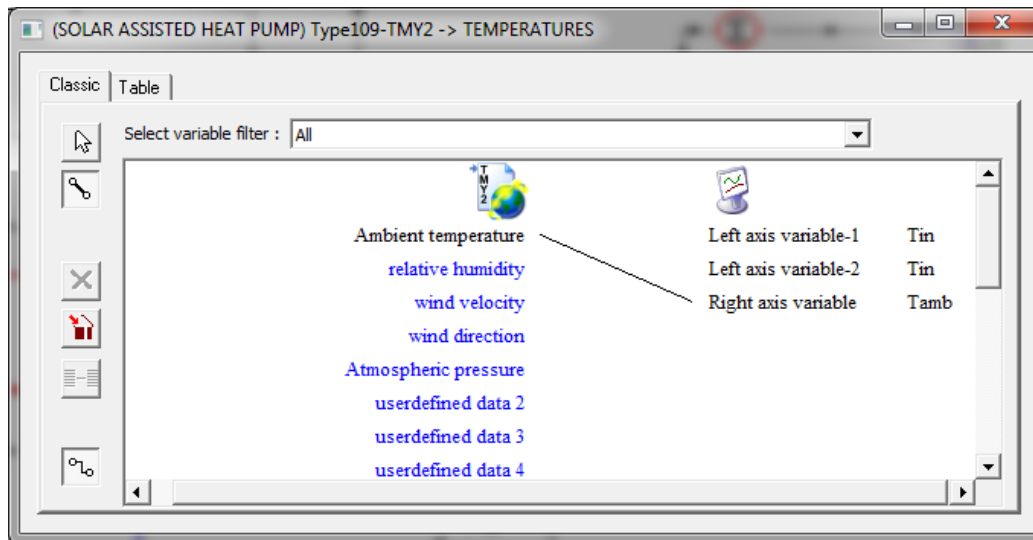
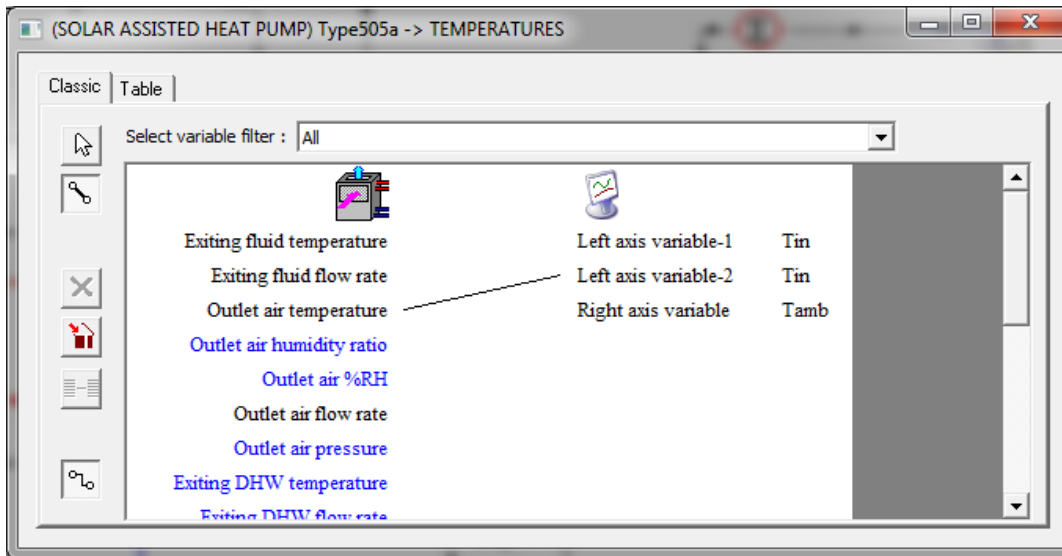
Τώρα απομένει να παρουσιάσουμε τα type που χρησιμοποιήσαμε για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Αρχικά χρησιμοποιήσαμε το κομπιουτεράκι με την ονομασία Monades για τη μετατροπή μονάδων της ισχύος από kJ/h σε kW. Χρησιμοποιήσαμε το type 55 για να υπολογίσουμε μέσες τιμές, ελάχιστα και μέγιστα των θερμοκρασιών του αέρα του κτιρίου και της αντλίας θερμότητας. Επίσης, χρησιμοποιήσαμε τον ολοκληρωτή type 24 με την ονομασία Energy για να υπολογίσουμε την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και το πραγματικό θερμικό φορτίο. Τον ολοκληρωτή με ονομασία Hours-2 τον χρησιμοποιήσαμε για να υπολογίσουμε τις ώρες λειτουργίας της αντλίας θερμότητας. Τέλος, χρησιμοποιήσαμε online plotters, type 65c, με την αντίστοιχη ονομασία κάθε φορά (Power-COP, Hours, Energy, Tank-Coll, Temperatures κλπ) για τον υπολογισμό των μεγεθών που περιγράφει η ονομασία τους αλλά και την τελική παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Ακολουθούν οι εικόνες που περιγράφουν τα παραπάνω:

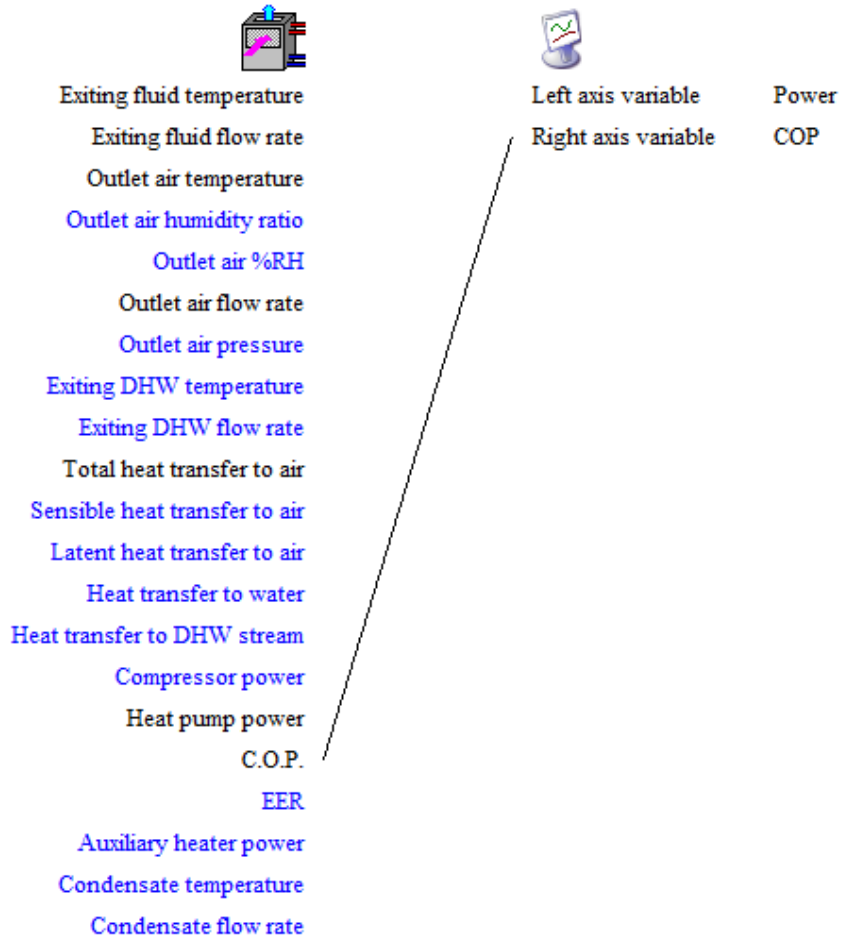
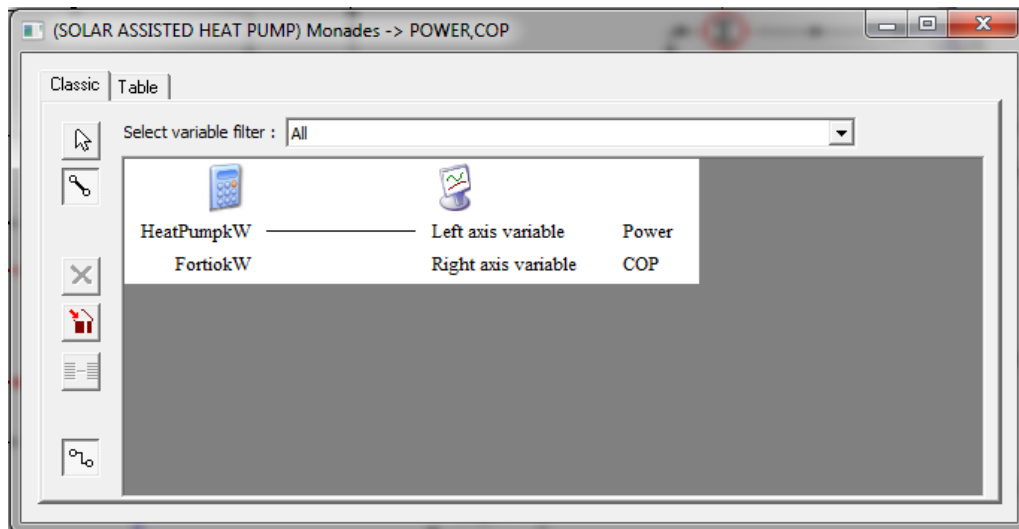


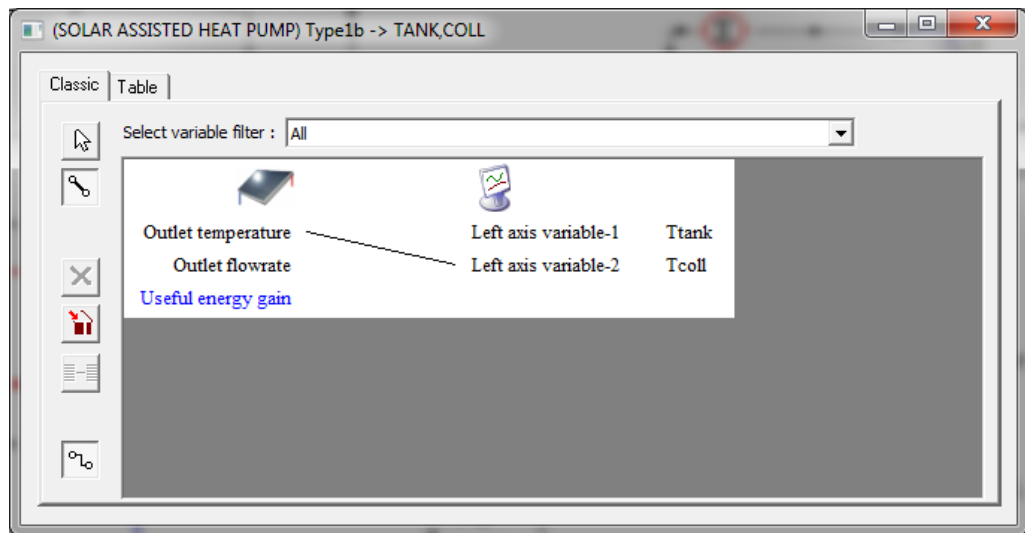
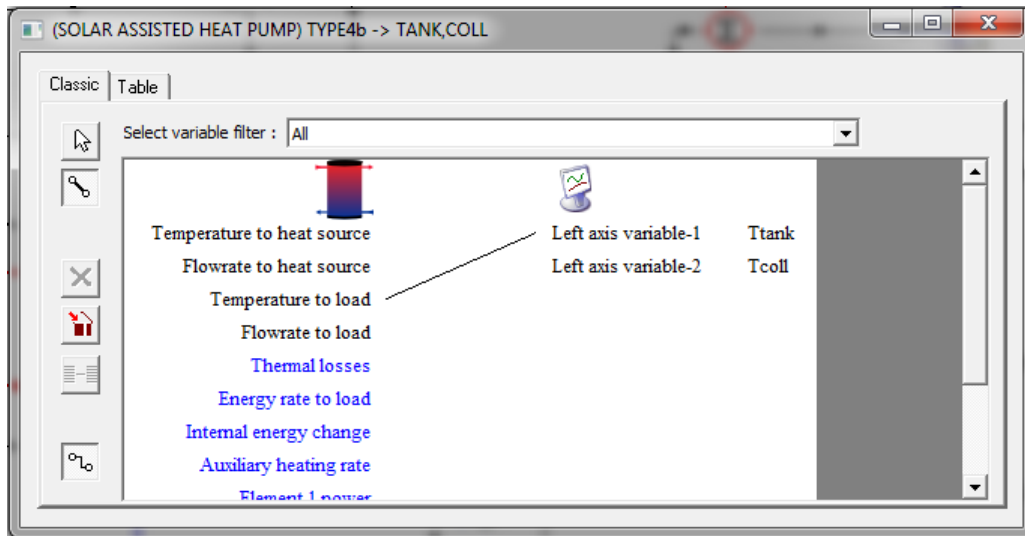












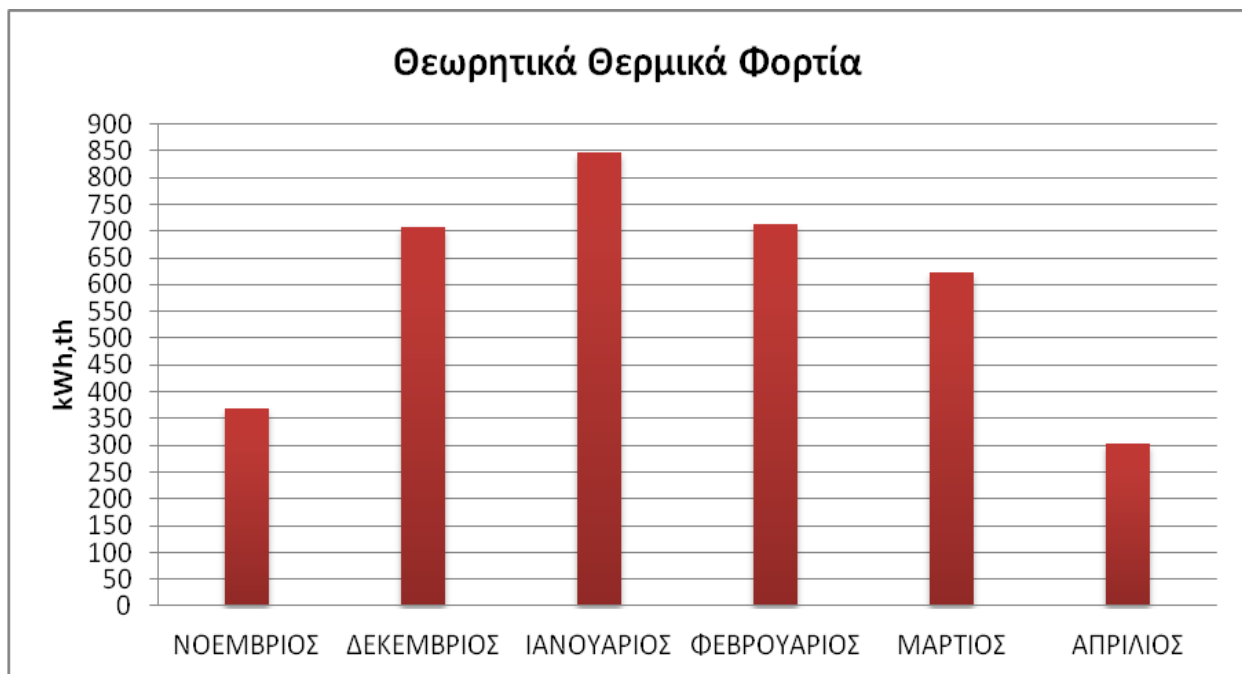
6.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης

Αφού δημιουργήσαμε την εγκατάσταση με την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας έπρεπε να βρούμε ποιες είναι οι βέλτιστες παράμετροι και διαστάσεις για την εγκατάσταση. Τα κριτήριά μας ήταν:

1. Σύγκλιση του θεωρητικού θερμικού φορτίου με του πραγματικού που προσφέρει η αντλία θερμότητας.
2. Η εγκατάσταση εκείνη που λειτουργεί με τον καλύτερο βαθμό COP, έχοντας όμως ως προτεραιότητα και μία ρεαλιστική προσέγγιση από άποψη κόστους-αποδοτικότητας.
3. Αποφυγή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών στο δοχείο αδρανείας.
4. Το προφίλ θερμοκρασιών στο κτίριο να ικανοποιεί τα κριτήρια της θερμικής άνεσης.

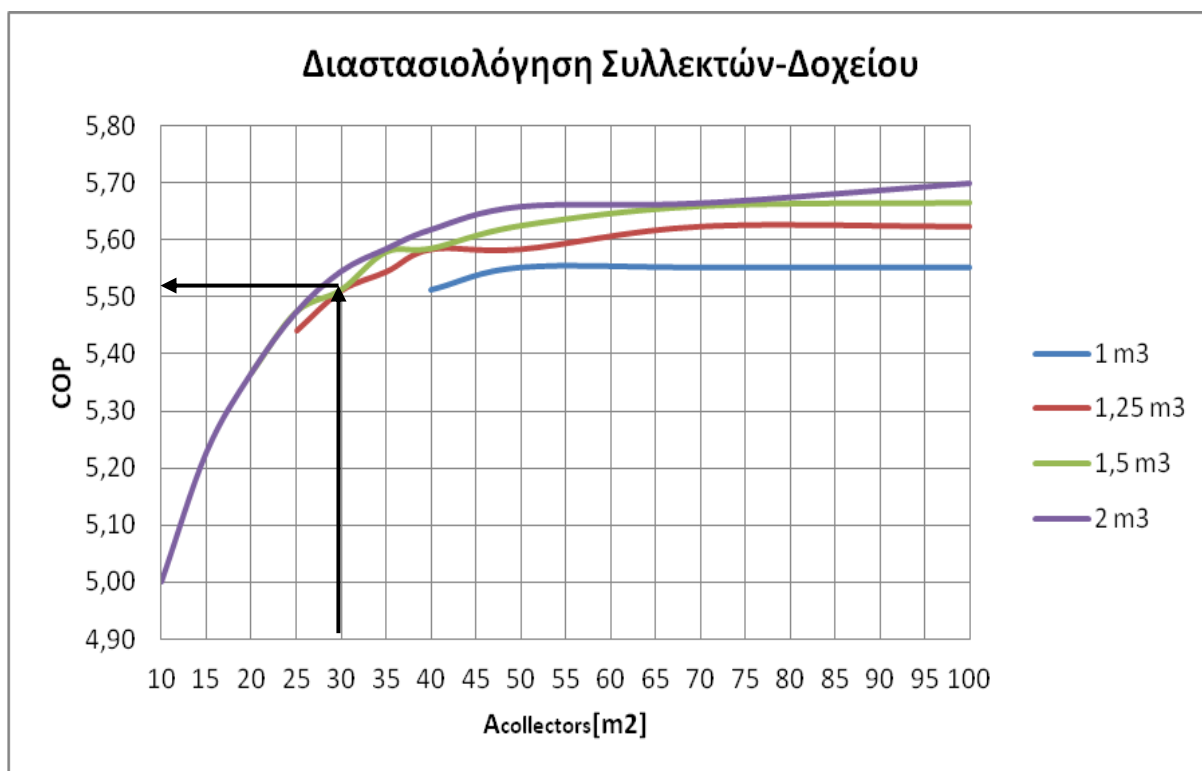
Για τον υπολογισμό του θεωρητικού θερμικού φορτίου επιλέξαμε στο TRNBuild να θερμαίνεται το κτίριο όταν η θερμοκρασία του πέφτει κάτω από 23 °C χωρίς να έχουμε την εγκατάσταση με την αντλία θερμότητας. Με αυτόν τον τρόπο το TRNSYS υπολογίζει στο αρχείο Output.txt ποιο είναι το θεωρητικό θερμικό φορτίο σε kWh,th.

Παρατηρώντας ότι ο Ιανουάριος είναι ο μήνας με το μεγαλύτερο θερμικό φορτίο, επιλέξαμε η διαστασιολόγηση του συστήματός μας να γίνει αυτόν τον μήνα. Το βήμα σε όλες τις προσομοιώσεις που πραγματοποιήσαμε είναι 0,05 h. Αλλάζοντας τον χρόνο ανάλογα με τον μήνα που επιθυμούμε στις Control Cards έχουμε τα εξής θεωρητικά θερμικά φορτία:



Γράφημα 6.1: Τα θεωρητικά θερμικά φορτία του κτιρίου τους μήνες Νοέμβριο- Απρίλιο

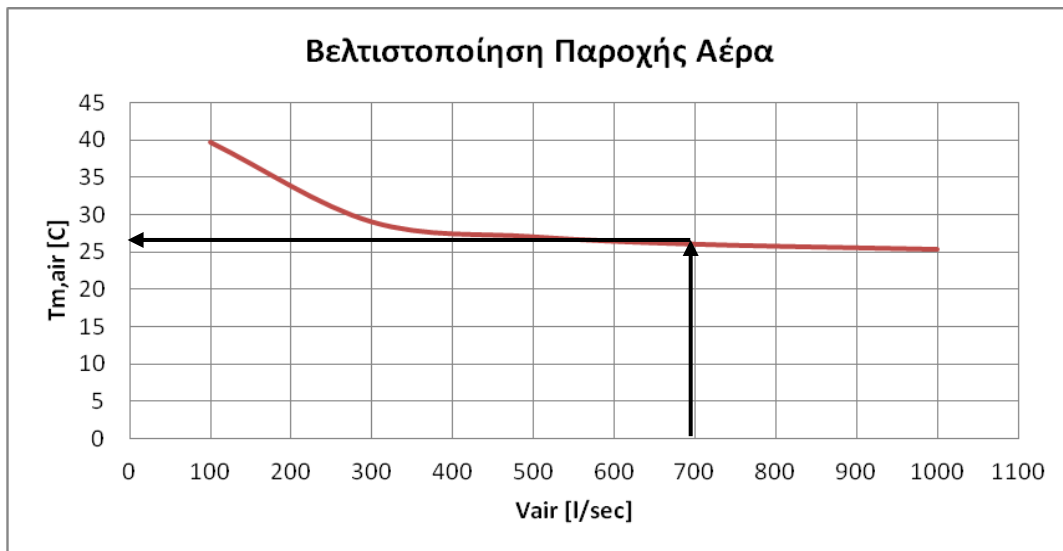
Στο πρόγραμμα που δημιουργήσαμε στο κεφάλαιο 6 αλλάζοντας τις παραμέτρους των στοιχείων σύμφωνα με τα 4 κριτήρια που αναφέραμε, για τον μήνα Ιανουάριο, διαστασιολογήσαμε την εγκατάσταση:



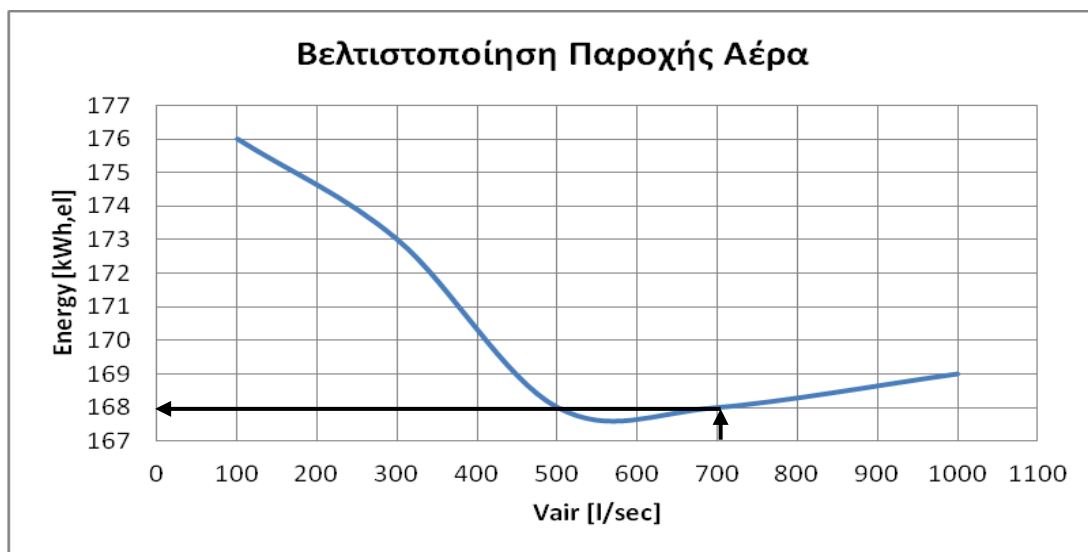
Γράφημα 6.2: Διαστασιολόγηση Συλλεκτών και Δοχείου Αδρανείας τον Ιανουάριο

Καταλήξαμε όπως φαίνεται στο παραπάνω γράφημα σε **επιφάνεια συλλεκτών 30 m²** και **δοχείο αδρανείας 1,25 m³** με **COP=5,51**. Ο μέγιστος συντελεστής COP που παρατηρήθηκε είναι 5,70 για 100 m² επιφάνεια συλλεκτών και 2,0 m³ δοχείο αδρανείας. Η επιλογή αυτών των μεγεθών έγινε λαμβάνοντας υπόψη μία ρεαλιστική οικονομοτεχνική προσέγγιση. Δηλαδή, η επιλογή για παράδειγμα 40 m² επιφάνειας συλλέκτη με 1,5 m³ δοχείο αδρανείας αποδίδει COP=5,58, δηλαδή πολύ μικρή βελτίωση της απόδοσης της εγκατάστασης σε σχέση με το κόστος των επιπλέον 10 m² συλλεκτών και του μεγαλύτερου δοχείου αδρανείας. Επίσης, το δοχείο αδρανείας 2,0 m³ παρόλο που παρατηρούμε ότι για τα 30 m² συλλεκτών προσδίδει COP=5,54 αλλά και γενικότερα μία καλύτερη απόδοση στο σύστημα δεν επιλέγεται για την εγκατάσταση γιατί είναι μία μη ρεαλιστική επιλογή, καθώς πρόκειται για εγκατάσταση κτιρίου με μόλις 100 m² και το μέγεθός του είναι σημαντικό.

Στη συνέχεια, βελτιστοποιήσαμε την παροχή αέρα της αντλίας θερμότητας στο χώρο. Όπως φαίνεται στα παρακάτω γραφήματα η παροχή του αέρα παίζει σημαντικό ρόλο στην θερμοκρασία εξόδου του αέρα από την αντλία θερμότητας ενώ αντίθετα στην κατανάλωση ενέργειας έχει αμελητέα επίδραση.



Γράφημα 6.3: Βελτιστοποίηση της παροχής αέρα της αντλίας θερμότητας σε σχέση με την μέση θερμοκρασία αέρα



Γράφημα 6.4: Βελτιστοποίηση της παροχής αέρα της αντλίας θερμότητας σε σχέση με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας

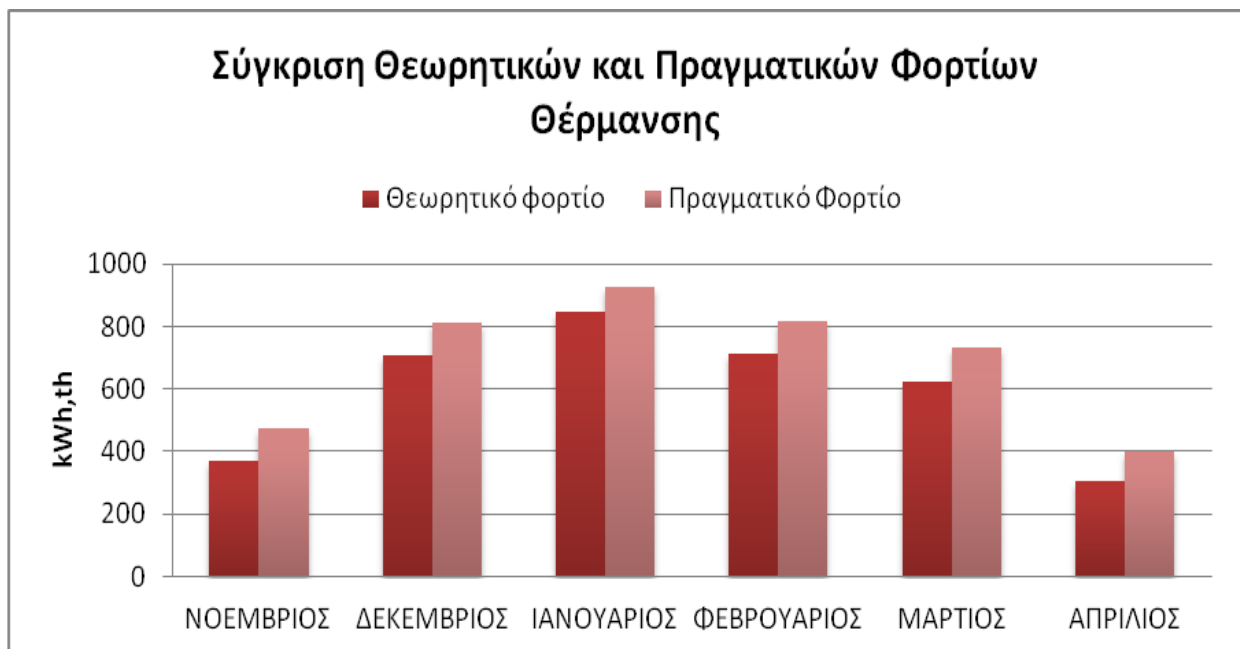
Επιλέξαμε **παροχή αέρα 700 l/sec** που προσδίδει στον αέρα μια μέση θερμοκρασία εξόδου από την αντλία θερμότητας 26 °C και κατανάλωση ενέργειας 168 kWh,el.

Έχοντας διαστασιολογήσει την εγκατάστασή μας, προσομοιώσαμε το σύστημα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο προκειμένου να συγκρίνουμε τα θεωρητικά με τα πραγματικά θερμικά φορτία, ώστε να

επιβεβαιώσουμε ότι το πρόγραμμα προσφέρει μία ρεαλιστική προσέγγιση στη θέρμανση του κτιρίου με την προαναφερθείσα εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι:

ΜΗΝΑΣ	Qθέρμανσης, θεωρ.	Qθέρμανσης, πραγμ.	Κατανάλωση Ηλ.Ενέργειας	COP	Τμέση,κτιρίου	Ώρες Λειτουργίας
	[kWh,th]	[kWh,th]	[kWh,el]		[C]	
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	370	475	86	5,52	23,6	61
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	708	810	153	5,29	23,6	111
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	846	926	168	5,51	23,7	119
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	713	819	146	5,61	23,7	103
ΜΑΡΤΙΟΣ	622	734	133	5,52	23,7	94
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	304	401	72	5,57	23,7	51
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	3563	4165	758	5,49	23,7	539

Πίνακας 6.1: Φορτία Θέρμανσης, Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια, COP, Μέση Θερμοκρασία Κτιρίου και Ώρες Λειτουργίας της εγκατάστασης τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

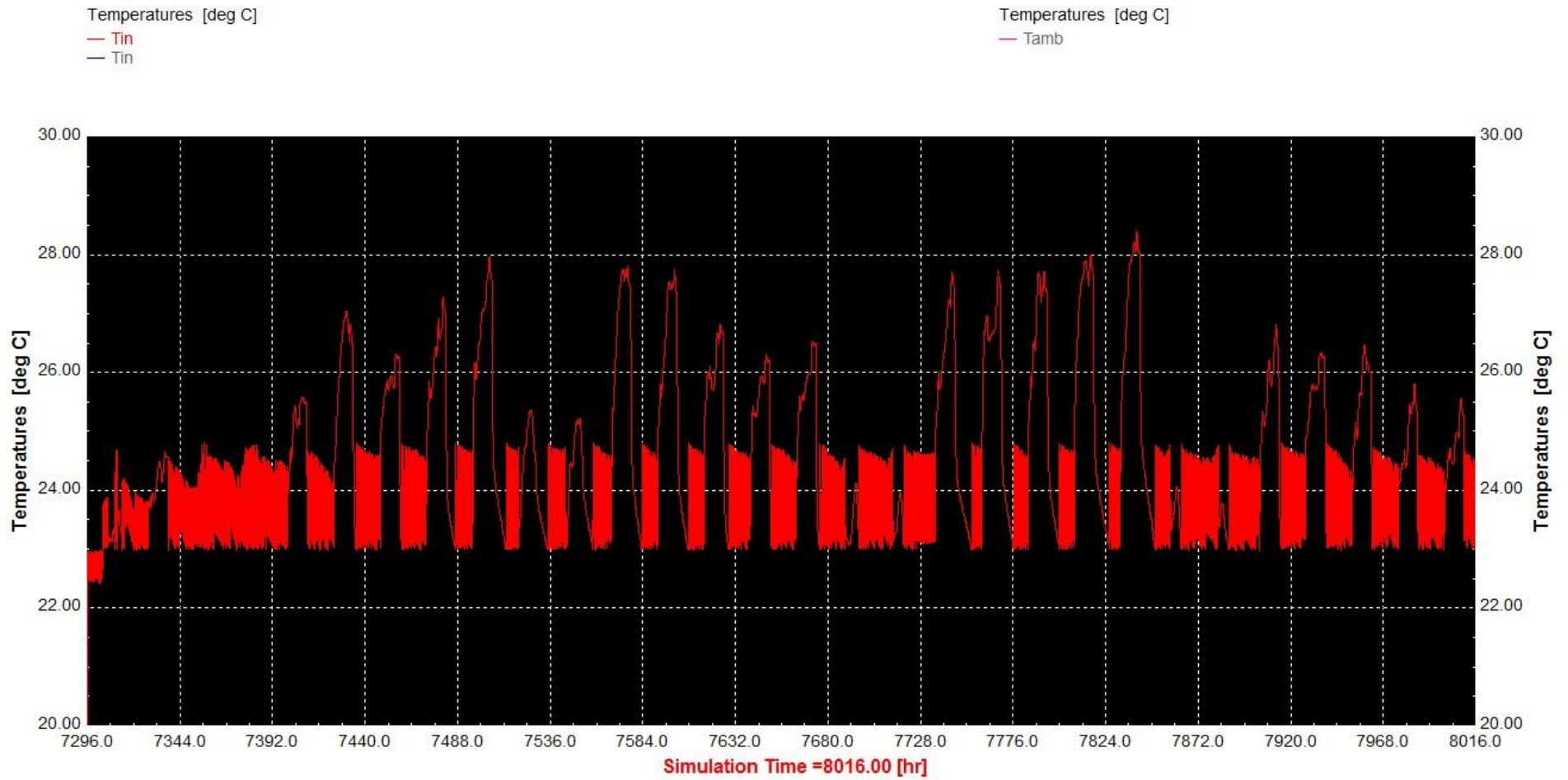


Γράφημα 6.4: Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών φορτίων θέρμανσης τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

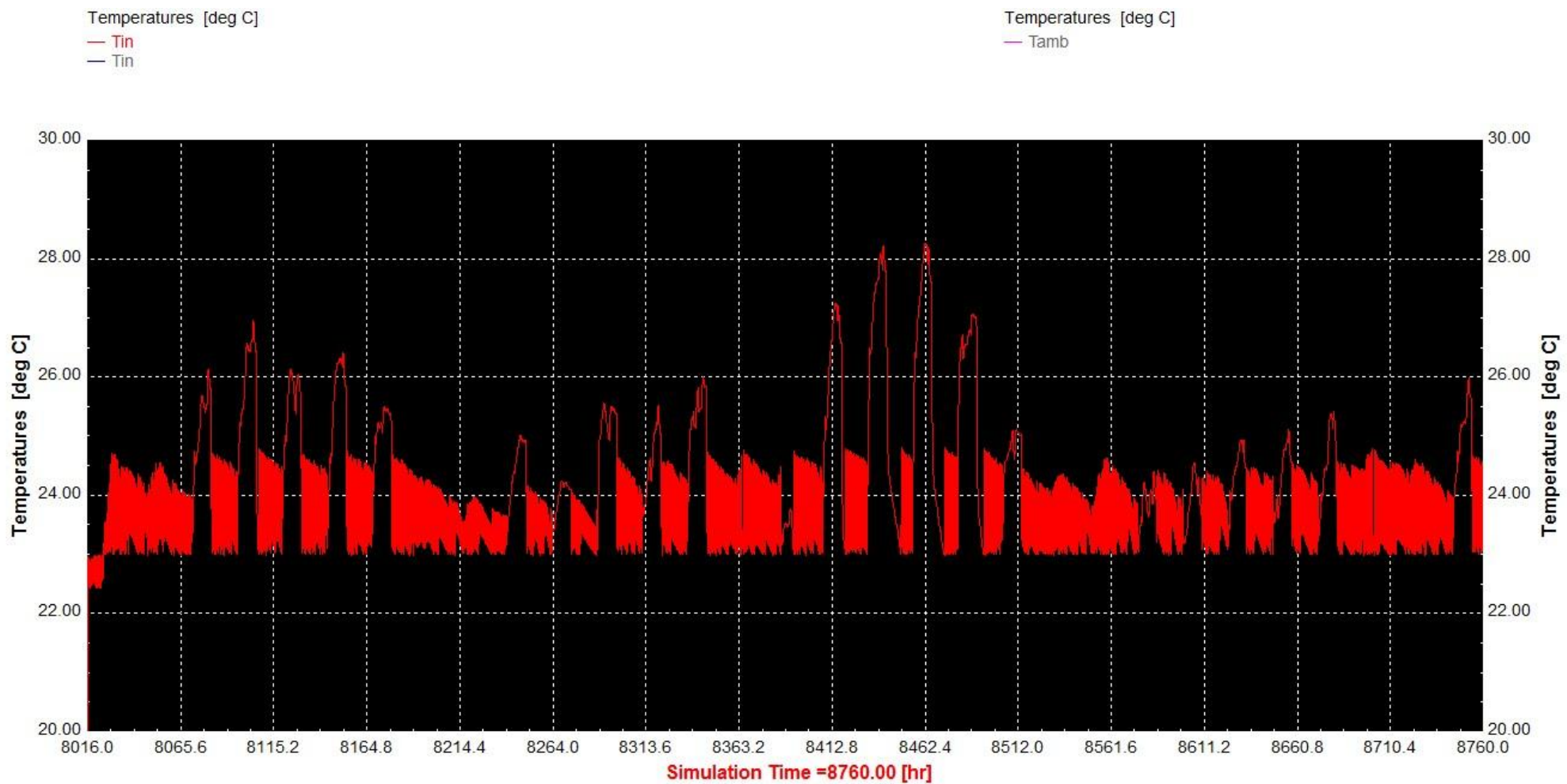
Παρατηρείται μία μικρή υπερδιαστασιολόγηση. Πρέπει να τονίσουμε ότι προέκυψε λόγω του ότι στη θεωρητική προσέγγιση το TRNSYS έχει γενικότερα μία μέση θερμοκρασία μικρότερη από τη δική μας, της οποίας η ελάχιστη θερμοκρασία είναι αυστηρά 23 °C. Είναι σαν έχει ένα ιδανικό σύστημα θέρμανσης που λειτουργεί για τόσο χρόνο ώστε να βρίσκεται κοντά στους 23 °C. Ωστόσο, η προσέγγιση μας είναι ικανοποιητική αφού για τον μήνα Ιανουάριο έχουμε μια απόκλιση 9 %. Στους μήνες Νοέμβριο και Απρίλιο που οι απαιτήσεις θέρμανσης είναι λιγότερες, η διαφορά είναι μεγαλύτερη γιατί η εγκατάσταση έχει διαστασιολογηθεί για τον Ιανουάριο που είναι ο δυσμενέστερος μήνας από άποψη θερμικού φορτίου (έχει το διπλάσιο θερμικό φορτίο, περίπου, σε σχέση με τον Νοέμβριο και παραπάνω από το διπλάσιο σε σχέση με τον Απρίλιο).

6.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

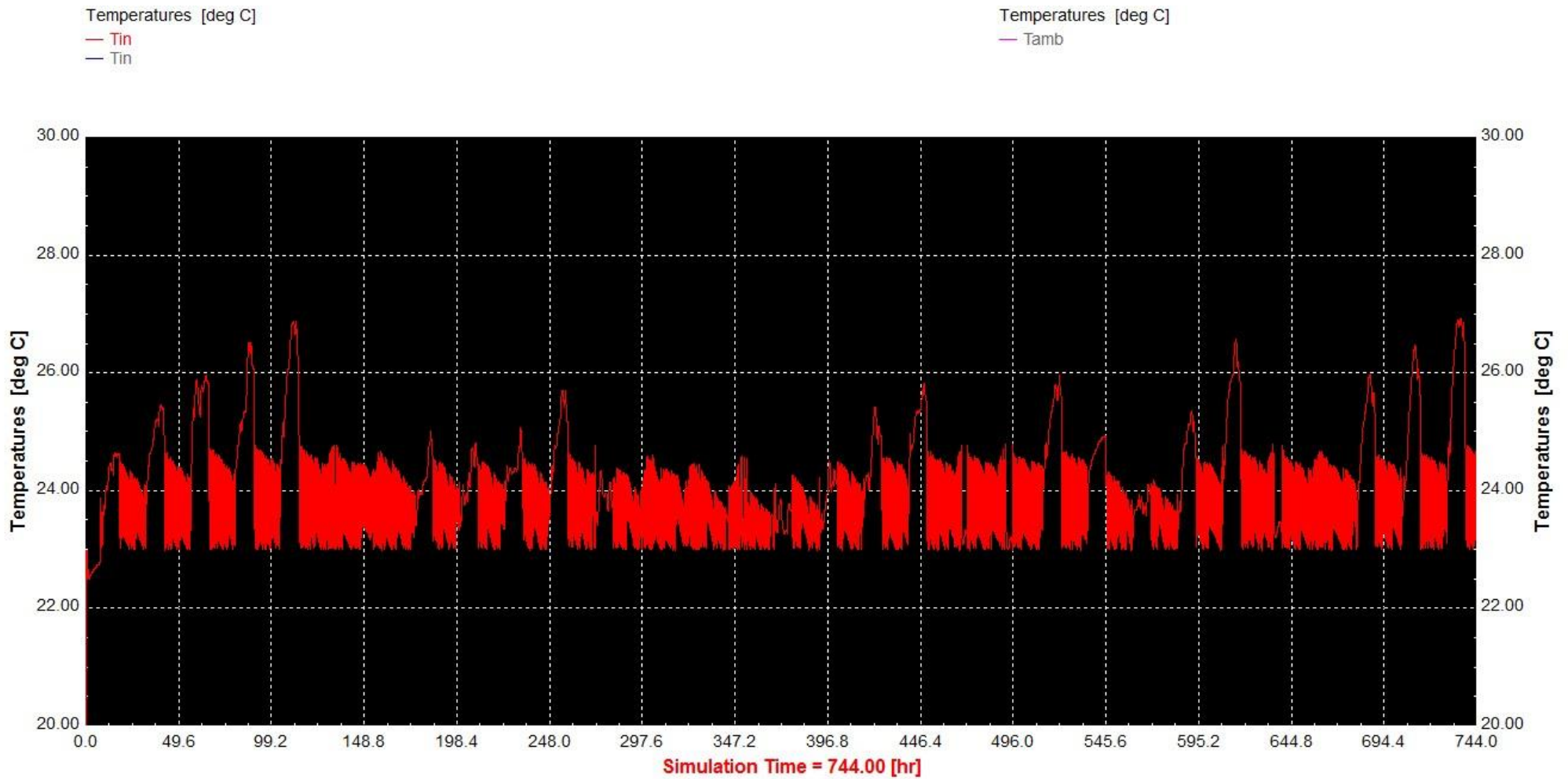
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Προσομοίωσης. Αρχικά παρατίθενται τα θερμοκρασιακά προφίλ ανά μήνα στο κτίριο. Στη συνέχεια, το θερμοκρασιακό προφίλ για όλους τους μήνες αλλά και για τη μέση ημέρα του Ιανουαρίου. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι ώρες που αντιστοιχούν στον κάθε μήνα, καθώς δεν δίνεται η δυνατότητα στο TRNSYS να έχεις μέρες στον οριζόντιο άξονα.



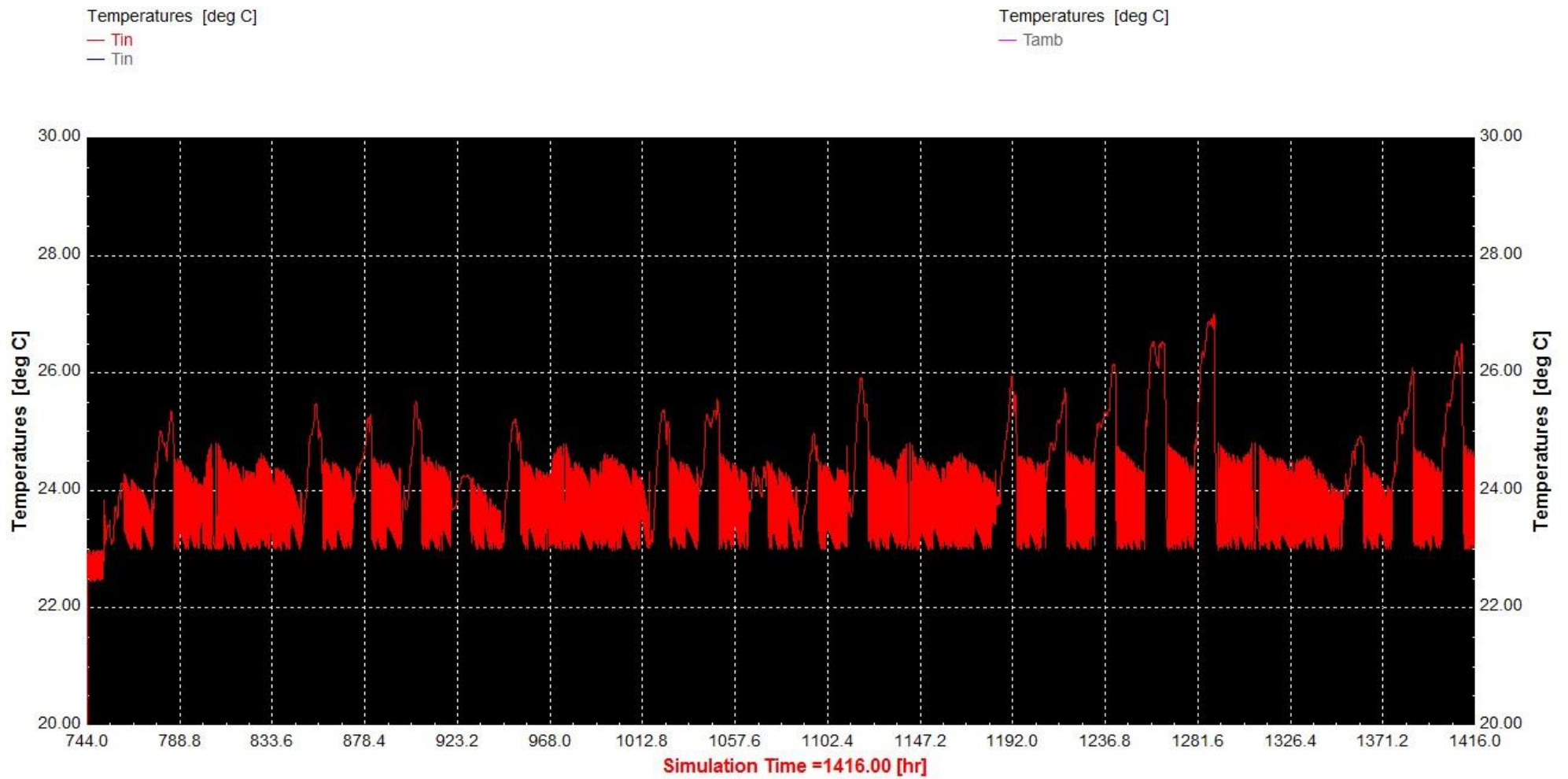
Διάγραμμα 6.1: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Νοέμβριο



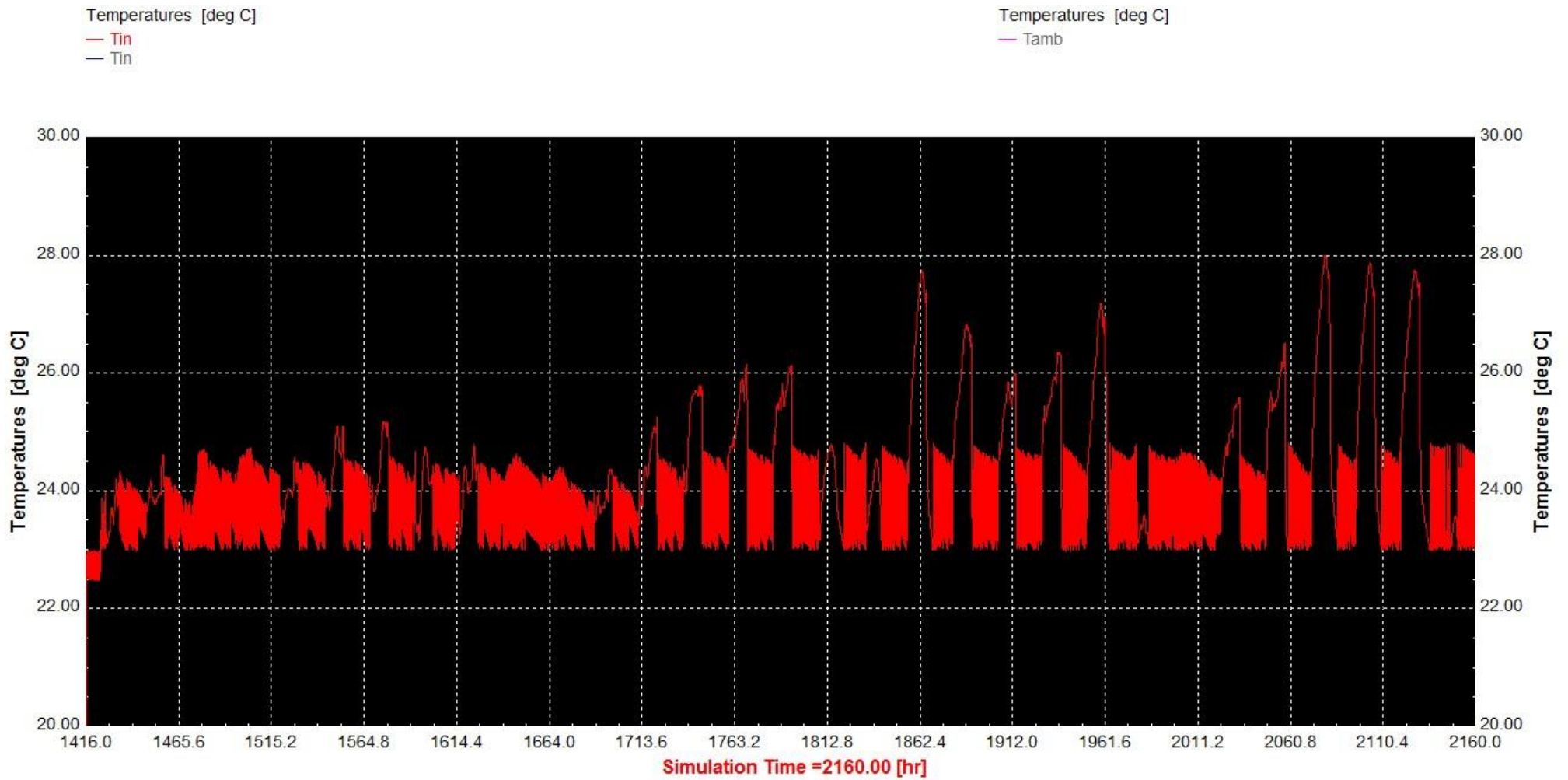
Διάγραμμα 6.2: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Δεκέμβριο



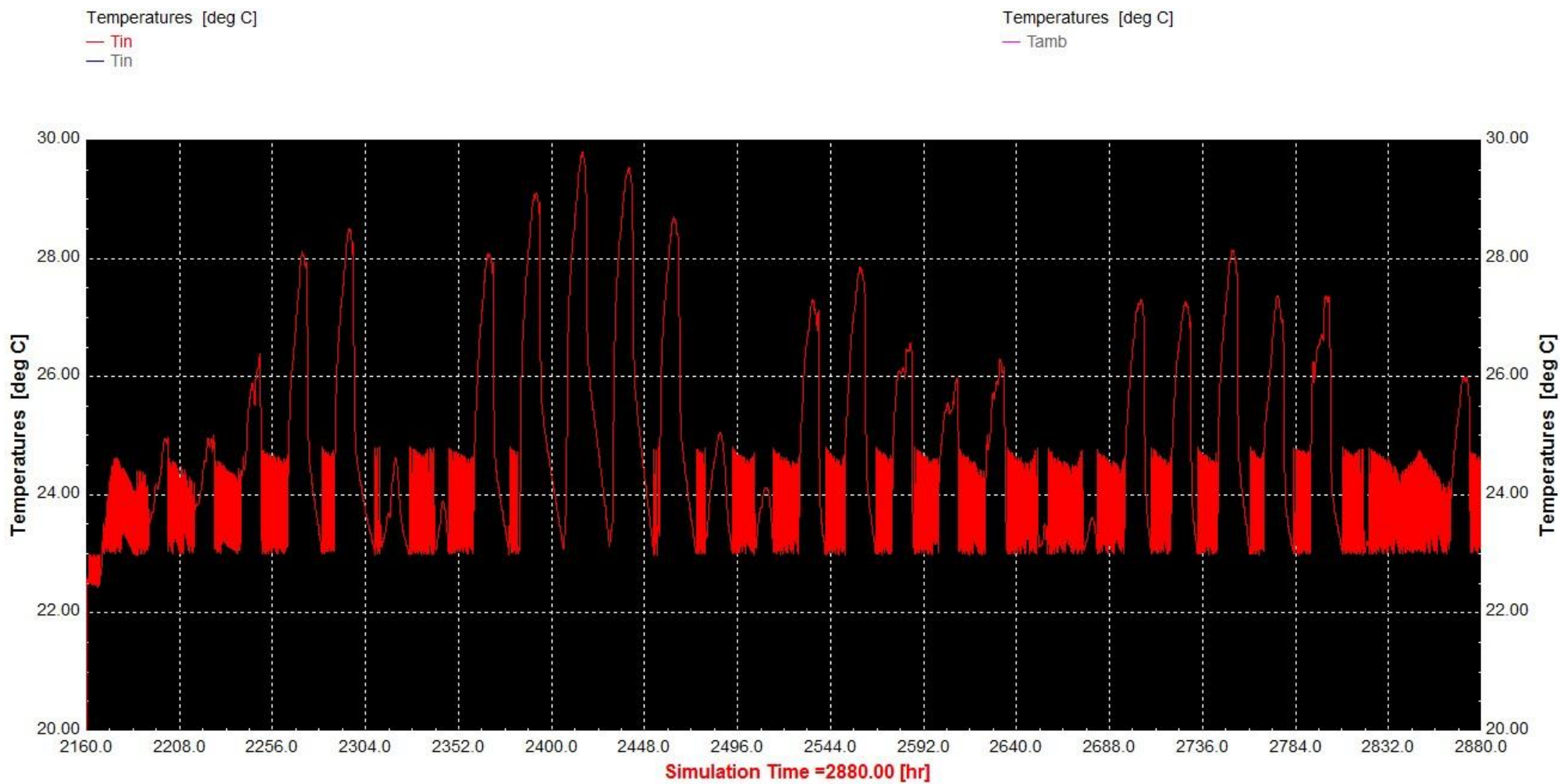
Διάγραμμα 6.3: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Ιανουάριο



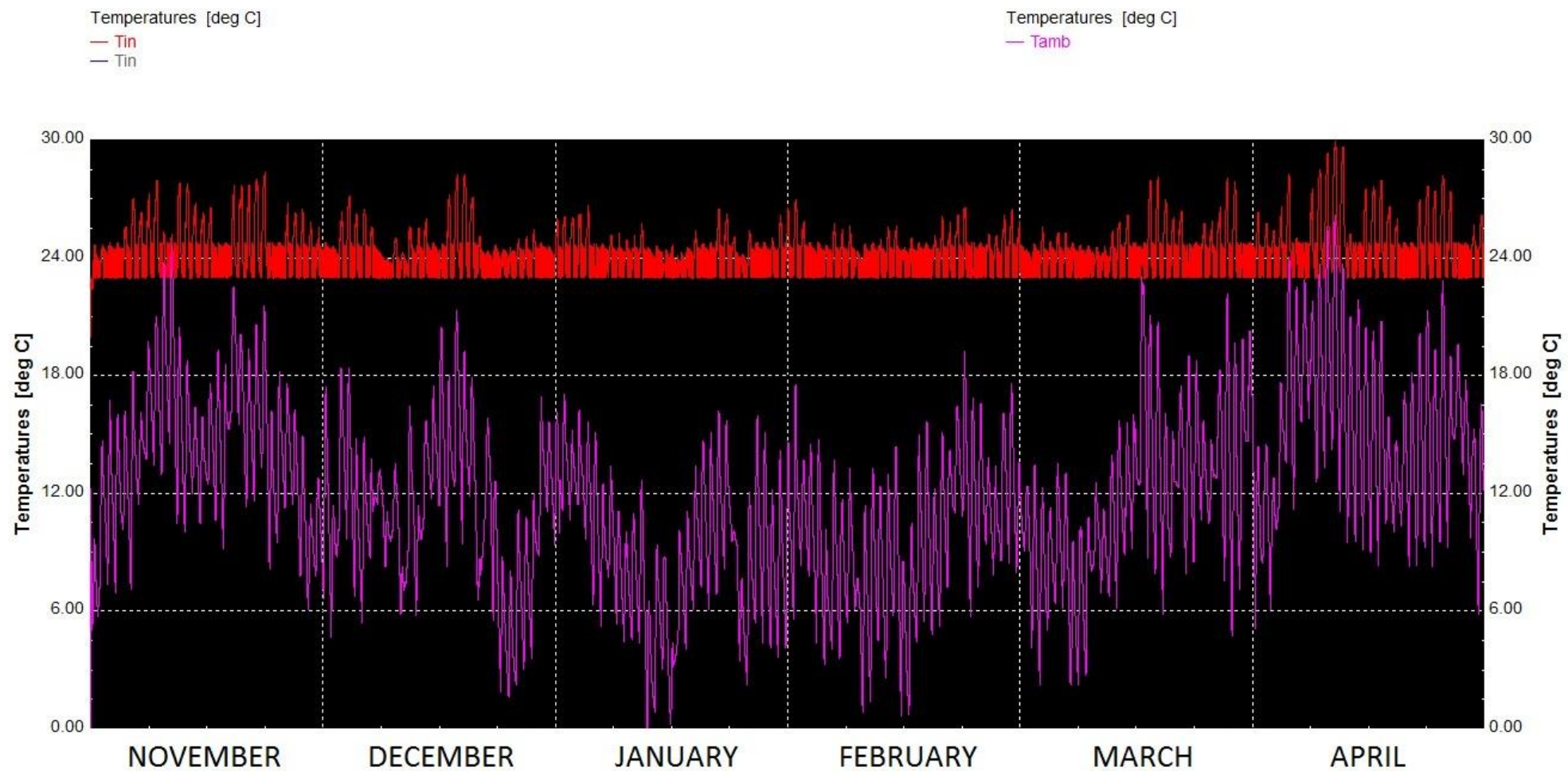
Διάγραμμα 6.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Φεβρουάριο



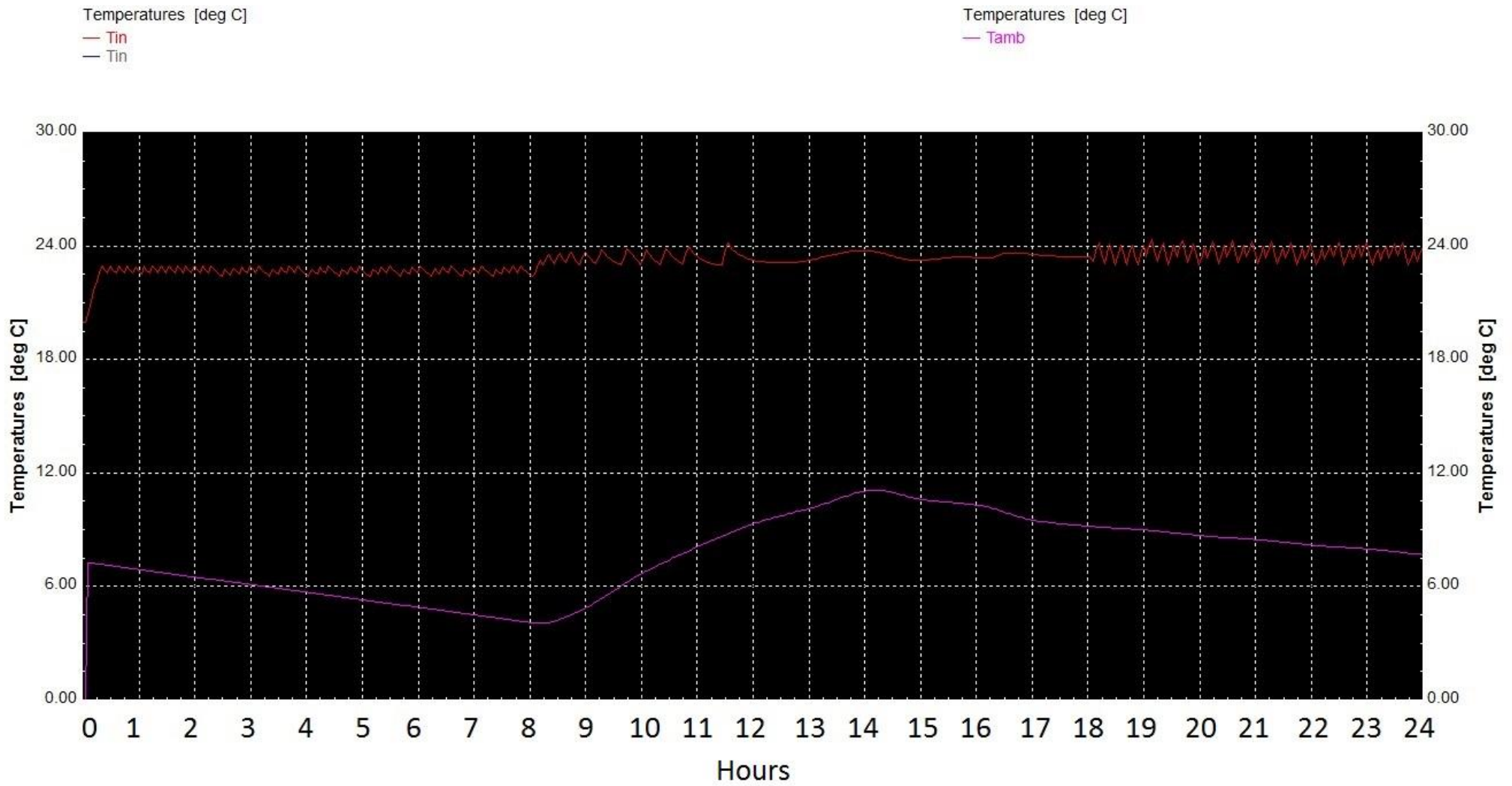
Διάγραμμα 6.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Μάρτιο



Διάγραμμα 6.6: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Απρίλιο



Διάγραμμα 6.7: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

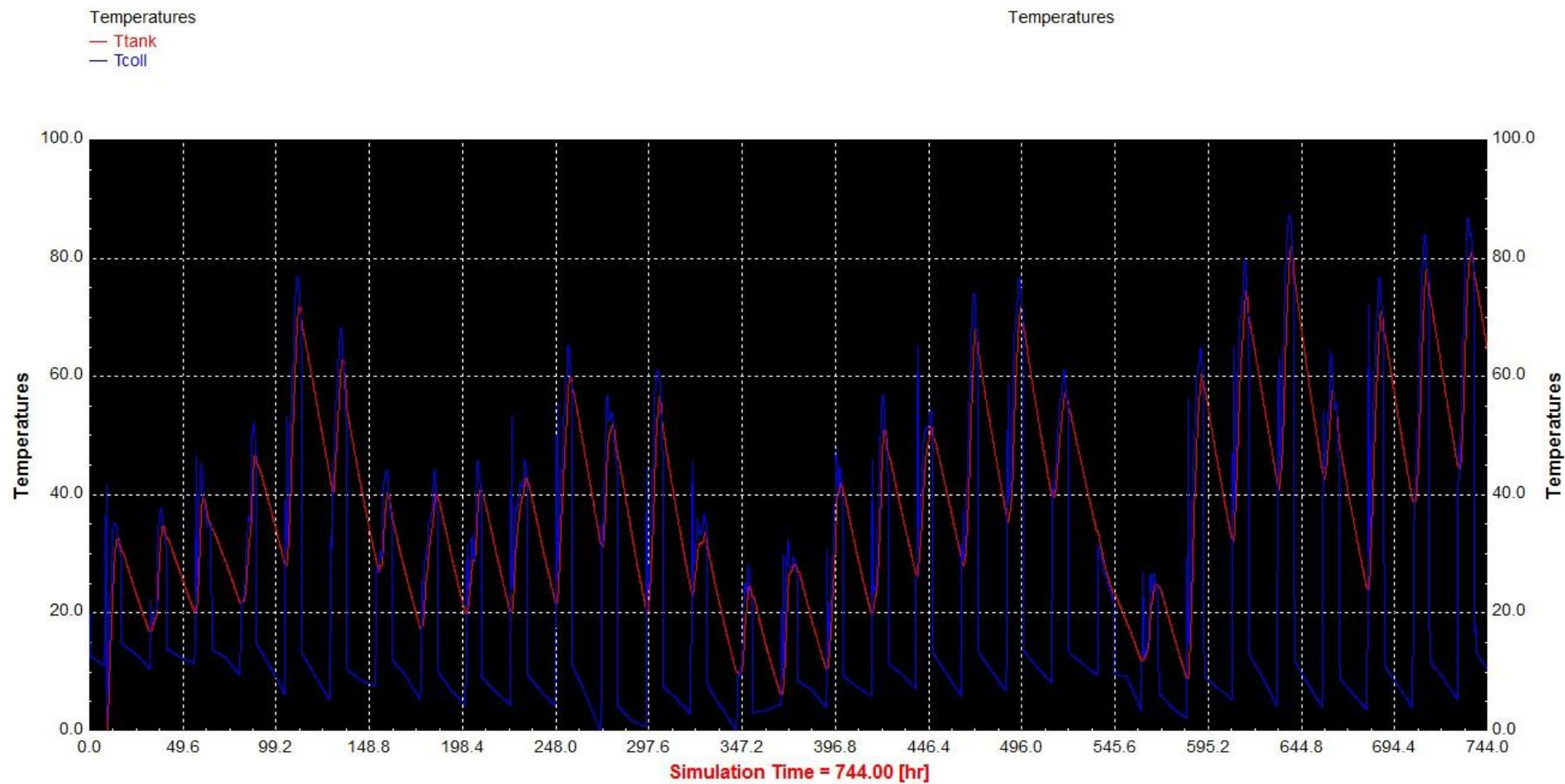


Διάγραμμα 6.8: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τυπικής ημέρας Ιανουαρίου

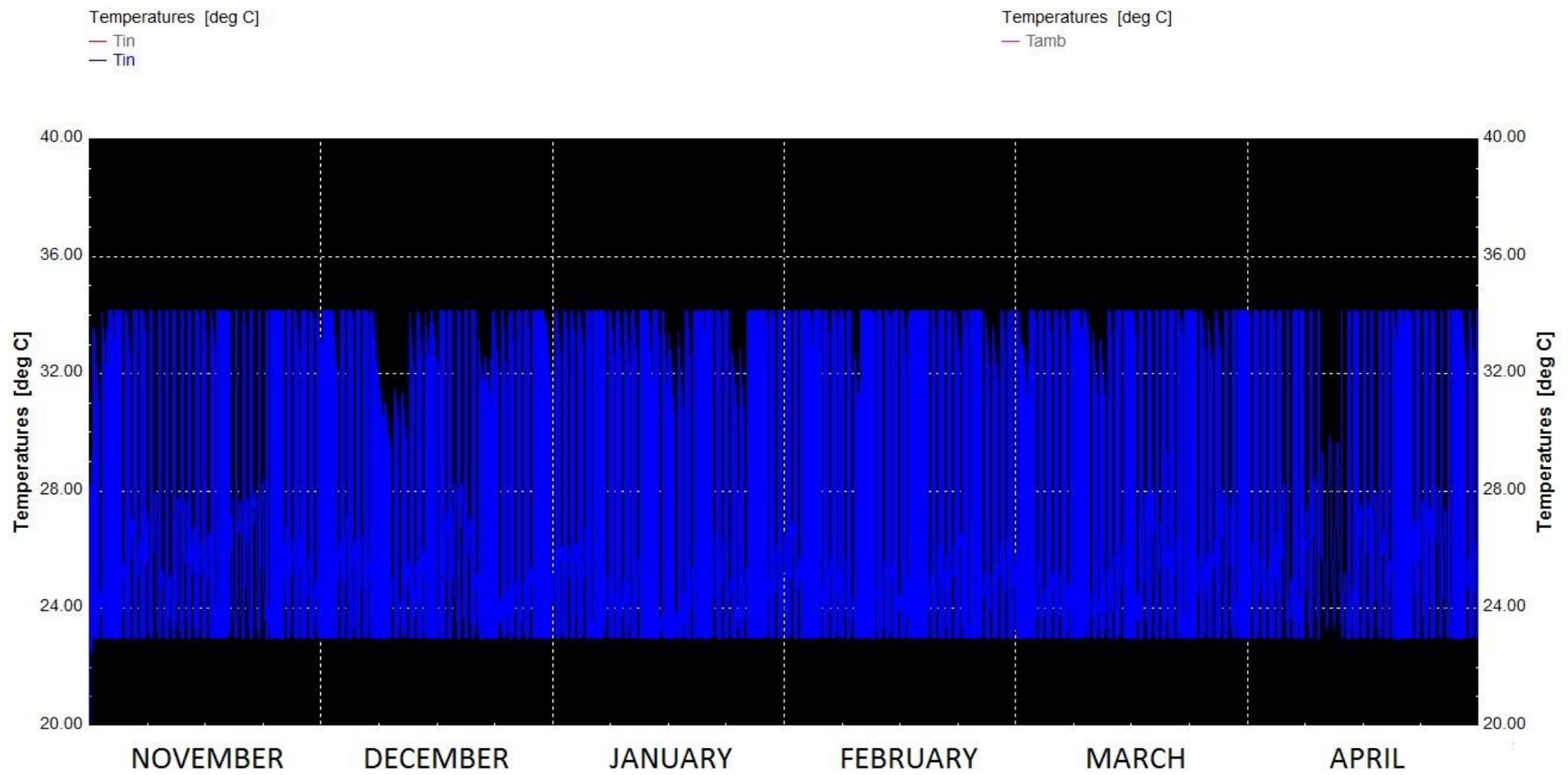
Σύμφωνα με το διάγραμμα 6.7 παρατηρούμε ότι τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος η θερμοκρασία στο κτίριο αυξάνεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει τον Απρίλιο που ουσιαστικά είναι μήνας με μεγαλύτερες εξωτερικές θερμοκρασίες και δεν έχει υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης. Επίσης, παρατηρούμε ότι η ελάχιστη θερμοκρασία στο κτίριο μας είναι 23 °C, εκτός από κάποιες ώρες στην εκκίνηση της προσομοίωσης όπου το σύστημα απορροφά κάποια ενέργεια λόγω αδράνειας και παρατηρείται χαμηλότερη θερμοκρασία.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα με το θερμοκρασιακό προφίλ του νερού των συλλεκτών-δοχείου αδρανείας τον Ιανουάριο που έγινε και η διαστασιολόγηση του συστήματος. Παρατηρείται μία ελάχιστη θερμοκρασία 7°C και μέγιστη 81 °C. Γενικότερα παρατηρείται ότι η θερμοκρασία νερού στο δοχείο αδρανείας (κόκκινη γραμμή) ακολουθεί ικανοποιητικά τη θερμοκρασία νερού των συλλεκτών (μπλε γραμμή), το οποίο επιτυγχάνεται λόγω της βέλτιστης διαστασιολόγησης της εγκατάστασης που έχουμε πραγματοποιήσει.

Τέλος, παρουσιάζεται η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας. Παρατηρείται μία μέγιστη τιμή 34 °C και να υπενθυμίσουμε ότι η μέση τιμή του αέρα θέρμανσης είναι 26 °C τον Ιανουάριο σύμφωνα με το γράφημα 6.3, η οποία είναι ικανοποιητική θερμοκρασία στα πλαίσια της θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 6.9: Θερμοκρασιακό προφίλ νερού δοχείου αδρανείας-συλλεκτών τον Ιανουάριο



Διάγραμμα 6.10: Θερμοκρασιακό προφίλ αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

7 Αριθμητική Προσομοίωση Εγκατάστασης Θέρμανσης Ηλιακών Συλλεκτών με Fan Coil και Ηλεκτρικές Αντιστάσεις στο TRNSYS

7.1 Εισαγωγή

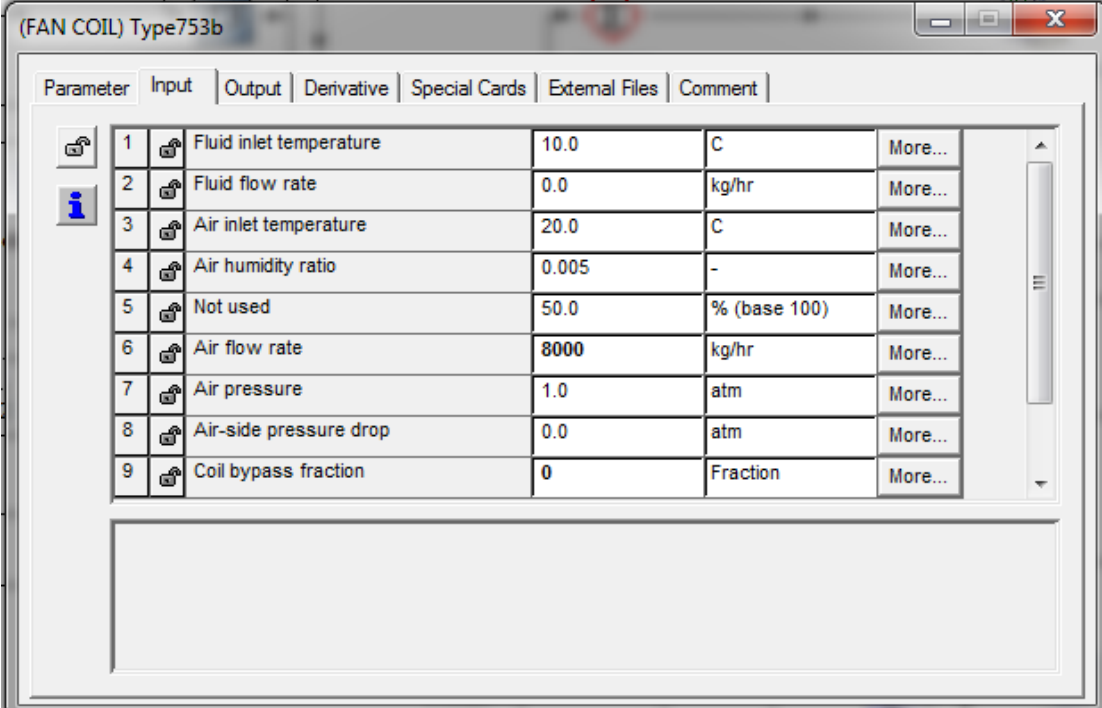
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προσομοίωση μίας εγκατάστασης θέρμανσης όπου έχουμε ηλιακούς συλλέκτες να θερμαίνουν νερό και να το οδηγούν σε ένα δοχείο αδρανείας. Από το δοχείο αδρανείας το νερό οδηγείται σε Fan Coil, εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα δηλαδή, για τη θέρμανση του κτιρίου. Επειδή όμως κάποιες κρύες μέρες του χειμώνα τα ηλιακά δεν επαρκούν για τη θέρμανση του κτιρίου συνδέσαμε και ηλεκτρικές αντιστάσεις ως βοηθητική πηγή θερμότητας, ώστε να εξασφαλίσουμε θερμική άνεση στο κτίριο. Την προσομοίωση αυτή την πραγματοποιήσαμε για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.

7.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio

Το κτίριό μας είναι ίδιων διαστάσεων και έχει τις ίδιες παραμέτρους με το κτίριο που προσομοιώσαμε στο κεφάλαιο 6.

Το πρόγραμμα είναι ίδιο με αυτό στο κεφάλαιο 6 με τη διαφορά ότι έχουμε αφαιρέσει την αντλία θερμότητας, type 505a, και στη θέση της έχουμε βάλει Fan Coil, type 753b, καθώς επίσης έχουμε προσθέσει και τη βοηθητική πηγή θερμότητας, type 6, που ουσιαστικά πρόκειται για ηλεκτρική αντίσταση. Τέλος, στη συγκεκριμένη προσομοίωση έχουμε θεωρήσει ότι το δοχείο αδρανείας βρίσκεται στην οροφή του κτιρίου και επομένως έρχεται σε άμεση επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τροποποιήσεις που έγιναν σε σχέση με το πρόγραμμα του κεφαλαίου 6.

Αρχικά, παρουσιάζουμε τις παραμέτρους του Fan Coil και της ηλεκτρικής αντίστασης:



The screenshot shows a software window titled "(FAN COIL) Type753b". It contains a table with the following data:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Fluid inlet temperature	10.0	C	More...		
2	Fluid flow rate	0.0	kg/hr	More...		
3	Air inlet temperature	20.0	C	More...		
4	Air humidity ratio	0.005	-	More...		
5	Not used	50.0	% (base 100)	More...		
6	Air flow rate	8000	kg/hr	More...		
7	Air pressure	1.0	atm	More...		
8	Air-side pressure drop	0.0	atm	More...		
9	Coil bypass fraction	0	Fraction	More...		

Επιλέξαμε μία παροχή αέρα του Fan Coil **8000 kg/h** σύμφωνα με τις διαστάσεις του κτιρίου μας.

(FAN COIL) TYPE6

Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External Files | Comment

1	Maximum heating rate	4	kW	More...
2	Specific heat of fluid	4.19	kJ/kg.K	More...
3	Overall loss coefficient for heater during operation	0.0	kJ/hr.K	More...
4	Efficiency of auxiliary heater	1.0	-	More...



(FAN COIL) TYPE6

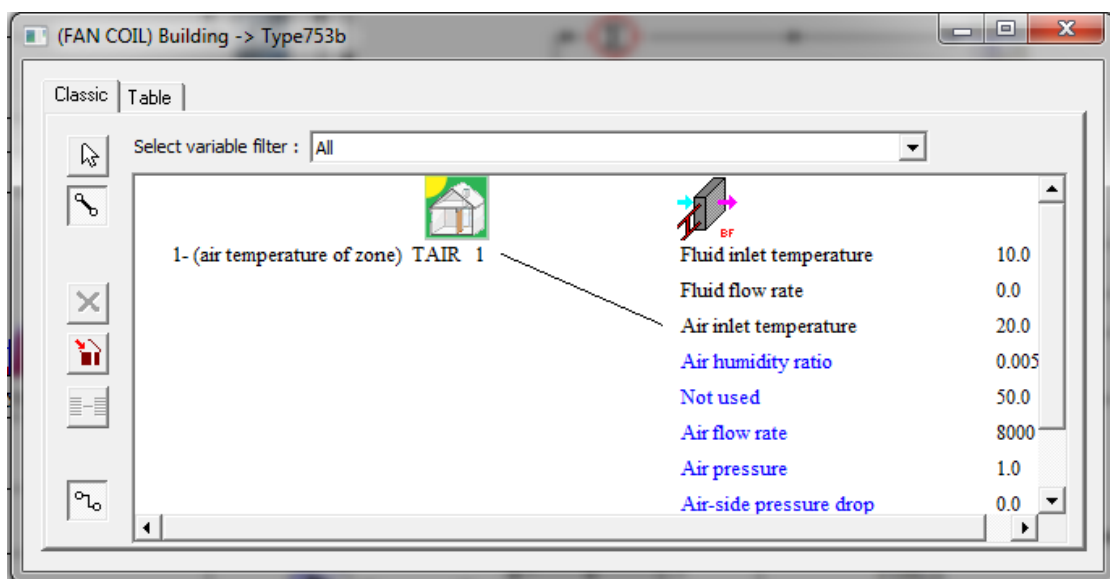
Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External Files | Comment

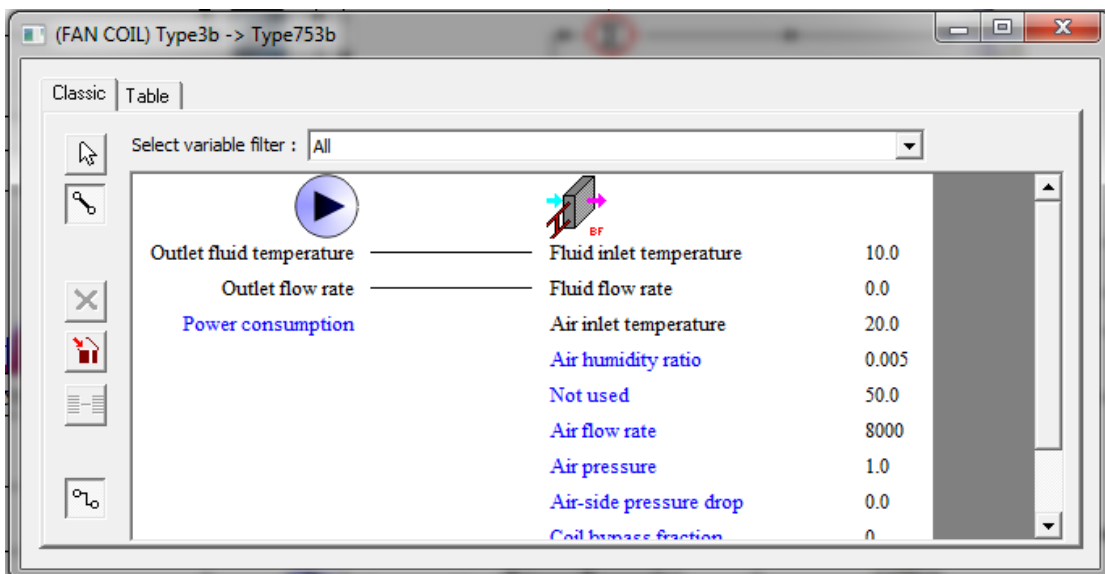
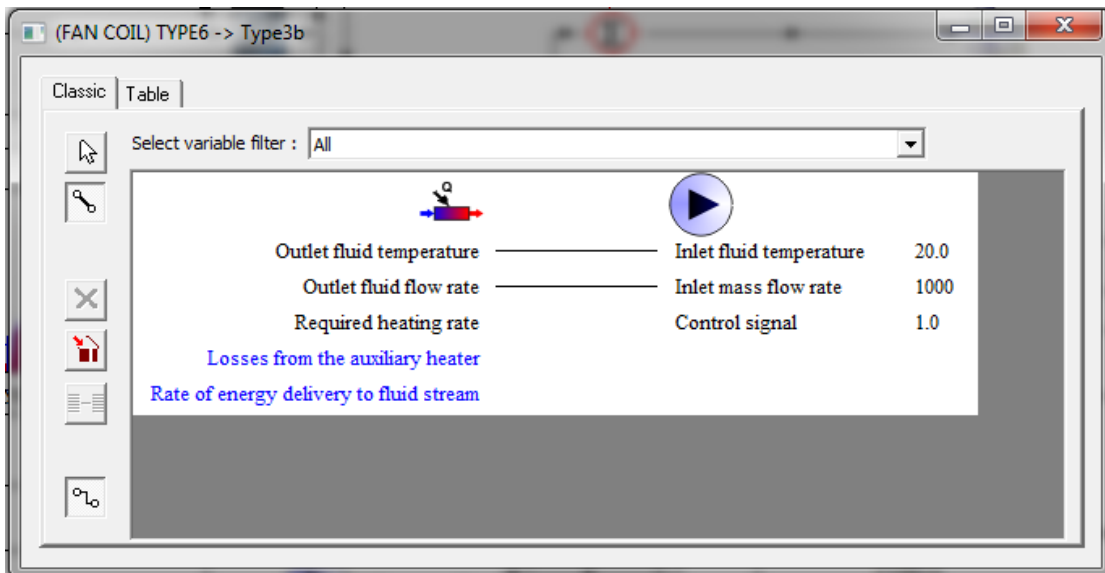
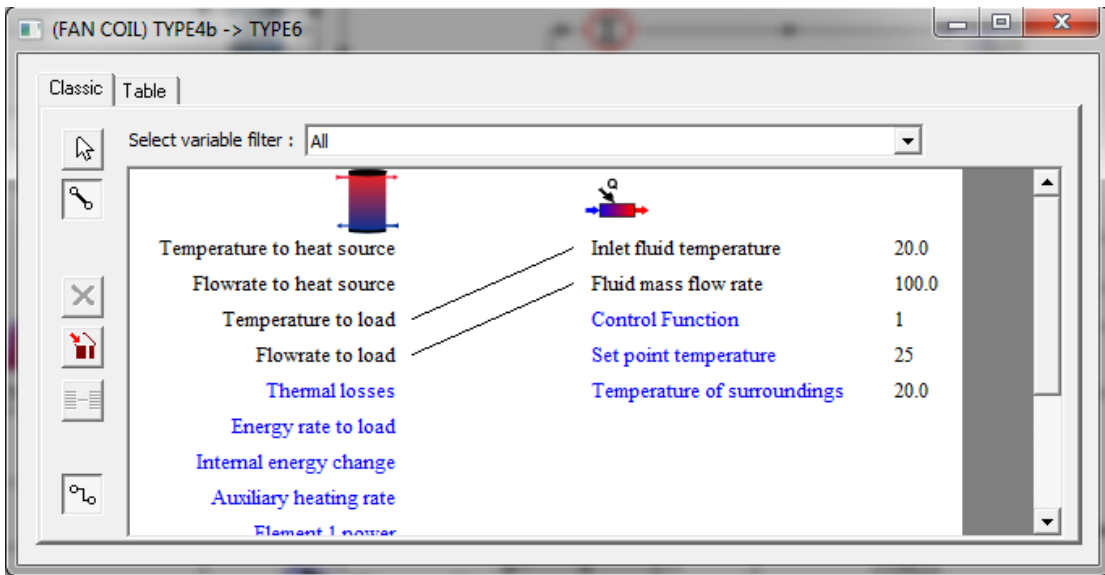
1	Inlet fluid temperature	20.0	C	More...
2	Fluid mass flow rate	100.0	kg/hr	More...
3	Control Function	1	-	More...
4	Set point temperature	25	C	More...
5	Temperature of surroundings	20.0	C	More...

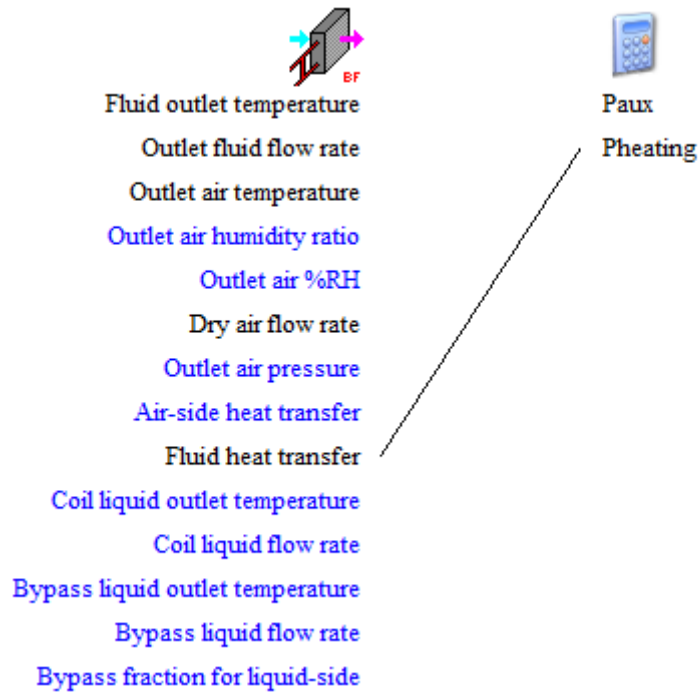
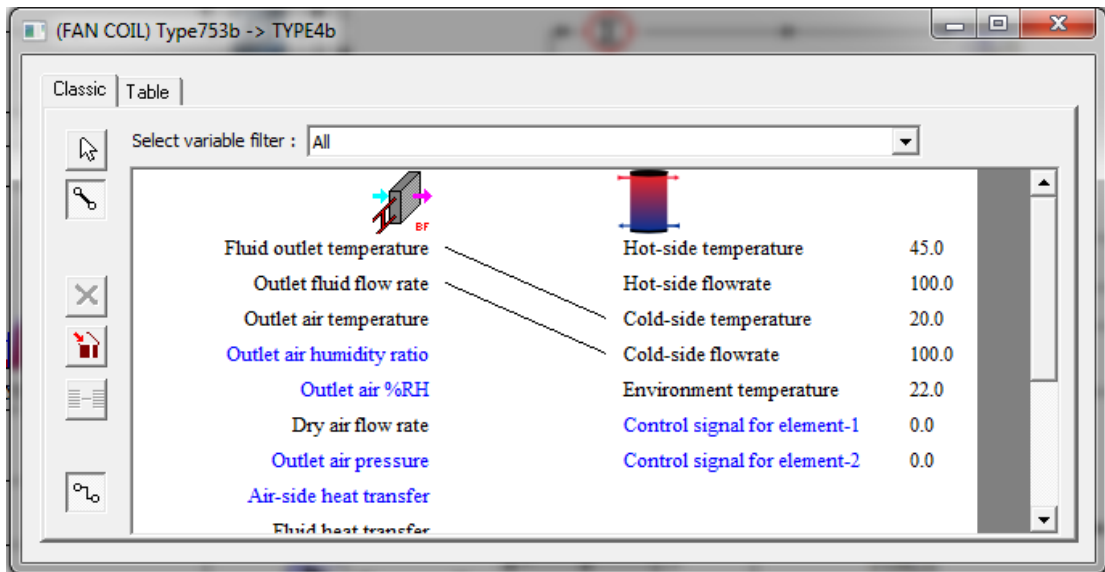
Επίσης, επιλέξαμε η ηλεκτρική αντίσταση να λειτουργεί όταν η θερμοκρασία του νερού πέσει κάτω από τους 25 °C και παρατηρήσαμε ότι για να αποφευχθούν θερμοκρασίες αέρα του κτιρίου μικρότερες των 23 °C θα πρέπει η ηλεκτρική αντίσταση να είναι τουλάχιστον **4 kW**.

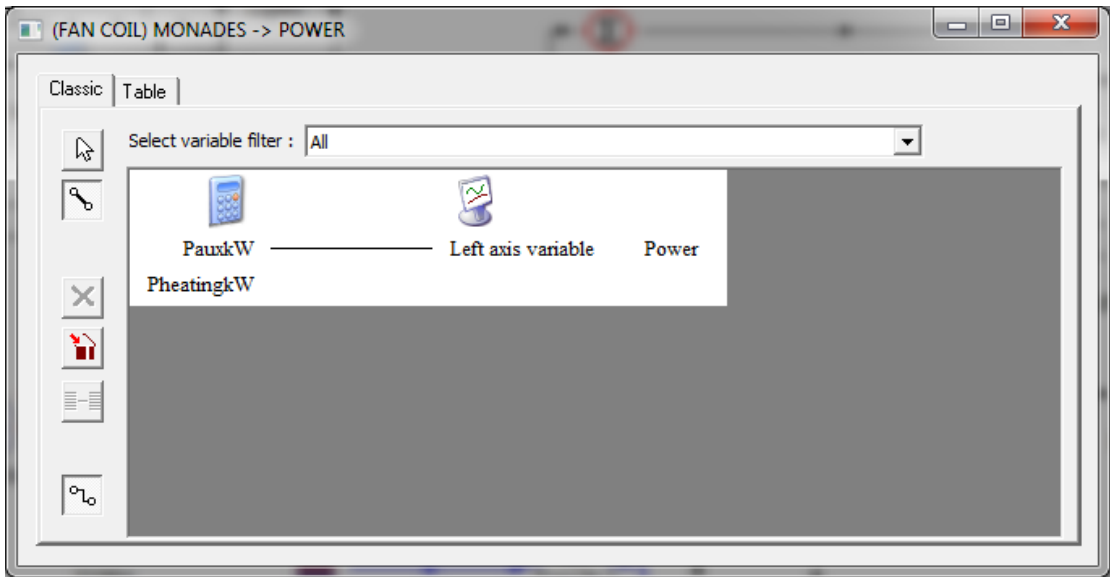
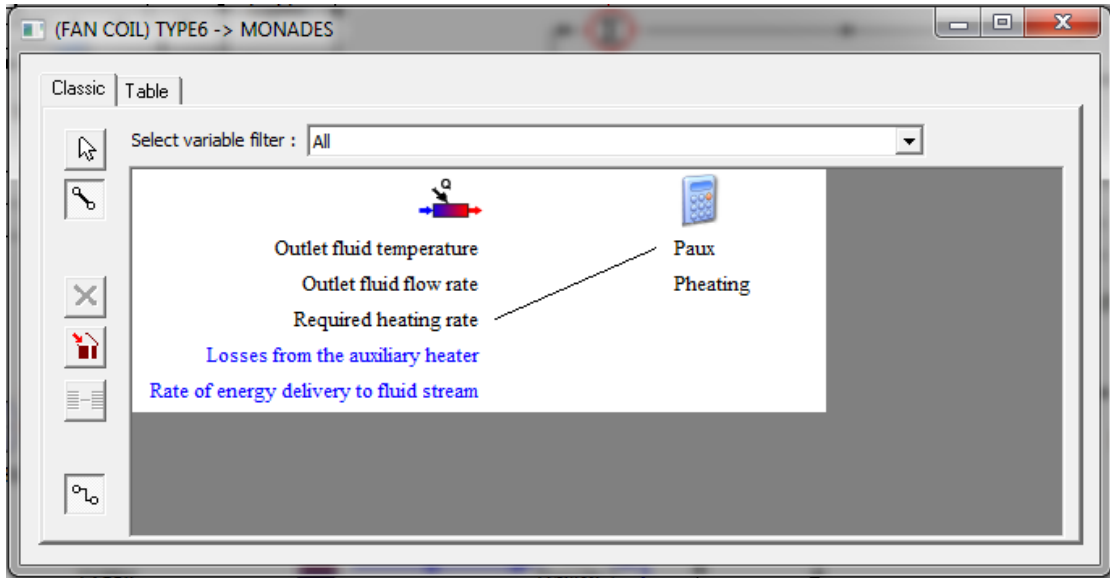
Ακολουθεί η συνδεσμολογία των στοιχείων που έχουν τροποποιηθεί:

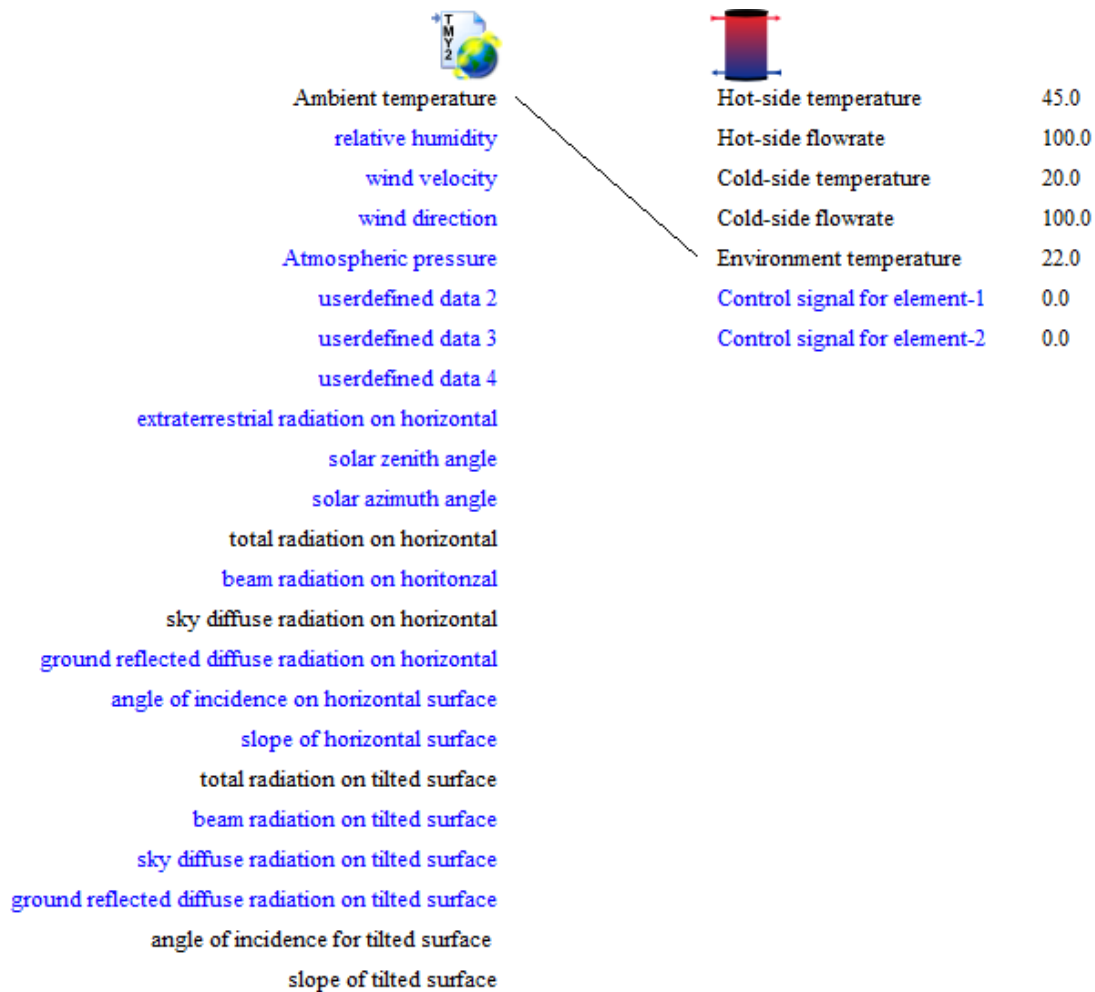
		
Fluid outlet temperature	1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE)	0
Outlet fluid flow rate	2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY)	0
Outlet air temperature	3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE)	0
Outlet air humidity ratio	4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)	0
Outlet air %RH	5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)	0
Dry air flow rate	6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST)	0
Outlet air pressure	7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST)	0
Air-side heat transfer	8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
Fluid heat transfer	9- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH)	0
Coil liquid outlet temperature	10- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH)	0
Coil liquid flow rate	11- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST)	0
Bypass liquid outlet temperature	12- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST)	0
Bypass liquid flow rate	13- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
Bypass fraction for liquid-side	14- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH)	0
	15- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH)	0
	16- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST)	0
	17- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST)	0
	18- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT)	0
	19- CONT_NAT_1 (INPUT)	0
	20- T_COOL_ON (INPUT)	0
	21- S_NORTH (INPUT)	0
	22- S_SOUTH (INPUT)	0
	23- S_EAST (INPUT)	0
	24- S_WEST (INPUT)	0
	25- BRIGHT (INPUT)	0
	26- FLOW (INPUT)	0
	27- TEMP (INPUT)	0









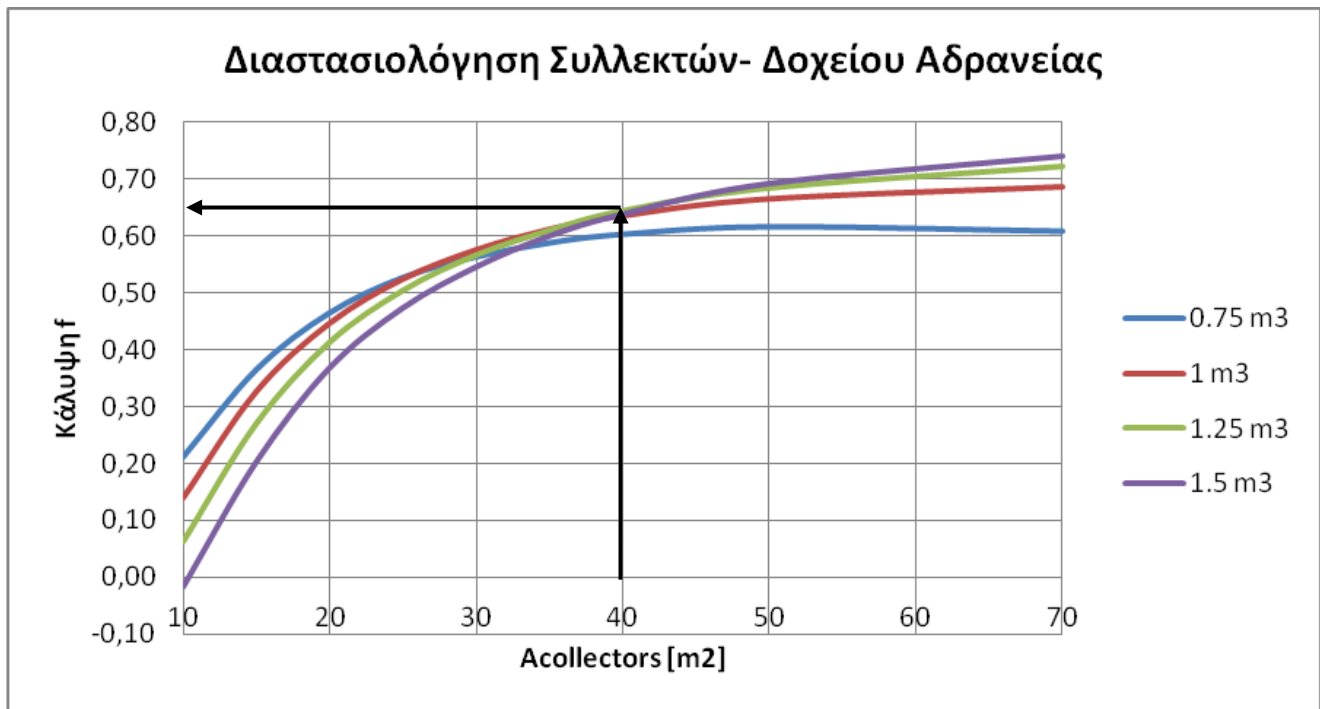


7.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης

Αφού δημιουργήσαμε την εγκατάσταση με τους ηλιακούς συλλέκτες και τα Fan Coil έπρεπε να βρούμε ποιες είναι οι βέλτιστες παράμετροι και διαστάσεις για την εγκατάσταση. Τα κριτήριά μας ήταν:

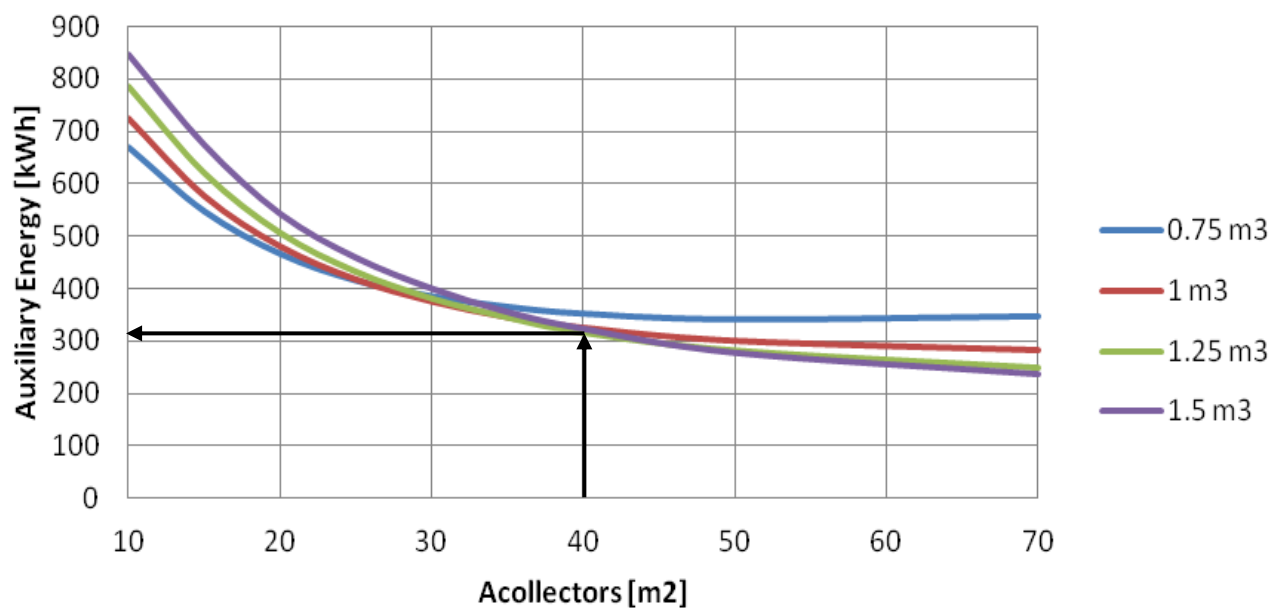
1. Σύγκλιση του θεωρητικού θερμικού φορτίου με του πραγματικού που προσφέρει η αντλία θερμότητας.
2. Η εγκατάσταση εκείνη που λειτουργεί με το καλύτερο ποσοστό κάλυψης, έχοντας όμως ως προτεραιότητα και μία ρεαλιστική προσέγγιση από άποψη κόστους-αποδοτικότητας.
3. Αποφυγή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών στο δοχείο αδρανείας.
4. Το προφίλ θερμοκρασιών στο κτίριο να ικανοποιεί τα κριτήρια της θερμικής άνεσης.

Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης έγινε για τον Ιανουάριο που είναι όπως προαναφέραμε και ο πιο απαιτητικός μήνας από άποψη θερμικού φορτίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω 4 κριτήρια έχουμε τα εξής γραφήματα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης:



Γράφημα 7.1: Διαστασιολόγηση Συλλεκτών και Δοχείου Αδρανείας τον Ιανουάριο σύμφωνα με το ποσοστό κάλυψης f

Διαστασιολόγηση Συλλεκτών- Δοχείου Αδρανείας



Γράφημα 7.2: Διαστασιολόγηση Συλλεκτών και Δοχείου Αδρανείας τον Ιανουάριο σύμφωνα με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της ηλεκτρικής αντίστασης

Επιλέγουμε την εγκατάσταση με **40 m² επιφάνεια συλλεκτών, 1.25 m³ όγκο δοχείου αδρανείας, ποσοστό κάλυψης f =64%** και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας **317 kWh**.

Να πούμε σε αυτό το σημείο ότι το ποσοστό κάλυψης f υπολογίζεται από τη σχέση:

$$f = 1 - \frac{Q_{aux}}{Q_{heating}} \quad (7.1)$$

όπου,

Q_{aux} [kWh,e] = το ποσό ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται από την ηλεκτρική αντίσταση

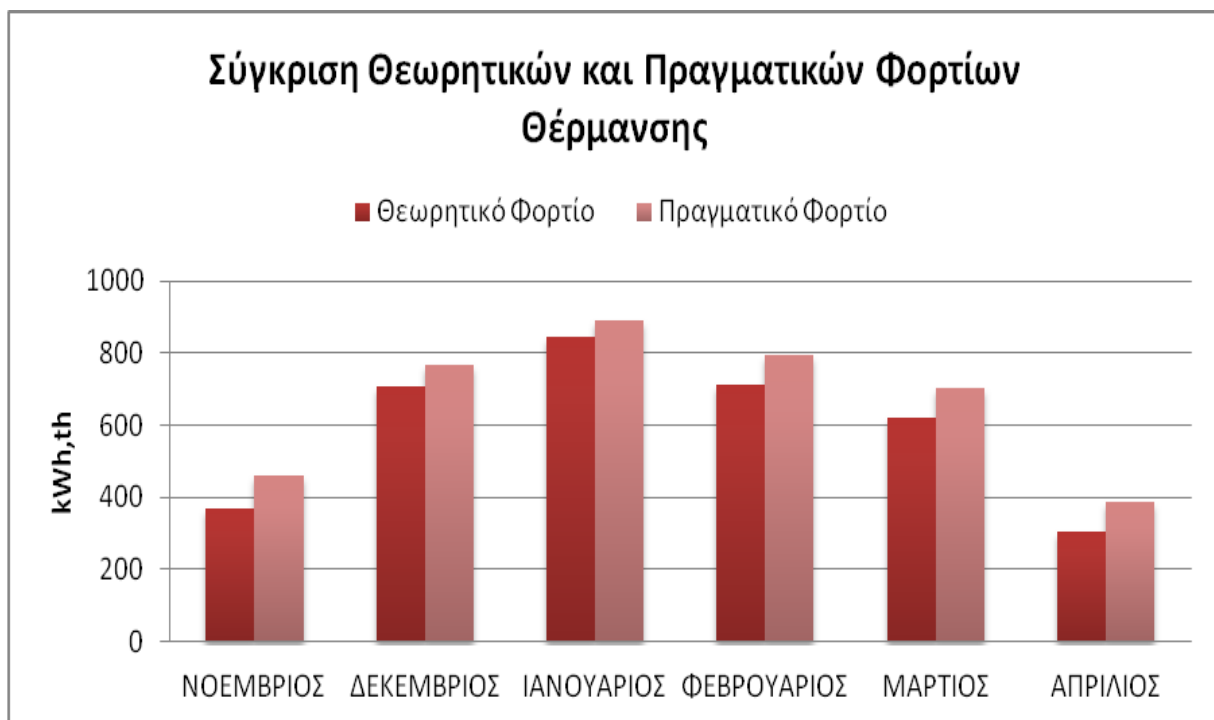
$Q_{heating}$ [kWh,th] = το ποσό θερμότητας που προσφέρει το Fan Coil στο κτίριο

Το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης f που παρατηρήθηκε είναι 74 % για επιφάνεια συλλεκτών 70 m² και δοχείο αδρανείας 2 m³.

Έχοντας διαστασιολογήσει την εγκατάστασή μας, προσομοιώσαμε το σύστημα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο προκειμένου να συγκρίνουμε τα θεωρητικά με τα πραγματικά θερμικά φορτία, ώστε να επιβεβαιώσουμε ότι το πρόγραμμα προσφέρει μία ρεαλιστική προσέγγιση στη θέρμανση του κτιρίου με την προαναφερθείσα εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι:

ΜΗΝΑΣ	Qθέρμανσης, θεωρ. [kWh,th]	Qθέρμανσης,πραγμ. [kWh,th]	Κατανάλωση	Τμέση,κτιρίου [C]	Ώρες Λειτουργίας
			Ηλ.Ενέργειας [kWh,el]		
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	370	459	97	23,6	80
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	708	766	387	23,3	188
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	846	892	317	23,5	186
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	713	796	211	23,5	141
ΜΑΡΤΙΟΣ	622	704	206	23,6	136
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	304	389	62	23,7	57
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	3563	4006	1280	23,5	788

Πίνακας 7.1: Φορτία Θέρμανσης, Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια, Μέση Θερμοκρασία Κτιρίου και Ώρες Λειτουργίας της εγκατάστασης τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

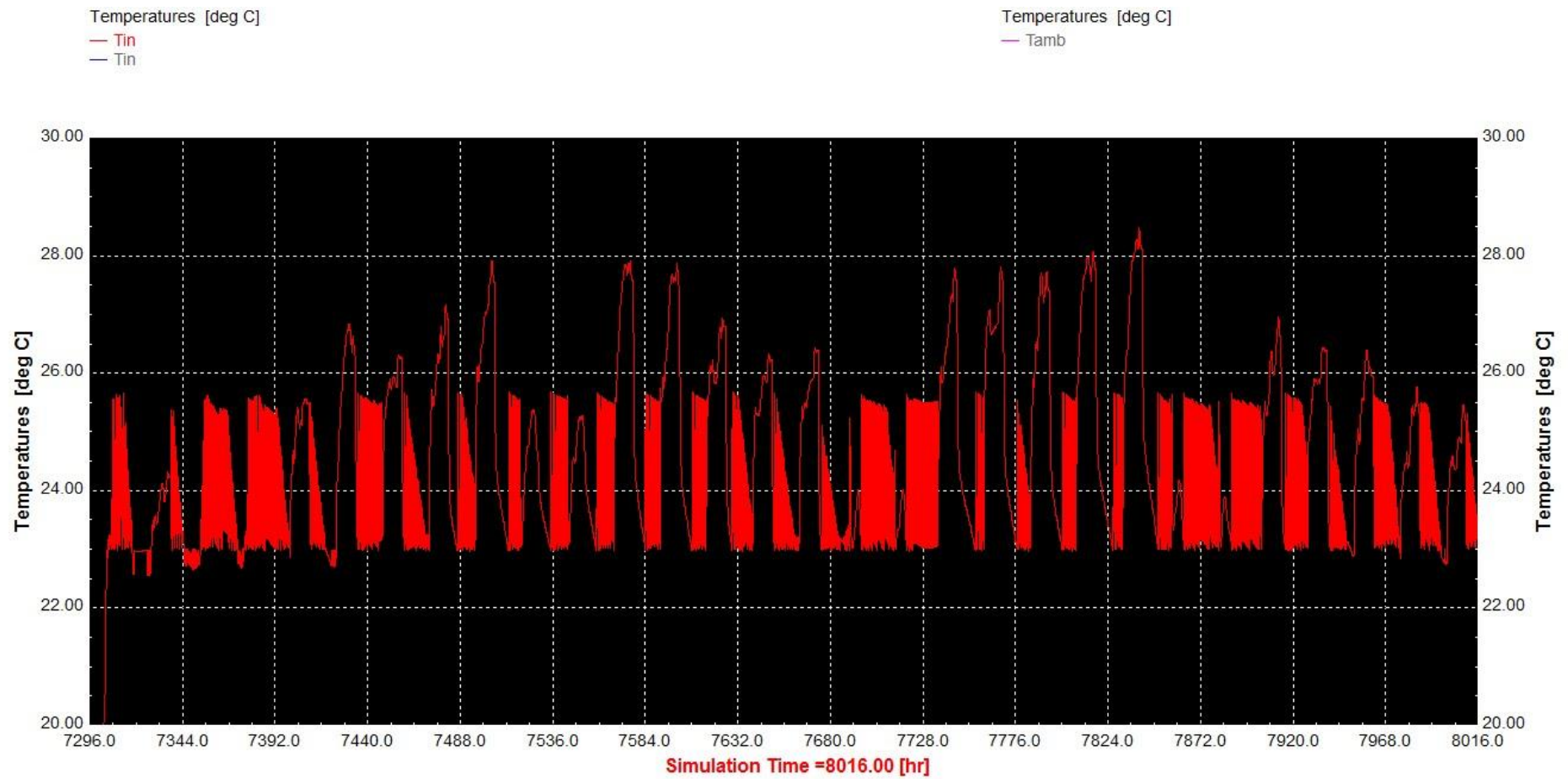


Γράφημα 7.3: Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών φορτίων θέρμανσης τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

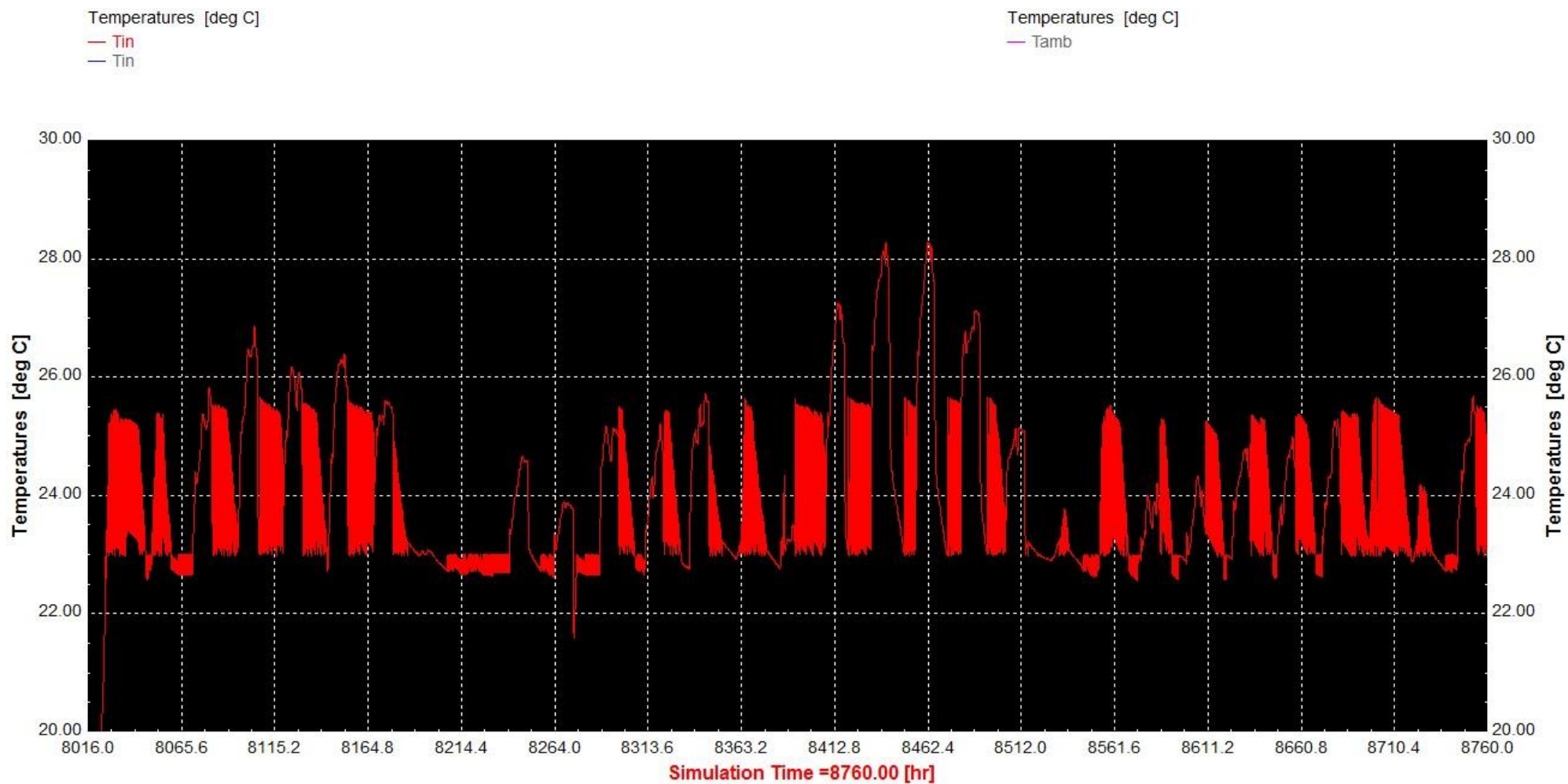
Παρατηρείται μία ικανοποιητική σύγκλιση θεωρητικού και θερμικού φορτίου ιδιαίτερα τον Ιανουάριο, τον μήνα για τον οποίο έχει γίνει η διαστασιολόγηση. Η απόκλισή τους είναι της τάξης του 5 %, το οποίο σημαίνει ρεαλιστική και άκρως ικανοποιητική προσομοίωση του συστήματος.

7.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

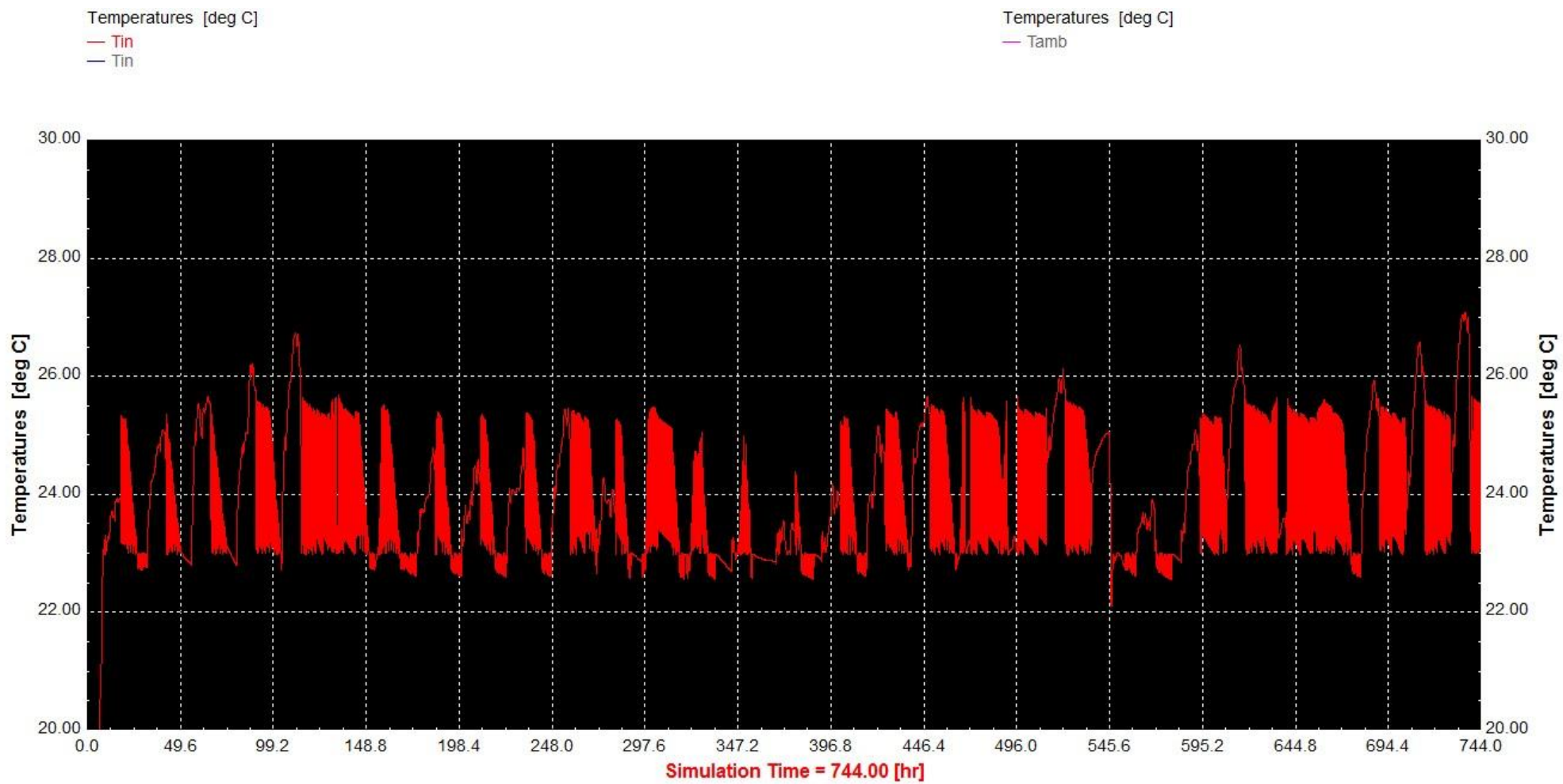
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Προσομοίωσης. Αρχικά παρατίθενται τα θερμοκρασιακά προφίλ ανά μήνα στο κτίριο. Στη συνέχεια, το θερμοκρασιακό προφίλ για όλους τους μήνες. Στη συνέχεια, το θερμοκρασιακό προφίλ για όλους τους μήνες αλλά και για τη μέση ημέρα του Ιανουαρίου. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι ώρες που αντιστοιχούν στον κάθε μήνα, καθώς δεν δίνεται η δυνατότητα στο TRNSYS να έχεις μέρες στον οριζόντιο άξονα.



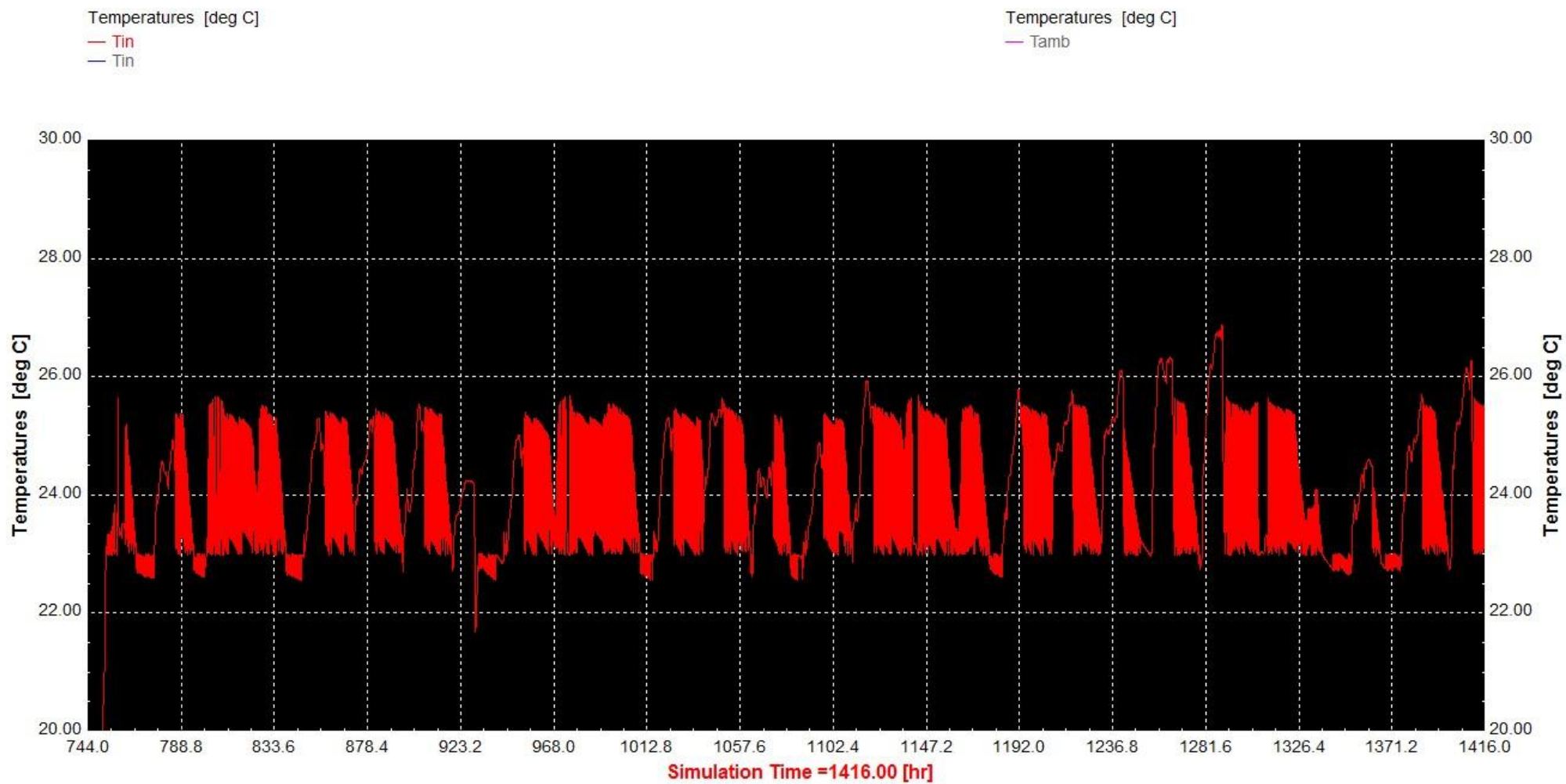
Διάγραμμα 7.1: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Νοέμβριο



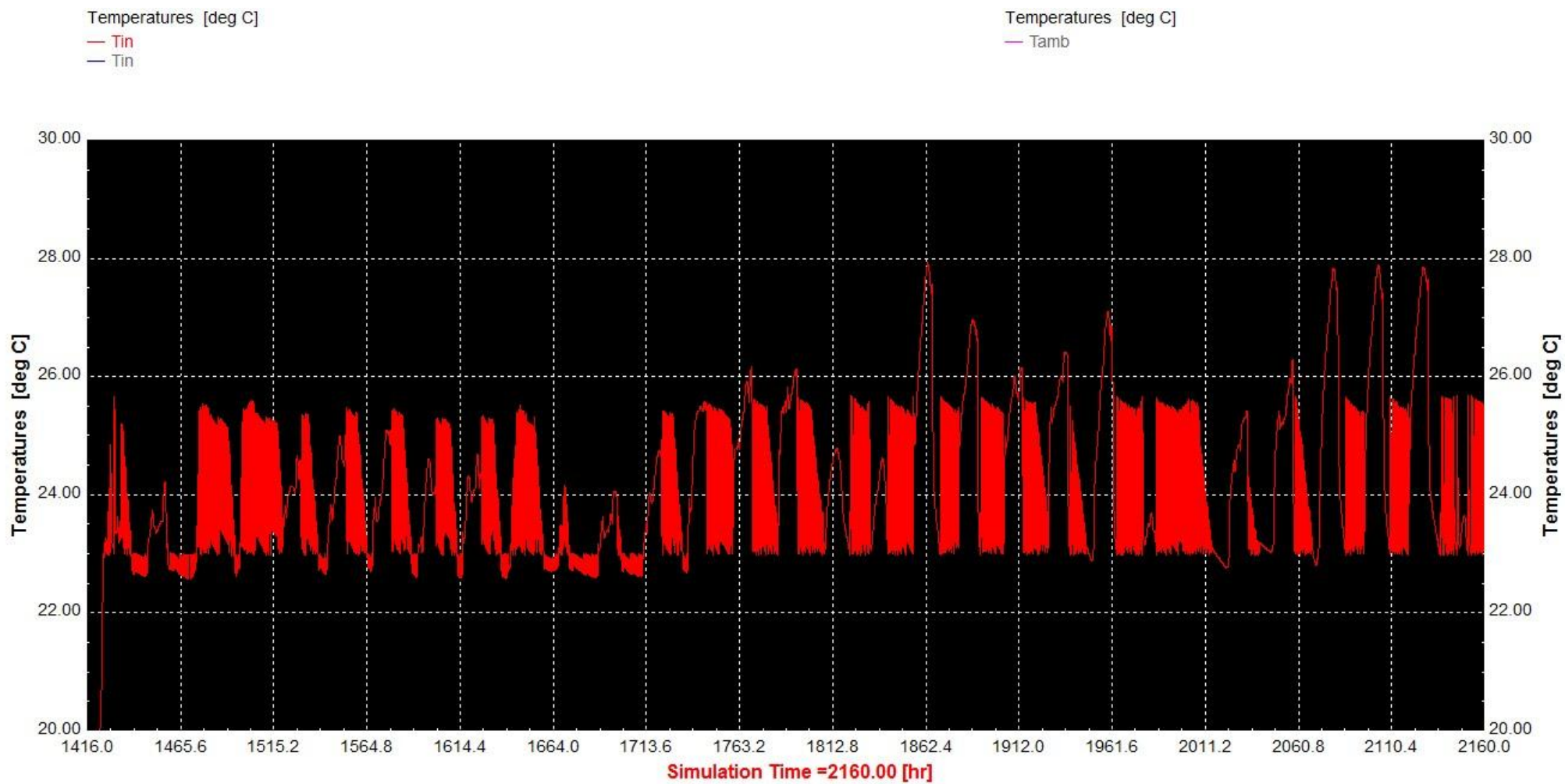
Διάγραμμα 7.2: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Δεκέμβριο



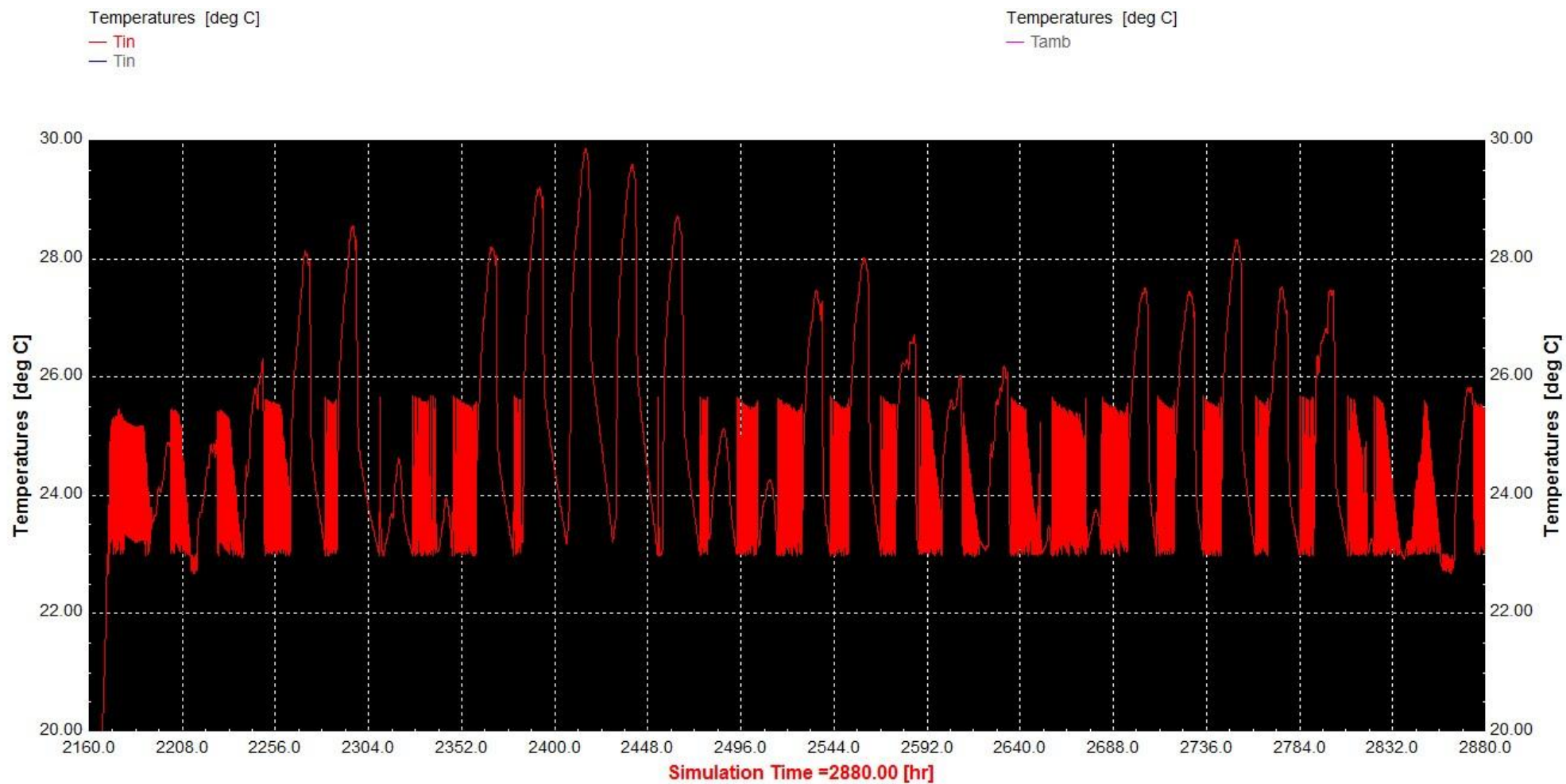
Διάγραμμα 7.3: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Ιανουάριο



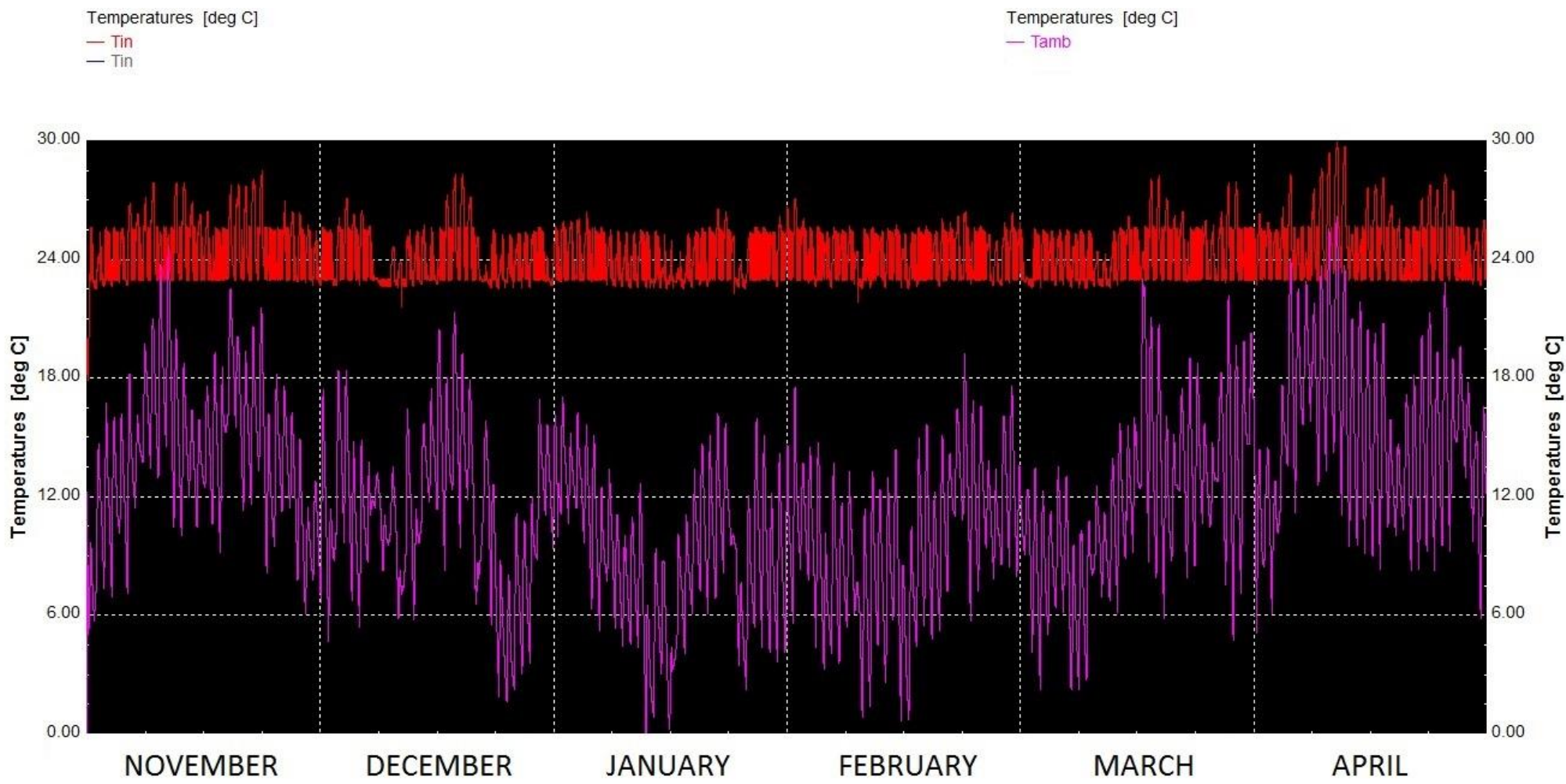
Διάγραμμα 7.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Φεβρουάριο



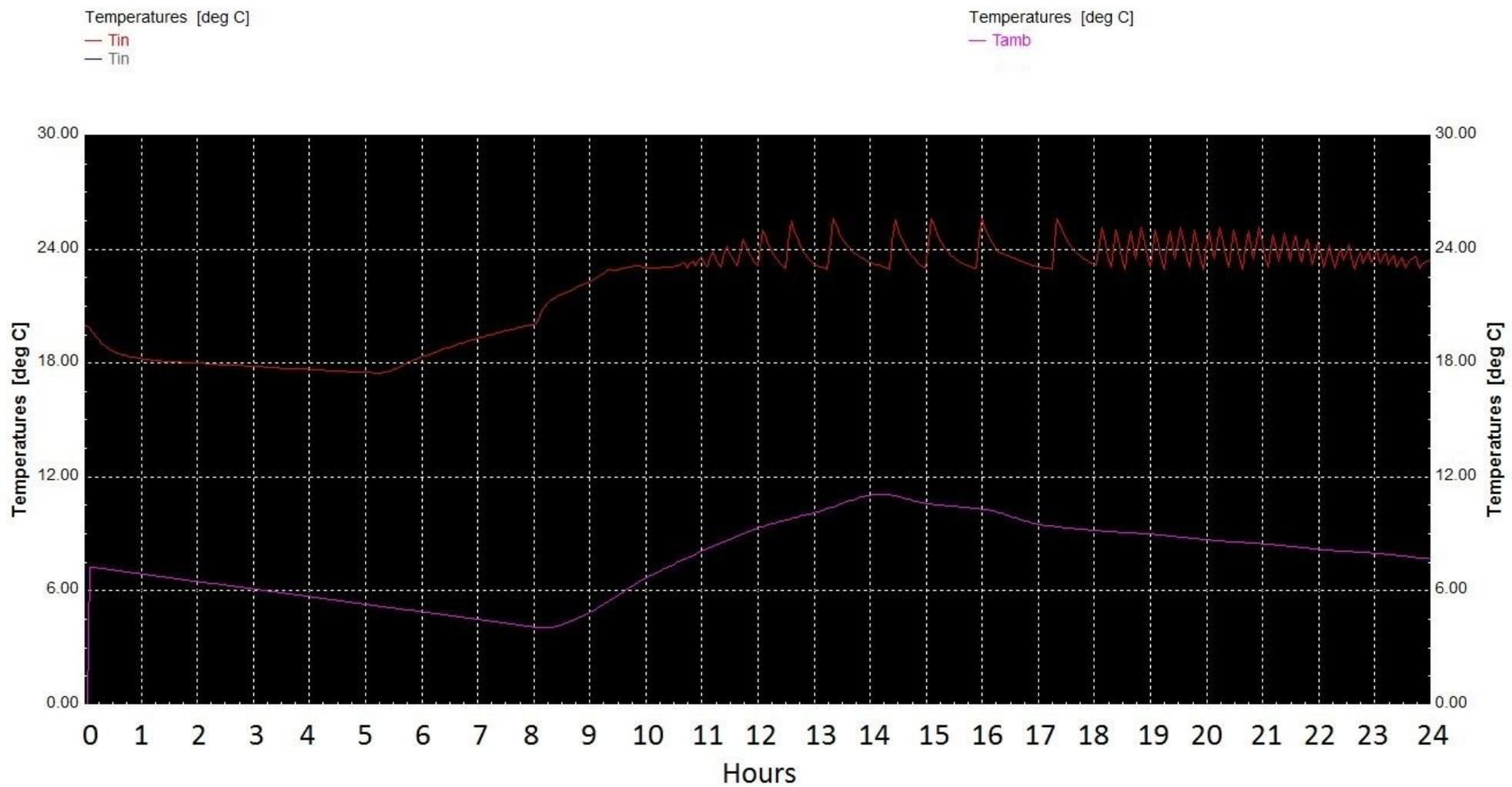
Διάγραμμα 7.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Μάρτιο



Διάγραμμα 7.6: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Απρίλιο



Διάγραμμα 7.7: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο



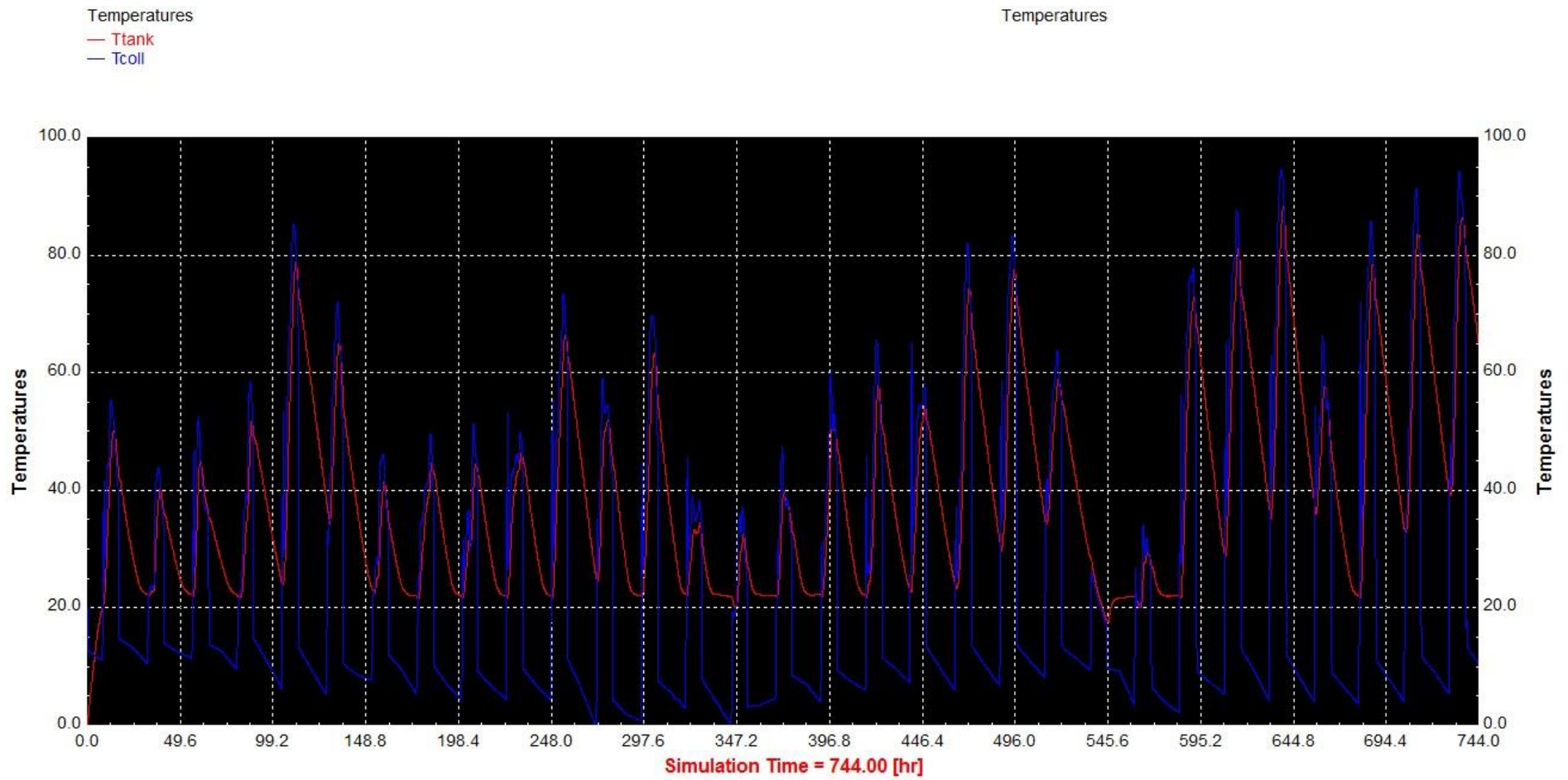
Διάγραμμα 7.8: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τυπικής ημέρας Ιανουαρίου

Σύμφωνα με το διάγραμμα 7.7 παρατηρούμε και σε αυτή την εγκατάσταση ότι τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος η θερμοκρασία στο κτίριο αυξάνεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει τον Απρίλιο που ουσιαστικά είναι μήνας με μεγαλύτερες εξωτερικές θερμοκρασίες και δεν έχει υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης. Επίσης, παρατηρούμε ότι η ελάχιστη θερμοκρασία στο κτίριο μας είναι 22,5 °C, εκτός από κάποιες ώρες στην εκκίνηση της προσομοίωσης όπου το σύστημα απορροφά κάποια ενέργεια λόγω αδράνειας και παρατηρείται χαμηλότερη θερμοκρασία .

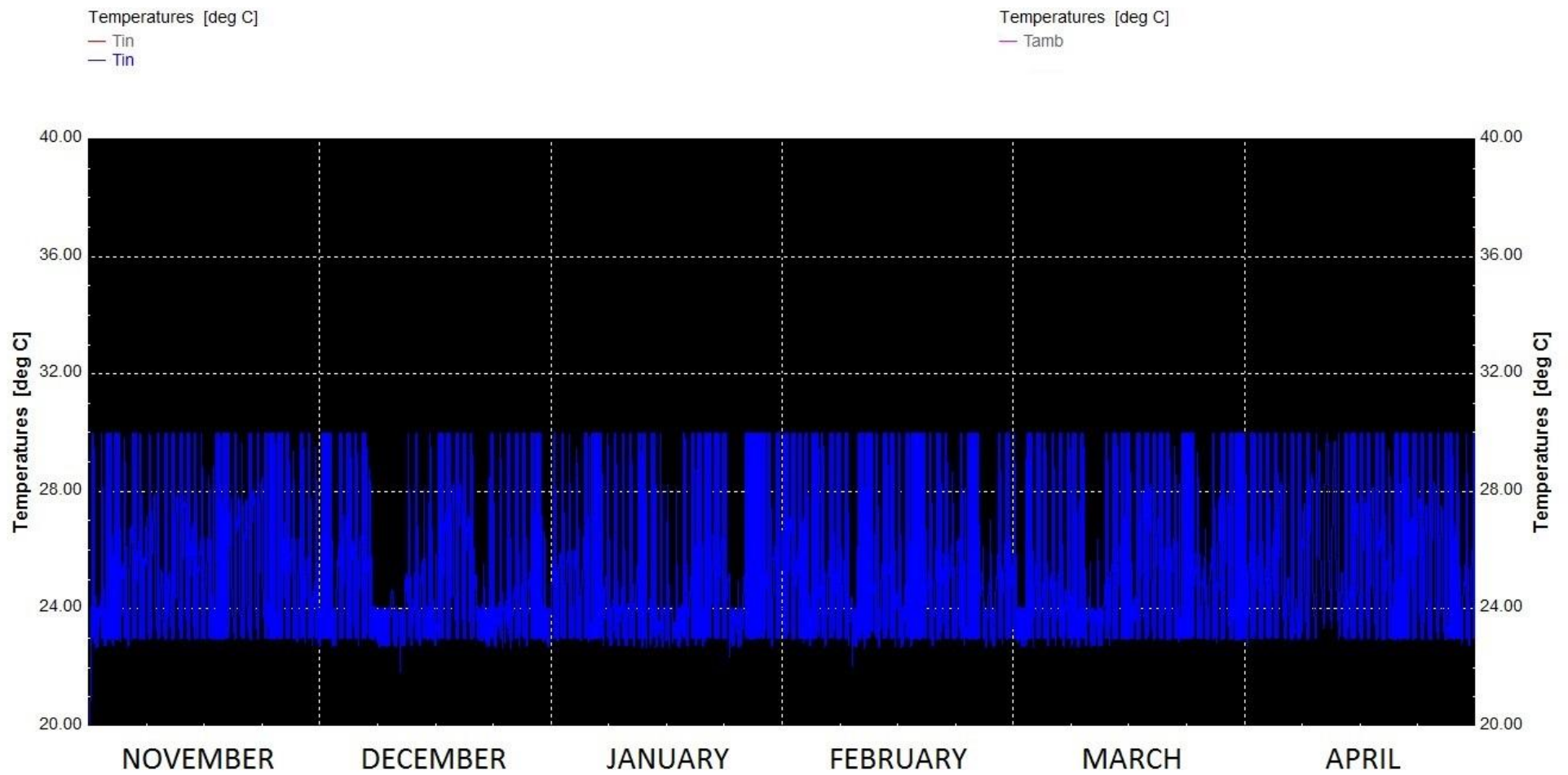
Στο διάγραμμα 7.8 η αρχική χαμηλή θερμοκρασία των 18 °C αντιπροσωπεύει την αρχική αδράνεια του συστήματος μέχρι να φτάσει στην θερμοκρασία που έχουμε ορίσει στο κτίριο. Στην πράξη αυτή θα παρατηρηθεί τον Νοέμβριο που θα ξεκινήσουμε την λειτουργία της εγκατάστασης.

Στη συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα με το θερμοκρασιακό προφίλ του νερού των συλλεκτών-δοχείου αδρανείας τον Ιανουάριο που έγινε και η διαστασιολόγηση του συστήματος. Παρατηρείται μία ελάχιστη θερμοκρασία 18°C και μέγιστη 90 °C. Γενικότερα παρατηρείται υψηλότερη μέση θερμοκρασία του νερού σε σχέση με την εγκατάσταση του κεφαλαίου 6. Αυτό είναι λογικό γιατί εδώ έχουμε 40 m² επιφάνεια συλλεκτών ενώ προηγουμένως είχαμε 30 m² και επομένως το νερό απορροφά περισσότερη ηλιακή ενέργεια.

Τέλος, παρουσιάζεται η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του Fan Coil. Παρατηρείται μία μέγιστη τιμή 30 °C και η μέση τιμή του αέρα θέρμανσης είναι 24,3 °C τον Ιανουάριο σύμφωνα με την προσομοίωση, η οποία είναι ικανοποιητική θερμοκρασία στα πλαίσια της θερμικής άνεσης:



Διάγραμμα 7.9: Θερμοκρασιακό προφίλ νερού δοχείου αδρανείας-συλλεκτών τον Ιανουάριο



Διάγραμμα 7.10: Θερμοκρασιακό προφίλ αέρα στην έξοδο του Fan Coil τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

8 Αριθμητική Προσομοίωση Εγκατάστασης Θέρμανσης με Αντλία Θερμότητας Αέρα-Αέρα στο TRNSYS

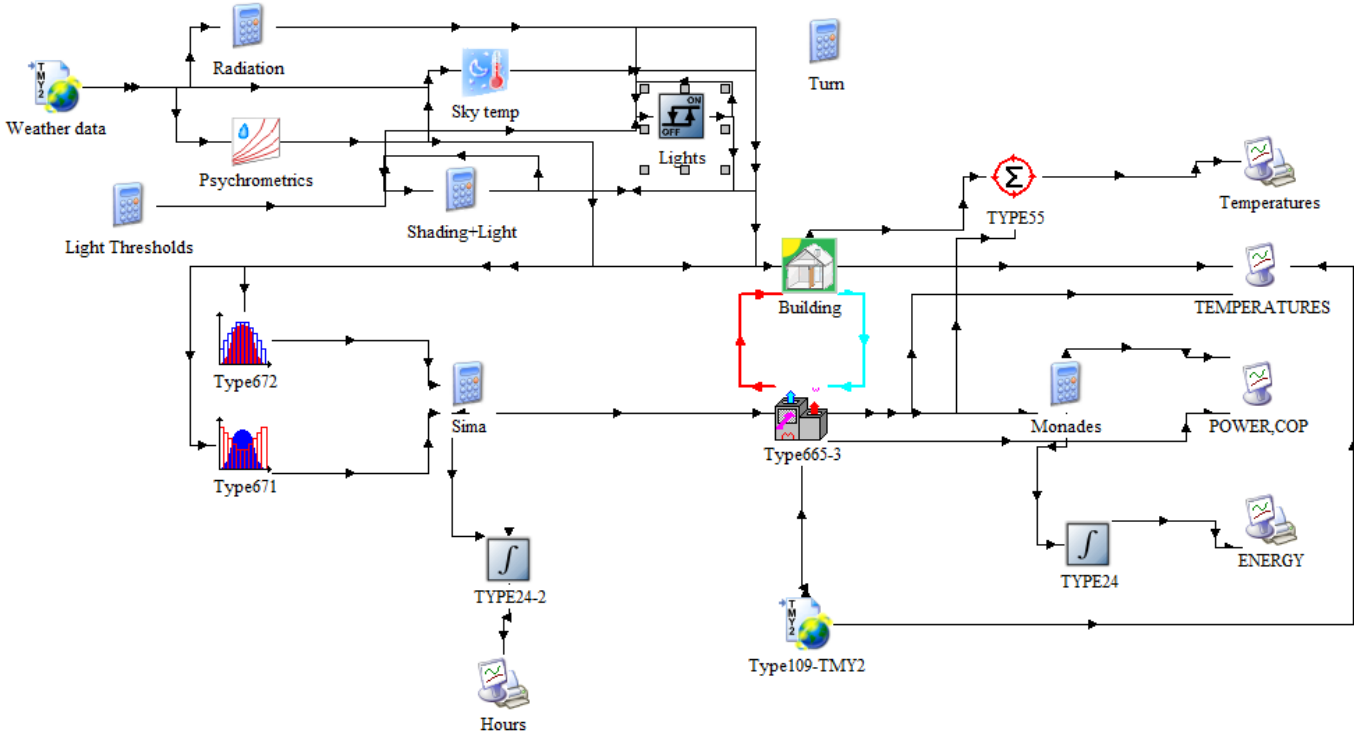
8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η προσομοίωση μίας εγκατάστασης θέρμανσης όπου έχουμε μία αντλία θερμότητας αέρα-αέρα για τη θέρμανση του κτιρίου. Την προσομοίωση αυτή την πραγματοποιήσαμε για να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 6, καθώς και με τη εγκατάσταση με τους ηλιακούς συλλέκτες με τα fan coil που παρουσιάσαμε στο κεφάλαιο 7.

8.2 Παρουσίαση Παραμέτρων του Κτιρίου στο Simulation Studio

Το κτίριό μας είναι ίδιων διαστάσεων και έχει τις ίδιες παραμέτρους με το κτίριο που προσομοιώσαμε στο κεφάλαιο 6 και 7.

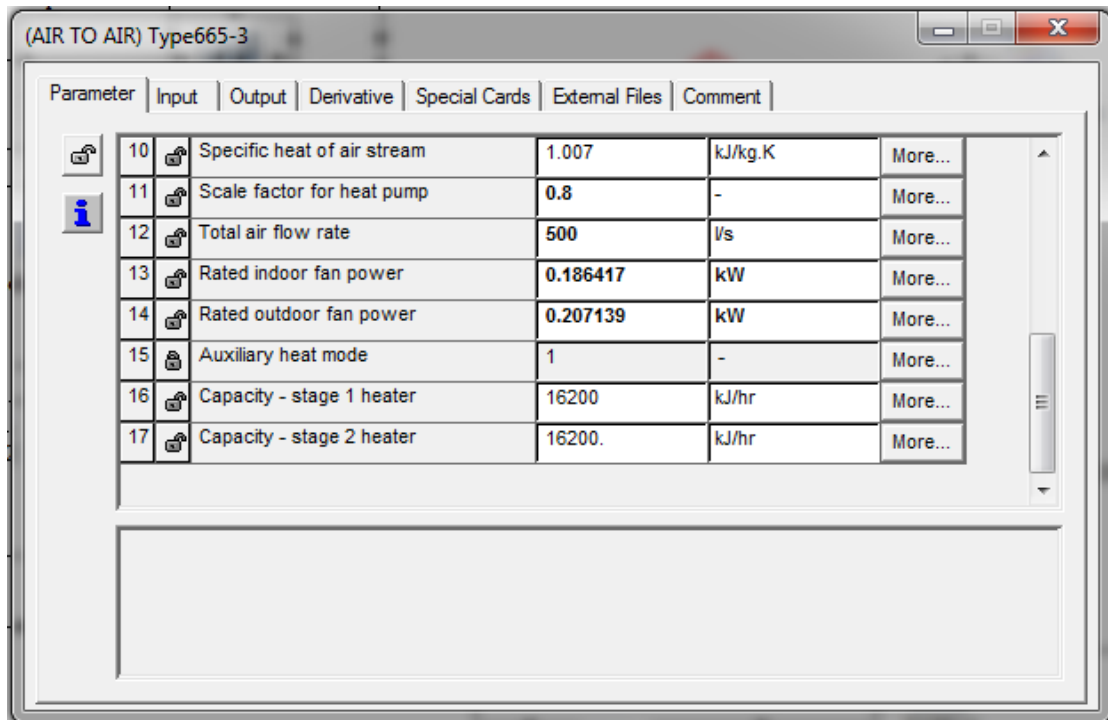
8.3 Παρουσίαση των Στοιχείων της Προσομοίωσης και της Συνδεσμολογίας τους στο Simulation Studio



Εικόνα 8.1: Το πρόγραμμα της εγκατάστασης στο TRNSYS

Το πρόγραμμα είναι ίδιο με αυτό στο κεφάλαιο 6 με τη διαφορά ότι έχουμε αφαιρέσει την αρχική αντλία θερμότητας, type 505a, και στη θέση της έχουμε βάλει την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα, type 665-3, καθώς επίσης έχουμε αφαιρέσει φυσικά τους κυκλοφορητές, τους ηλιακούς συλλέκτες και το δοχείο αδρανείας. Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζονται οι τροποποιήσεις που έγιναν σε σχέση με το πρόγραμμα του κεφαλαίου 6.



Αρχικά, παρουσιάζουμε τις παραμέτρους της αντλίας θερμότητας που επιλέξαμε:

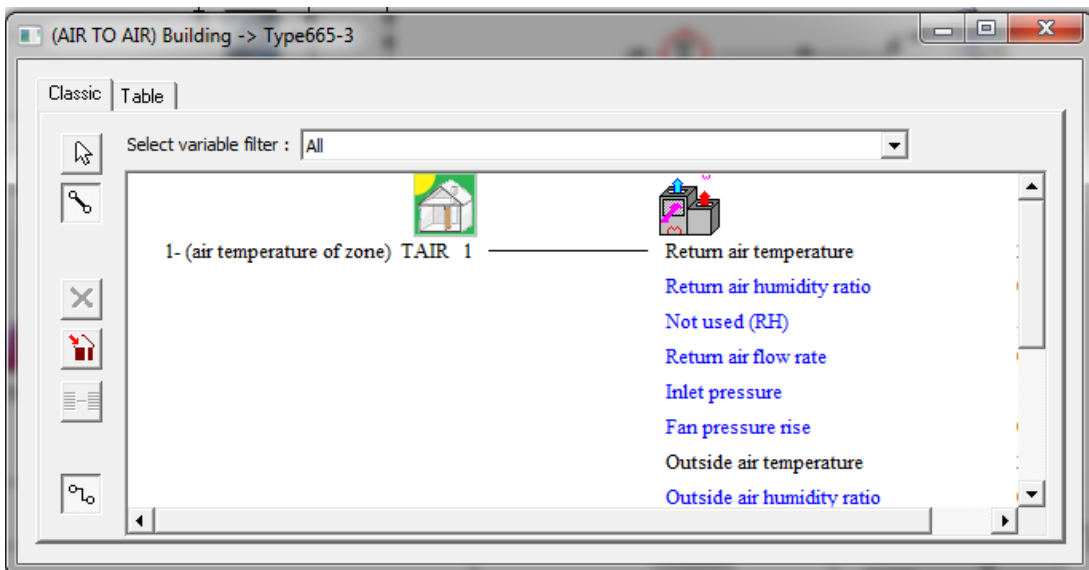


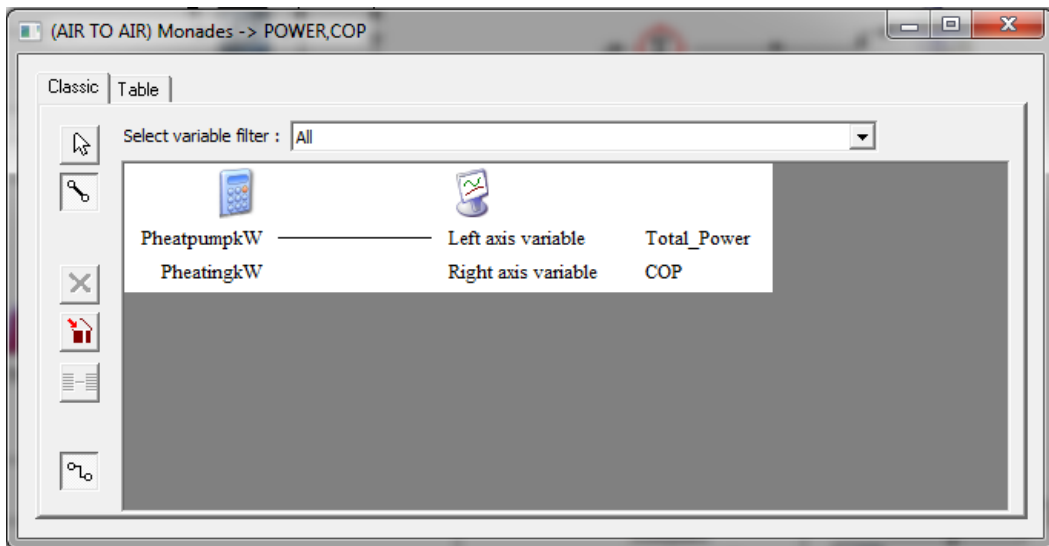
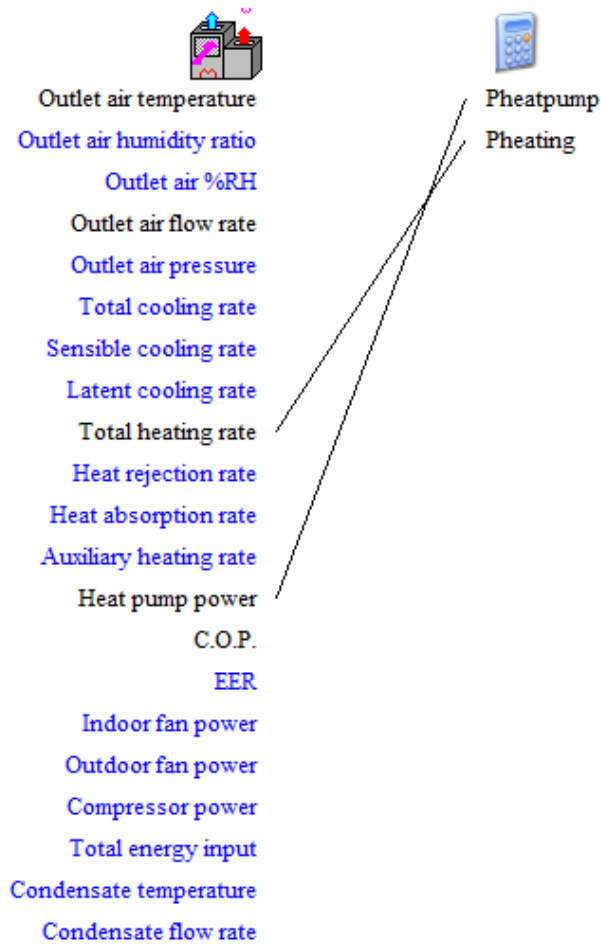
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment	
10		Specific heat of air stream	1.007			kJ/kg.K	More...
11		Scale factor for heat pump	0.8			-	More...
12		Total air flow rate	500			l/s	More...
13		Rated indoor fan power	0.186417			kW	More...
14		Rated outdoor fan power	0.207139			kW	More...
15		Auxiliary heat mode	1			-	More...
16		Capacity - stage 1 heater	16200			kJ/hr	More...
17		Capacity - stage 2 heater	16200.			kJ/hr	More...

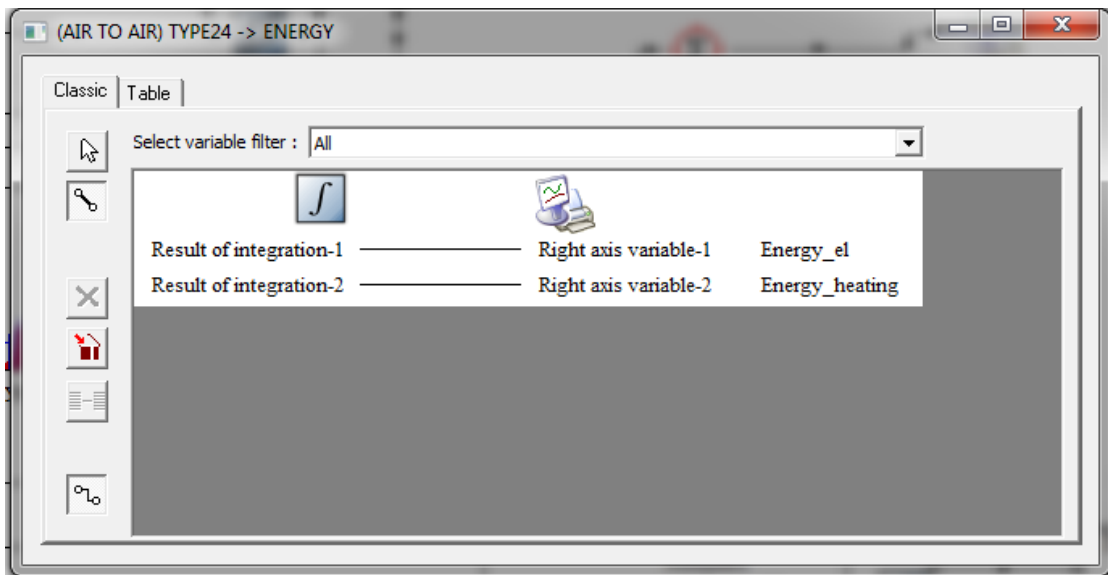
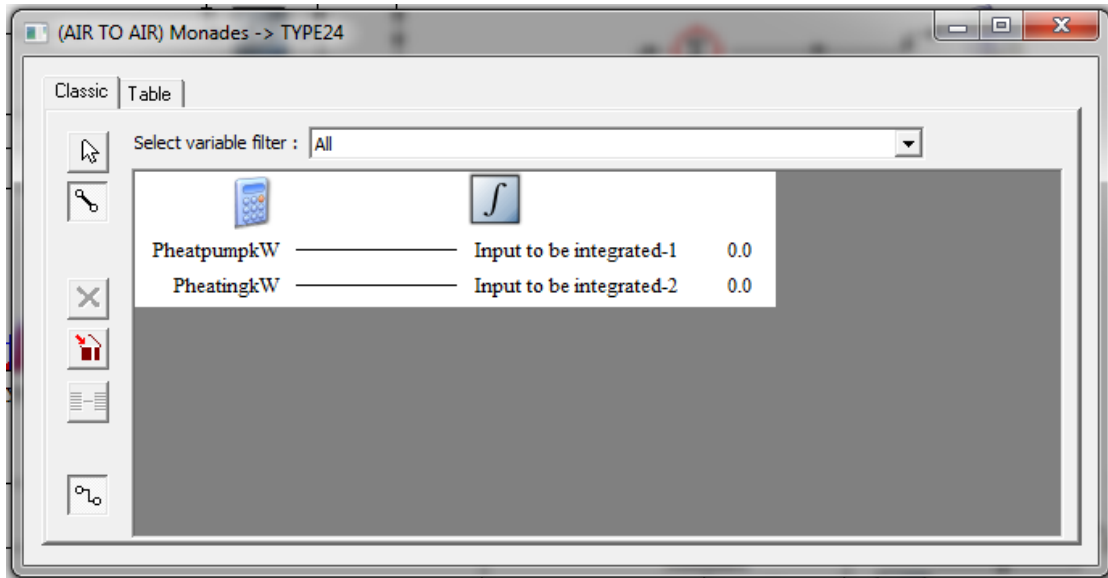
Επιλέξαμε μία **παροχή αέρα** της αντλίας θερμότητας **500 l/sec** που όπως είδαμε στο κεφάλαιο 6 η παράμετρος αυτή καθορίζει αποκλειστικά την θερμοκρασία εξόδου του αέρα από την αντλία θερμότητας. Ακόμη, ύστερα από τη διαστασιολόγηση που κάναμε και θα την παρουσιάσουμε στη συνέχεια επιλέξαμε τον **συντελεστή της αντλίας θερμότητας 0,8**. Ο συντελεστής αυτός (scale factor for heat pump) δίνει τη δυνατότητα ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε να επέμβουμε στα χαρακτηριστικά της αντλίας θερμότητας που έχει το πρόγραμμα και να αυξήσουμε ή να μειώσουμε την ισχύ της. Εμείς παρατηρήσαμε ότι για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις μας θα πρέπει ο συντελεστής αυτός να πάρει την τιμή 0,8.



Ακολουθεί η συνδεσμολογία των στοιχείων που έχουν τροποποιηθεί:

 <ul style="list-style-type: none"> Outlet air temperature Outlet air humidity ratio Outlet air %RH Outlet air flow rate Outlet air pressure Total cooling rate Sensible cooling rate Latent cooling rate Total heating rate Heat rejection rate Heat absorption rate Auxiliary heating rate Heat pump power C.O.P. EER Indoor fan power Outdoor fan power Compressor power Total energy input Condensate temperature Condensate flow rate 	 <ul style="list-style-type: none"> 1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE) 0 2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY) 0 3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE) 0 4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) 0 5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) 0 6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST) 0 7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST) 0 8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT) 0 9- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) 0 10- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) 0 11- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST) 0 12- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST) 0 13- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONT) 0 14- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH) 0 15- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH) 0 16- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST) 0 17- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST) 0 18- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONT) 0 19- CONT_NAT_1 (INPUT) 0 20- T_COOL_ON (INPUT) 0 21- S_NORTH (INPUT) 0 22- S_SOUTH (INPUT) 0 23- S_EAST (INPUT) 0 24- S_WEST (INPUT) 0 25- BRIGHT (INPUT) 0 26- FLOW (INPUT) 0 27- TEMP (INPUT) 0
--	--







		
Ambient temperature	Return air temperature	20.0
relative humidity	Return air humidity ratio	0.008
wind velocity	Not used (RH)	50.0
wind direction	Return air flow rate	0.
Atmospheric pressure	Inlet pressure	1.
userdefined data 2	Fan pressure rise	0.
userdefined data 3	Outside air temperature	20.0
userdefined data 4	Outside air humidity ratio	0.005
extraterrestrial radiation on horizontal	Not used (%RH)	50.0
solar zenith angle	Ambient (sink) temperature	20.0
solar azimuth angle	Cooling control signal	0.
total radiation on horizontal	Heating control signal	0
beam radiation on horizontal	Fan control signal	0.0
sky diffuse radiation on horizontal	Outside air damper position	0
ground reflected diffuse radiation on horizontal	Stage 1 supplemental control signal	0
angle of incidence on horizontal surface	Stage 2 supplemental control signal	0
slope of horizontal surface		
total radiation on tilted surface		
beam radiation on tilted surface		
sky diffuse radiation on tilted surface		
ground reflected diffuse radiation on tilted surface		
angle of incidence for tilted surface		
slope of tilted surface		

8.3 Βελτιστοποίηση και Διαστασιολόγηση της Εγκατάστασης

Αφού δημιουργήσαμε την εγκατάσταση με την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα έπρεπε να βρούμε ποιες είναι οι βέλτιστες παράμετροι. Τα κριτήριά μας ήταν:

1. Σύγκλιση του θεωρητικού θερμικού φορτίου με του πραγματικού που προσφέρει η αντλία θερμότητας.
2. Η εγκατάσταση εκείνη που λειτουργεί με τον καλύτερο βαθμό COP, έχοντας όμως ως προτεραιότητα και μία ρεαλιστική προσέγγιση από άποψη κόστους-αποδοτικότητας.
3. Το προφίλ θερμοκρασιών στο κτίριο να ικανοποιεί τα κριτήρια της θερμικής άνεσης.

Η διαστασιολόγηση της εγκατάστασης έγινε για τον Ιανουάριο που είναι όπως προαναφέραμε και ο πιο απαιτητικός μήνας από άποψη θερμικού φορτίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω 3 κριτήρια έχουμε τα εξής αποτελέσματα για τη διαστασιολόγηση της εγκατάστασης:

Scale factor for heat pump	Κατανάλωση Ηλ.Ενέργειας [kWh,el]	Qθέρμανσης,πραγμ. [kWh,th]	COP
0,8	300	874	2,91
0,9	304	884	2,91
1	307	893	2,91
1,5	322	930	2,89
2	334	962	2,88
Qθέρμανσης, θεωρ. [kWh,th]=		846	

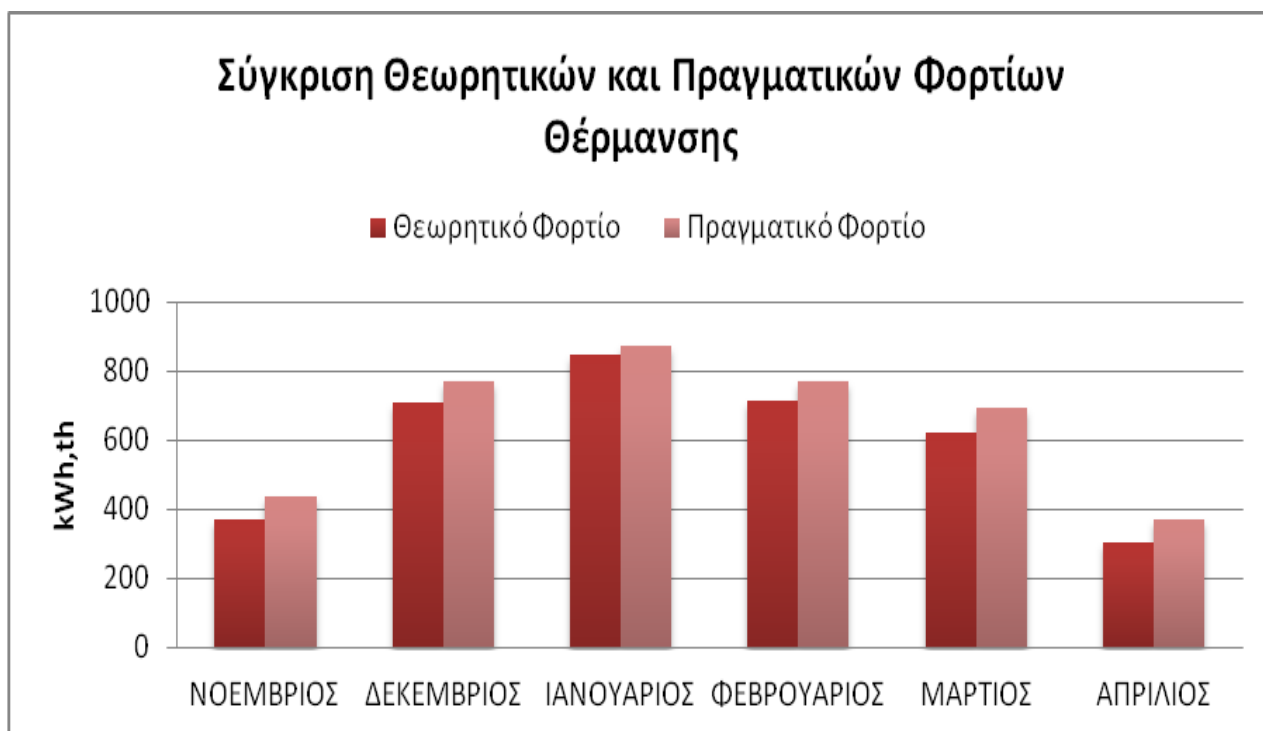
Πίνακας 8.1: Φορτία Θέρμανσης, Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια και COP της εγκατάστασης ανάλογα με τον συντελεστή της αντλίας θερμότητας στο TRNSYS για τον Ιανουάριο

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι η αντλία θερμότητας με συντελεστή 0,8 προσδίδει θερμικό φορτίο πολύ κοντά στο θεωρητικό και γι' αυτό επιλέγουμε αυτόν τον συντελεστή όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 8.2 για τις παραμέτρους της αντλίας θερμότητας. Επίσης, παρατηρούμε ότι έχουμε λίγο καλύτερο συντελεστή COP αφού με τον συντελεστή 0,8 μειώσαμε την ισχύ της αντλίας θερμότητας.

Έχοντας διαστασιολογήσει την εγκατάστασή μας, προσομοιώσαμε το σύστημα για τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο προκειμένου να συγκρίνουμε τα θεωρητικά με τα πραγματικά θερμικά φορτία, ώστε να επιβεβαιώσουμε ότι το πρόγραμμα προσφέρει μία ρεαλιστική προσέγγιση στη θέρμανση του κτιρίου με την προαναφερθείσα εγκατάσταση. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι:

ΜΗΝΑΣ	Qθέρμανσης, θεωρ.	Qθέρμανσης,πραγμ.	Κατανάλωση Ηλ.Ενέργειας	COP	Τμέση,κτιρίου	Ώρες Λειτουργίας
	[kWh,th]	[kWh,th]	[kWh,el]		[C]	
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	370	439	140	3,14	23,3	97
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	708	768	253	3,04	23,3	174
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	846	874	300	2,91	23,2	202
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	713	773	263	2,94	23,3	178
ΜΑΡΤΙΟΣ	622	692	229	3,02	23,3	157
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	304	370	118	3,14	23,4	82
ΣΥΝΟΛΙΚΑ	3563	3916	1303	3,01	23,3	890

Πίνακας 8.2: Φορτία Θέρμανσης, Καταναλισκόμενη Ηλεκτρική Ενέργεια, COP, Μέση Θερμοκρασία Κτιρίου και Ώρες Λειτουργίας της εγκατάστασης τους χειμερινούς μήνες

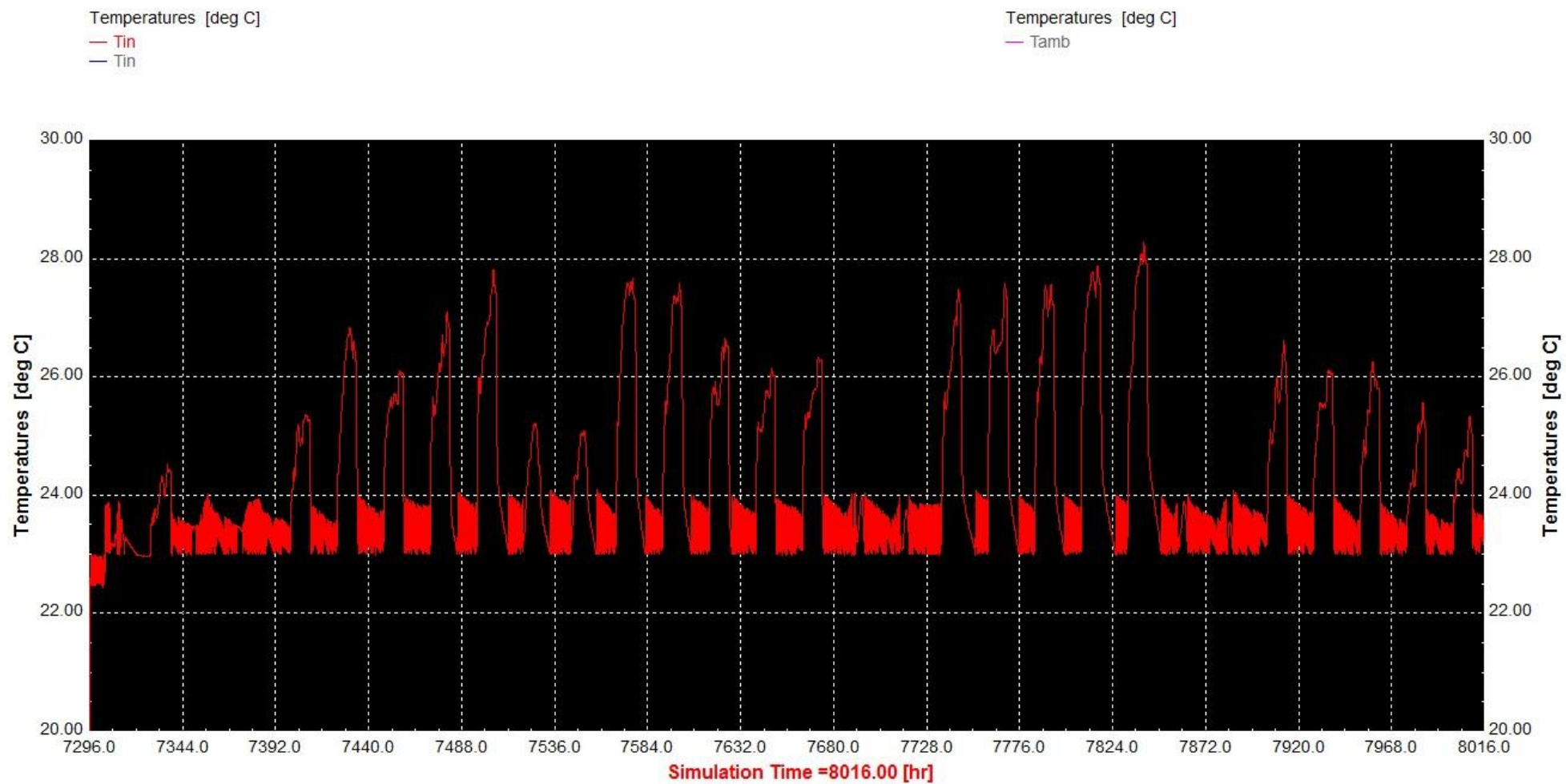


Γράφημα 8.1: Σύγκριση θεωρητικών και πραγματικών φορτίων θέρμανσης τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

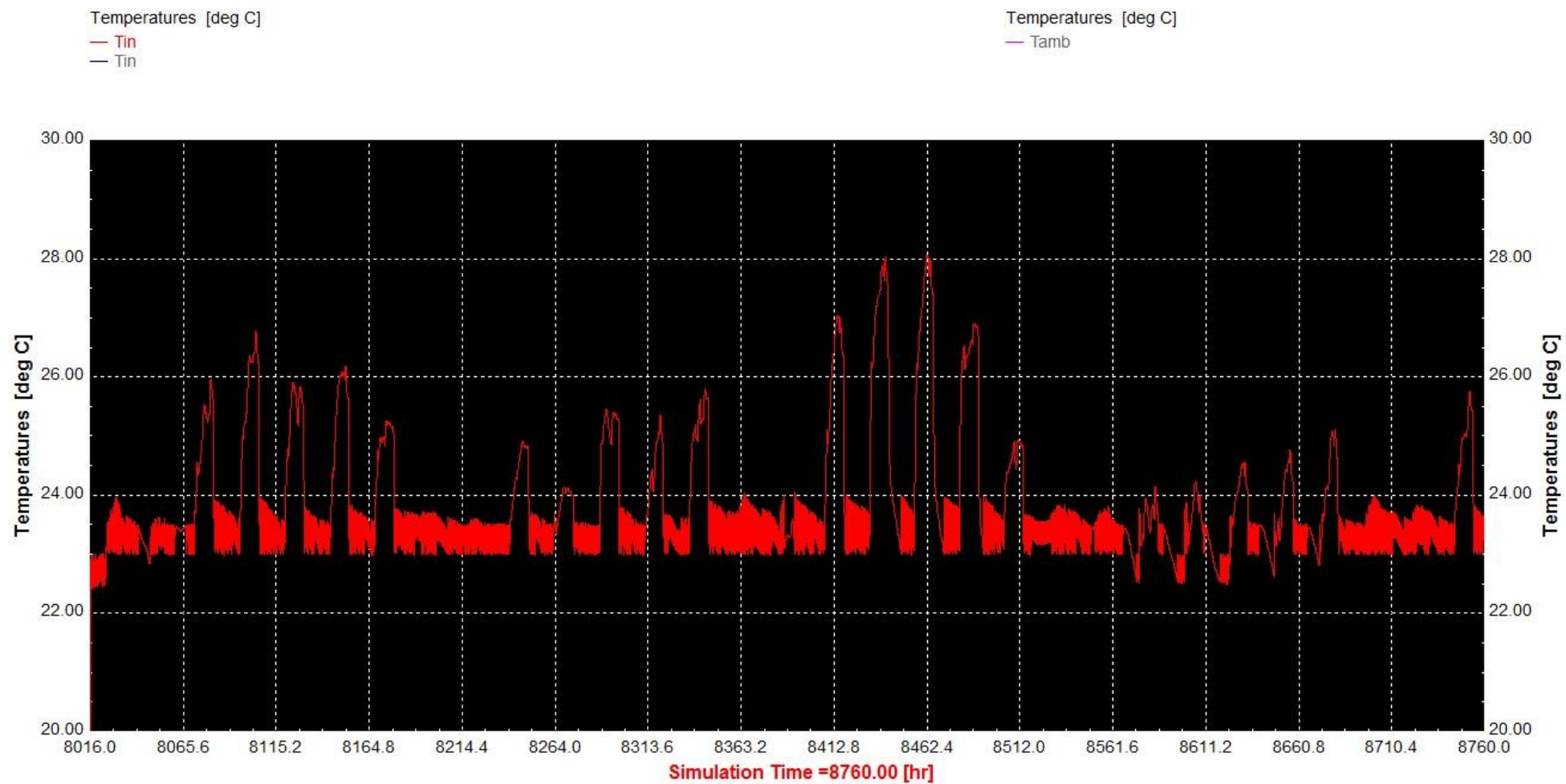
Παρατηρείται μία ικανοποιητική σύγκλιση θεωρητικού και θερμικού φορτίου ιδιαίτερα τον Ιανουάριο, τον μήνα για τον οποίο έχει γίνει η διαστασιολόγηση. Η απόκλισή τους είναι της τάξης του 3 %, το οποίο σημαίνει ρεαλιστική και άκρως ικανοποιητική προσομοίωση του συστήματος.

8.4 Αποτελέσματα Προσομοίωσης

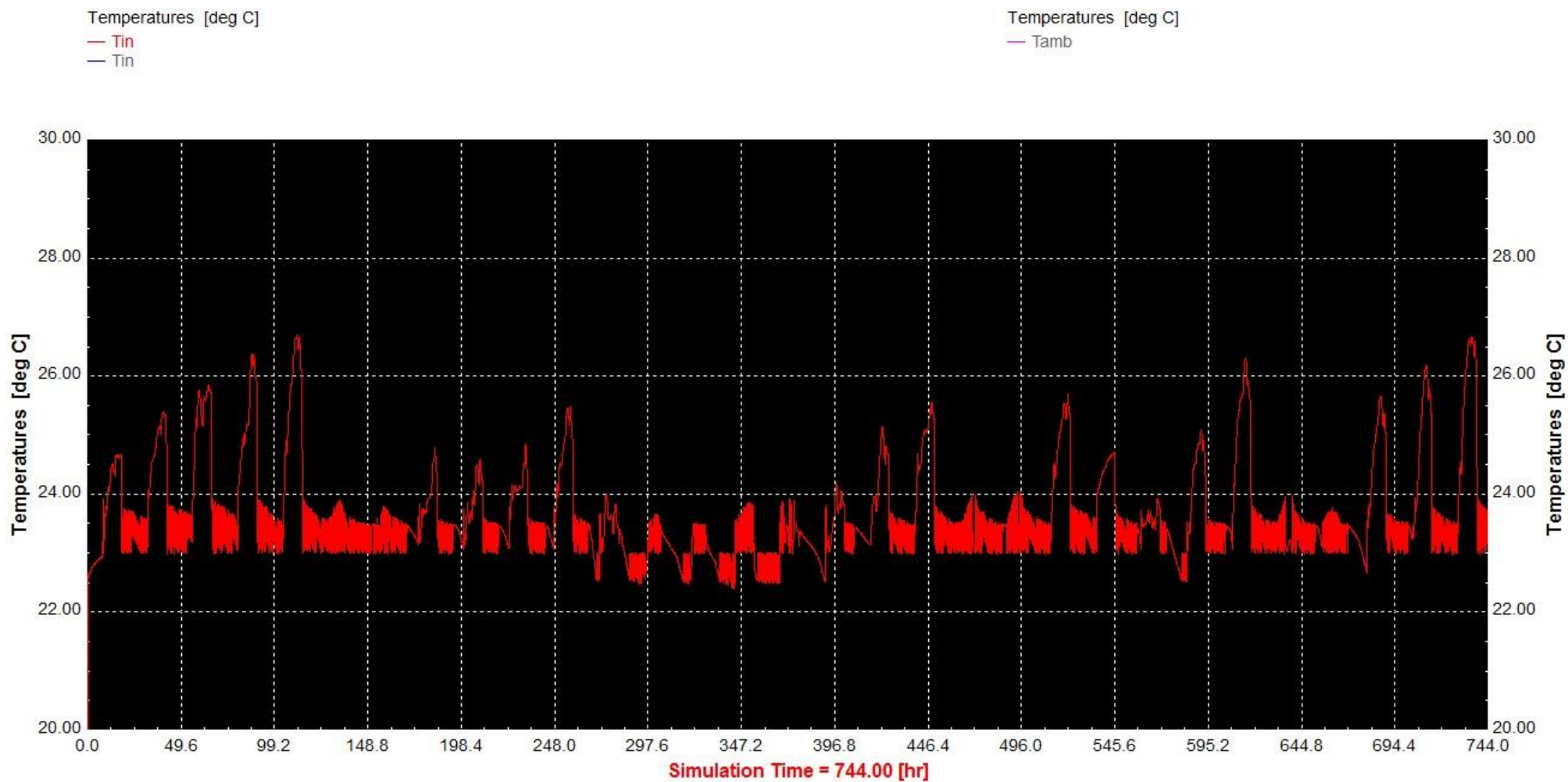
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της Προσομοίωσης. Αρχικά παρατίθενται τα θερμοκρασιακά προφίλ ανά μήνα στο κτίριο. Στη συνέχεια, το θερμοκρασιακό προφίλ για όλους τους μήνες. Στη συνέχεια, το θερμοκρασιακό προφίλ για όλους τους μήνες αλλά και για τη μέση ημέρα του Ιανουαρίου. Στον οριζόντιο άξονα εμφανίζονται οι ώρες που αντιστοιχούν στον κάθε μήνα, καθώς δεν δίνεται η δυνατότητα στο TRNSYS να έχεις μέρες στον οριζόντιο άξονα.



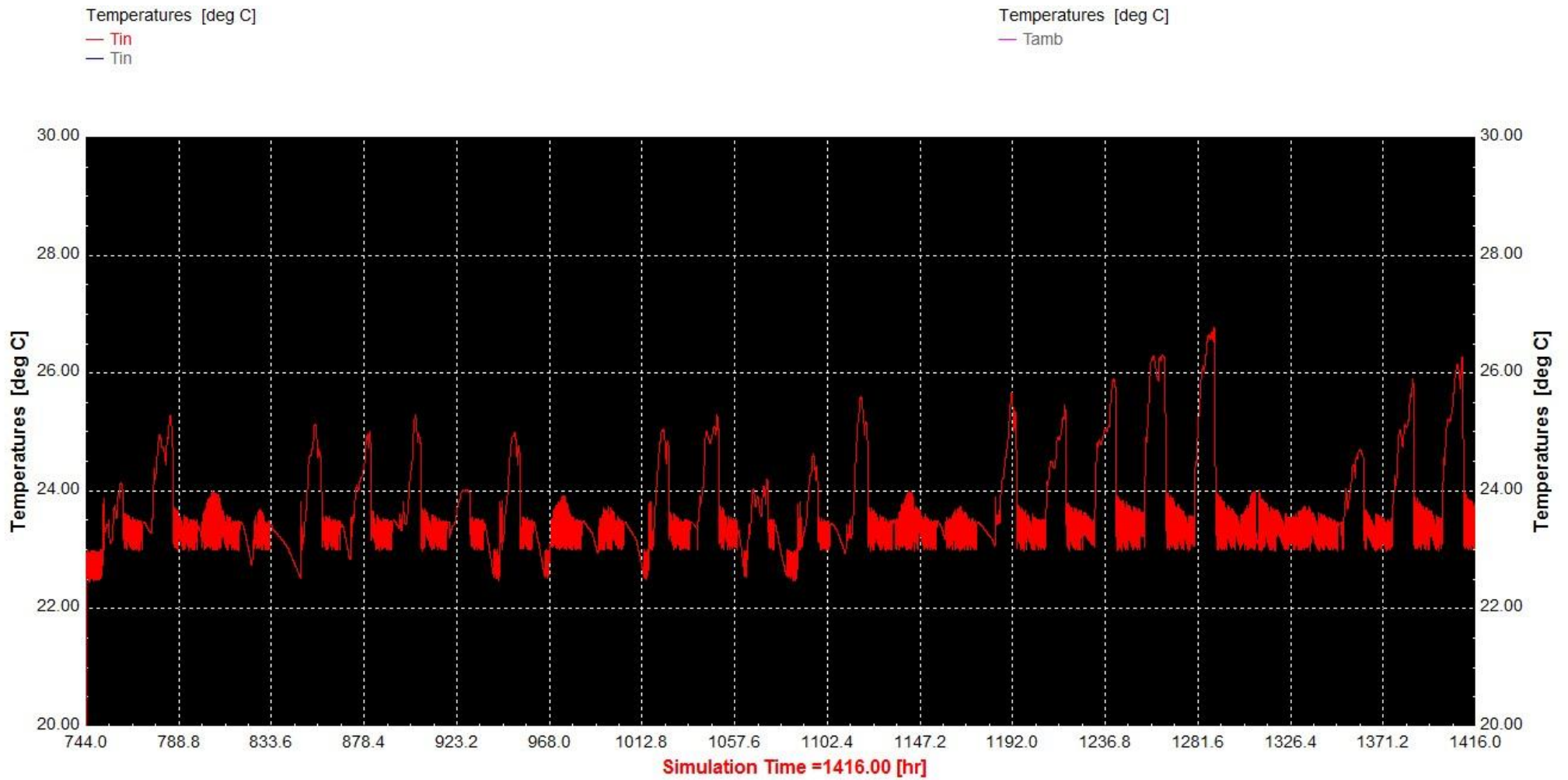
Διάγραμμα 8.1: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Νοέμβριο



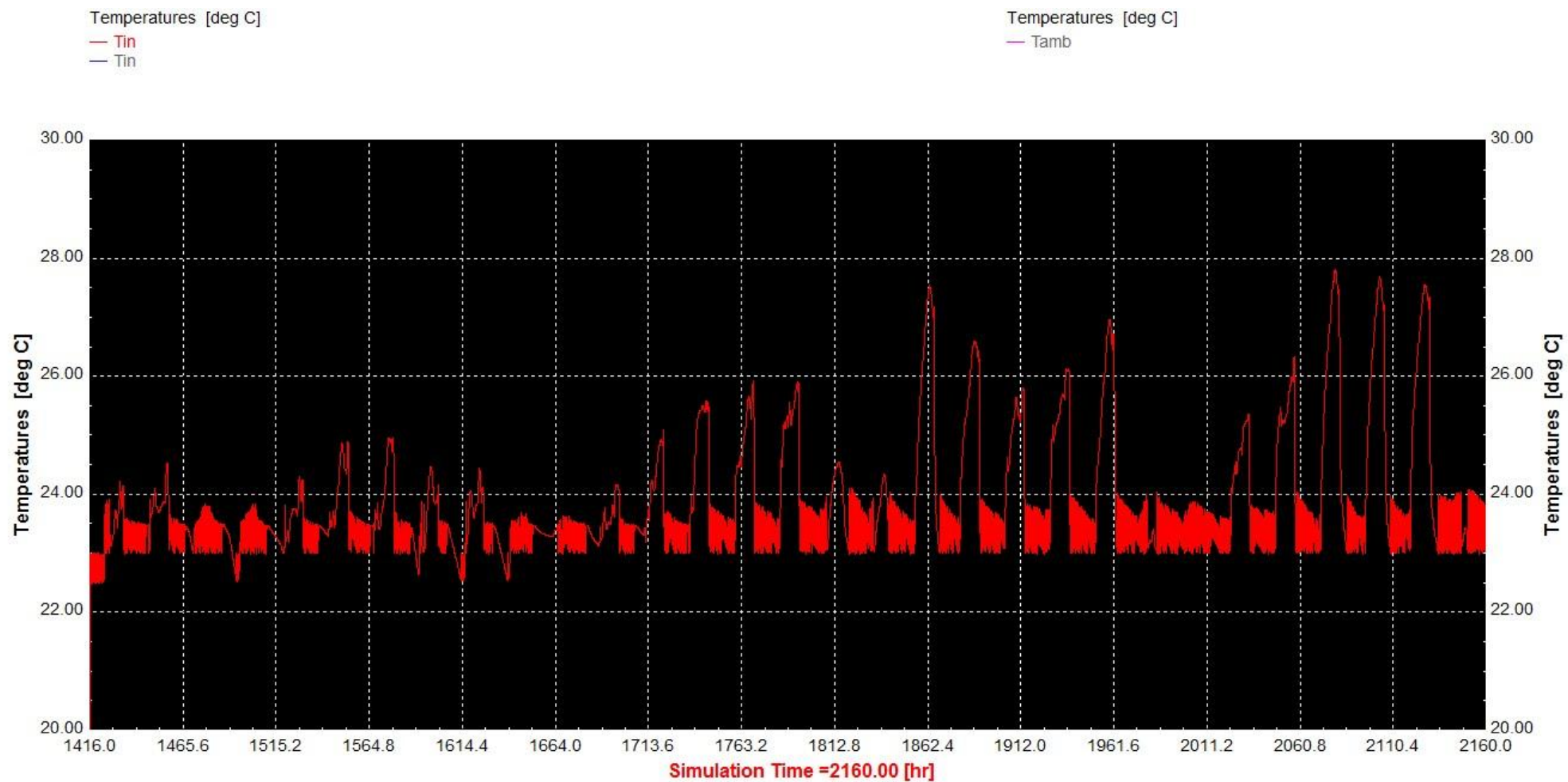
Διάγραμμα 8.2: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Δεκέμβριο



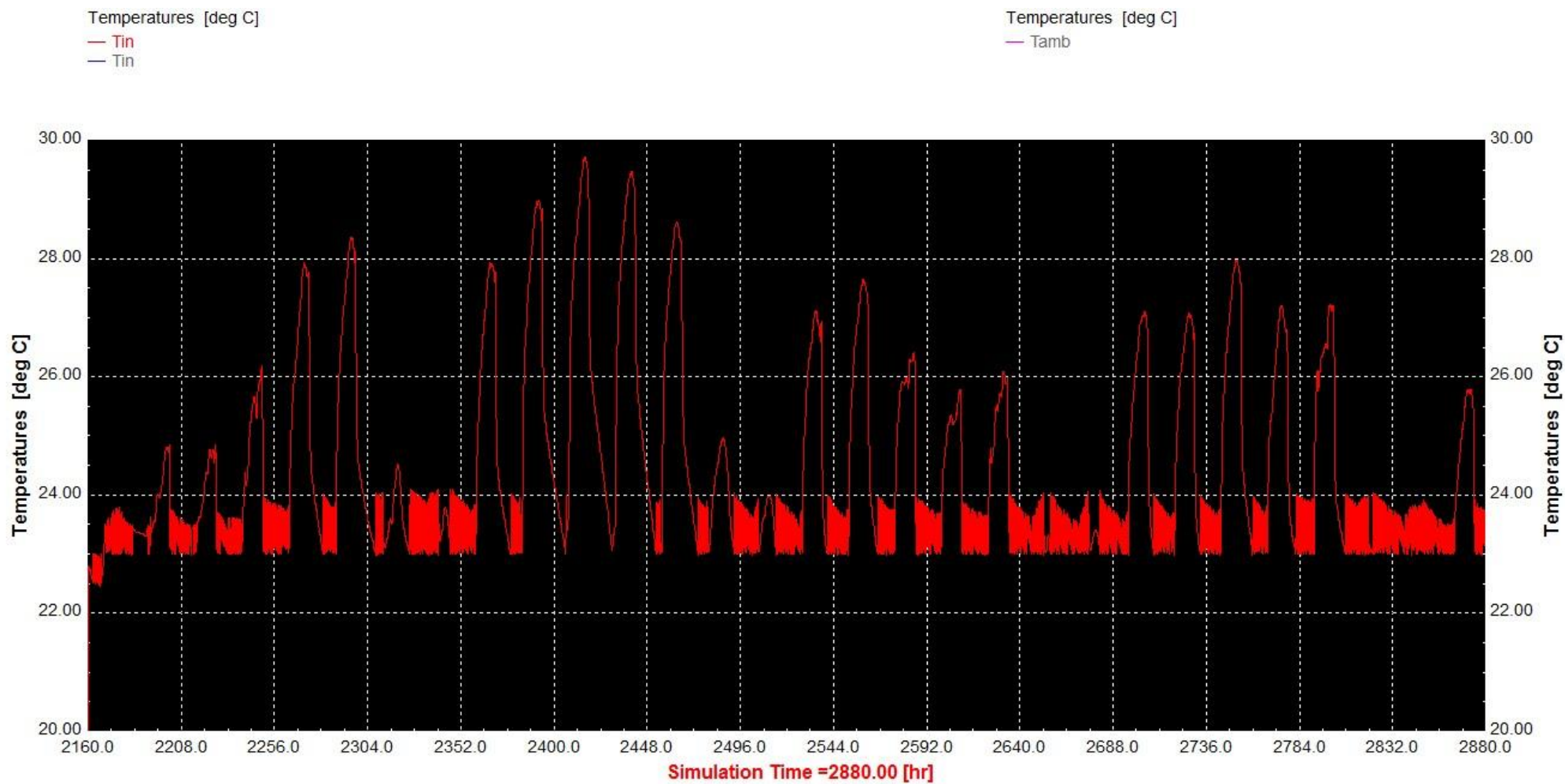
Διάγραμμα 8.3: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Ιανουάριο



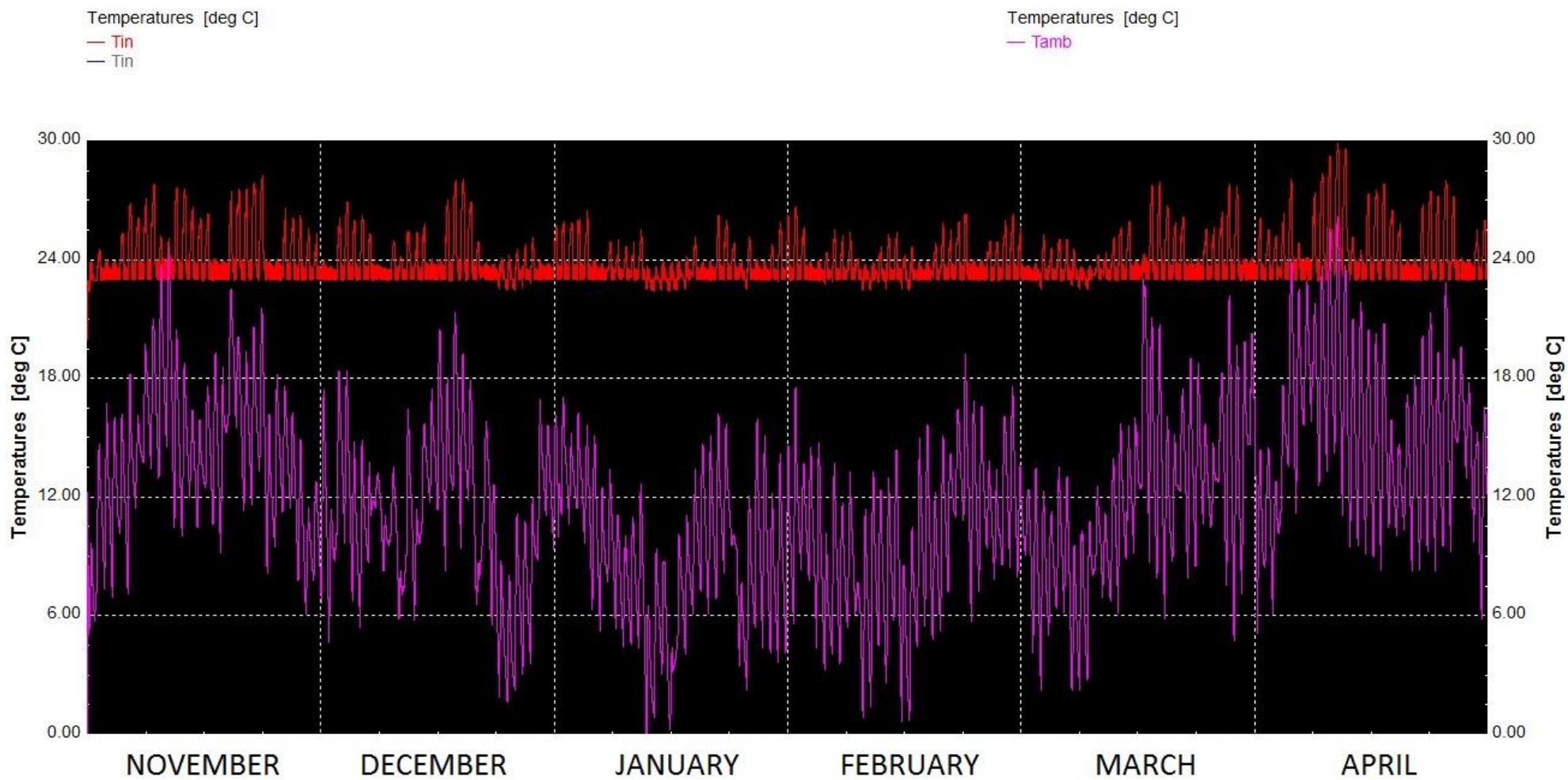
Διάγραμμα 8.4: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Φεβρουάριο



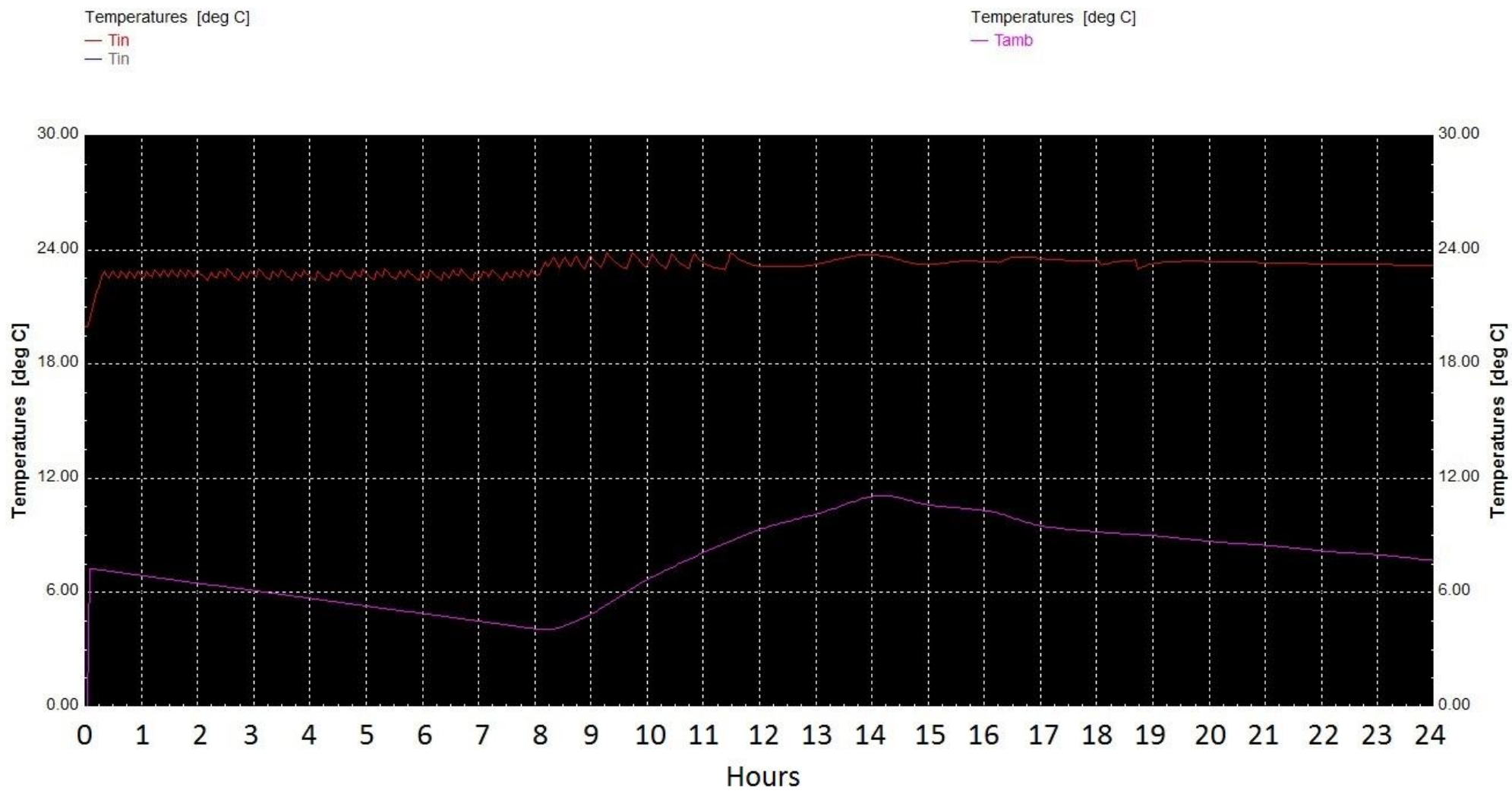
Διάγραμμα 8.5: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Μάρτιο



Διάγραμμα 8.6: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου τον Απρίλιο



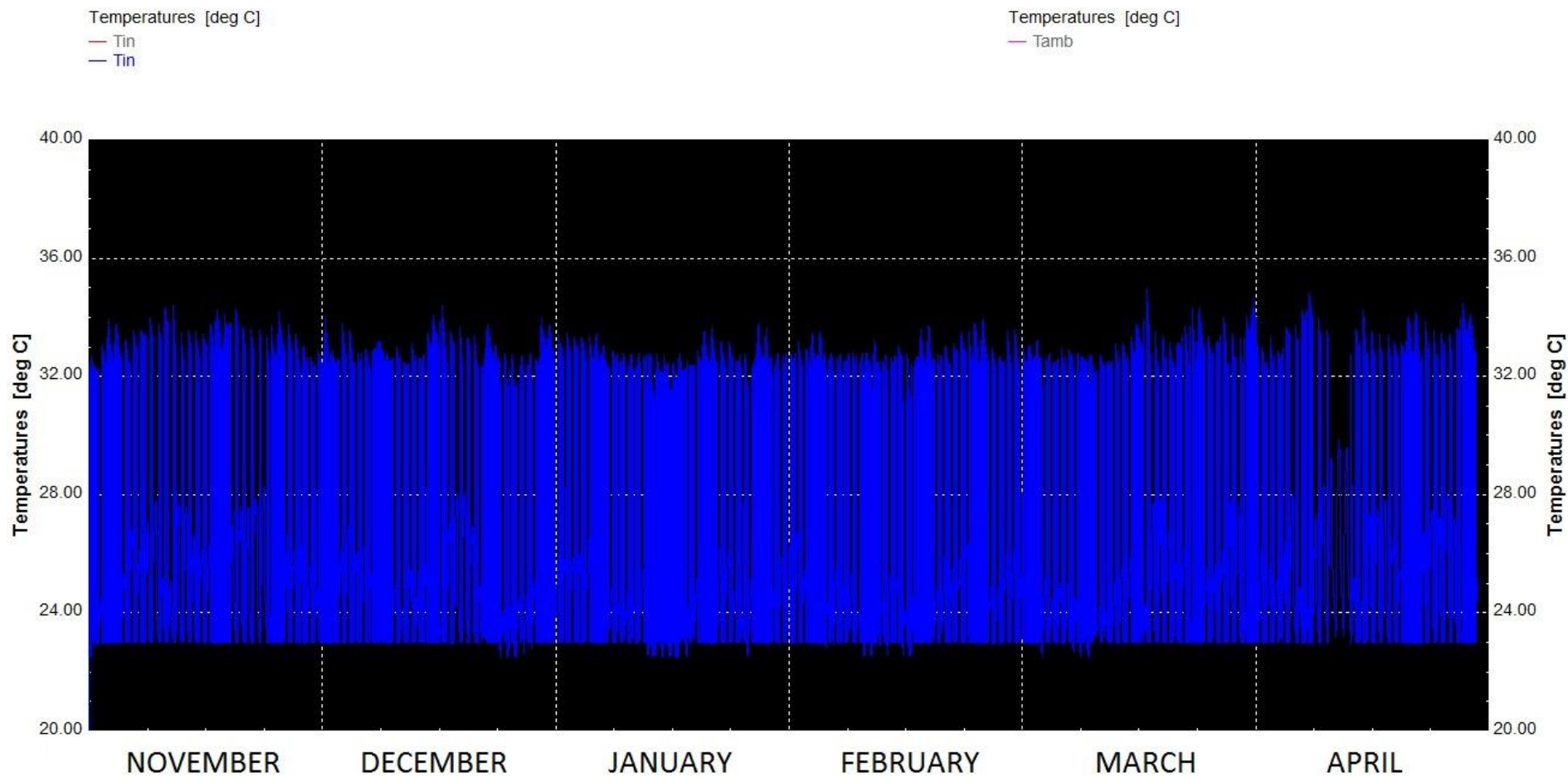
Διάγραμμα 8.7: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο



Διάγραμμα 8.8: Θερμοκρασιακό προφίλ κτιρίου-περιβάλλοντος τυπικής ημέρας Ιανουαρίου

Σύμφωνα με το διάγραμμα 8.7 παρατηρούμε και σε αυτή την εγκατάσταση ότι τις ημέρες με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος η θερμοκρασία στο κτίριο αυξάνεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει τον Απρίλιο που ουσιαστικά είναι μήνας με μεγαλύτερες εξωτερικές θερμοκρασίες και δεν έχει υψηλές απαιτήσεις θέρμανσης. Επίσης, παρατηρούμε ότι η ελάχιστη θερμοκρασία στο κτίριο μας είναι 22,5 °C, εκτός από κάποιες ώρες στην εκκίνηση της προσομοίωσης όπου το σύστημα απορροφά κάποια ενέργεια λόγω αδράνειας και παρατηρείται χαμηλότερη θερμοκρασία.

Τέλος στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζεται η θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας. Παρατηρείται μία μέγιστη τιμή 35 °C και να επισημάνουμε ότι η μέση τιμή του αέρα θέρμανσης είναι 27,1 °C τον Ιανουάριο σύμφωνα με την προσομοίωση, η οποία είναι ικανοποιητική θερμοκρασία στα πλαίσια της θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 8.8: Θερμοκρασιακό προφίλ αέρα στην έξοδο της αντλίας θερμότητας τους μήνες Νοέμβριο-Απρίλιο

9 Σύγκριση των 3 Εγκαταστάσεων

9.1 Οικονομική Αξιολόγηση των Εγκαταστάσεων

Σε αυτό το σημείο θεωρήσαμε χρήσιμο να προσεγγίσουμε τις 3 εγκαταστάσεις που προσομοιώσαμε και από οικονομική σκοπιά. Υπολογίζοντας το αρχικό κόστος της εγκατάστασης κάθε φορά αλλά και ένα ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας με πλάνο τα 20 έτη για τον χρόνο ζωής των εγκαταστάσεων, επιθυμούμε να εξετάσουμε ποια είναι η πιο συμφέρουσα επένδυση. Να επισημάνουμε ότι δεν έχουμε κάποιο αξιόλογο ετήσιο κόστος συντήρησης στις εγκαταστάσεις αυτές. Επομένως, έχουμε:

Συνολικό Κόστος Εγκ/σης: Αρχικό Κόστος Εγκ/σης + Ετήσιο Κόστος Ενέργειας X 20 Έτη

1. Ηλιακά Υποβοηθούμενη Αντλία Θερμότητας

Αρχικό Κόστος:

1. Κόστος αντλίας θερμότητας ~ 6.000,00 € , για 10 kW αντλία θερμότητας
2. Κόστος δοχείου αδρανείας 1.250 lt ~1.000,00 €
3. Κόστος κυκλοφορητών ~ 600,00 €
4. Κόστος ηλιακών συλλεκτών ~ 150 €/m² X 30 m² = 4.500,00 €

Ετήσιο Κόστος Ενέργειας: 758 kWh_{el} X 0,13 €/kWh_{el} = 98,54 €/ έτος

Κόστος Ενέργειας στα 20 έτη = 98,54 X 20 = 1.971,00 €

Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης στα 20 έτη ~ **14.071,00 €**

2. Εγκατάσταση με Fan Coil και Ηλεκτρικές αντιστάσεις

Αρχικό Κόστος:

1. Κόστος Fan Coil ~ 400 €/τεμ. X 5 = 2.000,00 €
2. Κόστος δοχείου αδρανείας 1.250 lt ~1.000,00 €
3. Κόστος κυκλοφορητών ~ 600,00 €
4. Κόστος ηλιακών συλλεκτών ~ 150 €/m² X 40 m² = 6.000,00 €
5. Κόστος ηλεκτρικής αντίστασης ~ 50 €

Ετήσιο Κόστος Ενέργειας: 1280 kWh_{el} X 0,13 €/kWh_{el} = 166,40 € / έτος

Κόστος Ενέργειας στα 20 έτη = $166,40 \times 20 = 3.328,00 \text{ €}$
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης στα 20 έτη ~ **12.978,00 €**

3. Αντλία Θερμότητας Αέρα-Αέρα

Αρχικό Κόστος:

1. Κόστος αντλίας θερμότητας ~ 5.500,00 €, για 10 kW αντλία θερμότητας
Ετήσιο Κόστος Ενέργειας: $1303 \text{ kWh,el} \times 0,13 \text{ €/kWh,el} = 169,39 \text{ € /έτος}$
Κόστος Ενέργειας στα 20 έτη = $169,39 \times 20 = 3.388,00 \text{ €}$
Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης στα 20 έτη ~ **8.888,00 €**

Εγκατάσταση	Συνολικό Κόστος στα 20 έτη (€)	Συνολική Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας στα 20 έτη (kWh,el)
1	14.071,00	15.160
2	12.978,00	25.600
3	8.888,00	26.060

Πίνακας 9.1: Συνολικά Κόστη και Καταναλώσεις Ηλεκτρικής Ενέργειας των 3 εγκαταστάσεων στα 20 έτη

* Η αντλία θερμότητας στην 1^η περίπτωση είναι ακριβότερη σε σχέση με την 3^η περίπτωση γιατί πρόκειται για αντλία θερμότητας νερού-αέρα ενώ στην 3^η περίπτωση πρόκειται για αντλία θερμότητας αέρα-αέρα.

** Στην προσέγγισή μας θεωρήσαμε ότι η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας παραμένει σταθερή στα 20 έτη.

*** Έχοντας υπολογίσει τις ετήσιες καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στους πίνακες 6.1, 7.1 και 8.2 υπολογίσαμε στον παραπάνω πίνακα και τις καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας στα 20 έτη.

Όπως παρατηρούμε η πιο οικονομικά συμφέρουσα εγκατάσταση από τις 3 που προσομοιώσαμε, είναι η εγκατάσταση με την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα. Ωστόσο, παρατηρούμε ότι έχει σχεδόν τη διπλάσια κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας. Η 2^η εγκατάσταση, αντίθετα, έχει και υψηλό κόστος αλλά και υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Από οικολογικής σκοπιάς επομένως, η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας θα μπορούσε να θεωρηθεί μία καλή επιλογή.

9.2 Θερμοδυναμική Αξιολόγηση των Εγκαταστάσεων

Σύμφωνα με τα διαγράμματα, τα γραφήματα και τους πίνακες στα κεφάλαια 6,7 και 8 παρατηρήσαμε τα εξής:

1. Η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας καταναλώνει τη λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια σε σχέση με τις άλλες δύο εγκαταστάσεις
2. Ο συντελεστής COP στην εγκατάσταση με την ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας είναι 5,70, ενώ στην εγκατάσταση με την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα είναι 2,91.(Στα Fan Coil δεν ορίζεται συντελεστής COP γιατί δεν καταναλώνουν σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας)
3. Η διακύμανση του θερμοκρασιακού προφίλ εντός του κτιρίου στο 2^ο σύστημα θέρμανσης με τα Fan Coil και τους ηλιακούς συλλέκτες είναι μεγαλύτερη σε σχέση με τα άλλα δύο συστήματα και αυτό συμβαίνει γιατί αυτό το σύστημα εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία νερού των ηλιακών συλλεκτών.
4. Παρατηρήσαμε στην 2^η εγκατάσταση με τους ηλιακούς συλλέκτες και τα Fan Coil ότι οι ηλιακοί συλλέκτες δεν είναι επαρκούν ώστε να μας προσφέρουν θερμική άνεση και γι' αυτό προσθέσαμε και την ηλεκτρική αντίσταση. Ενδεχομένως, εάν είχαμε επιφάνεια συλλεκτών ακόμα μεγαλύτερη με ένα δοχείο αδρανείας επίσης αρκετά μεγαλύτερο να επιτυγχάναμε θερμική άνεση χωρίς την ηλεκτρική αντίσταση, αλλά δε θα είχαμε μία ρεαλιστική, από άποψη κόστους-αποδοτικότητας, προσέγγιση για τη θέρμανση ενός τυπικού κτιρίου 100 m².
5. Η θερμοκρασία του κτιρίου φθάνει σε υψηλές τιμές όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλή (κάποιες φορές ίση με την εσωτερική). Αυτό παρατηρήθηκε κυρίως τον Απρίλιο και τον Νοέμβριο που είναι οι χειμερινοί μήνες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες.

6. Η θερμοκρασία εξόδου του αέρα στα Fan Coil είναι χαμηλότερη σε σχέση με τις άλλες δύο εγκαταστάσεις. Αυτό οφείλεται στις παραμέτρους που επιλέξαμε (παροχή αέρα εξόδου στις συσκευές) και αν θέλαμε μπορούσαμε να την αυξήσουμε ή να την μειώσουμε και στις άλλες δύο εγκαταστάσεις.
7. Ακόμη, αξιοσημείωτο στοιχείο είναι και οι ώρες λειτουργίας της κάθε εγκατάστασης ετησίως. Η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας λειτουργεί 539 ώρες, τα Fan Coil με τους ηλιακούς συλλέκτες 788 και η αντλία θερμότητας αέρα-αέρα 890 ώρες. Ενδεχομένως δηλαδή η 1^η εγκατάσταση να παρουσιάσει και μεγαλύτερο χρόνο ζωής ή να χρειαστεί λιγότερη συντήρηση.
8. Η εγκατάσταση με την αντλία θερμότητας αέρα-αέρα είχε την πιο ακριβή σύγκλιση θεωρητικού-πραγματικού θερμικού φορτίου, με τις άλλες δύο εγκαταστάσεις ωστόσο να προσφέρουν επίσης ικανοποιητική σύγκλιση.
9. Τέλος, παρατηρήσαμε ότι το χρονικό βήμα της προσομοίωσης παίζει καθοριστικό ρόλο όσον αφορά την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Γι' αυτό το λόγο και οι προσομοιώσεις μας έγιναν με ένα μικρό χρονικό βήμα (0,05 h = 3 min).

9.3 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα στα οποία καταλήγουμε είναι τα εξής:

1. Καταρχάς είναι δυνατό να υπάρξει εγκατάσταση θέρμανσης με μία ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας.
2. Εξασφαλίζει θερμοκρασιακό προφίλ, τέτοιο που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμικής άνεσης στο κτίριο.
3. Απαιτείται μελέτη για τη σωστή διαστασιολόγηση της εγκατάστασης όσον αφορά τους ηλιακούς συλλέκτες και το δοχείο αδρανείας.
4. Η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας εξοικονομεί ενέργεια σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης με μία αντλία θερμότητας αέρα-αέρα ή με ένα σύστημα με ηλιακούς συλλέκτες και fan coils.
5. Το αρχικό κόστος εγκατάστασής της είναι ωστόσο υψηλό.

6. Επομένως, από ενεργειακή και περιβαλλοντική σκοπιά η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας αποτελεί ένα αξιόλογο σύστημα θέρμανσης. Επίσης, εάν στο μέλλον παρατηρηθεί μία αύξηση της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας η ηλιακά υποβοηθούμενη αντλία θερμότητας ενδεχομένως να αποτελέσει και από οικονομική πλέον σκοπιά μια ενδιαφέρουσα επιλογή.

Βιβλιογραφία

Γενική Βιβλιογραφία

1. Σημειώσεις ‘Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων’, Χ.Τζιβανίδη
2. ‘Θέρμανση-Κλιματισμός’, Β.Η. Σελλούντος
3. Σημειώσεις ‘Ψυχομετρία’, Ε.Κορωνάκη
4. ‘Θερμικά Ηλιακά Συστήματα’, Κ.Αντωνόπουλος
5. ‘Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας’, Α.Ζερβός
6. Διπλωματική εργασία Μ.Χρηματοπούλου ‘Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας’, Αθήνα 2009
7. Chargui R., Sammouda H., Modeling of a residential house coupled with a dual source heat pump using TRNSYS software. Energy Conversion and Management 2014;81:384-99.

Διαδίκτυο (εικόνες διπλωματικής εργασίας)

8. en.wikipedia.org
9. MIT open courseware, <https://www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3038898862/>
10. www.worldofcomfort.ca
11. <http://www.achrnews.com/articles/print/117734-frost-and-defrost-how-it-happens-and-why-it-is-needed-a-white-paper>
12. <http://cnx.org/contents/031da8d3-b525-429c-80cf-6c8ed997733a@8.8:112>
13. <http://astarmathsandphysics.com/ib-physics-notes/thermal-physics/ib-physics-notes-heat-pumps.html>
14. http://www.globalspec.com/learnmore/building_construction/hvac/ventilation/refrigeration_compressors_air_conditioning_compressors
15. http://inspectapedia.com/aircond/Capillary_Tubes.htm
16. Performance analysis of a solar-assisted heat pump with an evacuated tubular collector for domestic heating, Ahmet Caglar, Cemil Yamali

17. <http://quoteko.com/midaslab.html>
18. www.powerfromthesun.net
19. www.buildnet.gr/default.asp?pid=159&la=1&catid=139&artid=1654
20. www.ambienteco.gr/epilektikoi.html
21. <http://sunenergy.skrouzstore.gr/p.Iliakoi-syllektes-kenoy-20-solines-me-anaklastires.1009374.html>
22. <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C124/54/418,1554/>
23. www.energymgmtadvisors.com