

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**



**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΥΞΗΣ, ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ ΚΑΙ  
ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΤΟΙΧΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ**

**Κωνσταντίνος Ντούρμας**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης, Αναπληρωτής Καθηγητής  
Ε.Μ.Π.**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2021**

# Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ε.Μ.Π., κ. Χρήστο Τζιβανίδη για την ανάθεση της διπλωματικής εργασίας, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε και τη δυνατότητα να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την συνεχή στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό την διερεύνηση των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας 100 m<sup>2</sup> στην Αθήνα με την εγκατάσταση ενός τοίχου Trombe ως συστήματος θέρμανσης. Θα μελετήσουμε τέσσερα σενάρια χρήσης του τοίχου Trombe, με κάποιες συγκεκριμένες αλλαγές στο κάθε σενάριο ξεχωριστά. Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα από κάθε προσομοίωση και θα καταλήξουμε στο βέλτιστο από τα τέσσερα σενάρια. Η δομή της εργασίας είναι κατανοημένη σε επτά κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο έχουμε μια εισαγωγή στον βιοκλιματικό σχεδιασμό, την θερμική άνεση, τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, στον φυσικό αερισμό και στη φυσική ψύξη-δροσισμό. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τοίχος Trombe, η γενική λειτουργία του και τα μέρη που αποτελείται. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του προγράμματος TRNSYS 18 που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την προσομοίωση του κτιρίου. Στο τέταρτο κεφάλαιο έχουμε την διάταξη των στοιχείων (components) που χρησιμοποιήσαμε, την σύνδεση μεταξύ τους, τις τιμές των παραμέτρων που εισάγαμε σε αυτά καθώς και την δημιουργία του κτιρίου μας με τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στον τοίχο Trombe, στην οροφή και στους υπόλοιπους τοίχους. Στο πέμπτο κεφάλαιο έχουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων για τα τέσσερα σενάρια και την μεταξύ τους σύγκριση. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και γίνονται προτάσεις με σχετικά θέματα που μπορούν να μελετηθούν στο μέλλον.

# ABSTRACT

The current thesis aims to investigate the internal conditions that exists in a typical building surface of 100 m<sup>2</sup> in Athens using Trombe wall as a heating system. We will examine 4 different scenarios of the Trombe wall with some specific changes in each scenario. Subsequently we will compare the results of each simulation and reach the conclusion which is the optimal. This thesis is structured with seven chapters. At the first chapter we have an introduction to the green house, thermal comfort, passive energy systems, natural air ventilation and passive cooling. At the second chapter we analyzed the basic parts of the Trombe wall and how it works. At the third chapter is presented TRNSYS 18 and its basic parts. Furthermore, at the fourth chapter we present the program we created in TRNSYS 18 for the simulation, the values of the parameters selected and the links of the components. The fifth chapter presents the results of simulations for each scenario and the comparison between them. Finally, the sixth chapter lists the conclusions, summarizing the results of simulations and suggestions about relative future work.

## Πίνακας Περιεχομένων

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ABSTRACT.....	3
1.Εισαγωγή.....	5
1.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός.....	5
1.2 Θερμική άνεση.....	7
1.3 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης.....	9
1.3.1 Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους.....	9
1.3.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους.....	10
1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους.....	12
1.4 Φυσικός αερισμός.....	13
1.5 Φυσική ψύξη-δροσισμός.....	18
1.5.1 Ψύξη μέσω εδάφους.....	18
1.5.1.1 Υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια.....	18
1.5.1.2 Υπεδάφιο σύστημα αγωγών (εναλλάκτες εδάφους - αέρα).....	19
1.5.2 Ψύξη μέσω εξάτμισης.....	20
1.5.3 Ψύξη μέσω ακτινοβολίας.....	21
2.Τοίχος Trombe.....	22
2.1.1 Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης.....	22
2.1.2 Παραλλαγές τοίχου Trombe.....	23
2.2 Γενική λειτουργία.....	24
2.3 Κύρια μέρη τοίχου Trombe.....	25
2.3.1 Υαλοστάσιο.....	25
2.3.2 Διάκενο.....	26
2.3.3 Θυρίδες εξαερισμού.....	27
2.3.4 Προεξοχή οροφής.....	27
2.3.5 Τοίχος μάζας.....	29
3.Πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS.....	33
3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS.....	33
3.2 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio).....	34
3.3 Βασικές επιλογές στο στούντιο προσομοίωσης.....	34
3.4 Σύνδεση στοιχείων (components).....	37
3.5 Λειτουργίες στο Simulation studio.....	39
4.Παρουσίαση χαρακτηριστικών κτιρίου.....	41
4.1 Διαστάσεις κτιρίου στο Simulation studio.....	41
4.2 Διαδικασία δημιουργίας κτιρίου στο TRNSYS Studio.....	41
4.3 Επεξεργασία κτιρίου.....	52
4.4 Παρουσίαση των στοιχείων (components) που χρησιμοποιήθηκαν.....	63
5.Αποτελέσματα Προσομοίωσης.....	92
5.1 Εισαγωγή.....	92
5.2 Παρουσίαση σεναρίων προσομοίωσης.....	116
5.3 Σύγκριση σεναρίων προσομοίωσης.....	128
5.4 Αξιολόγηση σχετικής υγρασίας σεναρίων.....	133
6.Συμπεράσματα.....	139
7.Βιβλιογραφία.....	142

# 1.Εισαγωγή

## 1.1 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί το σχεδιασμό του κτιρίου και του χώρου σύμφωνα με το τοπικό κλίμα, με σκοπό την επίτευξη συνθηκών θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές αλλά και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποτελούν τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια με στόχο την αξιοποίηση των περιβαλλοντικών πηγών για θέρμανση, ψύξη, φωτισμό των κτιρίων καθώς και την μείωση κατανάλωσης των συμβατικών καυσίμων.

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει αποτελέσει τις τελευταίες δεκαετίες βασική προσέγγιση στην κατασκευή κτιρίων παγκοσμίως, ενώ στα περισσότερα κράτη πλέον αποτελεί βασικό κριτήριο σχεδιασμού μικρών και μεγάλων κτιρίων. Αυτό συμβαίνει λόγω των χαμηλότερων απαιτήσεων ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και φωτισμού των κτιρίων που προκύπτουν από την εφαρμογή της.[1]

Ορισμένα πλεονεκτήματά του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι εξοικονόμηση ενέργειας, θερμική και οπτική άνεση, μείωση κόστους ηλεκτρομηχανολογικών εγκαταστάσεων ενώ συμβάλλει σημαντικά στη μείωση ρύπων.

Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι οι εξής:

- Θερμική προστασία των κτιρίων τόσο το χειμώνα, όσο και το καλοκαίρι με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών που εφαρμόζονται στο εξωτερικό κέλυφος των κτιρίων, ιδιαίτερα με την κατάλληλη θερμομόνωση και αεροστεγάνωση του κτιρίου καθώς και των ανοιγμάτων του.
- Αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για φυσικό φωτισμό όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των χώρων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων και την διαρρύθμιση των εσωτερικών χώρων ανάλογα με τις θερμικές τους ανάγκες.
- Προστασία των κτιρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως μέσω της σκίασης, αλλά και της κατάλληλης κατασκευής του κελύφους.
- Απομάκρυνση της θερμότητας που το καλοκαίρι συσσωρεύεται μέσα στο κτίριο με φυσικό τρόπο προς το εξωτερικό περιβάλλον με συστήματα και τεχνικές παθητικού δροσισμού, όπως ο φυσικός αερισμός τις νυχτερινές ώρες.
- Εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και ελέγχου της ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να εξασφαλίζεται η επάρκεια και η ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους [2]

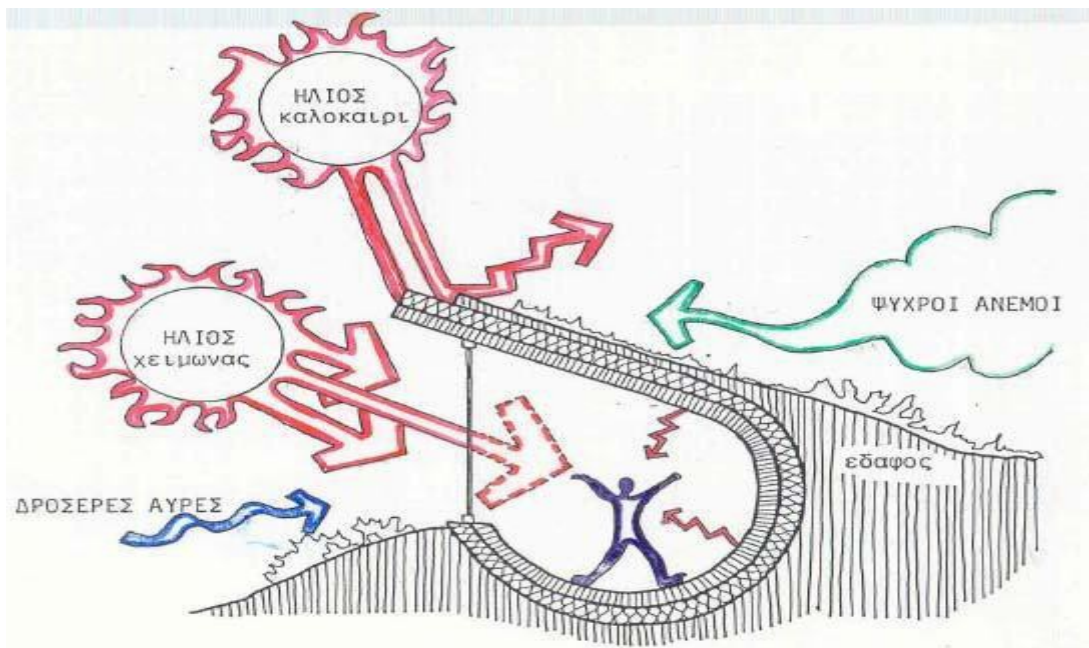
Ειδικότερα, το ενεργειακό όφελος που προκύπτει από την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού αποδίδεται με τους παρακάτω τρόπους:

- εξοικονόμηση ενέργειας από την σημαντική μείωση απωλειών λόγω της βελτιωμένης προστασίας του κελύφους και συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων

- παραγωγή θερμικής ενέργειας (θερμότητας) μέσω των ηλιακών συστημάτων άμεσου ή έμμεσου κέρδους με συμβολή στις θερμικές ανάγκες των χώρων προσάρτησης και μερική κάλυψη των απαιτήσεων θέρμανσης του κτιρίου
- δημιουργία συνθηκών θερμικής άνεσης και μείωση των απαιτήσεων όσον αφορά στη ρύθμιση θερμοστάτη (σε χαμηλότερες θερμοκρασίες τον χειμώνα και υψηλότερες το καλοκαίρι),
- διατήρηση της θερμοκρασίας εσωτερικού αέρα σε επίπεδα υψηλά τον χειμώνα (και αντίστοιχα χαμηλά το καλοκαίρι), με αποτέλεσμα την μείωση του φορτίου για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων από τα επικουρικά συστήματα κατά την χρήση του κτιρίου.

Βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού πρέπει να είναι:

- η απλότητα χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή πολύπλοκων παθητικών συστημάτων και τεχνικών
- η μικρή συμβολή του χρήστη του κτιρίου στη λειτουργία των συστημάτων
- η χρήση ευρέως εφαρμοσμένων συστημάτων
- η χρήση τεχνικο-οικονομικά αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών [1]



Εικόνα 1.1:Απεικόνιση βιοκλιματικού κελύφους. [3]

## 1.2 Θερμική άνεση

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, εκτός από την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε μια οικία, αποσκοπεί και στην δημιουργία ιδανικών συνθηκών διαβίωσης. Το ζήτημα της θερμικής άνεσης και γενικότερα του εσωκλίματος ενός κτηρίου, εξαρτάται από τον ανθρώπινο παράγοντα. Έτσι στην αξιολόγηση του βέλτιστου εσωκλίματος και ιδιαίτερα όσον αφορά στις συνθήκες άνεσης, τα κριτήρια που επηρεάζουν την αξιολόγηση είναι ως

επί το πλείστον υποκειμενικά. Οποιαδήποτε μελέτη γύρω από το εσωτερικό περιβάλλον ενός κτηρίου, πρέπει να λαμβάνει υπόψη τους χρήστες, οι οποίοι αντιλαμβάνονται διαφορετικά ο καθένας τα όρια της θερμικής άνεσης.

Σύμφωνα με την Αμερικανική Επιστημονική εταιρεία Θέρμανσης, Ψύξης και Κλιματισμού (**ASHRAE**, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning) , ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες. Είναι προφανές ότι η κατάσταση στην οποία ο χρήστης αισθάνεται θερμικά άνετα, έχει υποκειμενικό χαρακτήρα, διότι στο ίδιο περιβάλλον μπορεί ένα άτομο να εκφράζει την ικανοποίησή του με τις επικρατούσες θερμικές συνθήκες, ενώ κάποιο άλλο άτομο, με τις ίδιες συνθήκες να εκφράζει την δυσαρέσκειά του. Προκειμένου η κατάσταση της θερμικής άνεσης να αποκτήσει έναν αντικειμενικό χαρακτήρα μέσω επιστημονικής αξιολόγησης, ορίστηκαν ορισμένοι παράμετροι οι οποίες την επηρεάζουν και είναι οι εξής:

Φυσικές Παράμετροι:

- Θερμοκρασία του αέρα (°C)
- Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των εσωτερικών επιφανειών (°C)
- Η υγρασία και σχετική υγρασία του αέρα (Pa)
- Η ταχύτητα του εσωτερικού αέρα (m/s)
- Χωροταξική κατανομή των παραπάνω μεγεθών

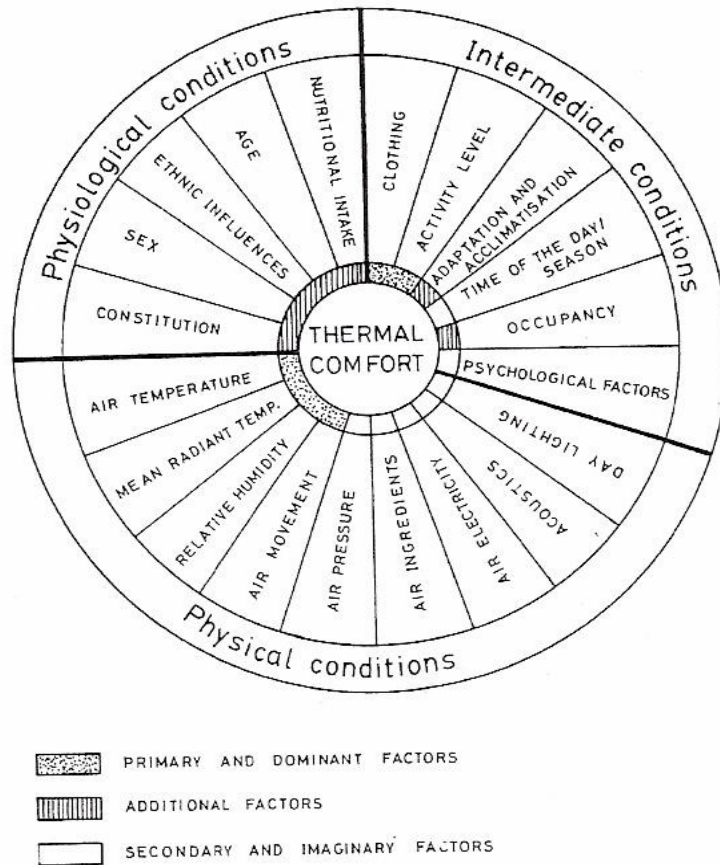
Βιολογικές Παράμετροι:

- Το φύλλο των χρηστών του χώρου
- Η ηλικία των χρηστών του χώρου
- Οι συνήθειες και προτιμήσεις των χρηστών του χώρου

Εξωτερικές Παράμετροι:

- Το είδος των δραστηριοτήτων των χρηστών του χώρου
- Ο τύπος του ρουχισμού των χρηστών του χώρου[5]





Εικόνα 1.2: Χάρτης θερμικής άνεσης[4]

### 1.3 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης

Εν γένει ονομάζουμε παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης τα δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τις αρχές της φυσικής (τους νόμους μεταφοράς θερμότητας) συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το γυαλί.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού, καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτηρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε υπάρχοντα κτήρια. [6]

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο που προσλαμβάνουν και διαχειρίζονται την ηλιακή ακτινοβολία, χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες συστήματα

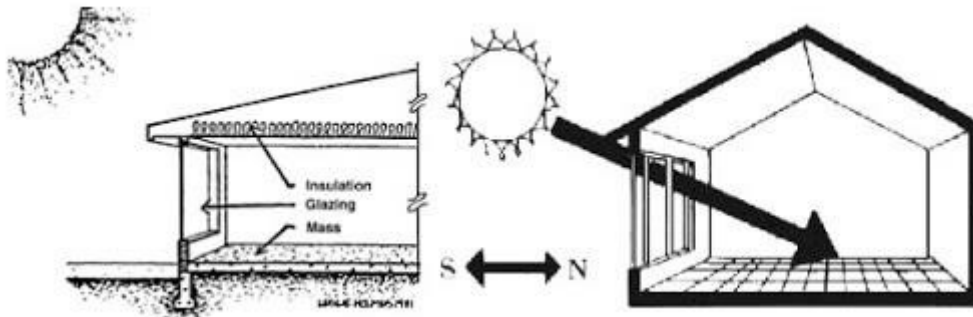
άμεσου ηλιακού κέρδους, συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους και συστήματα απομονωμένου κέρδους.

### 1.3.1 Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους

Το άμεσο ηλιακό κέρδος αποτελεί τον ευκολότερο και τον λιγότερο δαπανηρό τρόπο θέρμανσης ενός χώρου. Η θερμότητα του ήλιου συλλέγεται και αποθηκεύεται στους χώρους του σπιτιού. Η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται από ένα γυάλινο άνοιγμα, προσανατολισμένο στο νότο, και θερμαίνει τον χώρο. Η ηλιακή αυτή ακτινοβολία απορροφάται από δομικά στοιχεία όπως τοίχοι-πατώματα. Η θερμική μάζα αυτών των δομικών στοιχείων, συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των απότομων αλλαγών της θερμοκρασίας από την ήμερα στη νύχτα αλλά και στην αποθήκευση θερμότητας κατά τις περιόδους χωρίς ήλιο.

Οι προϋποθέσεις που απαιτούνται για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος είναι οι εξής:

- Ένα νότιο υαλοστάσιο με μεγάλη επιφάνεια
- Η θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου να είναι αρκετά μεγάλη ώστε οι μεταβολές της θερμοκρασίας να απορροφούνται.
- Μόνωση στην εξωτερική πλευρά του κελύφους.



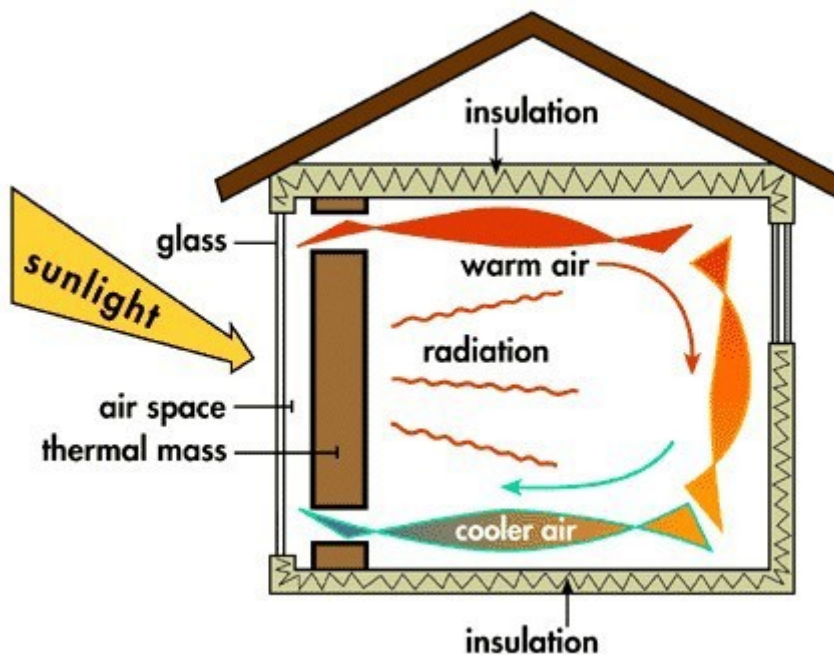
Εικόνα 1.3: Παθητικό σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους[7]

### 1.3.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα έμμεσου κέρδους, η θερμική μάζα συλλέγει και αποθηκεύει θερμότητα απευθείας από τον ήλιο και στη συνέχεια την μεταφέρει στον εσωτερικό χώρο. Η κύρια διαφορά με τα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους είναι ότι οι ακτίνες του ήλιου δεν διασχίζουν το χώρο αφού η θερμική μάζα είναι ουσιαστικά μια εξωτερική επιφάνεια στον

νότο. Τα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους διακρίνονται σε ηλιακούς τοίχους μάζας και τοίχους Trombe-Michael.

Όσον αφορά στον ηλιακό τοίχο μάζας, αποτελεί ένα σύστημα που περιλαμβάνει έναν τοίχο χωρίς θερμομόνωση προσανατολισμένο στο νότο με ένα γυάλινο άνοιγμα μπροστά του. Ανάμεσα τους υπάρχει ένα διάκενο στο οποίο γίνεται η θέρμανση του αέρα και σταδιακά θερμαίνεται και η εξωτερική πλευρά του τοίχου. Σημαντικό ρόλο παίζει η θερμοχωρητικότητα του τοίχου η οποία εξασφαλίζει την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας θερμότητας έτσι ώστε μέσω της χρονικής υστέρησης να αποδίδεται η αποθηκευμένη θερμότητα αργά το βράδυ όταν υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη.



Εικόνα 1.3:Σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους[8]

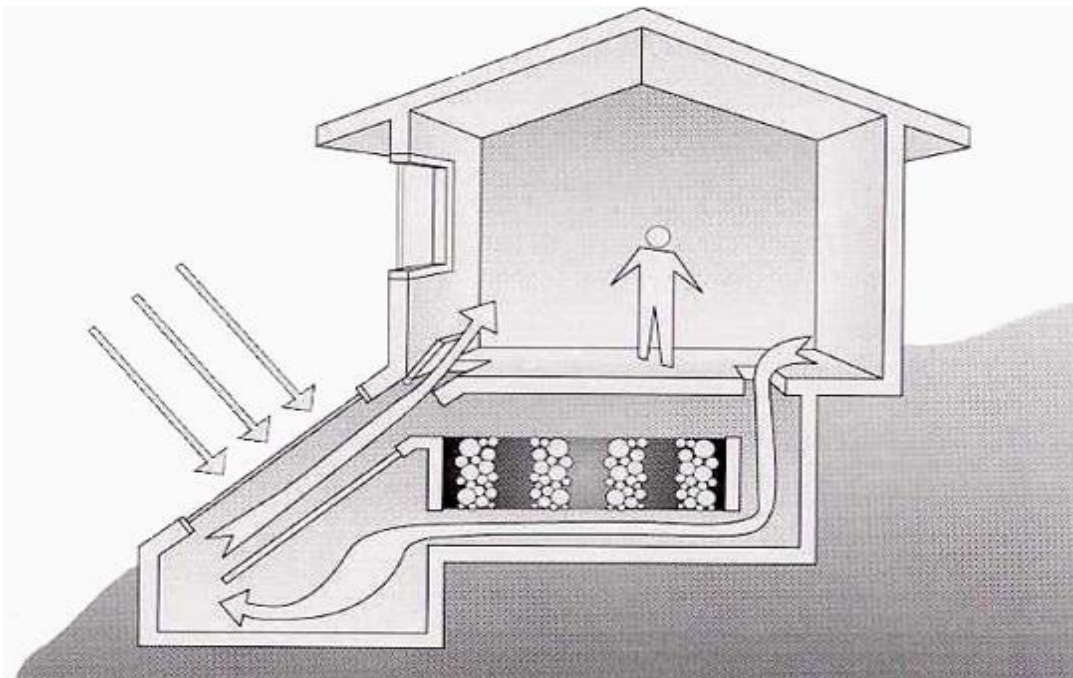
### 1.3.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Τα συστήματα απομονωμένου κέρδους είναι παρόμοια με τα συστήματα έμμεσου κέρδους. Η διαφορά τους είναι ότι η επιφάνεια συλλογής και η θερμική δεξαμενή διαχωρίζονται. Τυπικά παραδείγματα συστήματος απομονωμένου κέρδους είναι το προσαρτημένο θερμοκήπιο και το θερμοσιφωνικό πάνελ. Το προσαρτημένο θερμοκήπιο με απομονωμένη θερμική αποθήκη είναι μία παραλλαγή του προσαρτημένου θερμοκήπιου. Διαφέρει στη θερμική αποθήκη (μία μάζα από θραυστό υλικό που βρίσκεται εκτός του θερμαινόμενου χώρου). Το απομονωμένο θερμοσιφωνικό πάνελ λειτουργεί όπως και το θερμοσιφωνικό πάνελ που είναι προσαρτημένο στη όψη του κτηρίου, βρίσκεται όμως εκτός του κτηριακού περιβλήματος. Αποτελείται από υαλοπίνακα, διάκενο αέρα και

μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια, που φέρει μόνωση εξωτερικά. Θερμότητα που συλλέγεται στο διάκενο αέρα, μεταφέρεται μέσω αγωγών με θερμοσιφωνική ροή.

Για κάθε παθητικό ηλιακό σύστημα υπάρχουν διάφορες παράμετροι που καθορίζουν την απόδοση του,ορισμένες από αυτές αποτελούν κοινό τόπο:

- Το είδος του υαλοπίνακα : Το μονό τζάμι που έχει μεγαλύτερα ηλιακά κέρδη αλλά και μεγαλύτερες θερμικές απώλειες. Για περιοχές με μεσογειακό κλίμα το διπλό τζάμι είναι μία επιλογή, ενώ για πιο βόρεια κλίματα είναι δυνατή και η χρήση τριπλού υαλοπίνακα.
- Ο προσανατολισμός : Η συνηθέστερη επιλογή είναι του νότιου προσανατολισμού ή με μικρή απόκλιση.Μία εναλλακτική επιλογή είναι οι φεγγίτες ή τα οριζόντια ανοίγματα οροφής. Σε αυτές όμως τις περιπτώσεις πρέπει να γίνεται καλή σκίαση των ανοιγμάτων.
- Το μέγεθος του συστήματος: Είναι σημαντικό να γίνει μία σωστή διαστασιολόγηση για την μεγιστοποίηση της απόδοσης και την αποφυγή υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες.
- Τα υλικά κατασκευής.[10]



Εικόνα 1.4: Σύστημα απομονωμένο κέρδους[9]

## 1.4 Φυσικός αερισμός

Ο φυσικός αερισμός αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απομάκρυνσης της θερμότητας από το κτίριο τους θερμούς μήνες, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά μέσα. Αποτελεί τη

σημαντικότερη και συνηθέστερη μέθοδο φυσικού δροσισμού, εφόσον γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο.

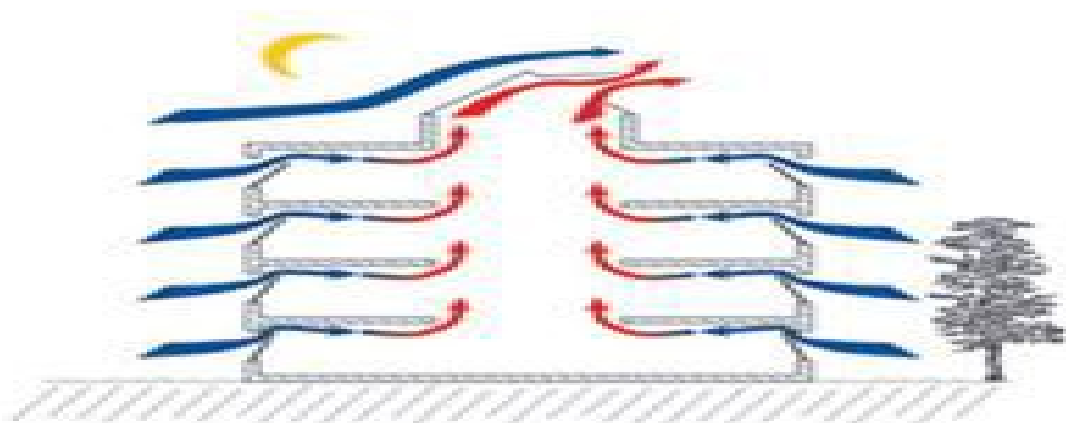
Με το φυσικό δροσισμό επιτυγχάνονται τρία πράγματα:

- Απομακρύνεται η θερμότητα από το κτίριο προς το εξωτερικό περιβάλλον, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες το επιτρέπουν
- Απομακρύνεται η αποθηκευμένη θερμότητα από τα δομικά στοιχεία του κτιρίου (όταν αυτά αποτελούνται από επαρκή θερμική μάζα)
- Απομακρύνεται θερμότητα από το ανθρώπινο σώμα, με αποτέλεσμα την αύξηση του επιπέδου θερμικής άνεσης ενός χώρου, ακόμα και σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες.

Εν γένει ο φυσικός αερισμός, ανάλογα με τον τρόπο που επιτυγχάνεται μπορεί να είναι:

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από ηλιακή καμινάδα

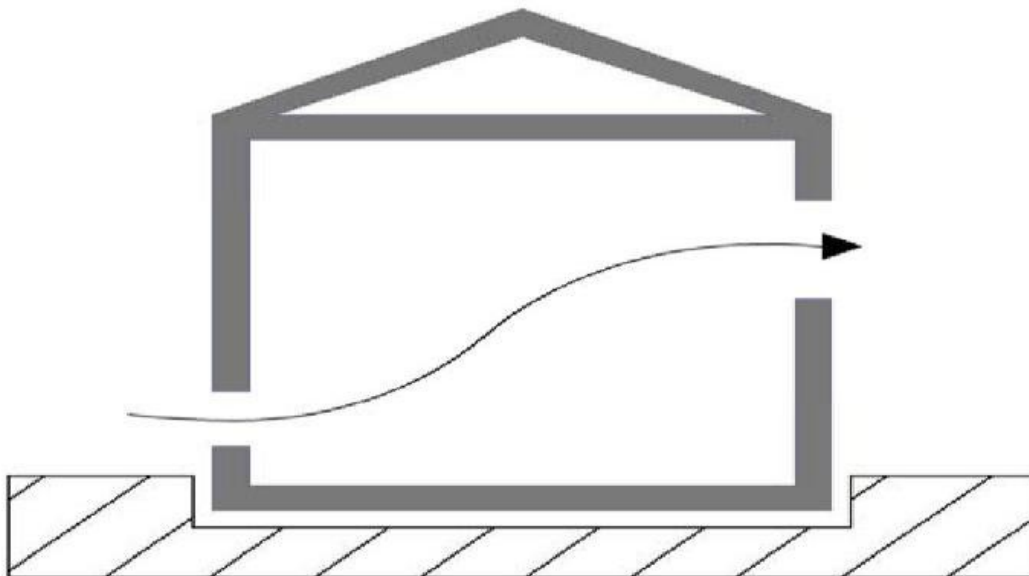
Ο φυσικός αερισμός μπορεί να γίνεται και εξωτερικά του κτιρίου ή και διαμέσου του κελύφους του, συμβάλλοντας έτσι στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κτιριακό κέλυφος (βλ. αεριζόμενο κέλυφος ).Ο φυσικός αερισμός των κτιρίων μπορεί να εξοικονομήσει μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας. Από μετρήσεις και ενεργειακές καταγραφές και προσομοιώσεις σε κατοικίες στην Ελλάδα, προκύπτει μείωση της τάξης του 75 με 100% του ψυκτικού φορτίου λόγω του αερισμού (εφόσον εφαρμόζεται επαρκής ηλιοπροστασία στα κτίρια), γεγονός που σημαίνει ότι μπορεί να υποκαταστήσει ένα κλιματιστικό σύστημα, καθώς δημιουργούνται συνθήκες θερμικής άνεσης μέσα στους χώρους.



Εικόνα 1.5:Φυσικός αερισμός κτιρίου[11]

Κύριοι τρόποι φυσικού αερισμού είναι οι εξής :

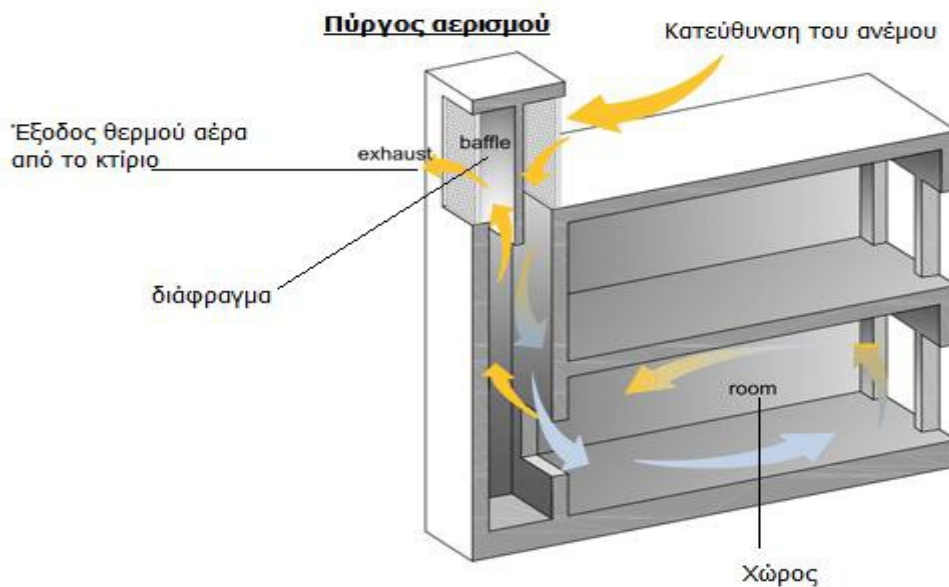
- Διαμπερής φυσικός αερισμός: Διαμπερής αερισμός επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό των ανοιγμάτων στο κέλυφος και στις εσωτερικές τοιχοποιίες. Θυρίδες στο άνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους και την απομάκρυνση της συσσωρευμένης θερμικής ενέργειας. Ο διαμπερής αερισμός επηρεάζεται από την εξωτερική και εσωτερική διαρρύθμιση του κτιρίου σε σχέση με τους επικρατούντες ανέμους. Η θέση του κτιρίου σε σχέση με τον πολεοδομικό ιστό, και εν γένει εξωτερικά εμπόδια διευκολύνουν ή ενισχύουν την είσοδο του αέρα μέσα στο κτίριο. Πλευρικοί τοίχοι προσαρτημένοι στα ανοίγματα (ανεμοπτερύγια) μπορούν να εκτρέψουν τον άνεμο εσωτερικά στο κτίριο, ενισχύοντας έτσι τη δυνατότητα φυσικού αερισμού. Ο νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει και στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, σαρώνοντας τις επιφάνειες του κτιρίου με δροσερό αέρα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.



Εικόνα 1.6: Διαμπερής φυσικός αερισμός [19]

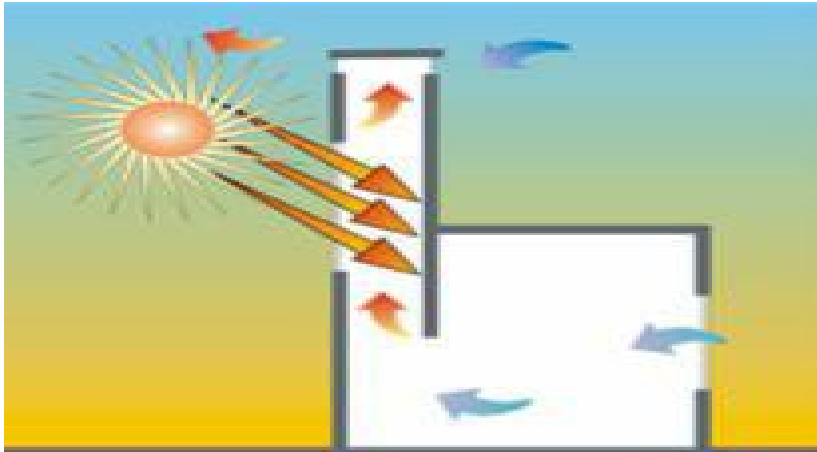
- Καμινάδα-πύργος αερισμού: Η καμινάδα αερισμού λειτουργεί αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, καθώς ο θερμός αέρας κινείται προς τα επάνω και έτσι δημιουργείται ρεύμα στο εσωτερικό των χώρων, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του κτιρίου. Η λειτουργία της καμινάδας αερισμού γίνεται σε συνδυασμό με κατάλληλα ανοίγματα του κτιρίου. Όταν δεν υπάρχει έντονο ρεύμα αέρα γύρω από το κτίριο, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ανεμιστήρα (υβριδικός αερισμός), ο οποίος ενσωματώνεται στο υψηλότερο τμήμα της καμινάδας, εξασφαλίζοντας συνεχή εναλλαγή του εσωτερικού αέρα. Ως καμινάδες αερισμού μπορεί να λειτουργούν κατάλληλα διαμορφωμένα κλιμακοστάσια ή και εσωτερικά αίθρια ή φωταγωγοί των κτιρίων. Σε περιοχές με έντονο άνεμο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής πύργων αερισμού, οι οποίοι προεξέχουν σημαντικά από την

οροφή του κτιρίου, φέρουν άνοιγμα προς την σημαντική κατεύθυνση του ανέμου και έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» τα ψυχρά ρεύματα αέρα και να τα κατευθύνουν μέσα στο χώρο, υποβοηθούμενοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, από ανεμιστήρα.



Εικόνα 1.7: Πύργος αερισμού[12]

- Ηλιακή καμινάδα: Πρόκειται για κατασκευή καμινάδας, η οποία φέρει στη νότια η νοτιοδυτική επιφάνειά της ( $\pm 30$  ο N) υαλοπίνακα αντί τοιχοποιίας (εν γένει έναν μικρό ηλιακό τοίχο) και περσίδες στο άνω τμήμα αυτής της πλευράς. Η λειτουργία της βασίζεται στο φαινόμενο Venturi και συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού και συνεπώς της ανανέωσης του αέρα μέσα στους χώρους. Καθώς επιτυγχάνει διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, η ηλιακή καμινάδα συνιστάται σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία κατά τη θερινή περίοδο.[11]



Εικόνα 1.8: Ηλιακή καμινάδα[11]

## 1.5 Φυσική ψύξη-δροσισμός

Ο φυσικός δροσισμός αποτελεί την εναλλακτική πρακτική για την εξασφάλιση συνθηκών θερμικής άνεσης στα κτίρια το καλοκαίρι, σε μια εποχή όπου η αύξηση της εγκατάστασης και χρήσης κλιματιστικών μονάδων και συστημάτων είναι ραγδαία και επιφέρει σημαντικά ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά προβλήματα καθώς τα κλιματιστικά συστήματα καταναλώνουν πολύ μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνουν σημαντικά το ηλεκτρικό φορτίο αιχμής της χώρας, αλλά και θερμαίνουν με τη λειτουργία τους το εξωτερικό περιβάλλον.

Τεχνικές φυσικού και υβριδικού δροσισμού μπορούν να εφαρμοστούν τόσο σε κατοικίες, όσο και σε άλλα κτίρια. Για ορισμένες κατηγορίες κτηρίων (π.χ. κατοικίες και σχολεία) η εφαρμογή τους συνεπάγεται την κατάργηση της ανάγκης εγκατάστασης συστήματος κλιματισμού, για άλλες δε κατηγορίες τη σημαντική μείωση των ψυκτικών τους φορτίων και το χρόνο λειτουργίας των συστημάτων αυτών.

Βασικές βιοκλιματικές τεχνικές και συστήματα φυσικού και υβριδικού δροσισμού είναι η ηλιοπροστασία/σκιασμός του κτιρίου και ο κατάλληλος φυσικός (ή υβριδικός, με χρήση ανεμιστήρα) αερισμός. Με το φυσικό δροσισμό, εκτός της εξοικονομούμενης ενέργειας, βελτιώνονται σημαντικά οι συνθήκες άνεσης μέσα στους χώρους, ακόμα και σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες.

Υπάρχουν οι ακόλουθοι τρόποι ψύξης:

- Μέσω εδάφους
- Μέσω εξάτμισης
- Μέσω ακτινοβολίας



## **1.5.1 Ψύξη μέσω εδάφους**

### **1.5.1.1 Υπόσκαφα ή ημιυπόσκαφα κτίρια**

Η κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτιρίων, εφόσον τοπογραφικές και άλλες συνθήκες το συνιστούν, συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του ψυκτικού φορτίου των κτιρίων. Κατά τους θερμούς μήνες, το έδαφος βρίσκεται σε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον και, ερχόμενο σε επαφή με το κτιριακό κέλυφος, βοηθά στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο. Το χειμώνα, η επαφή του κτιρίου με το έδαφος μειώνει τις θερμικές απώλειες προς το ψυχρό περιβάλλον.

Σε περιοχές με πολύ ψυχρούς χειμώνες συνιστάται η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το έδαφος, ενώ σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια συνιστάται να παραμένει δίχως μόνωση ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή προς το έδαφος.

Στα σημεία κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία που πλησιάζει αυτή του εξωτερικού αέρα, συνιστάται περιμετρική θερμομόνωση για παρεμπόδιση της μετάδοσης της θερμότητας στο κτίριο. [13]

### **1.5.1.2 Υπεδάφιο σύστημα αγωγών (εναλλάκτες εδάφους - αέρα)**

Είναι σύστημα μεταλλικών αγωγών (ή PVC) που τοποθετούνται σε βάθος 1-3μ. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την ψύξη των κτιρίων το καλοκαίρι, οπότε και αξιοποιεί το έδαφος του οποίου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη κάτω από την επιφάνεια ως απαγωγέα της θερμότητας.

Ο αέρας εισάγεται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε από το εσωτερικό του κτιρίου, κυκλοφορεί στο δίκτυο αγωγών με τη βοήθεια φυσητήρων και εισέρχεται στο κτίριο ψυχρότερος.

Παράλληλα, το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα.

Το σύστημα αυτό μπορεί να συνδυαστεί με σύστημα κλιματισμού, συντελώντας στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη και θέρμανση του κτιρίου, καθώς μειώνει την θερμοκρασιακή διαφορά εισερχόμενου-εξερχόμενου αέρα από το σύστημα, και συνεπώς μειώνει την εγκατεστημένη ισχύ του συστήματος και την ενέργεια που αυτό καταναλώνει. [13]



Εικόνα 1.9: Σύστημα ψύξης υπεδάφιο [13]

### 1.5.2 Ψύξη μέσω εξάτμισης

Για να μπορέσει το νερό να μεταβεί από την υγρή φάση σε αέρια, να γίνει δηλαδή ατμός απαιτείται ένα ποσό θερμότητας το οποίο ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Ο αέρας, διερχόμενος από κάποιο σώμα νερού και προκαλώντας την εξάτμισή του, ψύχεται, ενώ εμπλουτίζεται με υδρατμούς. Όταν ο αέρας αυτός εισέρχεται απ' ευθείας στο κτίριο έχουμε άμεσο εξατμιστικό δροσισμό, ενώ όταν ψύχει το κέλυφος του κτιρίου ή κάποιον σωλήνα, τότε έχουμε έμμεσο εξατμιστικό δροσισμό.

Επειδή η άμεση ψύξη από εξάτμιση ανεβάζει τα επίπεδα υγρασίας των εσωτερικών χώρων πρέπει να υπάρχει ένας αποτελεσματικός ρυθμός ανανέωσης του αέρα. Τα συστήματα άμεσης ψύξης από εξάτμιση περιλαμβάνουν λίμνες, σιντριβάνια, κρήνες, υδάτινους πίδακες κοντά στο κτίριο, σε εσωτερικές αυλές και αίθρια.

Οι τεχνικές έμμεσου εξατμιστικού δροσισμού είναι οι ανοιχτές λίμνες οροφής και ο ψεκάσμος των δωματίων με νερό.[14]



Εικόνα 1.10: Ψύξη μέσω εξάτμισης[14]

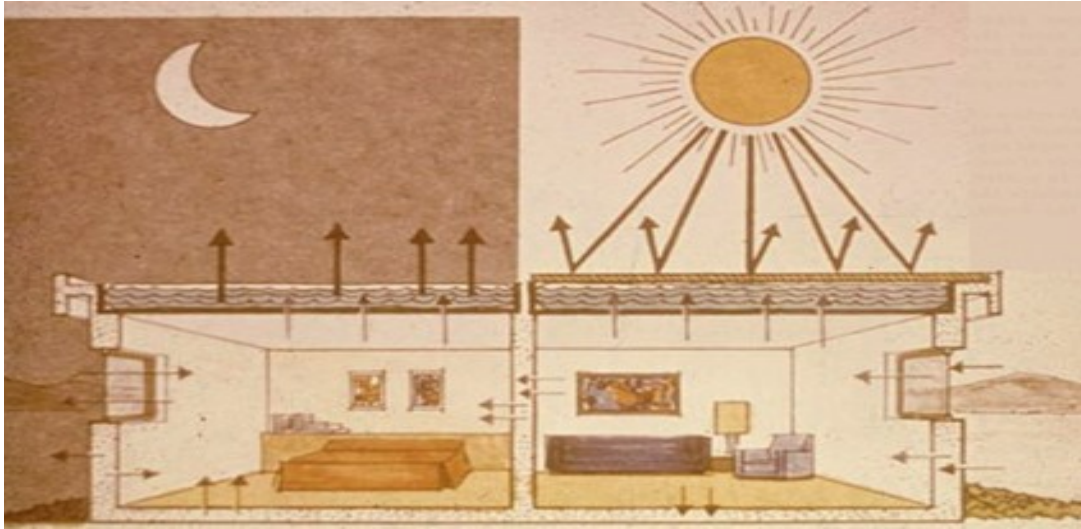
### 1.5.3 Ψύξη μέσω ακτινοβολίας

Όλες οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων ακτινοβολούν θερμότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας προς τον ουρανό. Όσο λιγότερα σύννεφα υπάρχουν και όσο χαμηλότερη είναι η υγρασία που περιέχεται στον αέρα, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται.

Για να είναι αποτελεσματική η νυχτερινή ακτινοβολία θα πρέπει οι επιφάνειες που ακτινοβολούν να βλέπουν τον ουρανό. Κατά συνέπεια, οι οροφές των κτιρίων ακτινοβολούν το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας. Επί πλέον, θα πρέπει η επιφάνεια ακτινοβολίας να είναι έτσι κατασκευασμένη, ώστε η συσσωρευμένη κατά τη διάρκεια της ημέρας θερμότητα να έχει τη δυνατότητα να διοχετευθεί, μέσω κατάλληλης κατασκευής, προς την εξωτερική επιφάνεια του κελύφους.

Επειδή πρακτικά η νυχτερινή ακτινοβολία μεγάλης ποσότητας θερμικής ενέργειας από το κτίριο προϋποθέτει οροφή χωρίς μόνωση, ενώ η μόνωση της οροφής είναι απαραίτητη για την προστασία του κτιρίου από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια της ημέρας, το σύστημα δροσισμού μέσω νυχτερινής ακτινοβολίας αποτελεί πάντα μια ειδική κατασκευή.

Τα συνηθέστερα συστήματα νυχτερινής ακτινοβολίας είναι ο μεταλλικός ακτινοβολητής τοποθετημένος στην οροφή του κτιρίου και η λίμνη οροφής. [15]

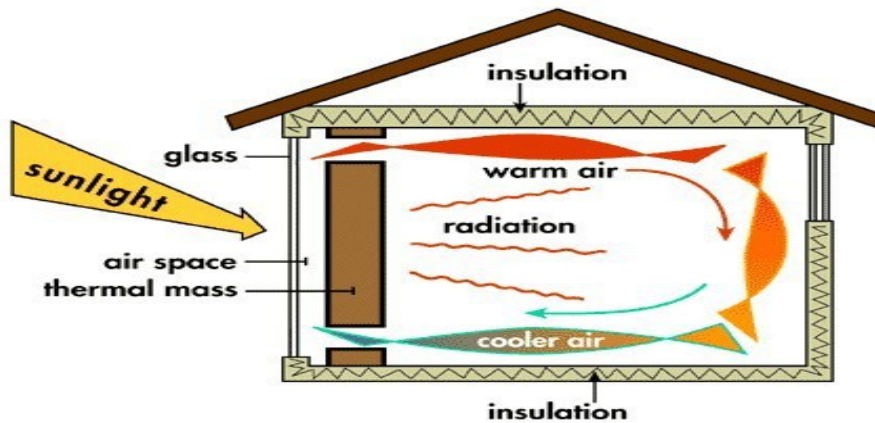


Εικόνα 1.11: Ψύξη μέσω εξάτμισης σε κτίριο με λίμνη οροφής [15]

## 2.Τοίχος Trombe

### 2.1.1 Τοίχοι θερμικής αποθήκευσης

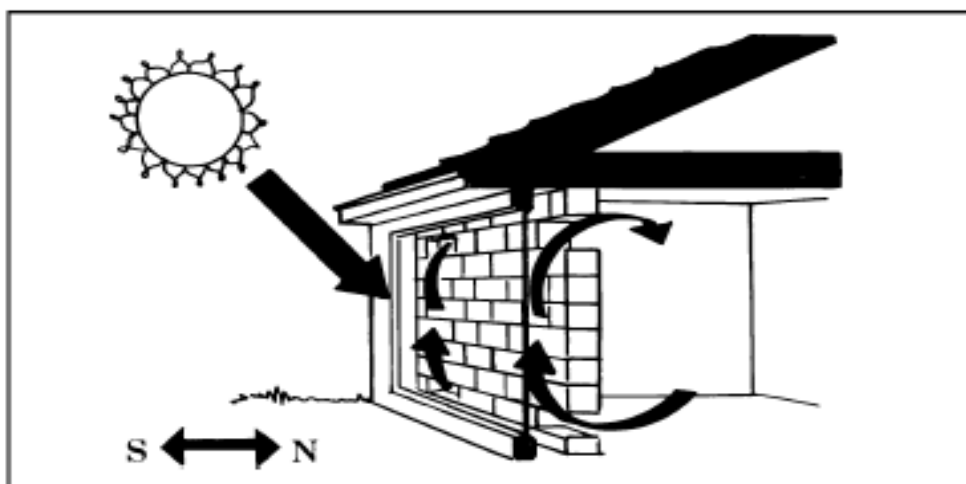
Ο τοίχος Trombe είναι το πιο κοινό σύστημα παθητικής ηλιακής θέρμανσης. Είναι ένας τοίχος θερμικής αποθήκευσης σε σκουρόχρωμη επίστρωση στην εξωτερική του επιφάνεια που στοχεύει στη συγκέντρωση ηλιακής ακτινοβολίας. Το 1881 ο Edward Morse διερεύνησε την ιδέα της χρήσης ηλιακής ενέργειας ως θέρμανση ενός κτηρίου την οποία και έκανε πατέντα. Το 1960 οι μηχανικοί Felix Trombe και Jacques Michel τελειοποίησαν την ιδέα του Edward Morse οι οποίοι έκαναν τις πρώτες πειραματικές δοκιμές ηλιακών σπιτιών στο Odeillo της Γαλλίας το 1967.



Εικόνα 2.1:Απεικόνιση της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου trombe με την είσοδο του θερμού αέρα στον χώρο και την εξαγωγή του κρύου στο κενό.[16]

Ο τοίχος Trombe αποτελείται από ένα υαλοστάσιο,διάκενο πάχους 5-15 cm και έναν τοίχο υψηλής θερμοχωρητικότητας στον οποίο πάνω και κάτω υπάρχουν θυρίδες για την διακίνηση του αέρα.Η βασική λειτουργία του θερμικού τοίχου είναι να συλλέγει ηλιακή ενέργεια, να την αποθηκεύει και μετά να την διανέμει στο εσωτερικό του χώρου.

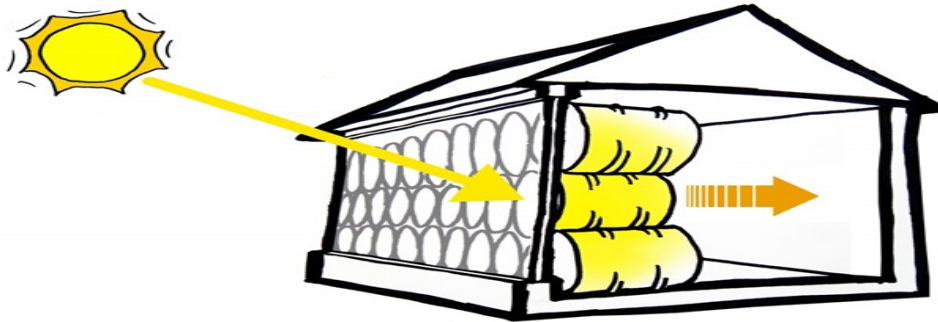
Υπάρχουν αρκετοί τύποι ηλιακών τοίχων πού οι αρχές λειτουργίας τους,τα υλικά κατασκευής τους αλλά και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά τους διαφέρουν.Οι τοίχοι που η μεταφορά του θερμού αέρα για τη θέρμανση του χώρου γίνεται μέσω θυρίδων λέγονται απομονωμένοι τοίχοι συσσώρευσης.Όσοι τοίχοι μεταφέρουν την θερμότητα μέσω αγωγής δίχως να έχουν θυρίδες πάνω και κάτω λέγονται τοίχοι μάζας.Υπάρχουν τοίχοι που αντί να έχουν τα συνήθη δομικά υλικά από μπετόν ή σκυρόδεμα αποτελούνται από ένα σύνολο κοντέινερ με νερό.Τέλος η πιο συνηθισμένη περίπτωση είναι τοίχος μάζας ο οποίος περιέχει θυρίδες πάνω και κάτω,όπως ο τοίχος Trombe.[17]



Εικόνα 2.2:Τυπικό σύστημα Trombe τοίχου υαλοπίνακα και της ανακυκλοφορίας που επιτυγχάνεται.[16]

## 2.1.2 Παραλλαγές τοίχου Trombe

Οι τοίχοι νερού αποτελούν τοίχους θερμικής αποθήκευσης οι οποίοι αποτελούνται από μεταλλικά δοχεία σκούρου χρώματος που περιέχουν νερό. Ο τοίχος νερού είναι αρκετά αποδοτικός λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του νερού, μεταφέροντας με αυτό τον τρόπο την θερμότητα στο εσωτερικό του χώρου. Υπάρχουν δύο παραλλαγές, η πρώτη τοποθετεί τον τοίχο νερού στο εξωτερικό μέρος του κτιρίου με αποτέλεσμα να βρίσκεται εκτεθειμένος με το περιβάλλον και την ηλιακή ακτινοβολία. Η δεύτερη παραλλαγή έχει τον τοίχο νερού πίσω από ένα υαλοστάσιο όπου ανάμεσά τους υπάρχει διάκενο.



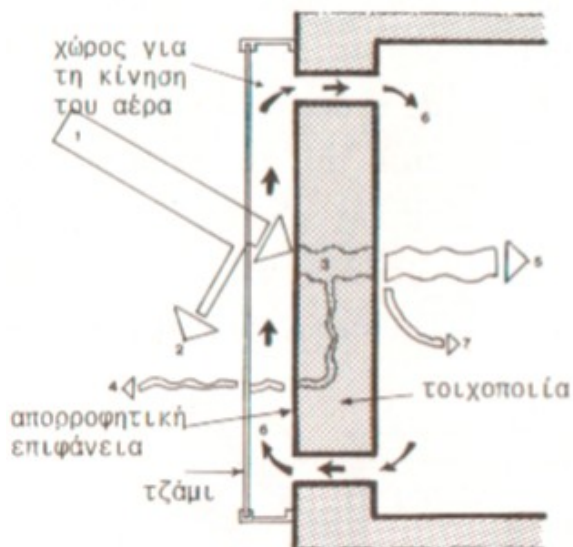
Εικόνα 2.3: Τοίχος νερού[18]

## 2.2 Γενική λειτουργία

Η αρχή λειτουργίας ενός τοίχου Trombe βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου για την δέσμευση της ηλιακής ενέργειας ενός τοίχου μάζας. Η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά από το υαλοστάσιο και προσπίπτει μέσω του διακένου στην εξωτερική σκουρόχρωμη επιφάνεια του τοίχου. Στη συνέχεια αφού απορροφηθεί από τον τοίχο, η θερμική ενέργεια διαχέεται στην εσωτερική επιφάνεια. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται επάνω στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου είναι αρκετά υψηλές και μπορούν να φτάσουν και τους 65-70 °C ανάλογα τα χαρακτηριστικά του τοίχου και τις κλιματικές συνθήκες.

Οι βασικοί παράγοντες που διαμορφώνουν το τοίχος να μπορεί να είναι αποτελεσματικό στην απορρόφηση και αποβολή της θερμότητας είναι οι εξής:

- Συντελεστής απορρόφησης τοίχου
- Θερμοχωρητικότητα του τοίχου
- Θερμική αγωγιμότητα τοίχου
- Γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του τοίχου
- Το χρώμα του τοίχου



1. προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.
2. ανακλώμενη ακτινοβολία από τη γυάλινη επιφάνεια.
3. θερμική ενέργεια που απορροφάται από τον τοίχο.
4. θερμότητα που χάνεται από τον τοίχο.
5. θερμότητα που ακτινοβολείται από τον τοίχο προς τα μέσα με χρονική καθυστέρηση.
6. θερμότητα που μεταφέρεται από τον αέρα.
7. θερμότητα που μεταφέρεται από την επιφάνεια του τοίχου.

Εικόνα 2.4: Παράγοντες που επηρεάζουν την αποτελεσματικότητα της συναλλαγής ενέργειας.[3]

## 2.3 Κύρια μέρη τοίχου Trombe

### 2.3.1 Υαλοστάσιο

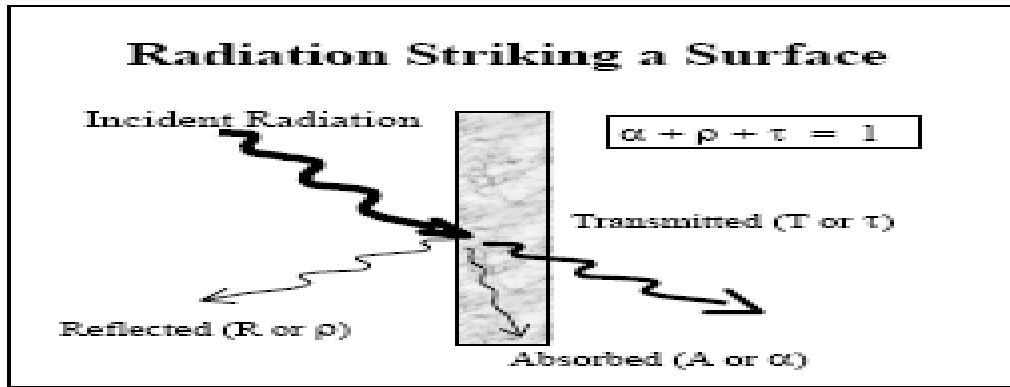
Το υαλοστάσιο αποτελεί βασικό στοιχείο του τοίχου Trombe. Ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες του εξεταζόμενου σημείου χρησιμοποιείται μονό ή διπλό υαλοστάσιο. Σε κρύες κλιματολογικές συνθήκες συνίσταται η χρήση διπλού υαλοστασίου που έχει υψηλή θερμική αντίσταση. Σκοπός του είναι να επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας και να περιορίσει την διαφυγή της θερμικής ενέργειας προς το περιβάλλον. Σε ένα κατάλληλο υαλοστάσιο η μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά για να θερμανθεί ο τοίχος ενώ συγκρατεί την μεγάλη μήκους.

Οι βασικές ενεργειακές παράμετροι που πρέπει να έχει το υαλοστάσιο για την κατάλληλη χρήση του είναι οι ακόλουθες:

- Συντελεστής θερμοπερατότητας U-value
- Συντελεστής ηλιακών θερμικών κερδών από τους υαλοπίνακες
- Διαπερατότητα του τζαμιού στο ορατό κομμάτι του φάσματος

Η επιλογή υαλοπίνακα αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου. Τα σημαντικότερα κριτήρια επιλογής μπορούν να συνοψισθούν ως ακολούθως:

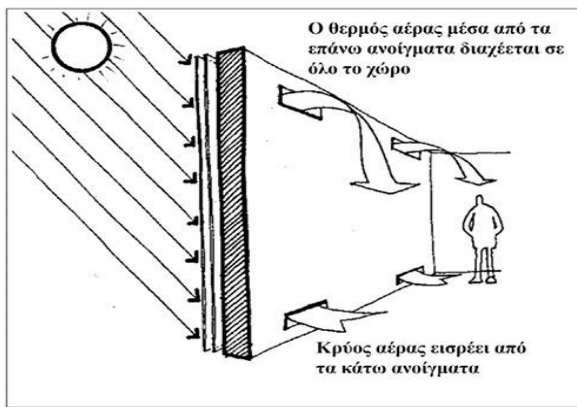
- Θερμική συμπεριφορά-θερμομόνωση
- Αντίσταση στην υπεριώδη ακτινοβολία
- Υψηλή αντίσταση σε διάβρωση
- Ανθεκτικότητα και διάρκεια ζωής



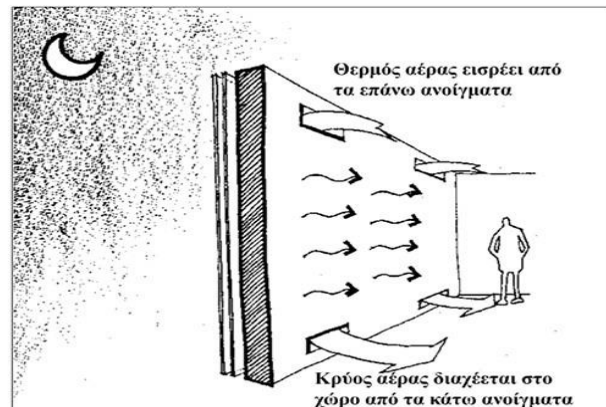
Εικόνα 2.5:Μετάδοση θερμότητας σε υαλοπίνακα με ακτινοβολία και ενεργειακό ισολογισμό που (α) είναι η απορροφητικότητα, (ρ) η ανακλαστικότητα και (τ) η οπτική διαπερατότητα.[16]

### 2.3.2 Διάκενο

Το διάκενο επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία τόσο του τοίχου μάζας όσο και την θερμοκρασία του αέρα που βρίσκεται σε αυτό.Στο διάκενο μεταξύ του υαλοπίνακα και του τοίχου παρατηρείται το φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού.Ο αέρας που βρίσκεται εκεί θερμαίνεται από τον τοίχο και κινείται προς τα επάνω,εξέρχεται από την άνω θυρίδα θερμαίνοντας το εσωτερικό χώρο,ενώ στη συνέχεια στο διάκενο εισέρχεται ο κρύος αέρας του χώρου από την κάτω θυρίδα.Απο μελέτες έχει προκύψει οτι το διάκενο κυμαίνεται από 5-15 cm,ενώ συνίσταται να είναι 10cm.



α



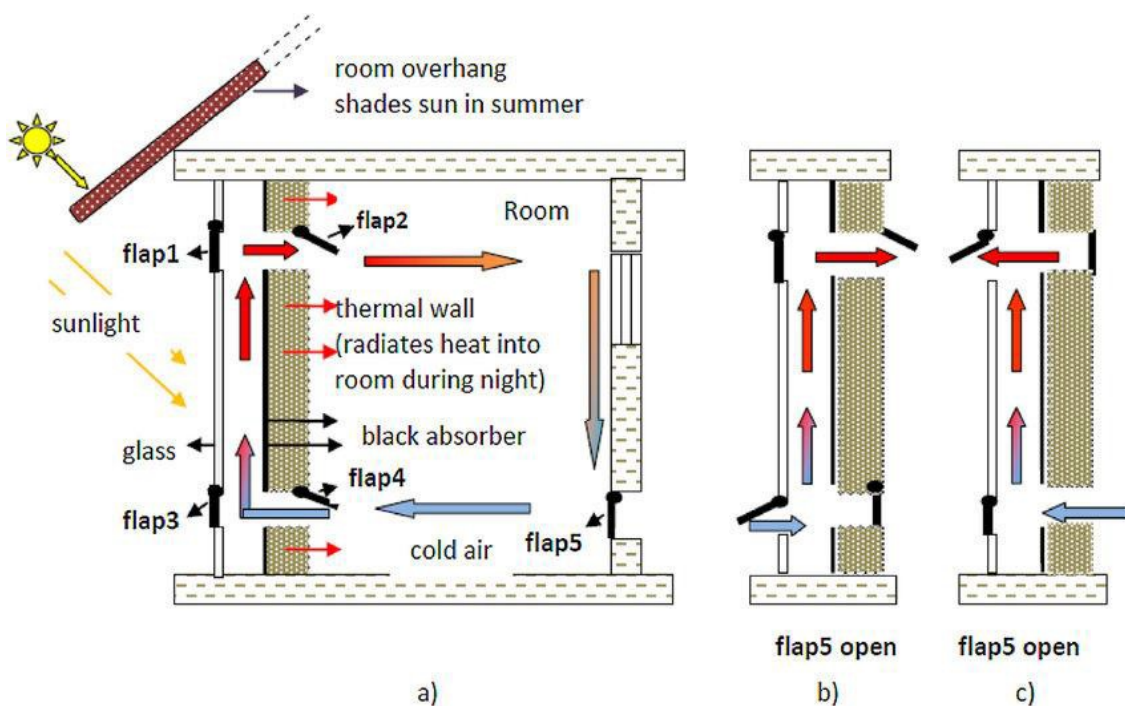
β

Εικόνα 2.6: Φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού[7]



### 2.3.3 Θυρίδες εξαερισμού

Η συνολική επιφάνεια των θυρίδων προτείνεται να είναι το 1-2% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου Trombe ενώ η κατακόρυφη απόσταση τους πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 2 μέτρων ώστε να δημιουργείται το φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού. Το μέγεθος των θυρίδων αποτελεί μια πολύ σημαντική παράμετρο του τοίχου Trombe καθώς η λάθος εκτίμησή τους μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα υπερθέρμανσης ή μείωσης της θερμότητας που μεταφέρεται στο χώρο. Υπάρχουν δύο μέθοδοι αξιοποίησης των θυρίδων. Η πρώτη είναι να βρίσκονται οι θυρίδες πάνω στο υαλοστάσιο για αποφυγή της υπερθέρμανσης. Στην περίπτωση που ο τοίχος αποθήκευσης δεν έχει θυρίδες είναι αναγκαίο η ύπαρξη θυρίδων πάνω και κάτω στο υαλοστάσιο. Όταν ο τοίχος αποθήκευσης έχει θυρίδες τότε στο υαλοστάσιο χρειάζεται η πάνω θυρίδα καθώς η κάτω επιτρέπει την εισαγωγή κρύου αέρα.

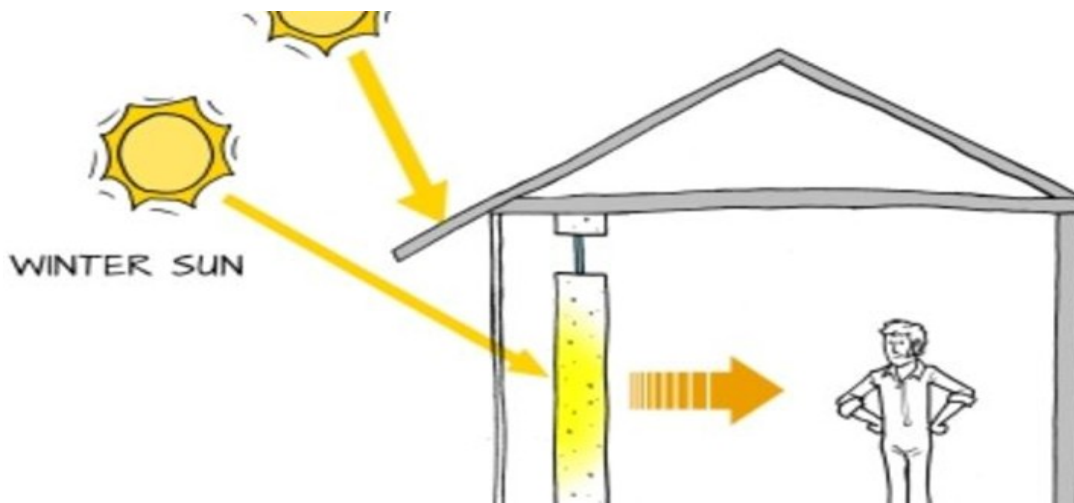


Εικόνα 2.7: Θυρίδες εξαερισμού [7]

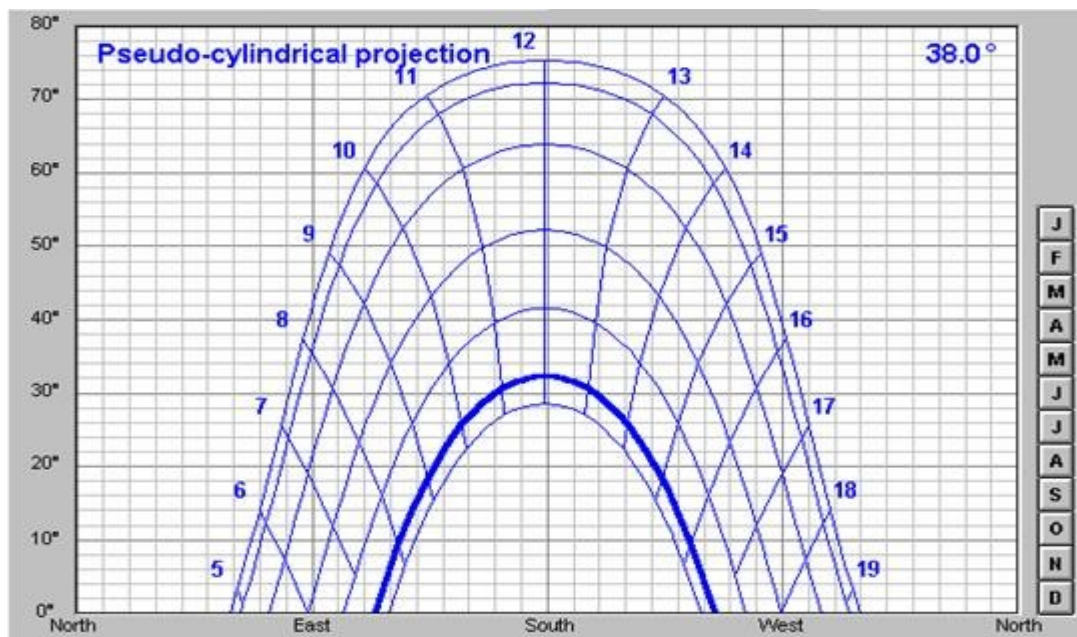
### 2.3.4 Προεξοχή οροφής

Η προεξοχή οροφής χρησιμοποιείται για σκίαση του τοίχου ειδικά του θερινούς μήνες για να αποφύγουμε την υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου. Τον χειμώνα δεν επηρεάζεται η θέρμανση μέσω του τοίχου καθώς οι ακτίνες του ηλίου είναι πιο χαμηλά στον ορίζοντα την εποχή εκείνη. Το μέγεθος της προεξοχής εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου βρίσκεται το κτίριο. Για τον ακριβή υπολογισμό της θέσης του ηλίου για κάθε ώρα της ημέρας χρησιμοποιούνται τα ηλιακά διαγράμματα καθώς και υπολογιστικά προγράμματα.

Τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την προεξοχή οροφής είναι σκυρόδεμα, αλουμίνιο και πλαστικό. Υπάρχουν δύο κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται οι προεξοχές, στις οριζόντιες που συνιστώνται για νότιο προσανατολισμό και στις κατακόρυφες που είναι κατάλληλες για ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό.[19]



Εικόνα 2.8: Εικόνα προεξοχής οροφής[17]



Εικόνα 2.9: Ηλιακό διάγραμμα για το γεωγραφικό πλάτος της Αθήνας (38ο βόρειο ΓΠ)[20]

## 2.3.5 Τοίχος μάζας

Ο τοίχος μάζας είναι το πιο σημαντικό κομμάτι του παθητικού συστήματος μας καθώς είναι υπεύθυνο για την συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Τα συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το σκυρόδεμα, το νερό, το τούβλο ή άλλα δομικά υλικά.

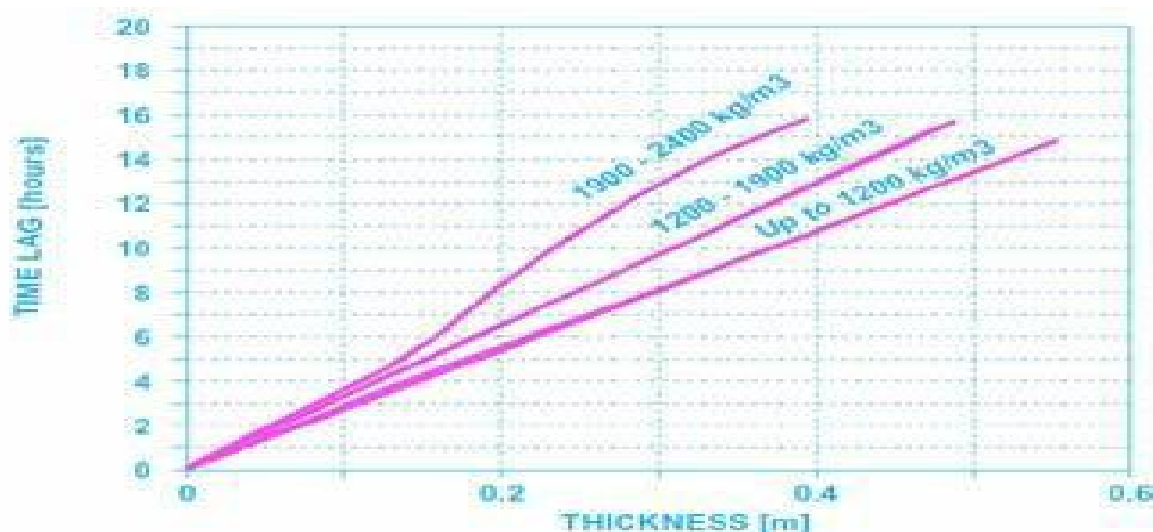
Ο βαθμός απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας του τοίχου μάζας έχει καθοριστική σημασία στην απόδοσή του, για αυτό όπως αναφέραμε και προηγουμένως ο τοίχος πρέπει να είναι σκουρόχρωμος.

Η επιλογή του πάχους του τοίχου μάζας εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες καθώς καθορίζει την τιμή της αντίστασης μεταφοράς θερμότητας. Το πάχος και τα υλικά του τοίχου μάζας πρέπει να καθορίζονται βάσει του κόστους και των θερμικών χαρακτηριστικών τους.

Τα κύρια θερμικά χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται για τον τοίχο μάζας είναι τα ακόλουθα:

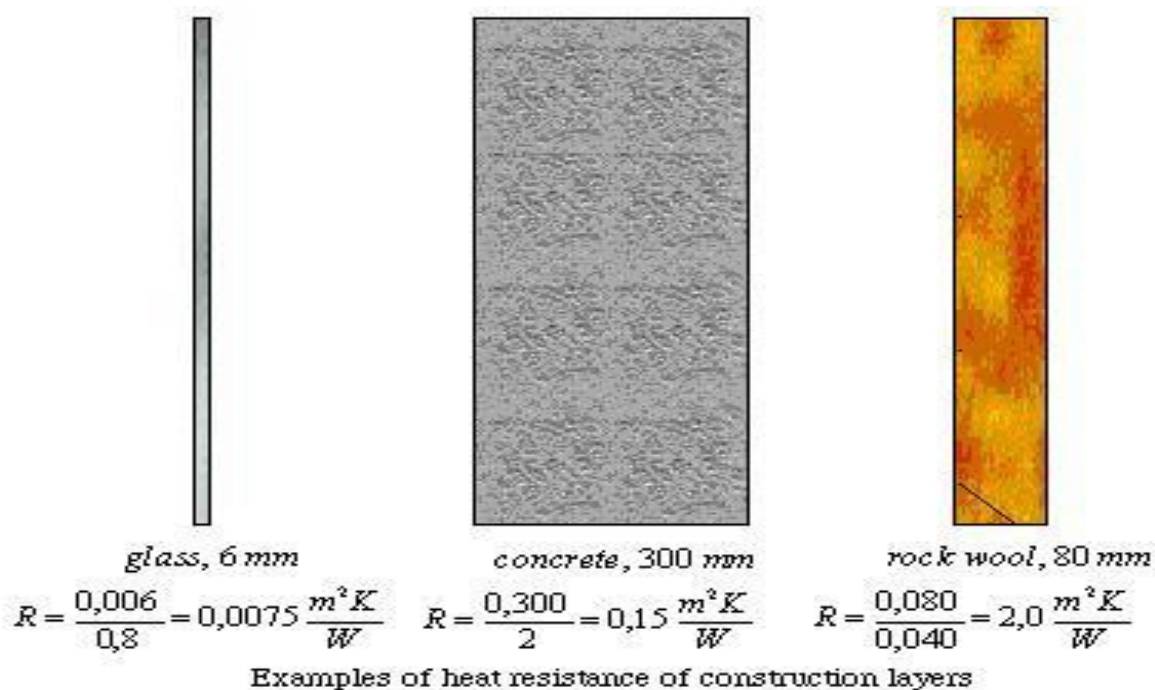
- Η θερμική αγωγιμότητα είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό του τοίχου μας καθώς αποτελεί το μέτρο που προσδιορίζει την ευκολία ή δυσκολία διάδοσης της θερμότητας μέσω ενός υλικού.
- Η θερμοχωρητικότητα ονομάζεται το πηλίκο του ποσού θερμότητας  $dQ$  που προσφέρουμε σε ένα σώμα για να προκαλέσουμε μεταβολή της θερμοκρασίας του κατά  $dT$  προς τη μεταβολή  $dT$ , δηλαδή  $C=dQ/dT$
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα ή ειδική θερμότητα ενός υλικού ονομάζεται η θερμοχωρητικότητα ανά μονάδα μάζας.
- Η πυκνότητα που εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου.
- Η θερμοκρασιακή αγωγιμότητα που συνδέεται με τη μεταφορά θερμότητας σε ένα σώμα, όταν η θερμοκρασία του μεταβάλλεται με το χρόνο, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι η τιμή της θερμοκρασιακής αγωγιμότητας, τόσο ταχύτερα διαχέεται η θερμότητα στο υλικό.

Η χρονική υστέρηση που μεσολαβεί από τη στιγμή της μέγιστης εξωτερικής θερμοκρασίας μέχρι τη στιγμή που μεγιστοποιείται η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία, εκφράζεται σε ώρες και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα των υλικών. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοχωρητικότητα και το πάχος ενός υλικού τόσο αργότερα γίνεται η ροή της θερμότητας.



Εικόνα 2.10:Χρονική υστέρηση σε σχέση με το πάχος του υλικού και τη πυκνότητα[19]

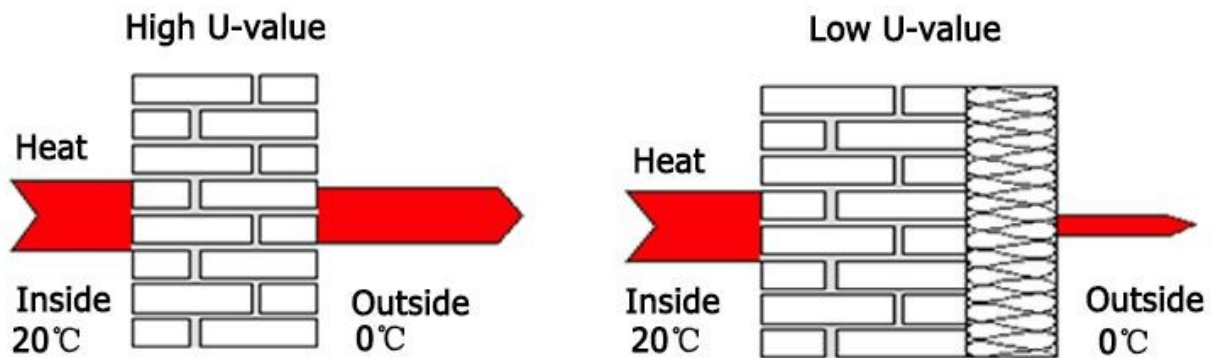
Η θερμική αντίσταση (R-value) είναι η αντίσταση υλικού εμβαδού 1 m<sup>2</sup> σε διαφορά θερμοκρασίας 1 Κ.Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της θερμικής αντίστασης (R-value) τόσο καλύτερη μόνωση παρέχει το υλικό με λιγότερες θερμικές απώλειες.



Εικόνα 2.11: Παραδείγματα θερμικής αντίστασης (R-value)[19]

Σημαντική παράμετρος για την αξιολόγηση των δομικών στοιχείων είναι ο συντελεστής θερμοπερατότητας ( U-value) που καθορίζει πόσο εύκολα μεταφέρεται η θερμότητα.Είναι δηλαδή το αντίστροφο της θερμικής αντίστασης.Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του,τόσο μικρότερη είναι η μετάδοση θερμότητας άρα τόσο χαμηλότερες είναι και οι θερμικές

απώλειες. Ορίζεται ως ο ρυθμός που μεταδίδεται η θερμότητα από ένα υλικό ανά μονάδα επιφάνειας και ανά μονάδα θερμοκρασιακής διαφοράς στις δύο πλευρές του υλικού.



Εικόνα 2.12: Συντελεστής θερμοπερατότητας (U-value)[19]

## 3. Πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS

### 3.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το πρόγραμμα TRNSYS (Transient System Simulation Program) είναι ένα ευέλικτο πρόγραμμα προσομοίωσης μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο συμπεριλαμβανομένων και των πολυζωνικών κτιρίων (multi-zone buildings). Το TRNSYS είναι ένα εμπορικό πακέτο λογισμικού που αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο του Wisconsin και το οποίο έχει διατεθεί στο εμπόριο από το 1975. Χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς και ερευνητές για μελέτη διαφόρων ενεργειακών συστημάτων, καθώς διαθέτει ένα ευρύ φάσμα θερμικών και ηλεκτρικών στοιχείων αλλά και για τον σχεδιασμό του εξοπλισμού των κτιρίων. Μια πρωτότυπη εφαρμογή που πρόσφερε το λογισμικό ήταν η ανάλυση σε δυναμική προσομοίωση της συμπεριφοράς ενός ηλιακού συστήματος ζεστού νερού για ένα τυπικό μετεωρολογικό έτος ώστε να μπορεί να εκτιμηθεί η μακροπρόθεσμη εξοικονόμηση κόστους ενός τέτοιου συστήματος.

Το TRNSYS περιέχει μια βιβλιοθήκη με περίπου 150 στοιχεία (components) που το καθένα από αυτά μοντελοποιεί ένα στοιχείο του συστήματος. Τα στοιχεία αυτά μπορεί να είναι από αντλίες θερμότητας, ανεμογεννήτριες, ηλιακούς συλλέκτες, δοχεία αδράνειας, κυκλοφορητές, θερμοστάτες, επεξεργαστές δεδομένων καιρού, θερμικοί τοίχοι αποθήκευσης κλπ.

Οι λόγοι που οδήγησαν το TRNSYS να είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα προγράμματα στην κατηγορία του είναι εξαιτίας της αρχιτεκτονικής του, καθώς δίνεται στον χρήστη η δυνατότητα δημιουργίας μοντέλων χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού όπως η C, C++, Fortran και άλλες. Επίσης ο χρήστης έχει την δυνατότητα μέσω του TRNSYS να χρησιμοποιήσει και άλλες εφαρμογές Excel, Matlab κατά την διαδικασία της προσομοίωσης.

Οι εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται είναι:

- Συστήματα προσομοίωσης κτιρίων
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά,θερμικά ηλιακά,αιολικά,γεωθερμικά,υδρογόνου)
- Συστήματα κλιματισμού HVAC (Heating,Ventilation,Air conditioning)
- Συστήματα συμπαραγωγής,κυψελίδες καυσίμου[22]

Ένα σύστημα στο TRNSYS δημιουργείται ενώνοντας γραφικά τα στοιχεία (components) στο στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio).Οι έξοδοι ενός στοιχείου συνδέονται με τις εισόδους ενός άλλου στοιχείου ενώ ο χρήστης τρέχοντας το πρόγραμμα μπορεί να παρατηρήσει την τιμή της μεταβλητής που τον ενδιαφέρει από οποιοδήποτε στοιχείο του συστήματος σε διαγράμματα καθώς εξελίσσεται η προσομοίωση.Επίσης ο χρήστης μπορεί να αποθηκεύσει τα αποτελέσματα των τιμών της μεταβλητής που τον ενδιαφέρουν σε ένα αρχείο.

### **3.2 Στούντιο προσομοίωσης (Simulation Studio)**

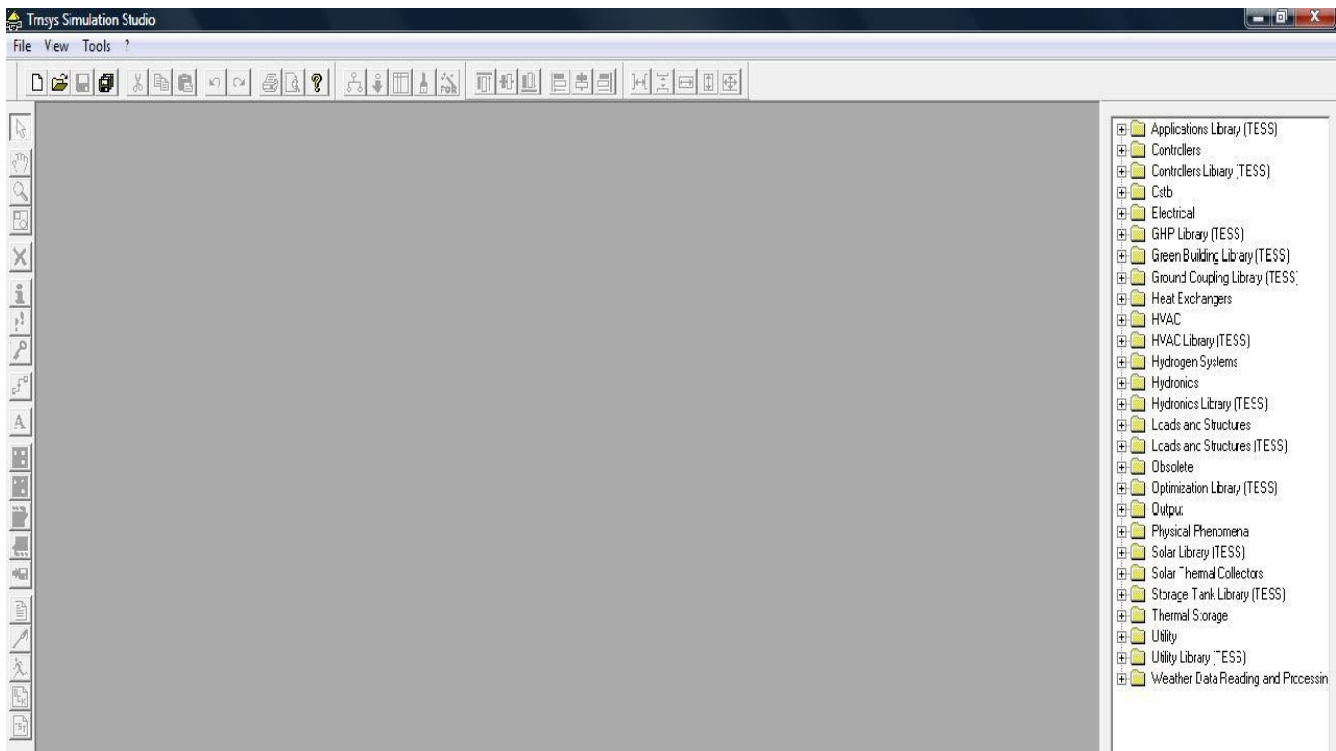
Το στούντιο προσομοίωσης είναι το κεντρικό περιβάλλον εργασίας όταν χρησιμοποιούμε το TRNSYS.Σε αυτό μπορούμε να εκχωρήσουμε τα στοιχεία μας αφού τα επιλέξουμε από την βιβλιοθήκη και στη συνέχεια να τα συνδέσουμε μεταξύ τους καθορίζοντας τις παραμέτρους της προσομοίωσης.

Το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί το αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης του χρήστη και αποθηκεύεται σε μορφή (\*.trf) ενώ παράλληλα δημιουργεί αρχείο εισόδου το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης.Επίσης περιλαμβάνει έναν διαχειριστή των εξόδων του προγράμματος με τον οποίο ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ποιές μεταβλητές θα συμπεριληφθούν στις εξόδους,ποιές θα εκτυπωθούν και ποιές θα απεικονιστούν στα διαγράμματα καθώς και τα όρια των τιμών σε αυτά τα διαγράμματα.

Στο στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνεται και ο διαχειριστής σφαλμάτων ο οποίος επιτρέπει την ακριβή μελέτη των γεγονότων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.Τέλος ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει νέα υπολογιστικά μοντέλα και να τα εισάγει στο TRNSYS χρησιμοποιώντας την επιλογή “Fortran Wizards”. [21]

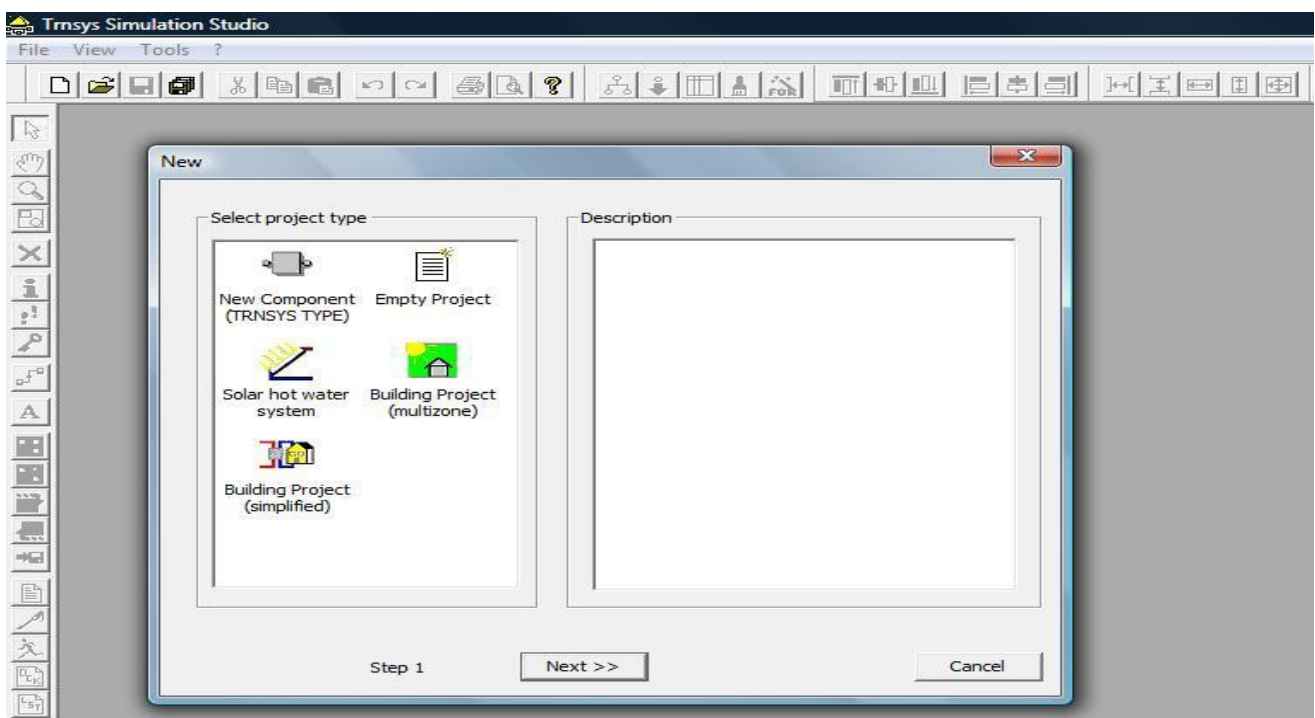
### **3.3 Βασικές επιλογές στο στούντιο προσομοίωσης**

Όταν ο χρήστης ανοίξει το TRNSYS Simulation Studio αφού δημιουργήσει μια νέα εργασία έχει να επιλέξει ανάμεσα στις εξής βασικές επιλογές :



Εικόνα 3.1: Νέα εργασία στο Simulation Studio

Παρατηρούμε στα δεξιά υπάρχει η βιβλιοθήκη που περιέχει τα στοιχεία του λογισμικού ομαδοποιημένα σε κατηγορίες σε δενδροειδή μορφή.



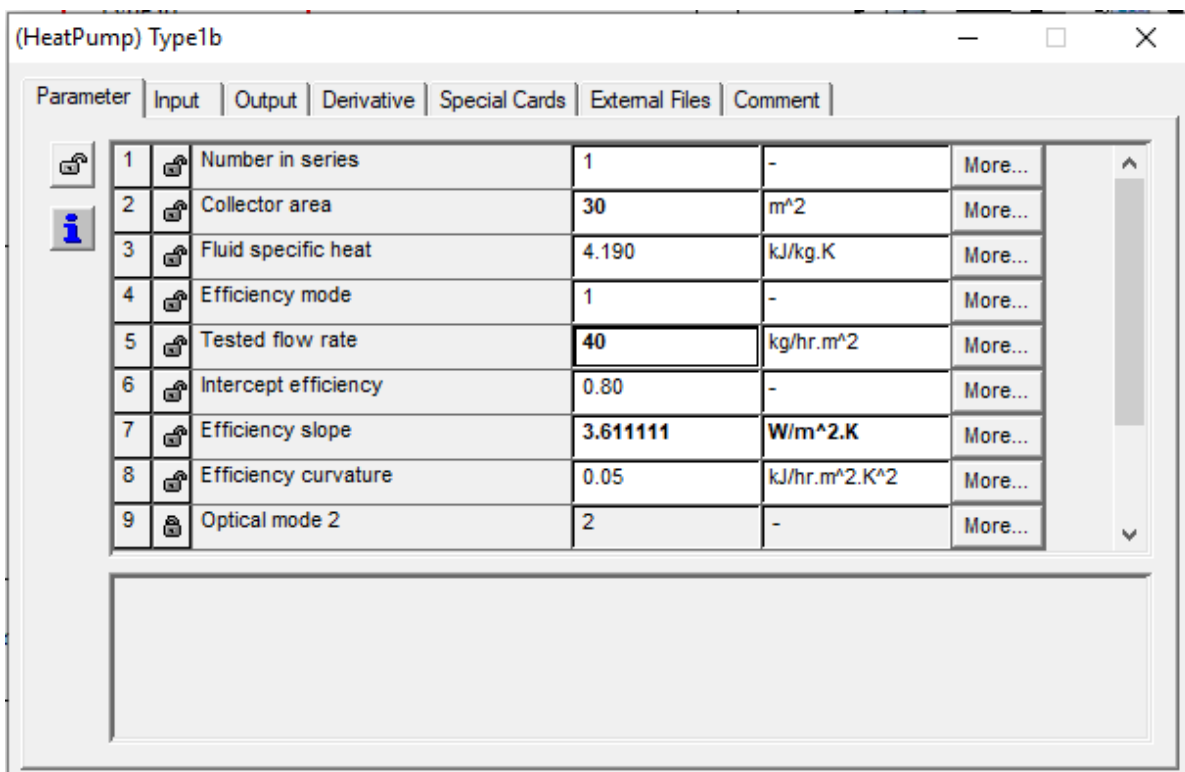
Εικόνα 3.2: Βασικές επιλογές του TRNSYS Simulation Studio

Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.2 ο χρήστης έχει τις εξής επιλογές:

- Δημιουργία νέου στοιχείου (component) χρησιμοποιώντας κάποια γλώσσα προγραμματισμού
- Να επιλέξει ένα κενό θέμα και να εκχωρήσει στοιχεία ανάλογα με την μελέτη που θέλει να κάνει
- Την δημιουργία ενός ηλιακού συστήματος θέρμανσης νερού
- Την δημιουργία ενός πολυζωνικού κτιρίου

### 3.4 Σύνδεση στοιχείων (components)

Ο χρήστης αφού επιλέξει τα στοιχεία από την βιβλιοθήκη που θέλει να χρησιμοποιήσει στην προσομοίωση, επεξεργάζεται τις παραμέτρους του κάθε στοιχείου ξεχωριστά.



The screenshot shows a software window titled '(HeatPump) Type1b'. It contains a table with columns for 'Parameter', 'Input', 'Output', 'Derivative', 'Special Cards', 'External Files', and 'Comment'. The table lists 9 parameters for a collector area component. Each row includes a parameter number, a name, a value, a unit, and a 'More...' button. A vertical scrollbar is on the right side of the table.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Number in series	1	-			More...
2	Collector area	30	m <sup>2</sup>			More...
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K			More...
4	Efficiency mode	1	-			More...
5	Tested flow rate	40	kg/hr.m <sup>2</sup>			More...
6	Intercept efficiency	0.80	-			More...
7	Efficiency slope	3.611111	W/m <sup>2</sup> .K			More...
8	Efficiency curvature	0.05	kJ/hr.m <sup>2</sup> .K <sup>2</sup>			More...
9	Optical mode 2	2	-			More...

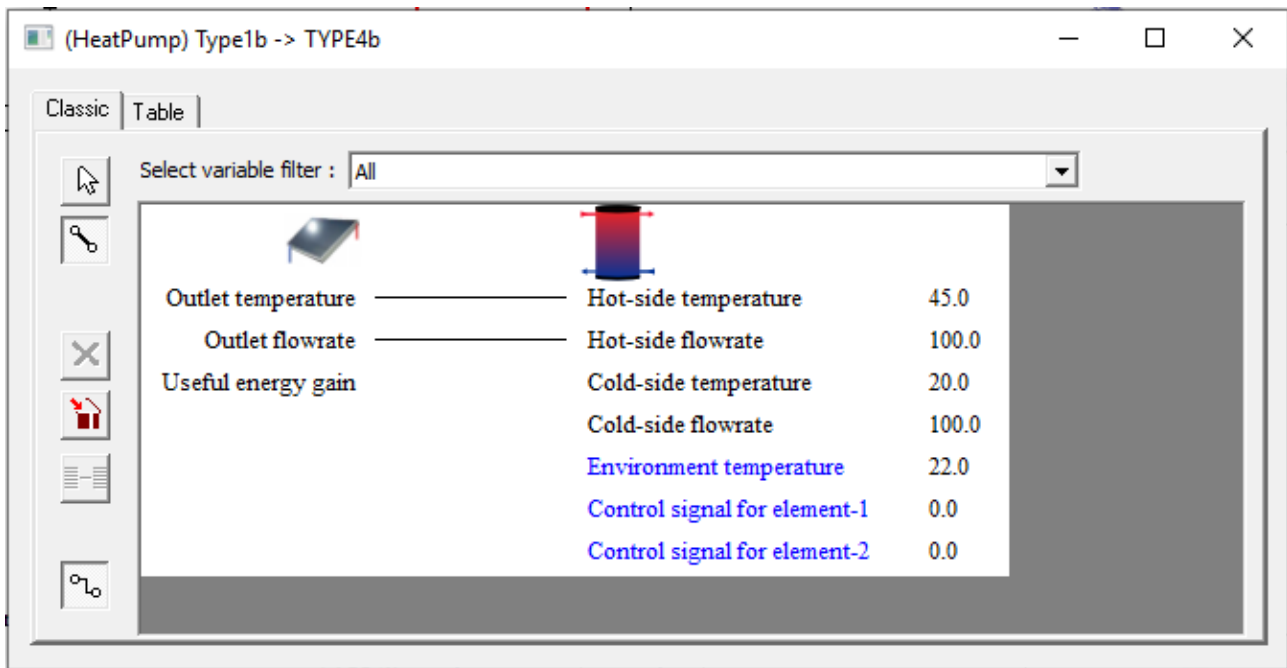
Εικόνα 3.3: Επεξεργασία παραμέτρων στοιχείου επιφάνειας συλλέκτη

Στην εικόνα 3.3 παρατηρούμε πως στα αριστερά υπάρχει το όνομα της κάθε παραμέτρου που έχει το στοιχείο, η αντίστοιχη τιμή της στις ακόλουθες μονάδες μέτρησης. Οι τιμές και οι μονάδες μέτρησης μπορούν να αλλάξουν όπως επιθυμεί ο χρήστης. Οι παράμετροι του στοιχείου παραμένουν σταθεροί κατά τη διαδικασία της προσομοίωσης ενώ τα Inputs μεταβάλλονται με τον χρόνο και παίρνουν τις τιμές που δίνει το στοιχείο που είναι



συνδεδεμένο με αυτό που εξετάζουμε. Επίσης τα Outputs αλλάζουν με το χρόνο και είναι οι τιμές που δίνει το στοιχείο που εξετάζουμε σε αυτό που συνδέεται.

Αφού έχουμε επεξεργαστεί τα στοιχεία που θέλουμε να συνδέσουμε πηγαίνουμε στην αριστερή στήλη και μέσω του Link ενώνουμε τις εξόδους του πρώτου στοιχείου με τις εισόδους του δεύτερου.



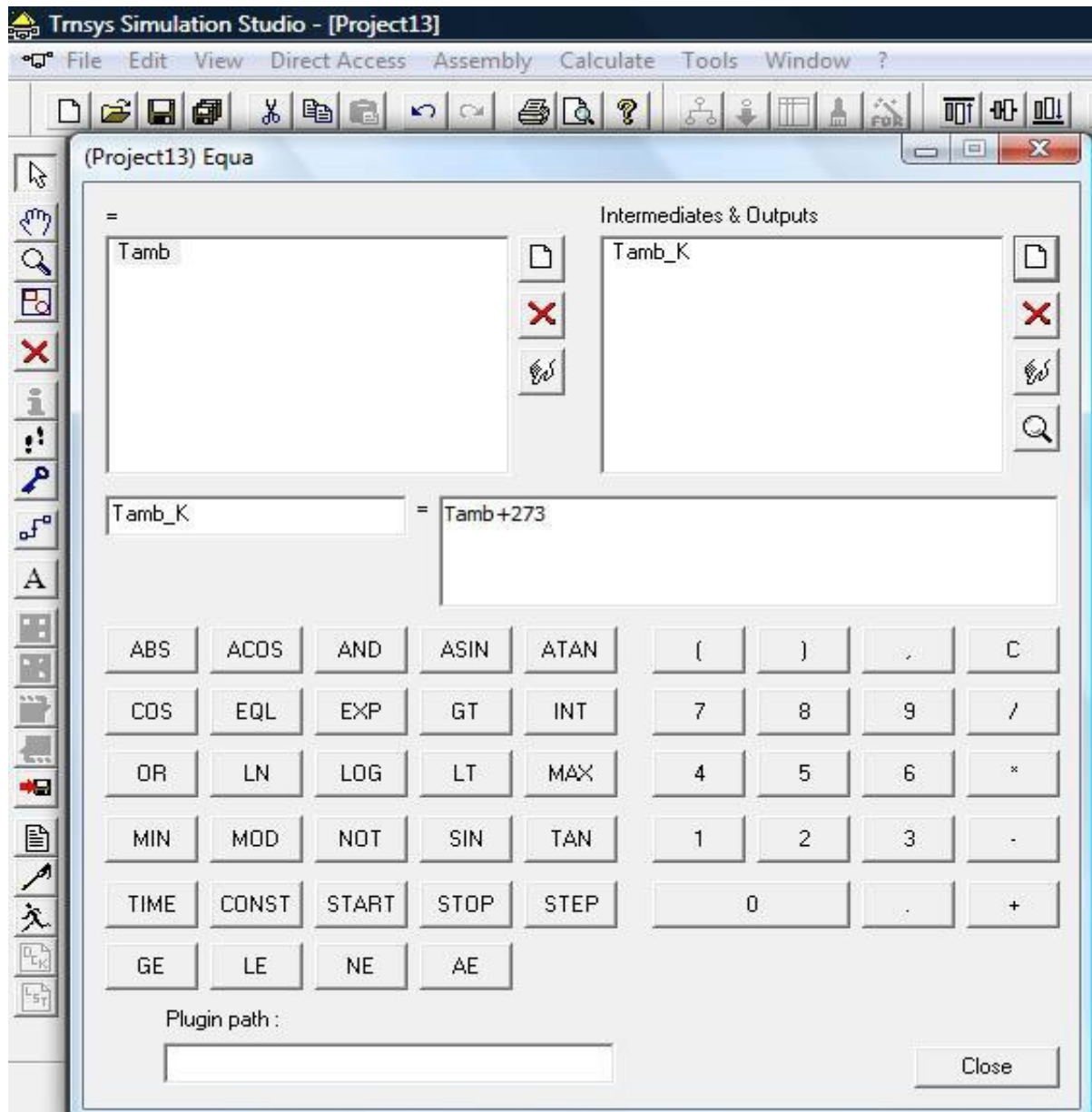
Εικόνα 3.4: Σύνδεση επιφάνεια συλλέκτη με δοχείο αποθήκευσης

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.4 έχουμε δύο στήλες με μεταβλητές. Η αριστερή στήλη περιέχει τις εξόδους του πρώτου στοιχείου ενώ η δεύτερη περιέχει τις εισόδους του δεύτερου στοιχείου. Όταν μία είσοδος παραμένει ασύνδετη τότε η τιμή της παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης οι εισοδοί μπορούν να συνδεθούν μία μόνο φορά ενώ οι έξοδοι δεν έχουν κάποιο περιορισμό. Το λογισμικό επιτρέπει την σύνδεση μεταβλητών του ίδιου μεγέθους.

### 3.5 Λειτουργίες στο Simulation studio

Μια σημαντική εντολή που αξίζει να αναφερθεί είναι αυτή του Assembly/Lock-Unlock που επιτρέπει στον χρήστη να “κλειδώσει” συγκεκριμένα στοιχεία στο simulation studio. Τα στοιχεία αυτά δεν μπορούν να επεξεργαστούν.

Το TRNSYS έχει την δυνατότητα να εισάγει ο χρήστης μέσω του Assembly-Insert new equation μια εξίσωση στην οποία η αριστερή στήλη είναι το ένα μέλος και στη δεξιά στήλη το άλλο. Για παράδειγμα άμα ο χρήστης θέλει να μετατρέψει την θερμοκρασία περιβάλλοντος από κελσίου σε Kelvin η εξίσωση που χρειάζεται είναι  $T_{amb\_K} = T_{amb} + 273$ , που  $T_{amb}$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 3.5: Εξίσωση μετατροπής θερμοκρασίας από κελσίου σε Kelvin.

Στην αριστερή στήλη υπάρχει η δυνατότητα μέσω του settings να ορίσει ο χρήστης τα χρονικά όρια καθώς και το βήμα της προσομοίωσης που θα χρησιμοποιήσει. Στη συνέχεια έχουμε αποφασίσει ποιές εξόδους θα απεικονίσουμε στο διάγραμμα ή θα εκτυπώσουμε τις τιμές τους μέσω του εκτυπωτή και ξεκινάμε την προσομοίωση μέσω του Run ή από το Calculate-Run simulation. Με το που ξεκινήσει το Run γίνεται μετάβαση στο TRNEXE και στο τέλος της προσομοίωσης παίρνουμε τα αποτελέσματα από το Calculate-Open-External files που είναι αποθηκευμένα σε μορφή αρχείου.

## **4.Παρουσίαση χαρακτηριστικών κτιρίου**

### **4.1 Διαστάσεις κτιρίου στο Simulation studio**

Ανοίγουμε το TRNSYS Studio και επιλέγουμε το εικονίδιο για την δημιουργία ενός new project και στη συνέχεια το εικονίδιο Building Project(multizone).Για την προσομοίωση σχεδιάστηκε ένα κτίριο με τις εξής διαστάσεις :

Μήκος κτιρίου : 10m

Πλάτος κτιρίου: 10m

Ύψος κτιρίου: 3m

Στη συνέχεια επιλέχθηκαν παράθυρα για το κτίριο με συντελεστή σκίασης 0.7,διπλό τζάμι προσανατολισμένα με τις ακόλουθες διαστάσεις:

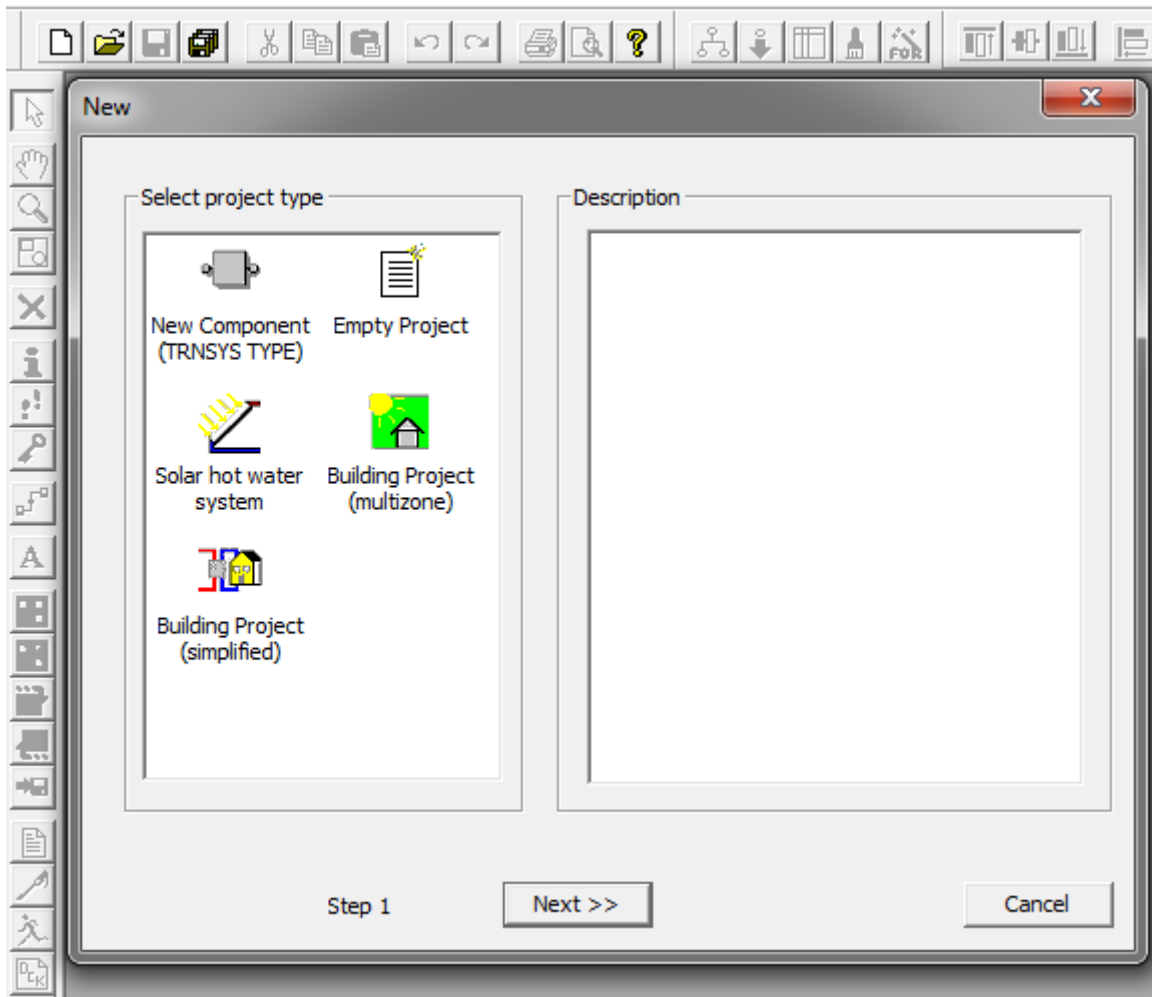
- Για τον Βόρειο τοίχο του κτιρίου δεν τοποθετήθηκε κάποιο παράθυρο
- Για το Νότιο τοίχο του κτιρίου δεν τοποθετήθηκε κάποιο παράθυρο
- Στο Ανατολικό τοίχο του κτιρίου τοποθετήθηκε ένα παράθυρο διαστάσεων 6 m<sup>2</sup>
- Στο Δυτικό τοίχο του κτιρίου τοποθετήθηκε ένα παράθυρο διαστάσεων 6 m<sup>2</sup>

Η τοποθεσία του κτιρίου επιλέχθηκε να είναι στην Αθήνα με τον προσανατολισμό του να παραμένει όπως υπάρχει στο πρόγραμμα ,με κάθε πλευρά του κτιρίου να βλέπει έναν ορίζοντα.

### **4.2 Διαδικασία δημιουργίας κτιρίου στο TRNSYS Studio**

## Βήμα 1°

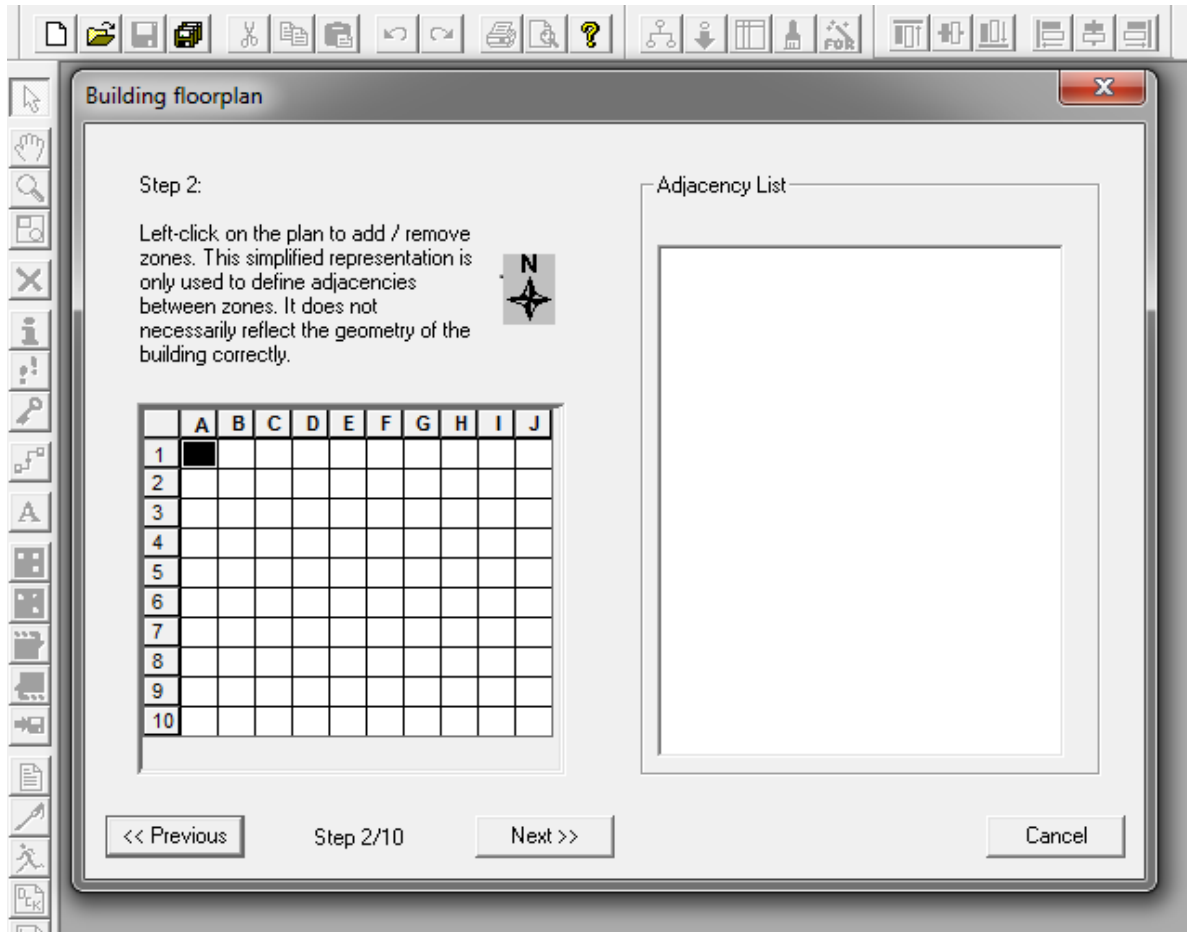
Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω ανοίγουμε το TRNSYS Studio και επιλέγουμε new project και στη συνέχεια το εικονίδιο Building Project (multizone).



Εικόνα 4.1: Περιεχόμενο New Project για δημιουργία Building Project (multizone)

## Βήμα 2°

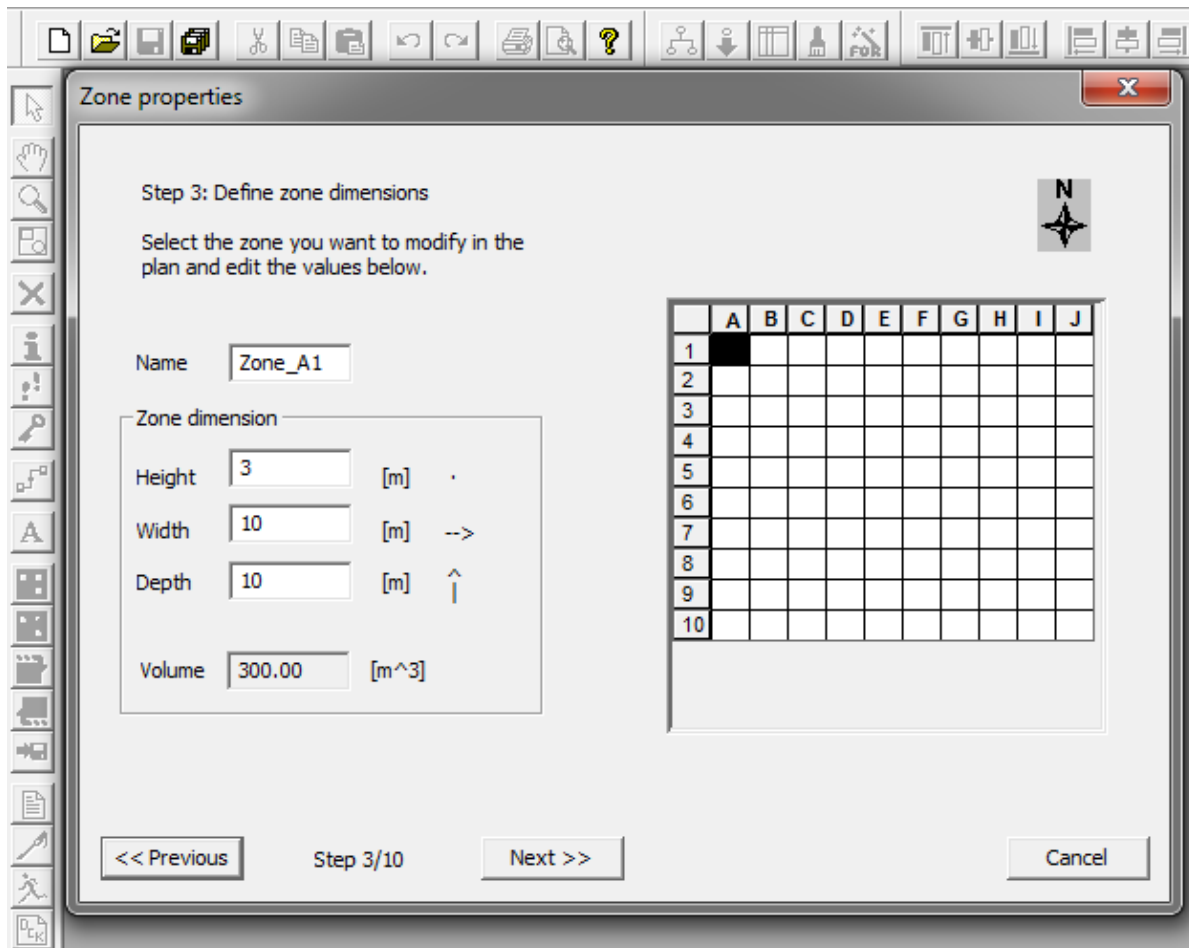
Επιλέγουμε τον αριθμό των ενεργειακών ζωνών, στην παρούσα προσομοίωση έχουμε επιλέξει μία ενεργειακή ζώνη



Εικόνα 4.2: Βήμα 2° επιλογή μίας ενεργειακής ζώνης κτιρίου

### Βήμα 3°

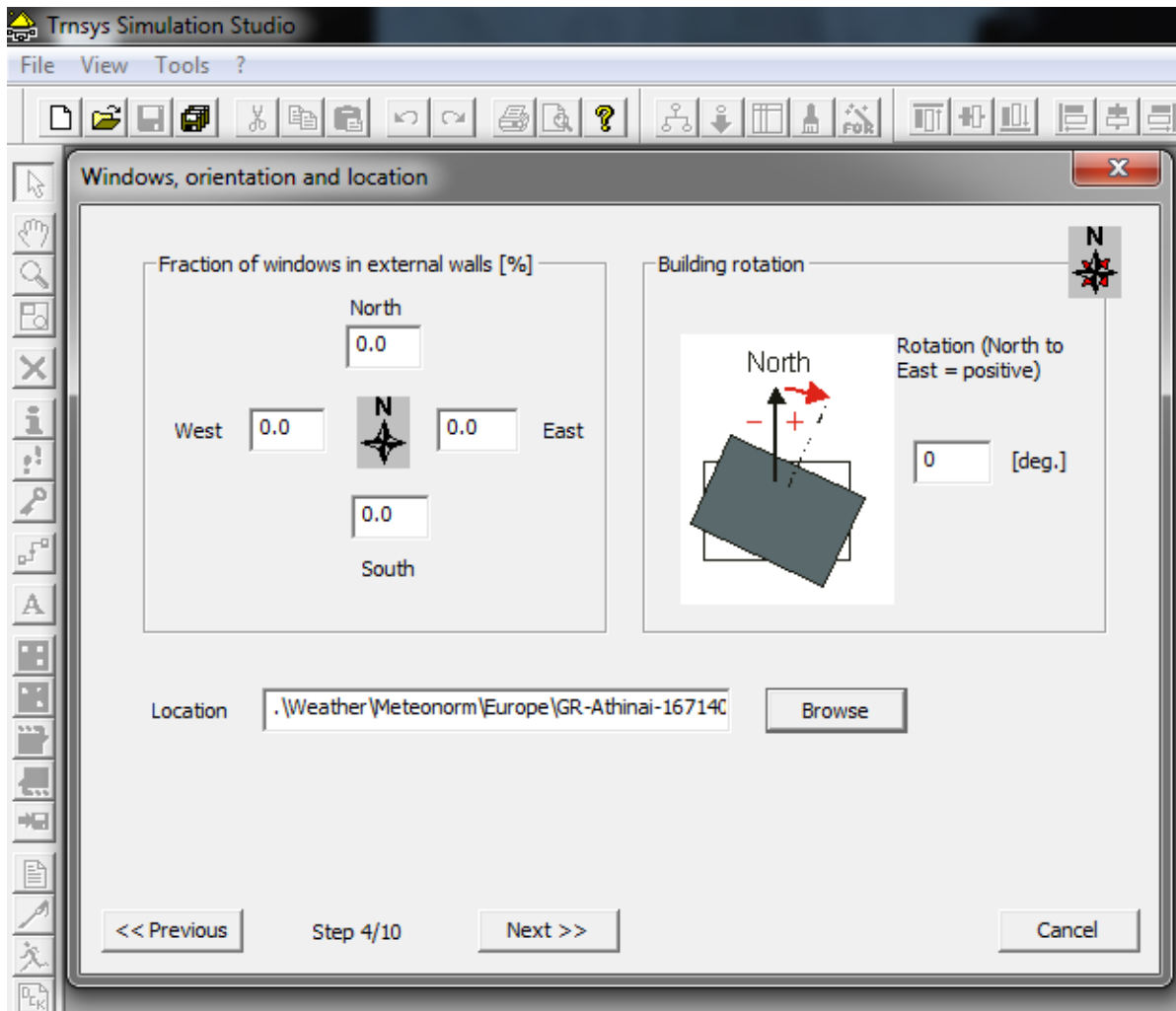
Στη συνέχεια εισάγουμε τις διαστάσεις ανά ζώνη κτιρίου οι οποίες έχουν αναφερθεί παραπάνω καθώς και ο συνολικός όγκος του κτιρίου. Για μία ζώνη κτιρίου που έχουμε επιλέξει έχουμε :



Εικόνα 4.3: Επιλογή διαστάσεων για την ζώνη του κτιρίου

#### Βήμα 4°

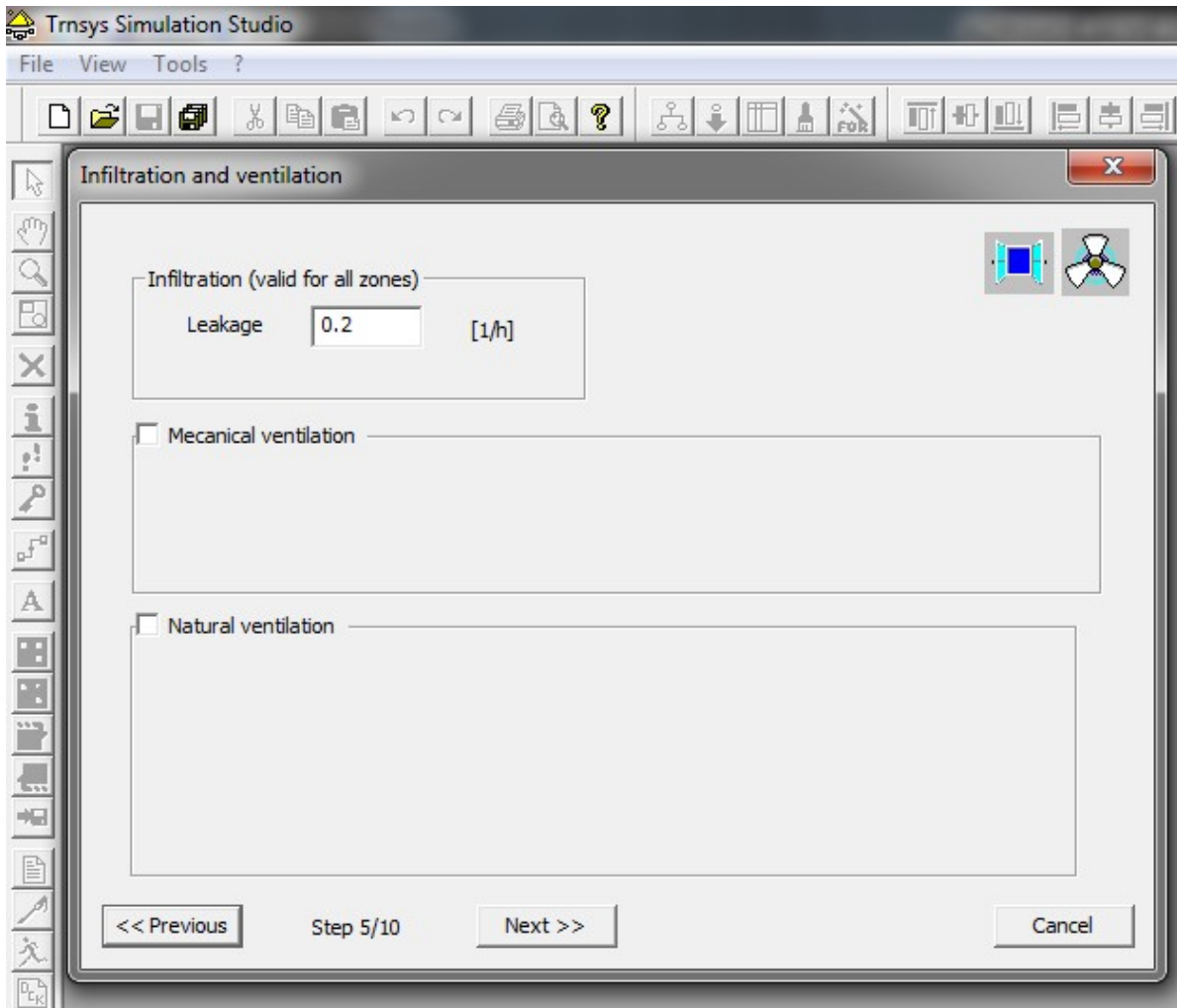
Ο χρήστης επιλέγει την τοποθεσία του κτιρίου για τα αντίστοιχα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής αυτής, καθώς και του προσανατολισμού του. Επίσης στο βήμα αυτό προσδιορίζεται το ποσοστό των ανοιγμάτων για παράθυρα, πόρτες σε σχέση με το εμβαδόν του τοίχου για την αντίστοιχη πλευρά. Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω η προσομοίωση θα γίνει για την πόλη της Αθήνας. Για τον προσανατολισμό και το ποσοστό των ανοιγμάτων δεν έγινε κάποια αλλαγή έμεινε όπως ήταν στο πρόγραμμα.



Εικόνα 4.4:Επιλογή ποσοστού ανοιγμάτων, προσανατολισμού & μετεωρολογικών δεδομένων κτιρίου

## Βήμα 5°

Ο χρήστης επιλέγει τις παραμέτρους για τον αερισμό του χώρου του κτιρίου. Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκε η τυπική τιμή για διείσδυση του αέρα που υπάρχει ήδη στο πρόγραμμα 0.2 1/hr, ενώ δεν επιλέχθηκε φυσικός ή μηχανικός αερισμός.

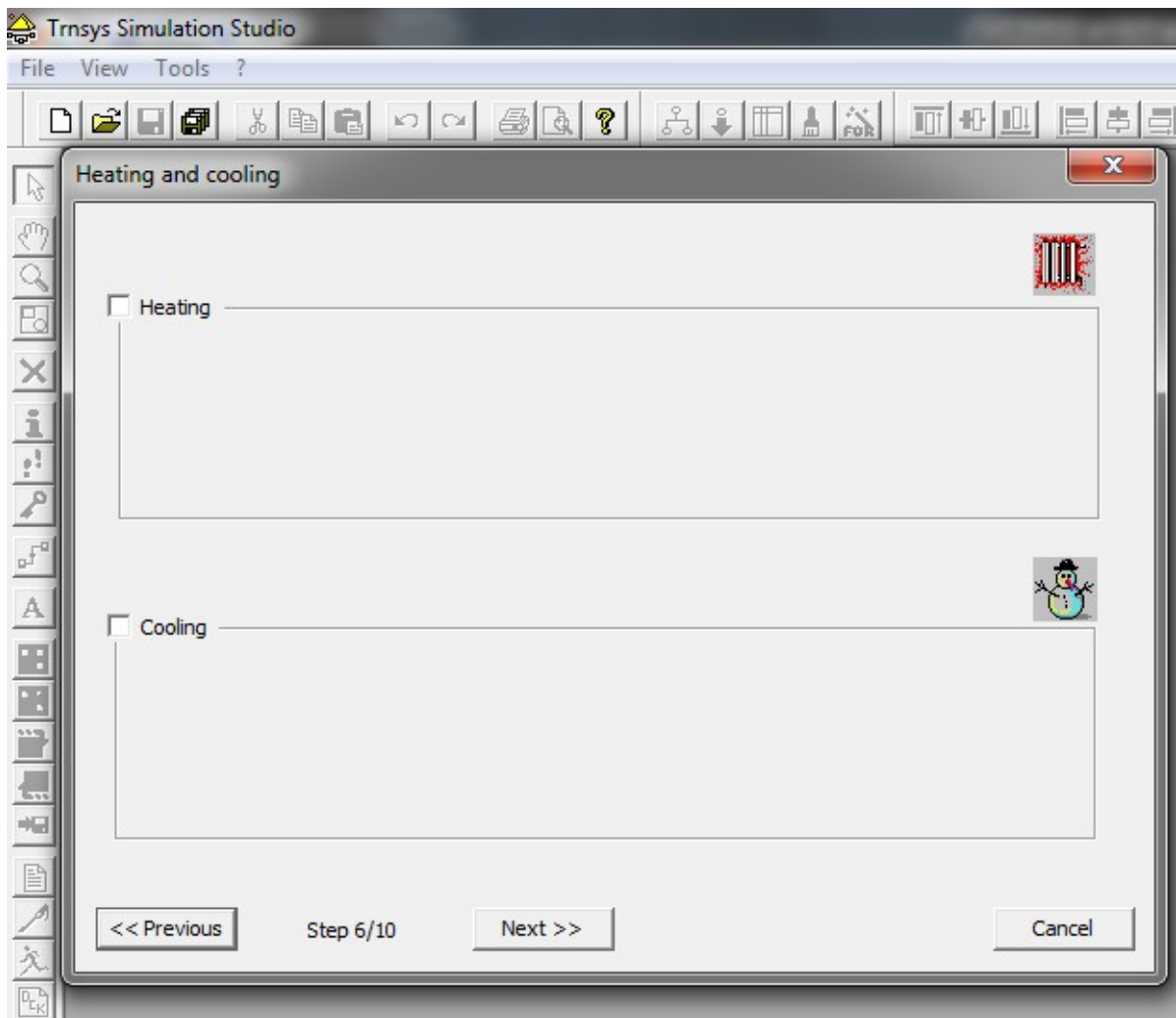


Εικόνα 4.5: Παράμετροι αερισμού χώρου



## Βήμα 6°

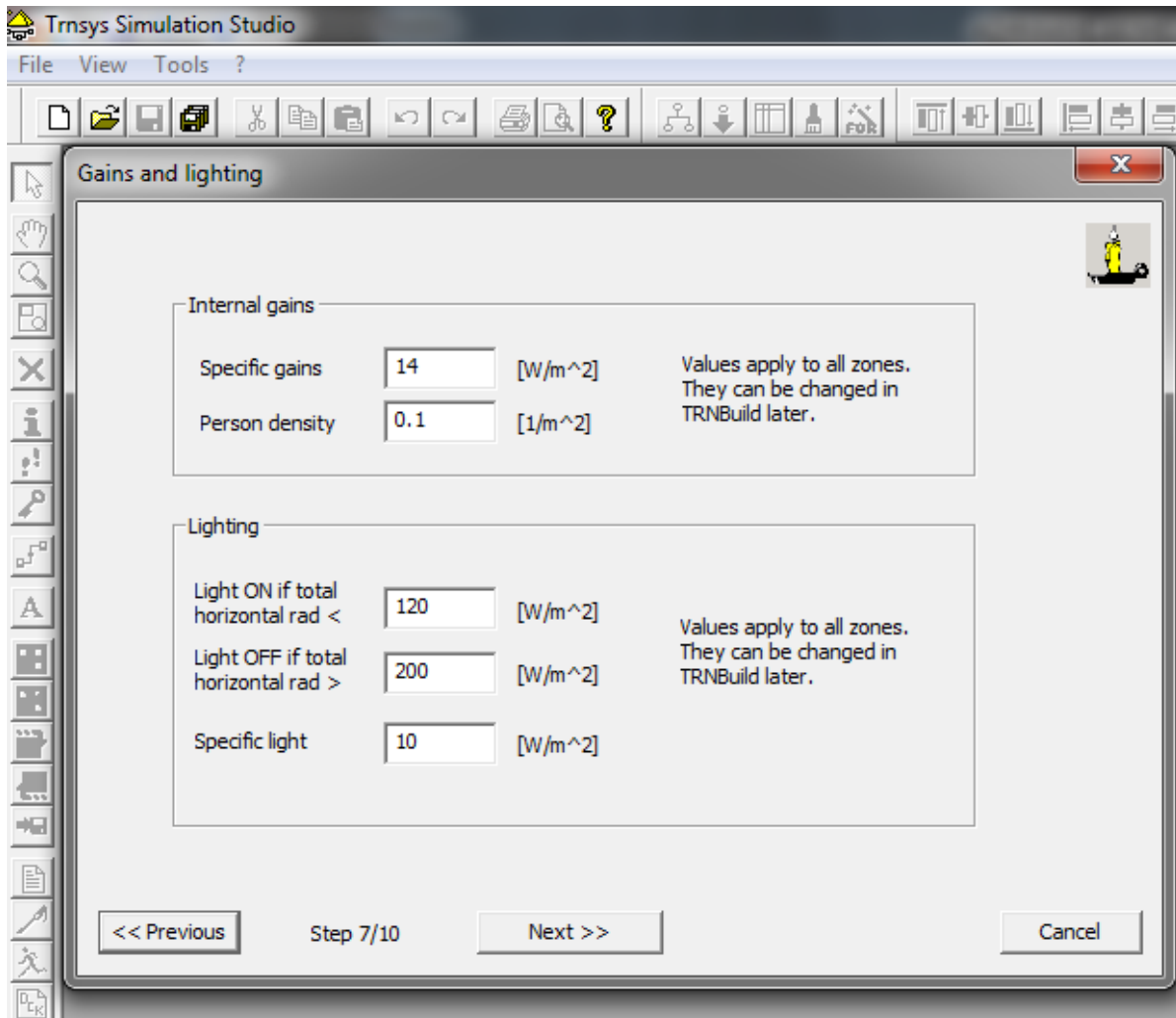
Ο χρήστης σε αυτό το βήμα επιλέγει αν το κτίριο θα θερμαίνεται ή θα ψύχεται για κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία που θα επιλέξει. Στην παρούσα προσομοίωση δεν θα επιλέξουμε κάτι και στην πορεία θα χρησιμοποιήσουμε το τοίχο Trombe ως σύστημα θέρμανσης.



Εικόνα 4.6: Επιλογή θέρμανσης ή ψύξης για το κτίριο

## Βήμα 7°

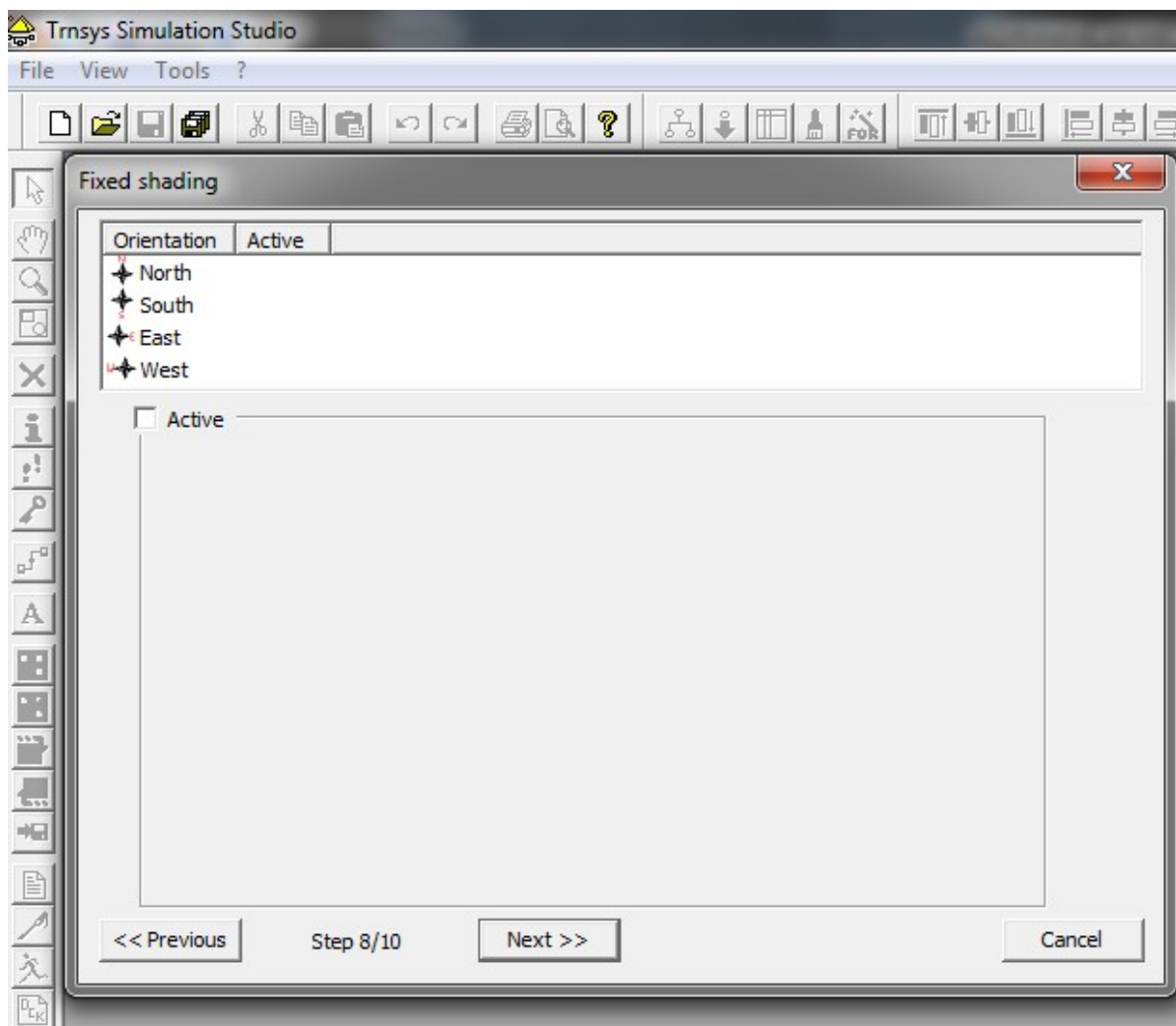
Στο βήμα αυτό επιλέγουμε τα φορτία που οφείλονται λόγω των ανθρώπων που βρίσκονται μέσα στο κτίριο καθώς και του φωτισμού που υπάρχει. Στην παρούσα προσομοίωση δεν αλλάξαμε κάποια μεταβλητή του βήματος αυτού και αφήσαμε τις τυπικές τιμές που υπήρχαν.



Εικόνα 4.7: Θερμικά κέρδη ανθρώπων, φωτισμού, συσκευών.

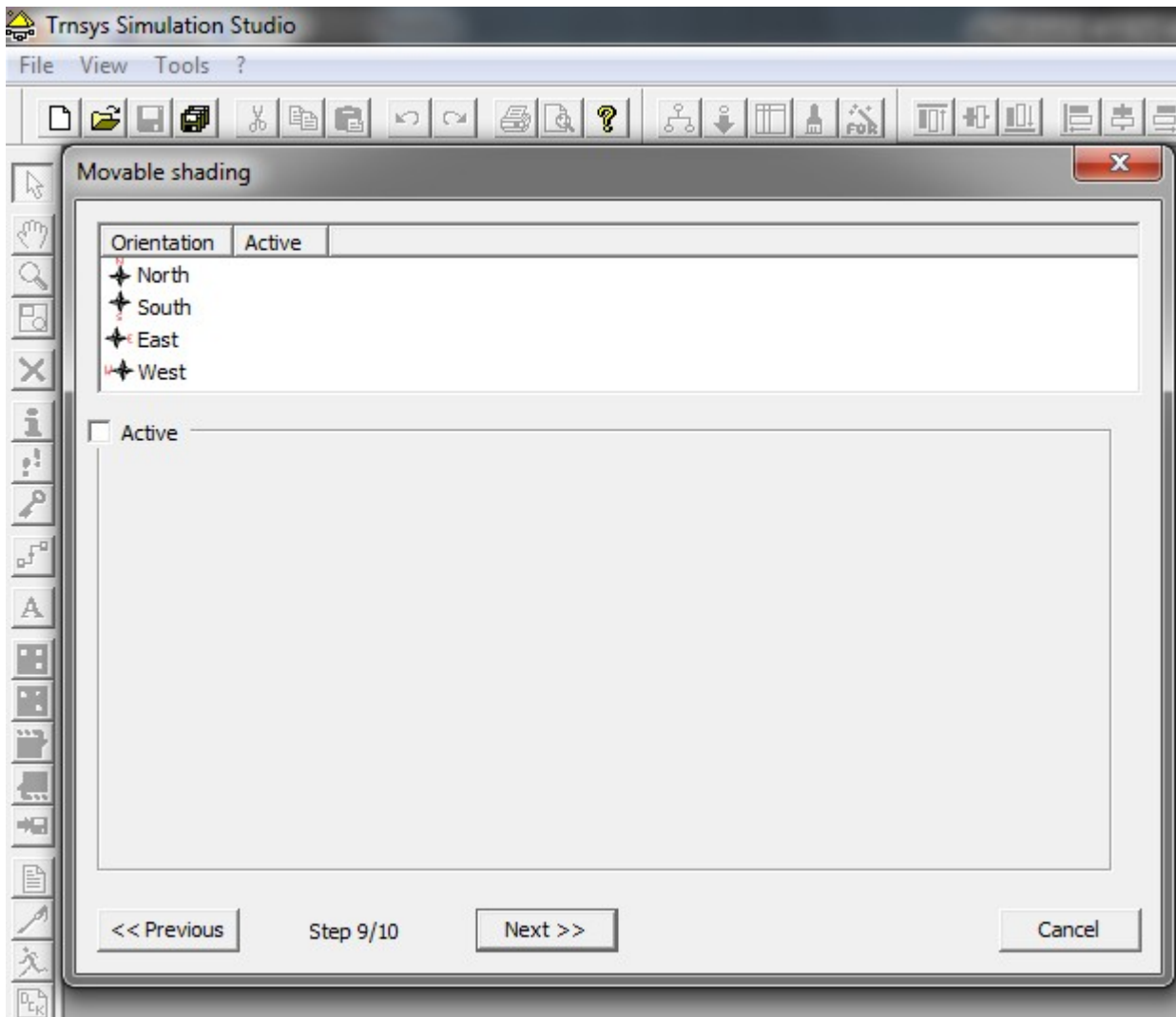
## Βήμα 8°

Στα βήματα 8 και 9 ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής εσωτερικής και εξωτερικής σκίασης και με ποιον προσανατολισμό γίνεται. Στην παρούσα προσομοίωση δεν θα επιλέξουμε κάτι.



Εικόνα 4.8: Ρύθμιση σκίασης κτιρίου

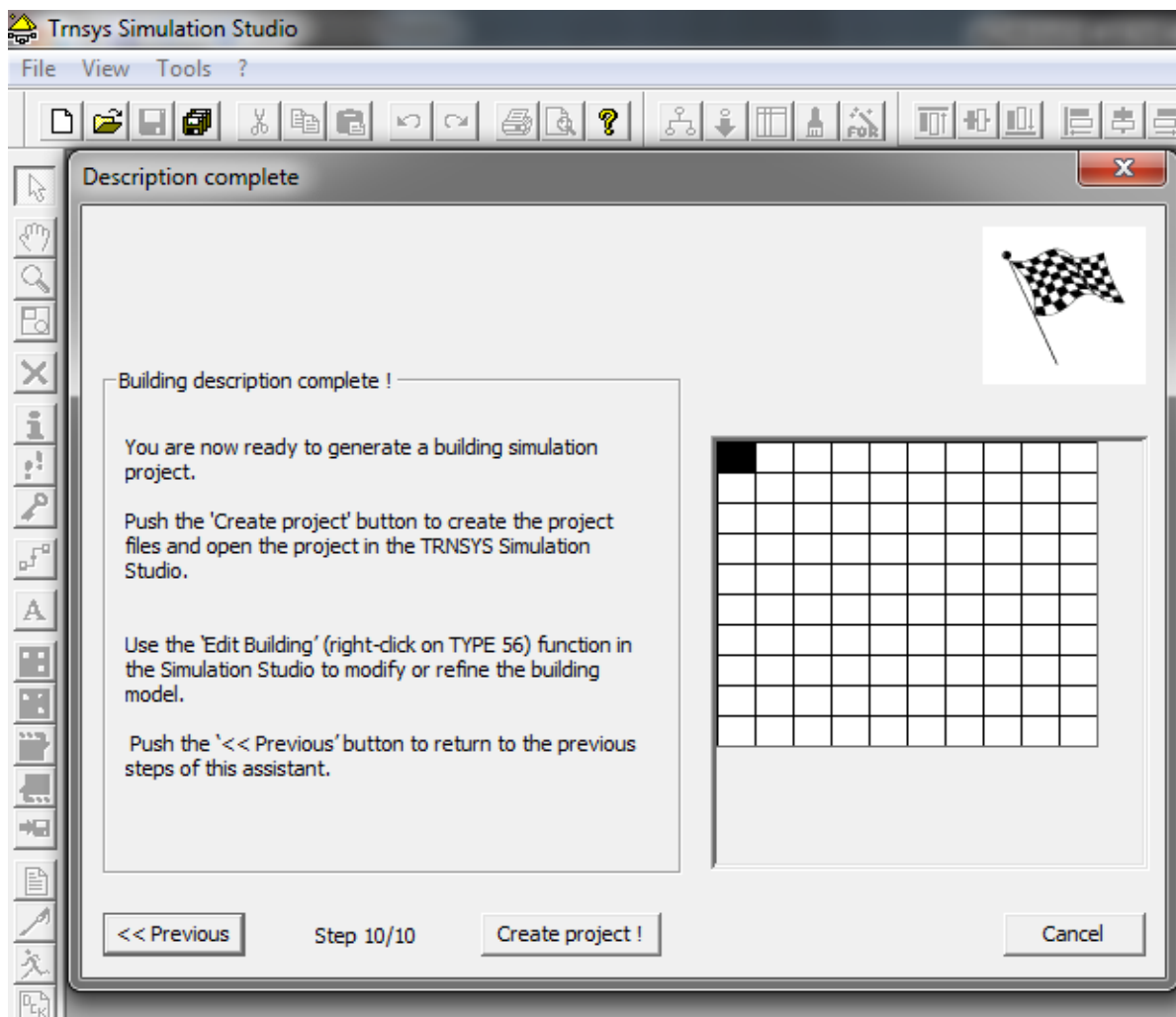
## Βήμα 9°



Εικόνα 4.9: Ρύθμιση σκίασης κτιρίου

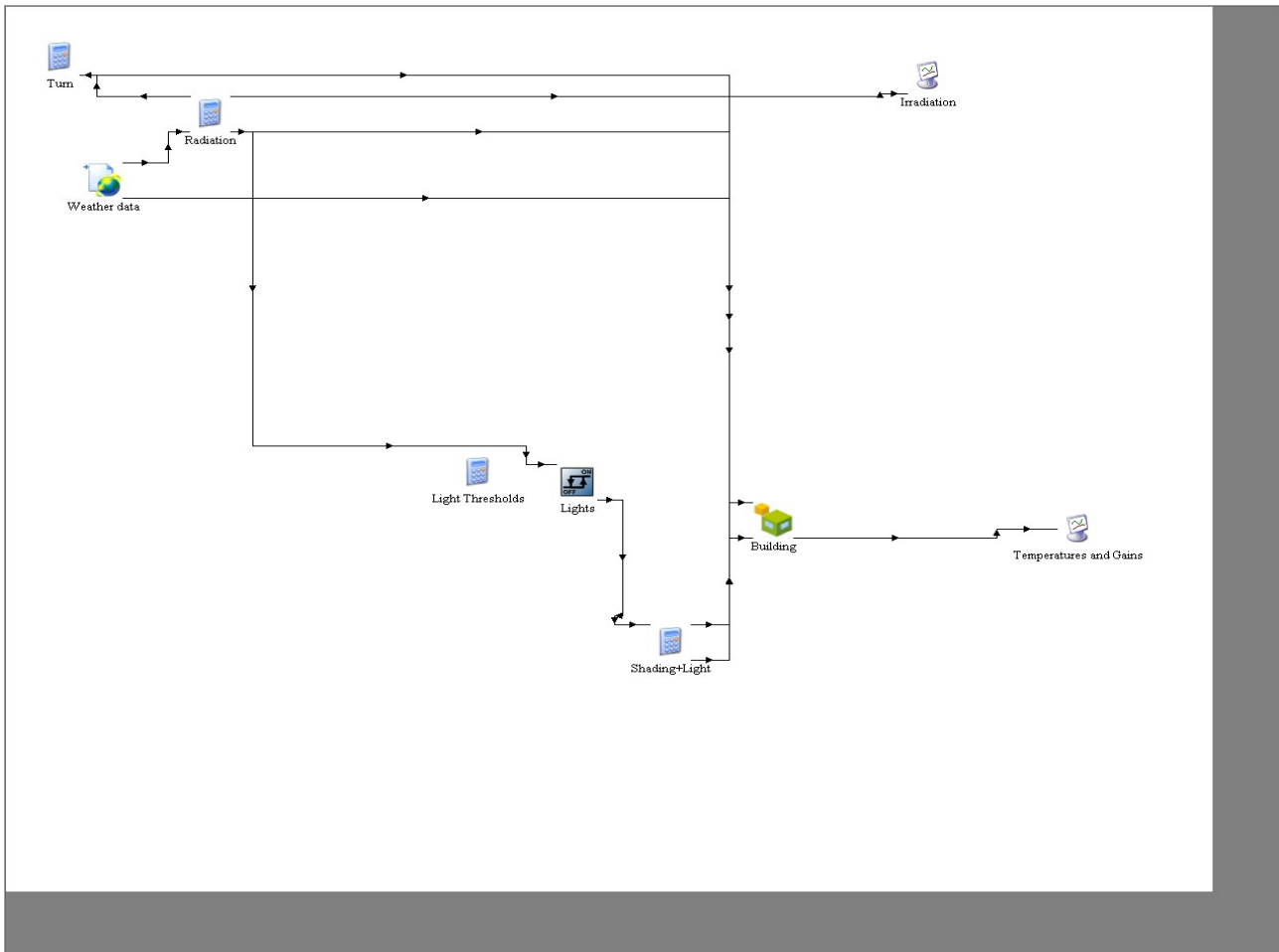
## Βήμα 10°

Στο τελευταίο βήμα επιλέγουμε το Create Project και ολοκληρώνεται η διαδικασία του σχεδιασμού του κτιρίου.



Εικόνα 4.10: Ολοκλήρωση δημιουργίας κτιρίου

Αφού ολοκληρώσαμε την παραπάνω διαδικασία εμφανίζεται στο Simulation Studio το κτίριο με αρκετά στοιχεία που είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.



Εικόνα 4.11: Πρόγραμμα με στοιχεία για το κτίριο στο Simulation Studio

### 4.3 Επεξεργασία κτιρίου

Για να κάνουμε οποιαδήποτε αλλαγή που θέλουμε στο κτίριο,πηγαίνουμε στο στοιχείο Building και με δεξί κλικ επιλέγουμε το Edit Building.Με αυτό τον τρόπο ανοίγουμε το παράθυρο για το πρόγραμμα TRNBuild.Πηγαίνοντας στο Inputs μπορούμε να προσθέσουμε τις μεταβλητές εισόδου που επιθυμούμε στο κτίριο.Οι μεταβλητές που προσθέσαμε Tairout,AIRFLOW είναι για την θερμοκρασία που προσδίδει ο τοίχος Trombe στον χώρο και η παροχή αέρα που περνάει μέσα από αυτόν αντίστοιχα.

Στη συνέχεια πατώντας το παράθυρο ZONE\_A1 θα επεξεργαστούμε τα υλικά που αποτελείται ο τοίχος Trombe,η οροφή ,καθώς και οι υπόλοιποι τοίχοι του κτιρίου μας.

Για τον τοίχο Trombe έχουμε δημιουργήσει νέα Layer που είναι για το υαλοπίνακα και για το κενό αέρος που υπάρχει ανάμεσα του υαλοπίνακα και του τοίχου.

Layer Type Manager

layer type: glass

**Definition**

Massive Layer  Massless Layer  Active Layer  Chilled Ceiling

conductivity: 3.78 kJ / h m K

capacity: 840 kJ / kg K

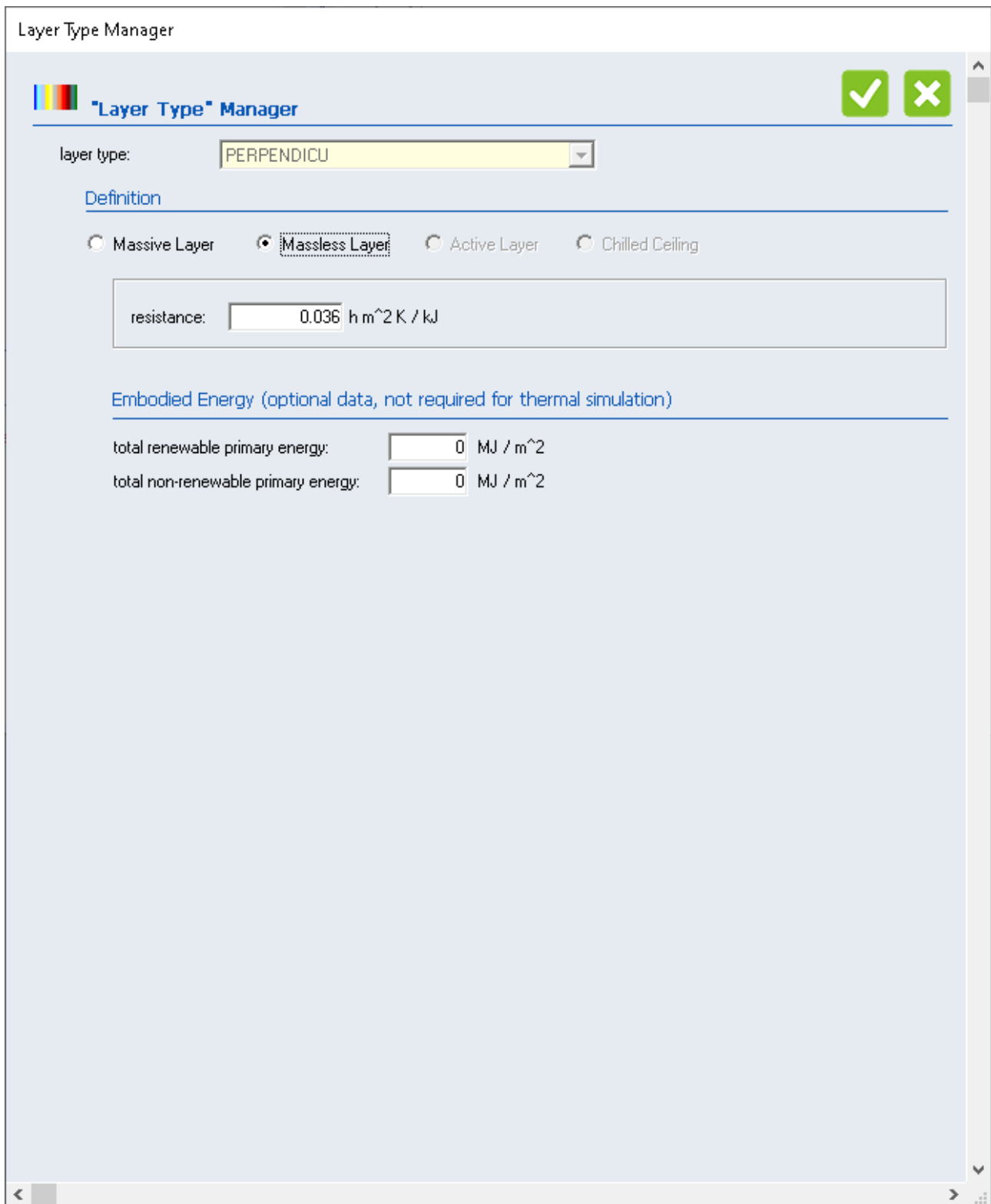
density: 2500 kg / m<sup>3</sup>

**Embodied Energy (optional data, not required for thermal simulation)**

total renewable primary energy: 0 MJ / kg

total non-renewable primary energy: 0 MJ / kg

Εικόνα 4.12: Δημιουργία γυαλί ως νέο Layer

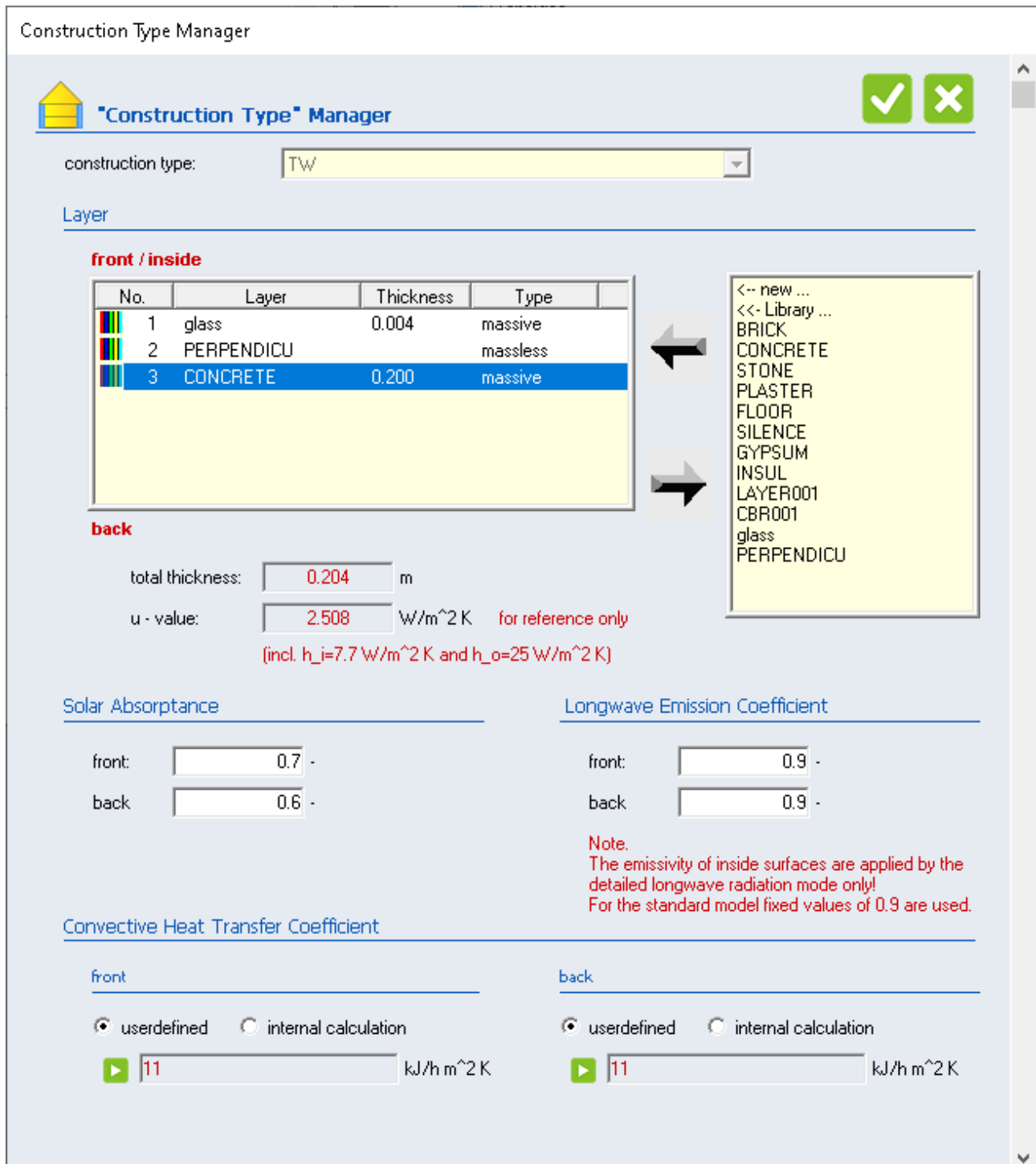


Εικόνα 4.13: Δημιουργία κενού αέρος ως νέο Layer



Ο τοίχος Trombe που δημιουργήσαμε αποτελείται από τα εξής υλικά:

- Υαλοπίνακα: 4 mm
- Διάκενο αέρος
- Σκυρόδεμα: 200mm



Εικόνα 4.14: Εισαγωγή υλικών του τοίχου Trombe

Για την οροφή έχουμε επιλέξει τα ακόλουθα υλικά:

- Οπλισμένο σκυρόδεμα: 240 mm
- Μόνωση: 160 mm
- Σοβάς: 15 mm

Construction Type Manager

**"Construction Type" Manager**

construction type:

Layer

**front / inside**

No.	Layer	Thickness	Type
1	CONCRETE	0.240	massive
2	INSUL	0.160	massive
3	PLASTER	0.015	massive

**back**

total thickness:  m

u - value:  W/m<sup>2</sup> K for reference only  
(incl. h<sub>i</sub>=7.7 W/m<sup>2</sup> K and h<sub>o</sub>=25 W/m<sup>2</sup> K)

Solar Absorptance

front:  -

back:  -

Longwave Emission Coefficient

front:  -

back:  -

Note:  
The emissivity of inside surfaces are applied by the detailed longwave radiation mode only!  
For the standard model fixed values of 0.9 are used.

Convective Heat Transfer Coefficient

front

userdefined  internal calculation

kJ/h m<sup>2</sup> K

back

userdefined  internal calculation




kJ/h m<sup>2</sup> K

Εικόνα 4.15:Εισαγωγή υλικών οροφής

Για τους τοίχους του κτιρίου έχουμε επιλέξει τα υλικά:

- Σοβάς: 15 mm
- Τούβλο: 120 mm
- Μόνωση: 100 mm
- Τούβλο: 120 mm
- Σοβάς: 15 mm

Construction Type Manager

 **"Construction Type" Manager**  

construction type:

Layer

**front / inside**

No.	Layer	Thickness	Type
1	PLASTER	0.015	massive
2	BRICK	0.120	massive
3	INSUL	0.100	massive
4	BRICK	0.120	massive
5	PLASTER	0.015	massive

**back**

total thickness:  m

u - value:  W/m<sup>2</sup> K *for reference only*  
*(incl. h<sub>i</sub>=7.7 W/m<sup>2</sup> K and h<sub>o</sub>=25 W/m<sup>2</sup> K)*

**Solar Absorptance** **Longwave Emission Coefficient**

front:  - front:  -



back:  - back:  -

*Note.  
The emissivity of inside surfaces are applied by the detailed longwave radiation mode only!  
For the standard model fixed values of 0.9 are used.*

**Convective Heat Transfer Coefficient**

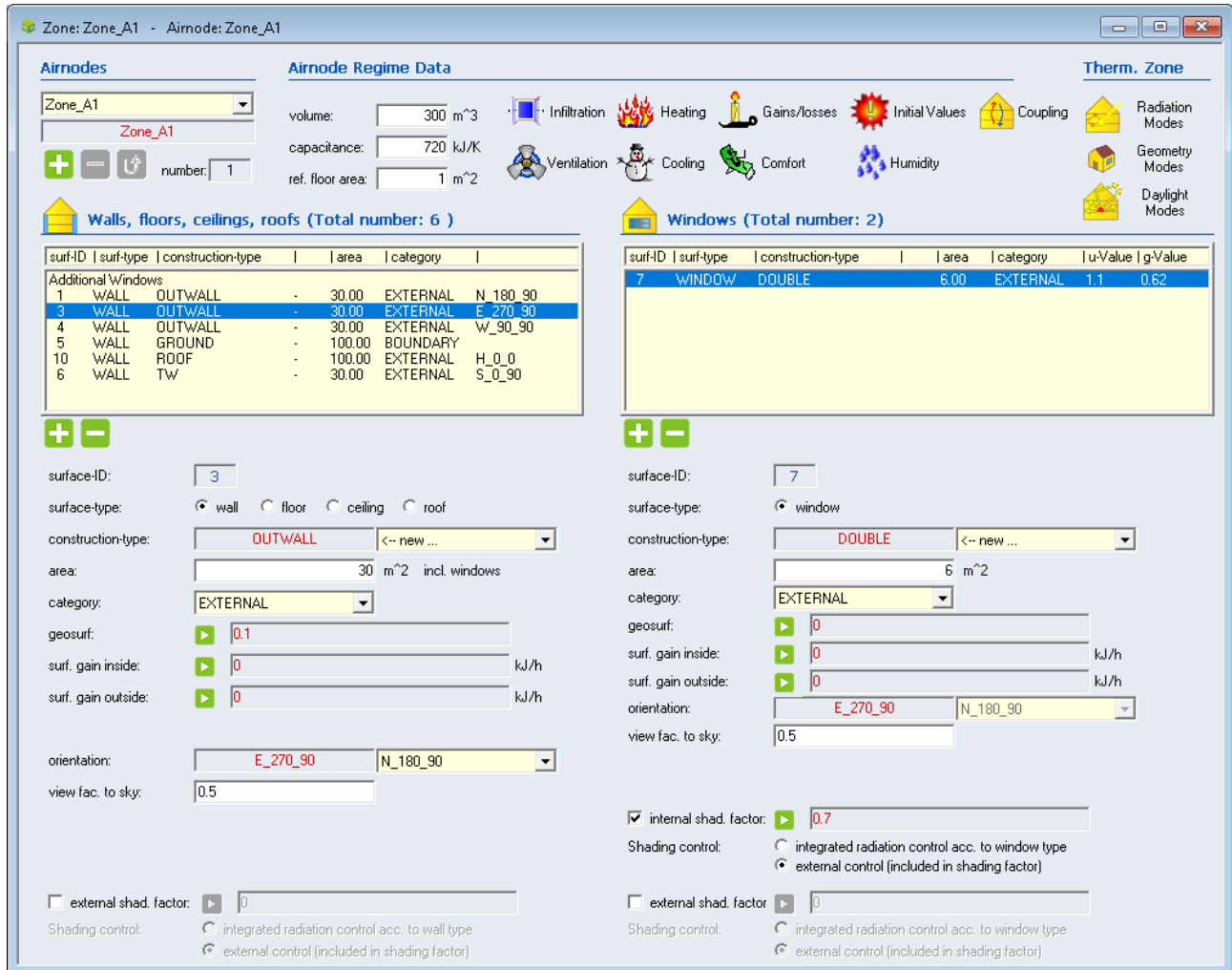
**front** **back**

userdefined  internal calculation  userdefined  internal calculation

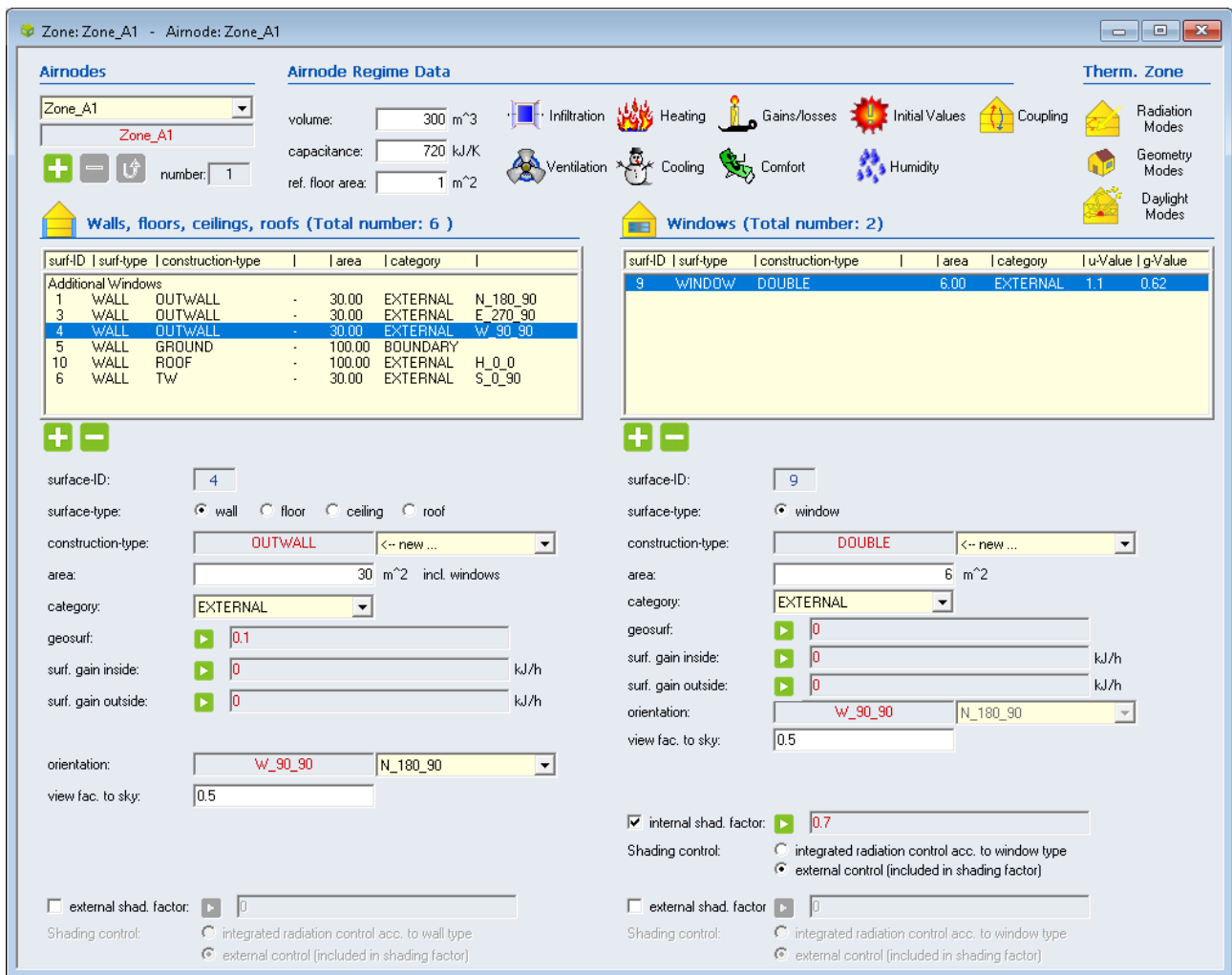
  kJ/h m<sup>2</sup> K   kJ/h m<sup>2</sup> K

Εικόνα 4.16: Εισαγωγή υλικών τοίχου

Για να τοποθετήσουμε τα ανοίγματα του κτιρίου μας πηγαίνουμε στην αριστερή στήλη και επιλέγουμε τον τοίχο που ενδιαφερόμαστε να γίνει η εφαρμογή. Στη συνέχεια στην δεξιά στήλη επιλέγουμε τον τύπο του παραθύρου, το εμβαδόν του καθώς και τον συντελεστή σκίασής του. Στην παρούσα εργασία έχουμε επιλέξει δύο ανοίγματα στον ανατολικό και δυτικό τοίχο με διπλό τζάμι, εμβαδόν 6 m<sup>2</sup> και συντελεστή σκίασης 0,7.



Εικόνα 4.17: Τοποθέτηση παραθύρου-ανοίγματος ανατολικού τοίχου






Εικόνα 4.18: Τοποθέτηση παραθύρου-ανοίγματος δυτικού τοίχου

Στη συνέχεια θα ρυθμίσουμε τον αερισμό του χώρου μας μέσω του Ventilation. Για να υπολογίσουμε τον αριθμό εναλλαγών του αέρα ο οποίος είναι συναρτήσε της παροχής του αέρα μέσω του τοίχου TROMBE, δηλαδή η μεταβλητή AIRFLOW που ορίσαμε παραπάνω γίνεται ως εξής:

$$\frac{1}{hr} = V(m^3/hr) / V(m^3) = \frac{\dot{m}}{\rho V} = \frac{\dot{m}}{1,18 kg/m^3 * 300 m^3} = 0.0028 * \dot{m}$$

όπου  $\dot{m}$  η παροχή αέρα του τοίχου TROMBE,  $\dot{m} = AIRFLOW(gk/hr)$ . Το ίδιο θεωρούμε για την μεταβλητή Tairout που είναι η θερμοκρασία του αέρα που προσδίδεται στον χώρο του κτιρίου μέσω των θυρίδων του τοίχου TROMBE. Επίσης για την σχετική υγρασία θεωρήσαμε πως λαμβάνεται από τον εξωτερικό αέρα και στην συνέχεια της εργασίας θα την υπολογίσουμε αναλυτικά.

Ventilation Type Manager

 **"Ventilation Type" Manager**  

ventilation type:

---

Supply air flow

air change rate  1/h

Specific fan power (related to supply air flow):  kJ/hr / (m<sup>3</sup>/hr)

Note: The spec. fan power has no influence on the thermal energy balance.

---

Supply air conditioning

external by other component  
 internal calculation

---

Temperature of supply air flow

outside air  
 userdefined  °C

---

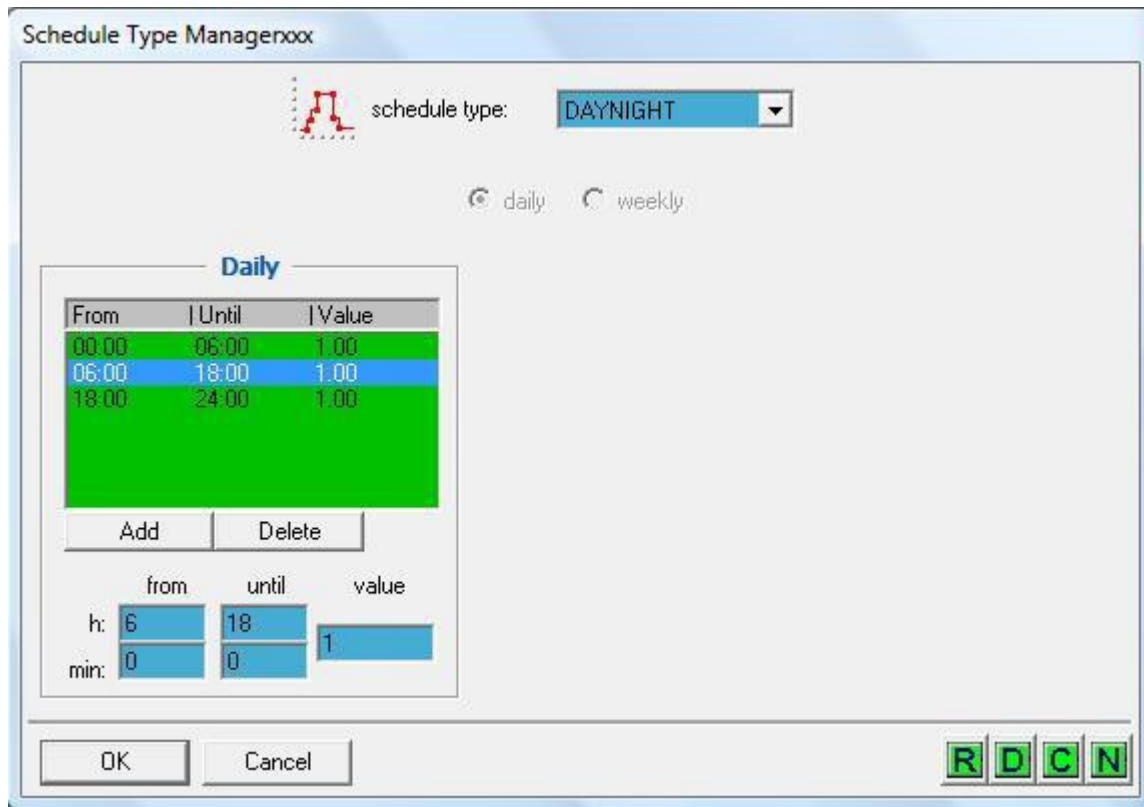
Humidity of Air Flow

relative humidity  
 absolute humidity

outside air  
 userdefined

Εικόνα 4.19 : Ρύθμιση αερισμού χώρου

Τέλος θα ρυθμίσουμε το ωράριο λειτουργίας του κτιρίου μας να είναι για 24 ώρες το 24ωρο από το Schedule Type Manager.

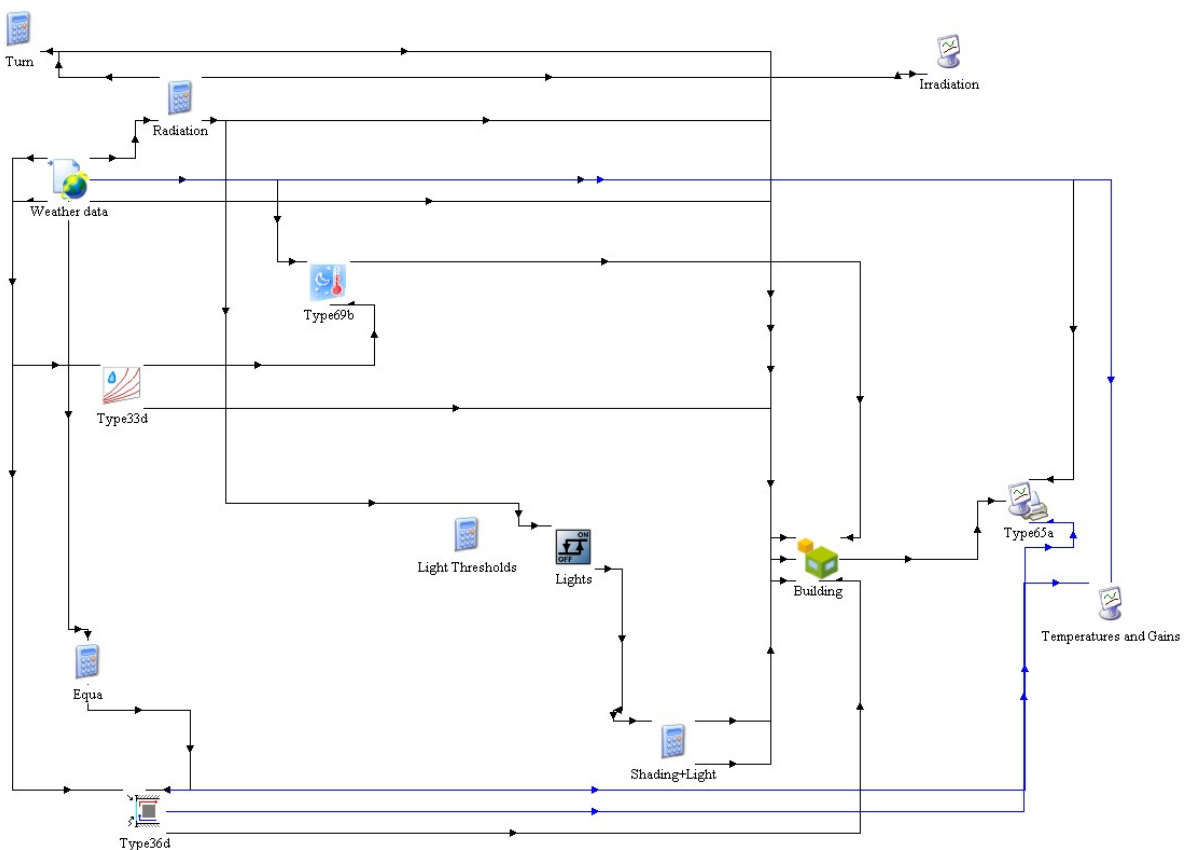


Εικόνα 4.20: Ρύθμιση ωραρίου λειτουργίας του κτιρίου

Αφού τελειώσαμε με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου μας θα μεταφερθούμε στο Simulation Studio αφού κλείσουμε το TRNBuild.

## 4.4 Παρουσίαση των στοιχείων (components) που χρησιμοποιήθηκαν

- Στοιχεία για την μελέτη του τοίχου Trombe

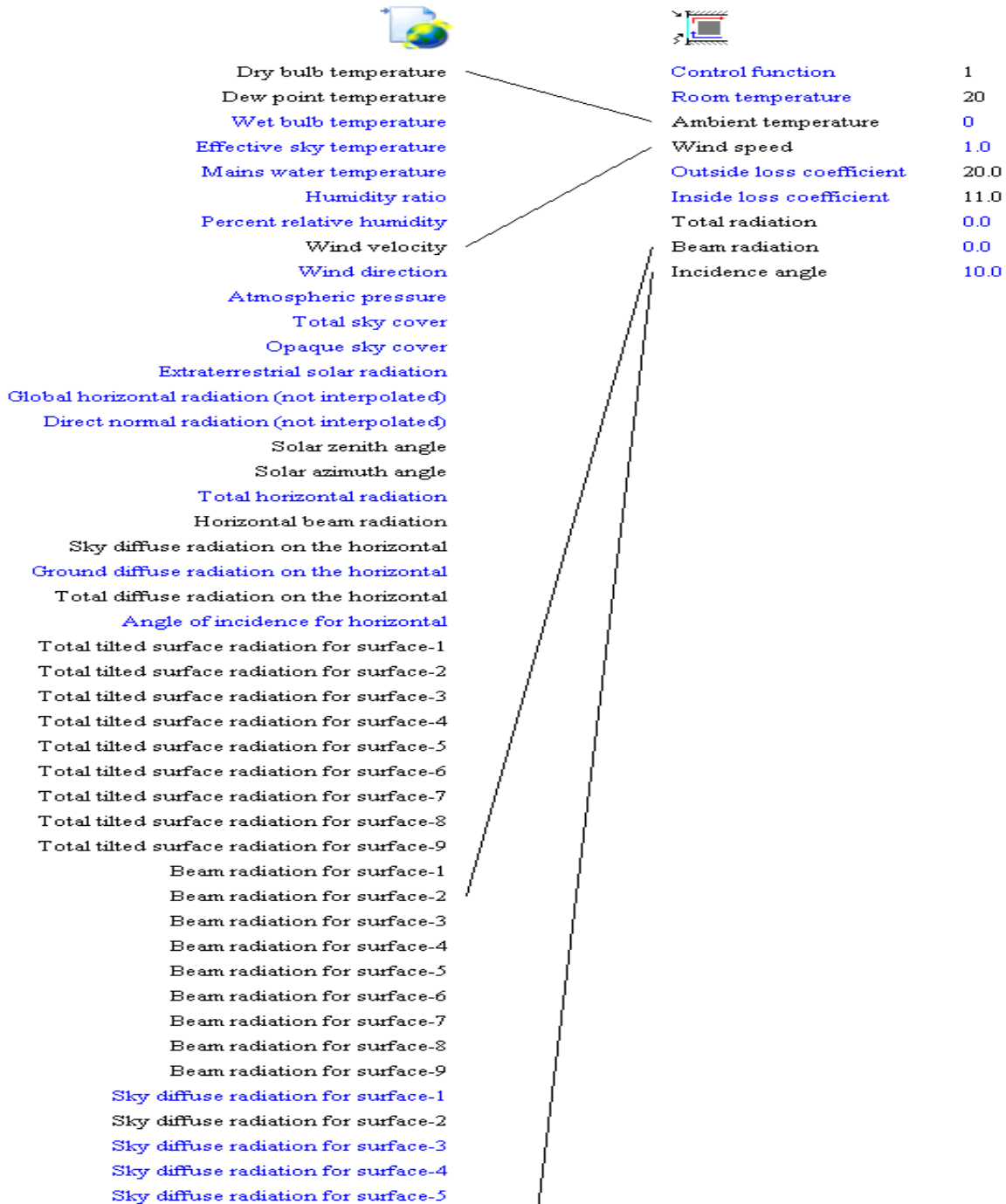


Εικόνα 4.21: Παρουσίαση στοιχείων (components) προσομοίωσης



Μετά από αρκετές δοκιμές στις παραμέτρους των στοιχείων καταλήξαμε σε μια ικανοποιητική προσέγγιση. Αρχικά θα δούμε την συνδεσμολογία των στοιχείων μεταξύ τους καθώς και των τιμών που επιλέχθηκαν στις παραμέτρους των στοιχείων.

- Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων-τοίχου Trombe



Εικόνα 4.22: Σύνδεση Weatherdata- τοίχου Trombe

---



Total tilted surface radiation for surface-4
Total tilted surface radiation for surface-5
Total tilted surface radiation for surface-6
Total tilted surface radiation for surface-7
Total tilted surface radiation for surface-8
Total tilted surface radiation for surface-9
Beam radiation for surface-1
Beam radiation for surface-2
Beam radiation for surface-3
Beam radiation for surface-4
Beam radiation for surface-5
Beam radiation for surface-6
Beam radiation for surface-7
Beam radiation for surface-8
Beam radiation for surface-9
Sky diffuse radiation for surface-1
Sky diffuse radiation for surface-2
Sky diffuse radiation for surface-3
Sky diffuse radiation for surface-4
Sky diffuse radiation for surface-5
Sky diffuse radiation for surface-6
Sky diffuse radiation for surface-7
Sky diffuse radiation for surface-8
Sky diffuse radiation for surface-9
Ground reflected diffuse radiation for surface-1
Ground reflected diffuse radiation for surface-2
Ground reflected diffuse radiation for surface-3
Ground reflected diffuse radiation for surface-4
Ground reflected diffuse radiation for surface-5
Ground reflected diffuse radiation for surface-6
Ground reflected diffuse radiation for surface-7
Ground reflected diffuse radiation for surface-8
Ground reflected diffuse radiation for surface-9
Total diffuse radiation for surface-1
Total diffuse radiation for surface-2
Total diffuse radiation for surface-3
Total diffuse radiation for surface-4
Total diffuse radiation for surface-5
Total diffuse radiation for surface-6
Total diffuse radiation for surface-7
Total diffuse radiation for surface-8
Total diffuse radiation for surface-9
Angle of incidence for surface-1
Angle of incidence for surface-2
Angle of incidence for surface-3
Angle of incidence for surface-4
Angle of incidence for surface-5
Angle of incidence for surface-6
Angle of incidence for surface-7

---

Εικόνα 4.23: Σύνδεση Weatherdata- τοίχου Trombe

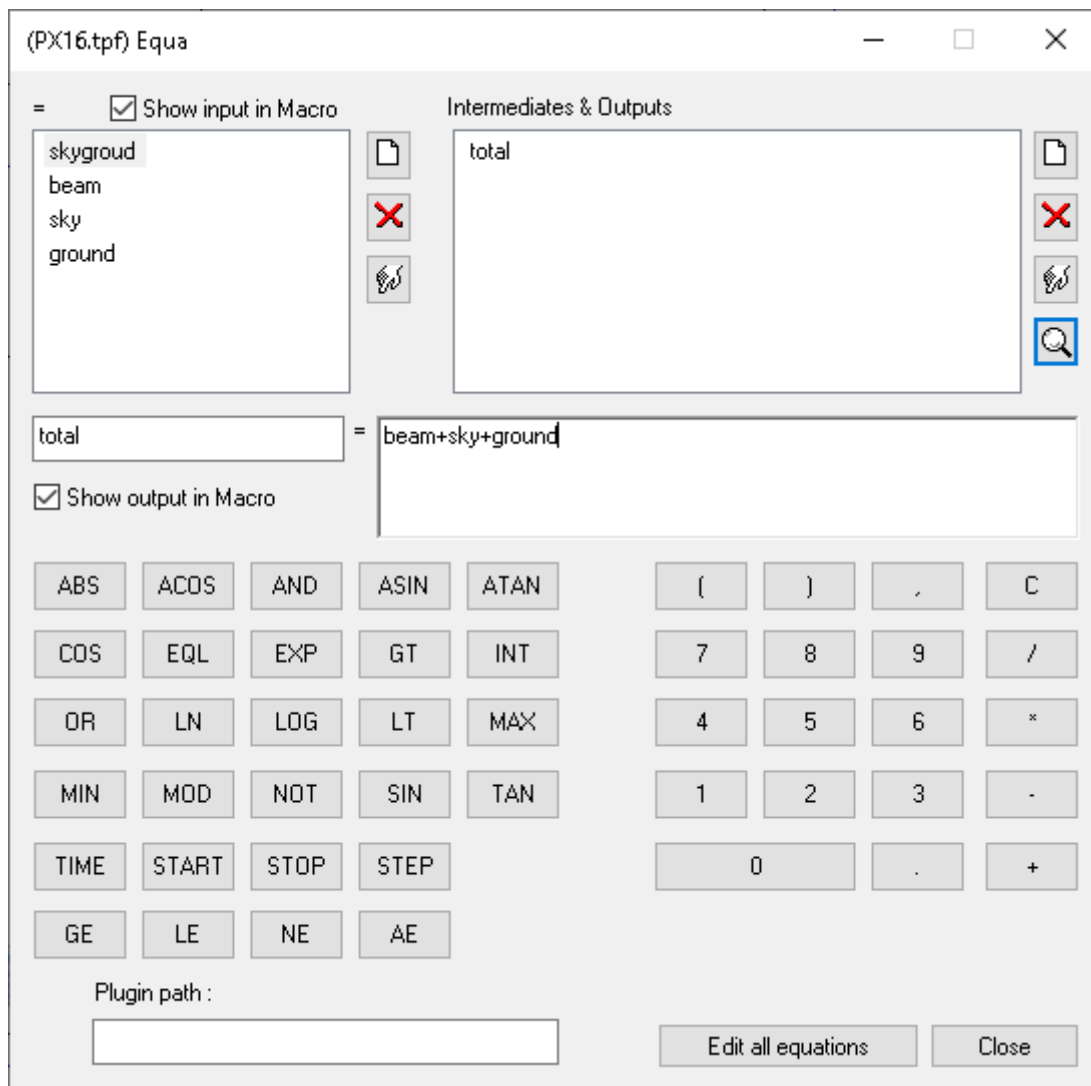
Στις εικόνες 4.22 και 4.23 ο τοίχος Trombe είναι τοποθετημένος στην νότια πλευρά του κτιρίου μας για αυτό οι συνδέσεις γίνονται για το surface 2.Ο τοίχος Trombe συνδέεται με το Building που δημιουργήσαμε.

- Σύνδεση τοίχου Trombe-Building

	
Energy flow to room	1- TAMB 0
Internal energy change rate	2- RELHUMAMB 0
Solar absorption rate	3- TSKY 0
Thermal losses	4- TSGRD 0
Wall to room heat transfer	5- AZEN 0
Glazing to ambient heat transfer	6- AAZM 0
Ventilation energy flow	7- IT_N_180_90 0
Air flow rate	8- IT_S_0_90 0
Outlet air temperature	9- IT_E_270_90 0
Temperature of first glazing	10- IT_W_90_90 0
Temperature of wall node-1	11- IT_H_0_0 0
Temperature of wall node-2	12- IB_N_180_90 0
Temperature of wall node-3	13- IB_S_0_90 0
	14- IB_E_270_90 0
	15- IB_W_90_90 0
	16- IB_H_0_0 0
	17- AI_N_180_90 0
	18- AI_S_0_90 0
	19- AI_E_270_90 0
	20- AI_W_90_90 0
	21- AI_H_0_0 0
	22- GRDREF 0.2
	23- CNAT_1 0
	24- T_COOL_ON 0
	25- MS_N_180_90 0
	26- MS_S_0_90 0
	27- MS_E_270_90 0
	28- MS_W_90_90 0
	29- BRIGHT 0
	30- FLOW 0
	31- TEMPFLOW 0
	32- Tairout 0
	33- AIRFLOW 0

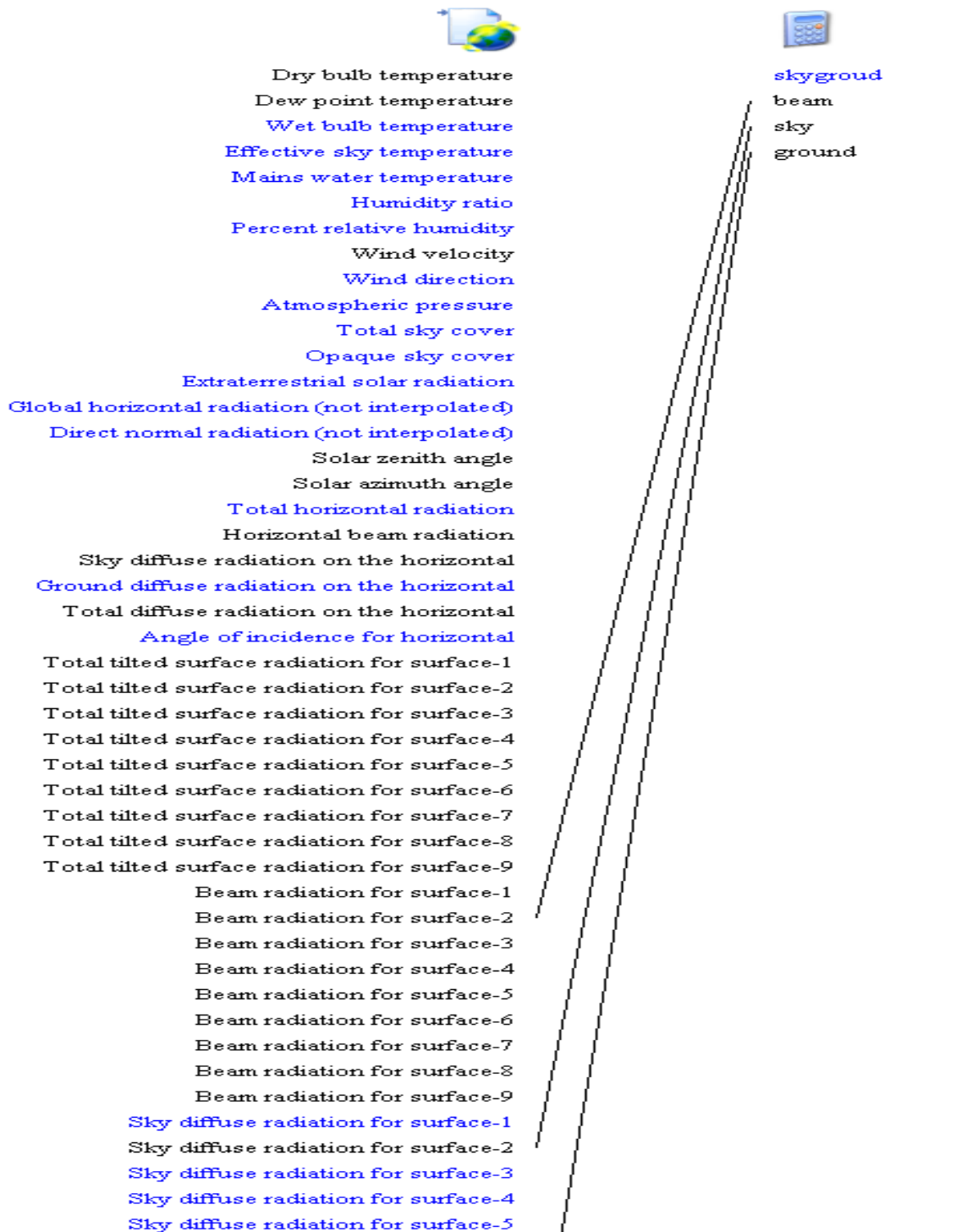
Εικόνα 4.24: Σύνδεση τοίχου Trombe - Building

Για να μπορέσουμε να συνδέσουμε κάποια δεδομένα που θέλαμε στον τοίχο Trombe δημιουργήσαμε ένα calculator το οποίο έχει ως είσοδο δεδομένα από Weather data και εκτελώντας τις πράξεις που θέλουμε, συνδέουμε την έξοδό του με τον τοίχο Trombe. Αυτό έγινε καθώς δεν ήταν εφικτή η σύνδεση τους αρχικά από το πρόγραμμα. Έτσι η εξίσωση που πήραμε είναι η εξής:



Εικόνα 4.25: Εξίσωση αθροίσματος των εισόδων στο Calculator

- Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων-calculator



Εικόνα 4.26: Σύνδεση Weather data- calculator

```

Total tilted surface radiation for surface-7
Total tilted surface radiation for surface-8
Total tilted surface radiation for surface-9
  Beam radiation for surface-1
  Beam radiation for surface-2
  Beam radiation for surface-3
  Beam radiation for surface-4
  Beam radiation for surface-5
  Beam radiation for surface-6
  Beam radiation for surface-7
  Beam radiation for surface-8
  Beam radiation for surface-9
  Sky diffuse radiation for surface-1
  Sky diffuse radiation for surface-2
  Sky diffuse radiation for surface-3
  Sky diffuse radiation for surface-4
  Sky diffuse radiation for surface-5
  Sky diffuse radiation for surface-6
  Sky diffuse radiation for surface-7
  Sky diffuse radiation for surface-8
  Sky diffuse radiation for surface-9
Ground reflected diffuse radiation for surface-1
Ground reflected diffuse radiation for surface-2
Ground reflected diffuse radiation for surface-3
Ground reflected diffuse radiation for surface-4
Ground reflected diffuse radiation for surface-5
Ground reflected diffuse radiation for surface-6
Ground reflected diffuse radiation for surface-7
Ground reflected diffuse radiation for surface-8
Ground reflected diffuse radiation for surface-9
  Total diffuse radiation for surface-1
  Total diffuse radiation for surface-2
  Total diffuse radiation for surface-3
  Total diffuse radiation for surface-4
  Total diffuse radiation for surface-5
  Total diffuse radiation for surface-6
  Total diffuse radiation for surface-7
  Total diffuse radiation for surface-8
  Total diffuse radiation for surface-9
  Angle of incidence for surface-1
  Angle of incidence for surface-2
  Angle of incidence for surface-3
  Angle of incidence for surface-4
  Angle of incidence for surface-5
  Angle of incidence for surface-6
  Angle of incidence for surface-7
  Angle of incidence for surface-8
  Angle of incidence for surface-9


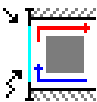
```

Εικόνα 4.27: Σύνδεση Weather data- Calculator

Στις εικόνες 4.26 και 4.27 επειδή ο τοίχος Trombe είναι συνδεδεμένος στη νότια πλευρά του κτιρίου έχουμε συνδέσει στο calculator τα surface 2 που μας ενδιαφέρουν. Στη συνέχεια της εργασίας που θα τοποθετήσουμε τον τοίχο Trombe σε άλλη πλευρά του κτιρίου θα επιλέξουμε και το αντίστοιχο surface. Τώρα θα συνδέσουμε το calculator με τον τοίχο Trombe.

- Σύνδεση calculator-τοίχος Trombe

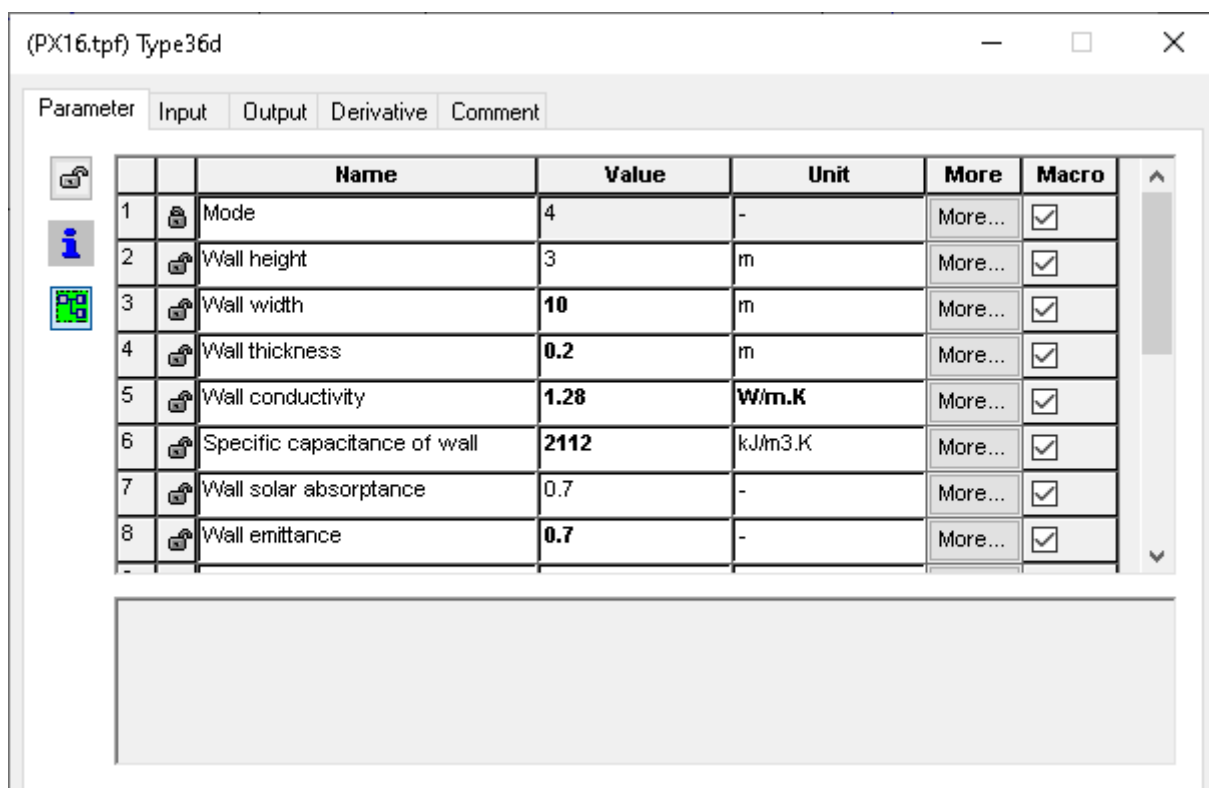
---

			
total		Control function	1
		Room temperature	20
		Ambient temperature	0
		Wind speed	1.0
		Outside loss coefficient	20.0
		Inside loss coefficient	11.0
		Total radiation	0.0
		Beam radiation	0.0
		Incidence angle	10.0

---

Εικόνα 4.28: Σύνδεση calculator-τοίχου Trombe

Για τον τοίχο Trombe μετά από αναζήτηση και δοκιμές καταλήξαμε στις ακόλουθες τιμές των παραμέτρων.



		Name	Value	Unit	More...	Macro
1		Mode	4	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Wall height	3	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Wall width	<b>10</b>	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Wall thickness	<b>0.2</b>	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Wall conductivity	<b>1.28</b>	<b>W/m.K</b>	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Specific capacitance of wall	<b>2112</b>	<b>kJ/m3.K</b>	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Wall solar absorptance	0.7	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Wall emittance	<b>0.7</b>	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.29: Παράμετροι τοίχου Trombe



(PX16.tpf) Type36d

Parameter Input Output Derivative Comment

		Name	Value	Unit	More	Macro
8		Wall emittance	0.7	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9		Glazing emittance	0.88	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
10		Number of glazings	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
11		Spacing between wall and glazing	0.1	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
12		Extinction	0.016	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
13		Refractive index	1.526	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
14		Vent outlet area	1.2	m <sup>2</sup>	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
15		Distance between vents	2.3	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.30: Παράμετροι τοίχου Trombe

(PX16.tpf) Type36d

Parameter Input Output Derivative Comment

		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Control function	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2		Room temperature	20	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Ambient temperature	0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Wind speed	1.0	m/s	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Outside loss coefficient	20.0	kJ/hr.m <sup>2</sup> .K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Inside loss coefficient	11.0	kJ/hr.m <sup>2</sup> .K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Total radiation	0.0	kJ/hr.m <sup>2</sup>	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Beam radiation	0.0	kJ/hr.m <sup>2</sup>	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.31: Είσοδοι τοίχου Trombe

(PX16.tpf) Type36d


Parameter Input Output Derivative Comment

		Name	Value	Unit	More...	Macro
2		Room temperature	20	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3		Ambient temperature	0	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4		Wind speed	1.0	m/s	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5		Outside loss coefficient	20.0	$\text{kJ/hr.m}^2\text{.K}$	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6		Inside loss coefficient	11.0	$\text{kJ/hr.m}^2\text{.K}$	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7		Total radiation	0.0	$\text{kJ/hr.m}^2$	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8		Beam radiation	0.0	$\text{kJ/hr.m}^2$	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
9		Incidence angle	10.0	degrees	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Εικόνα 4.32: Είσοδοι τοίχου Trombe



Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε την σύνδεση μεταξύ των στοιχείων Weather data, psychrometrics και sky temperature που χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση μας.

- Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων-psychrometrics

			
Dry bulb temperature	—————	Dry bulb temp.	22.0
Dew point temperature	—————	Dew point temp.	20.0
Wet bulb temperature		Pressure	1
Effective sky temperature			
Mains water temperature			
Humidity ratio			
Percent relative humidity			
Wind velocity			
Wind direction			
Atmospheric pressure			
Total sky cover			
Opaque sky cover			
Extraterrestrial solar radiation			
Global horizontal radiation (not interpolated)			
Direct normal radiation (not interpolated)			
Solar zenith angle			
Solar azimuth angle			
Total horizontal radiation			
Horizontal beam radiation			
Sky diffuse radiation on the horizontal			
Ground diffuse radiation on the horizontal			
Total diffuse radiation on the horizontal			
Angle of incidence for horizontal			

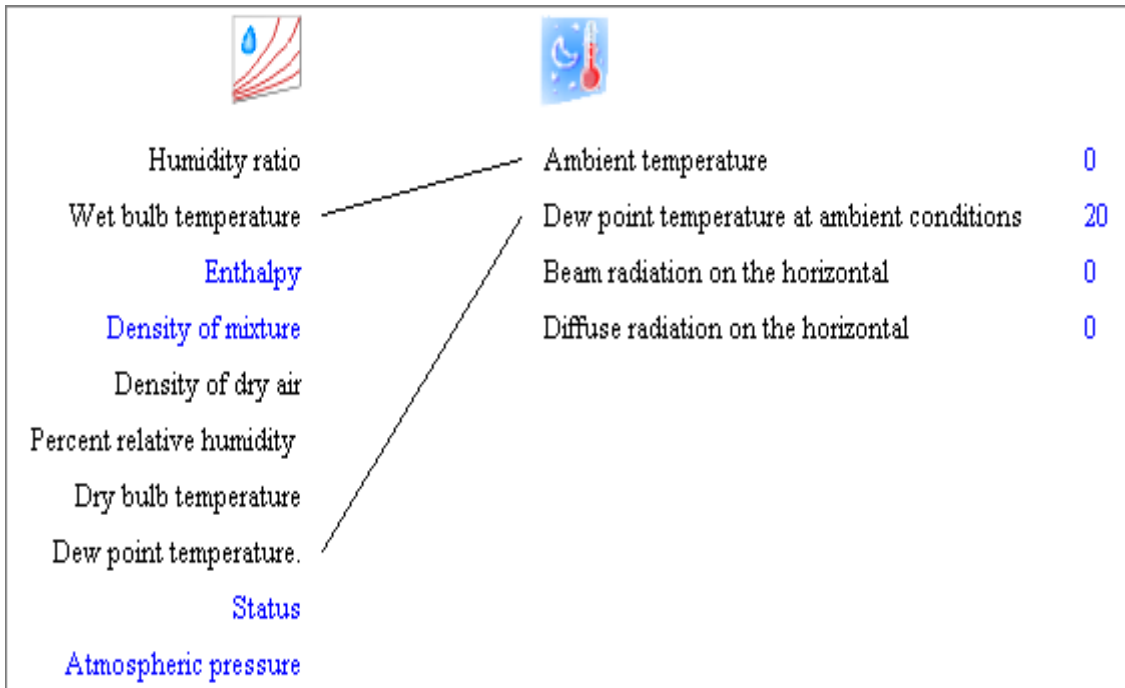
Εικόνα 4.33: Σύνδεση Weather data- psychrometrics

- Σύνδεση μετεωρολογικών δεδομένων-sky temperature

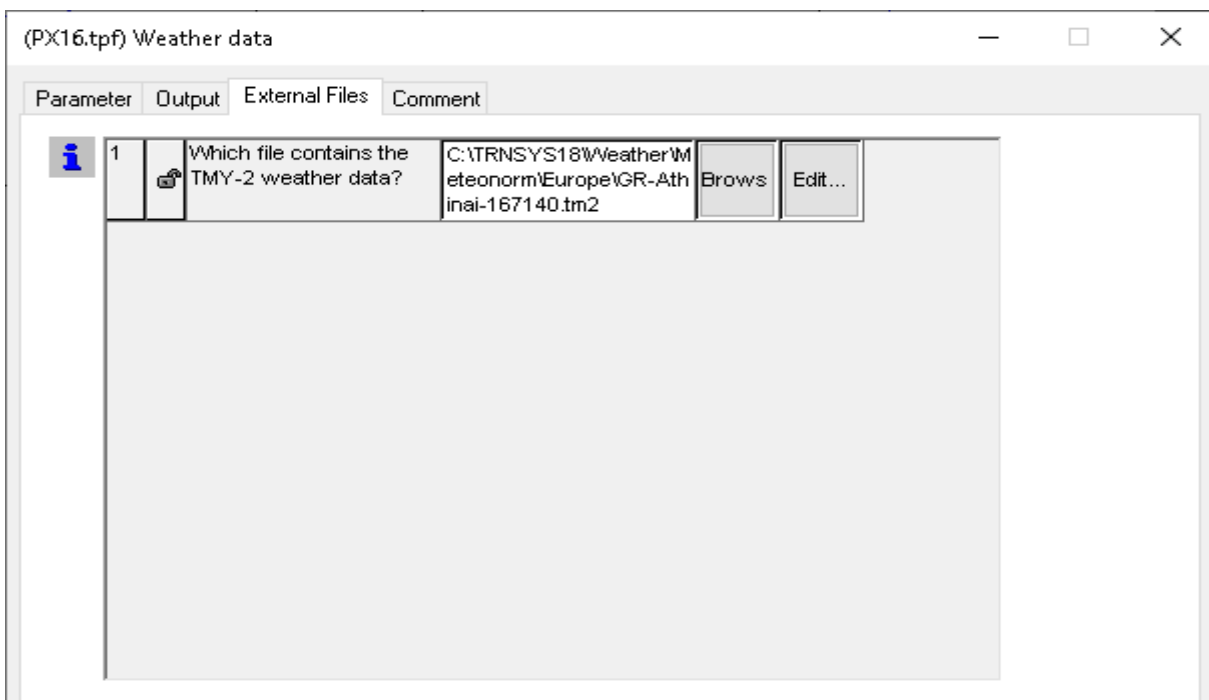
	
Dry bulb temperature	Ambient temperature 0
Dew point temperature	Dew point temperature at ambient conditions 20
Wet bulb temperature	Beam radiation on the horizontal 0
Effective sky temperature	Diffuse radiation on the horizontal 0
Mains water temperature	
Humidity ratio	
Percent relative humidity	
Wind velocity	
Wind direction	
Atmospheric pressure	
Total sky cover	
Opaque sky cover	
Extraterrestrial solar radiation	
Global horizontal radiation (not interpolated)	
Direct normal radiation (not interpolated)	
Solar zenith angle	
Solar azimuth angle	
Total horizontal radiation	
Horizontal beam radiation	
Sky diffuse radiation on the horizontal	
Ground diffuse radiation on the horizontal	
Total diffuse radiation on the horizontal	
Angle of incidence for horizontal	

Εικόνα 4.34: Σύνδεση Weather data- sky temperature

- Σύνδεση psychrometrics-sky temperature





Εικόνα 4.35: Σύνδεση psychrometrics- sky temperature





Εικόνα 4.36: Επιλογή τοποθεσίας κτιρίου Αθήνα

- Σύνδεση psychrometrics-Building

			
Humidity ratio		1- TAMB	0
Wet bulb temperature		2- RELHUMAMB	0
Enthalpy		3- TSKY	0
Density of mixture		4- TSGRD	0
Density of dry air		5- AZEN	0
Percent relative humidity		6- AAZM	0
Dry bulb temperature		7- IT_N_180_90	0
Dew point temperature.		8- IT_S_0_90	0
Status		9- IT_E_270_90	0
Atmospheric pressure		10- IT_W_90_90	0
		11- IT_H_0_0	0
		12- IB_N_180_90	0
		13- IB_S_0_90	0
		14- IB_E_270_90	0
		15- IB_W_90_90	0
		16- IB_H_0_0	0
		17- AI_N_180_90	0
		18- AI_S_0_90	0

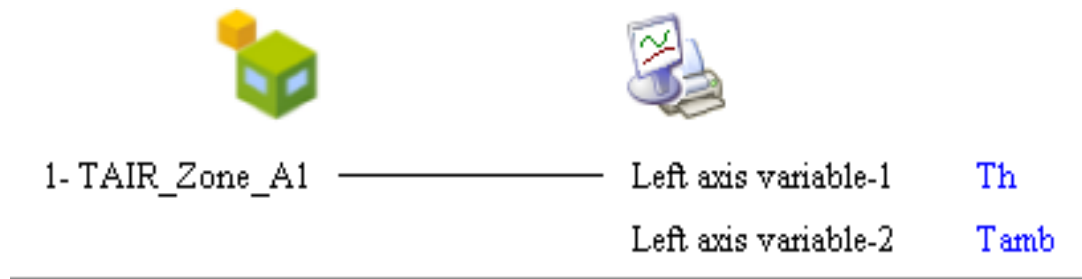
Εικόνα 4.37: Σύνδεση psychrometrics-Building

- Σύνδεση sky temperature- Building

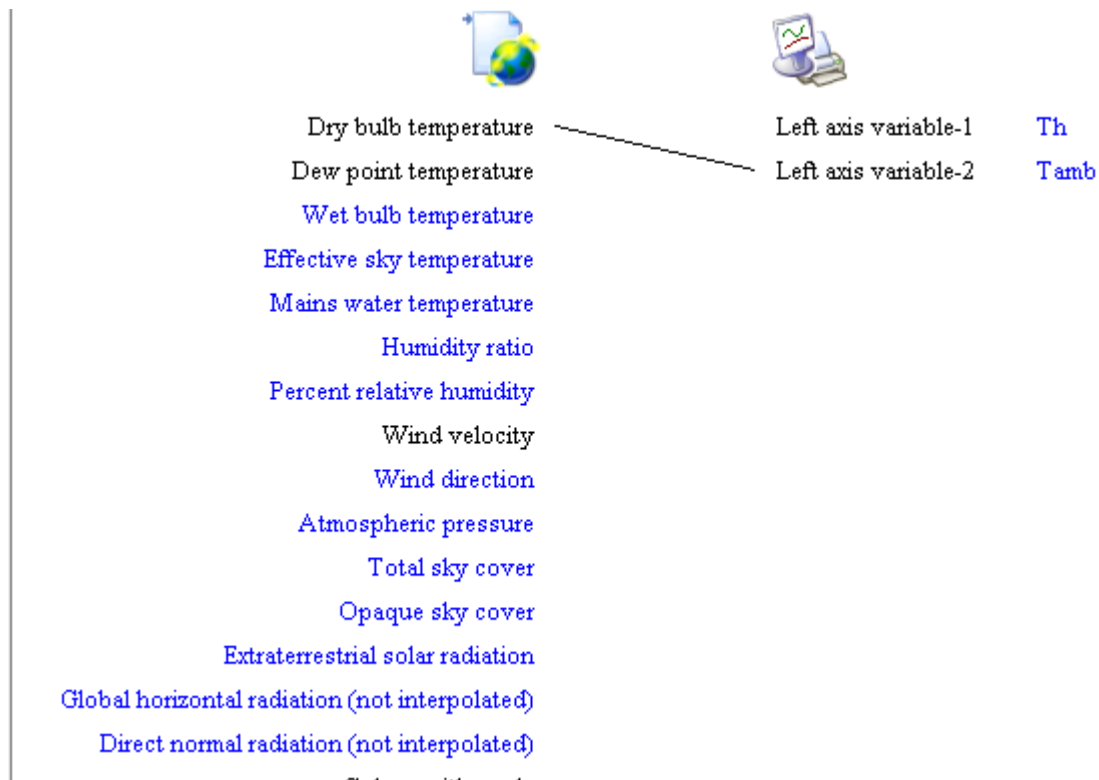
			
Fictive sky temperature		1- TAMB	0
Cloudiness factor of the sky		2- RELHUMAMB	0
		3- TSKY	0
		4- TSGRD	0
		5- AZEN	0
		6- AAZM	0
		7- IT_N_180_90	0
		8- IT_S_0_90	0

Εικόνα 4.38: Σύνδεση sky temperature- Building

- Σύνδεση Building-εκτυπωτή και μετεωρολογικών δεδομένων-εκτυπωτή



Εικόνα 4.39: Σύνδεση Building - Printer



Εικόνα 4.40: Σύνδεση Weather data- Printer

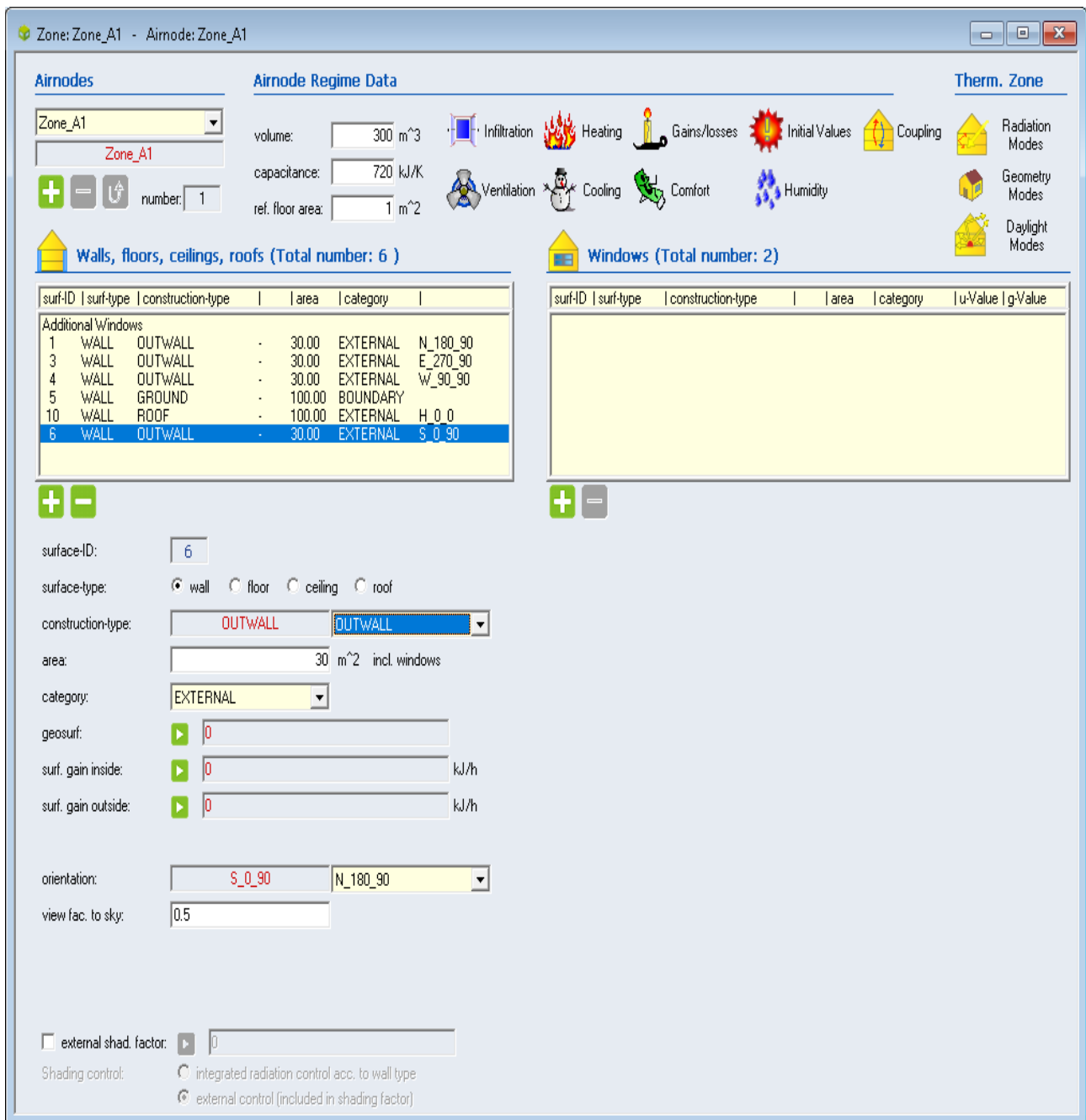
Στη συνέχεια της εργασίας έχουμε τοποθετήσει τον τοίχο Trombe πέρα από την νότια πλευρά στην βόρεια,δυτική,ανατολική αλλά και στην οροφή για να εξετάσουμε την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους κτιρίου μας καθώς και των θερμοκρασιών που υπολογίστηκαν στην εξωτερική και εσωτερική πλευρά του τοίχου Trombe, την θερμοκρασία του υαλοστασίου καθώς και του αέρα που εξέρχεται από το διάκενο του τοίχου Trombe.

Στις εικόνες 4.22-4.23 και 4.26-4.27,έχουμε συνδέσει τα μετεωρολογικά δεδομένα με τον τοίχο Trombe και με το calculator.Η σύνδεση μεταξύ beam radiation for surface 2 - beam radiation,angle of incidence for surface 2-incidence radiation αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα και του τοίχου Trombe. Η σύνδεση beam radiation for surface 2 - beam,sky diffuse radiation for surface 2 - sky,ground reflected diffuse radiation for surface 2 - ground αφορά τα μετεωρολογικά δεδομένα και του calculator επειδή έχουμε τοποθετήσει τον τοίχο Trombe στη νότια πλευρά.Στην περίπτωση που τον τοποθετήσουμε στην βόρεια πλευρά θα αλλάξουμε την συνδεσμολογία με τα surface 6.Για τις περιπτώσεις που θα τον τοποθετήσουμε στην δυτική,ανατολική πλευρά και στην οροφή τα surface που θα επιλέξουμε θα είναι 4,8 και 1 αντίστοιχα.

Για να τοποθετήσουμε τις επιπλέον θερμοκρασίες που αναφέραμε προηγουμένως στο διάγραμμα θα πάμε στο στοιχείο printer και θα επιλέξουμε να υπάρχουν 4 επιπλέον μεταβλητές δεξιά στο διάγραμμα.




Για την περίπτωση του κλασσικού κτιρίου,πηγαίνουμε στο κτίριό μας και αντικαθιστούμε τον τοίχο Trombe με τον τοίχο που υπάρχει και στις άλλες πλευρές.Επίσης στο παράθυρο του Ventilation θα επιλέξουμε να γίνονται 2 εναλλαγές του αέρα ανά ώρα,ενώ η θερμοκρασία του αέρα θα είναι αυτή του περιβάλλοντος.






Εικόνα 4.41: Κλασσικό κτίριο


Ventilation Type Manager

 "Ventilation Type" Manager  

ventilation type:

Supply air flow

  1/h

Specific fan power  
(related to supply air flow):   kJ/hr / (m<sup>3</sup>/hr)

Note: The spec. fan power has no influence on the thermal energy balance.

Supply air conditioning


external by other component  
 internal calculation

Temperature of supply air flow

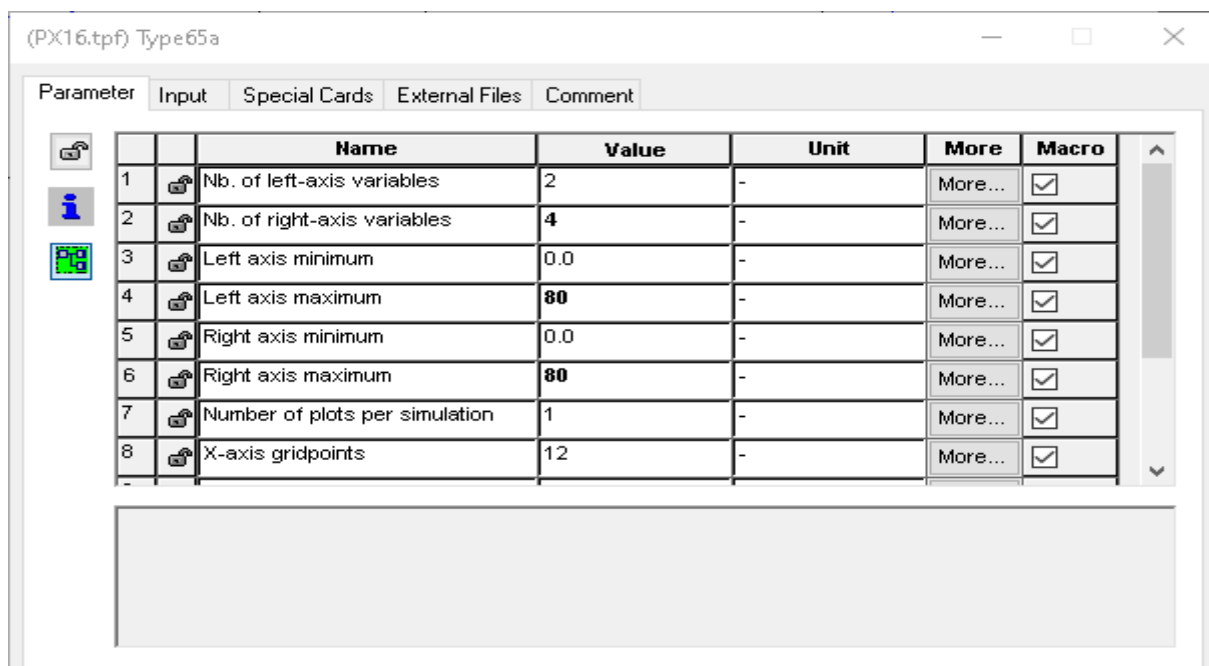
outside air  
 userdefined

Humidity of Air Flow

relative humidity  
 absolute humidity

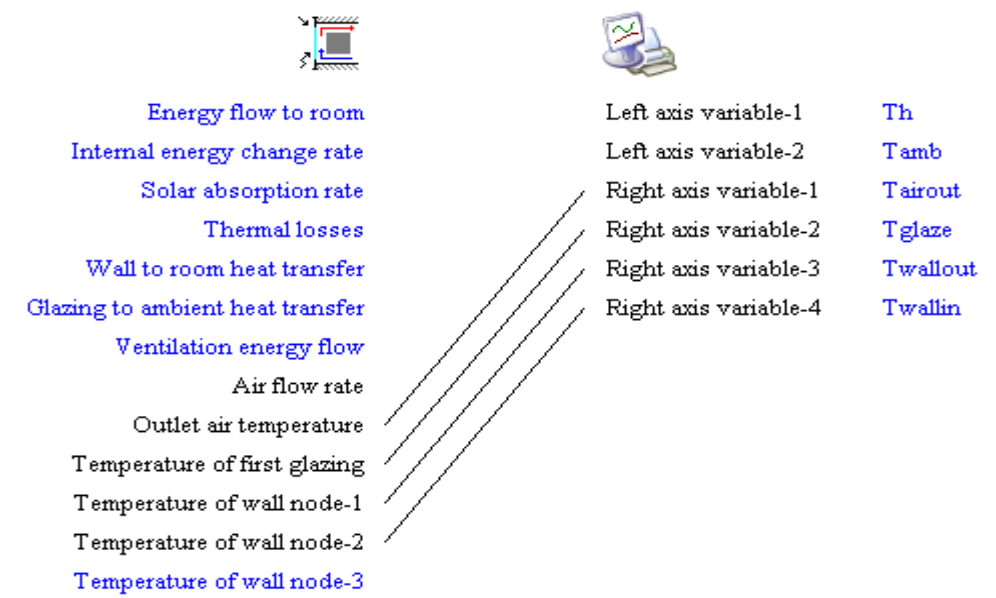
outside air  
 userdefined   %

Εικόνα 4.42: Ρύθμιση εναλλαγών αέρα κλασσικού κτιρίου



Εικόνα 4.43: Προσθήκη 4 μεταβλητών δεξιά του διαγράμματος

Όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.43 επιλέξαμε η διακύμανση των τιμών να είναι από 0 έως 80 (°C) για την καλύτερη απεικόνιση των θερμοκρασιών του υαλοστασίου και των πλευρών του τοίχου Trombe στο διάγραμμα. Στη συνέχεια θα συνδέσουμε τις θερμοκρασίες που θέλουμε από το στοιχείο του τοίχου Trombe με το στοιχείο printer .



Εικόνα 4.44: Σύνδεση τοίχου Trombe-printer

# 5.Αποτελέσματα Προσομοίωσης

## 5.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκαν στο TRNSYS. Το βήμα προσομοίωσης που επιλέξαμε είναι το 0,1 hr για την παρούσα εργασία. Αρχικά η νότια όψη του κτιρίου είναι η πιο επικερδής από θερμικά κέρδη το χειμώνα καθώς είναι αυτή που έχει τα μεγαλύτερα ηλιακά κέρδη. Αυτό συμβαίνει επειδή η τροχιά του ήλιου είναι χαμηλά με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να προσεγγίζει κάθετα την επιφάνεια πρόσπτωσης. Το καλοκαίρι που επιθυμούμε την μείωση των ενεργειακών κερδών η τροχιά του ήλιου είναι ψηλά με αποτέλεσμα να προσεγγίζει παράλληλα την επιφάνεια πρόσπτωσης και τα ηλιακά κέρδη να μειώνονται.

Η βόρεια όψη δέχεται την λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία καθώς ηλιάζεται μόνο την θερινή περίοδο και τότε μόνο τις πρωινές ώρες και αργά το απόγευμα.

Η ανατολική και δυτική όψη του κτιρίου θεωρούνται θερμικά επιβαρυνμένες επειδή το καλοκαίρι η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σχεδόν κάθετα με αποτέλεσμα να έχουν μέγιστα ηλιακά κέρδη. Η δυτική όψη είναι περισσότερο επιβαρυνμένη καθώς η έκθεση της στον ήλιο είναι τις απογευματινές ώρες ενώ της ανατολικής όψης είναι τις πρωινές ώρες.

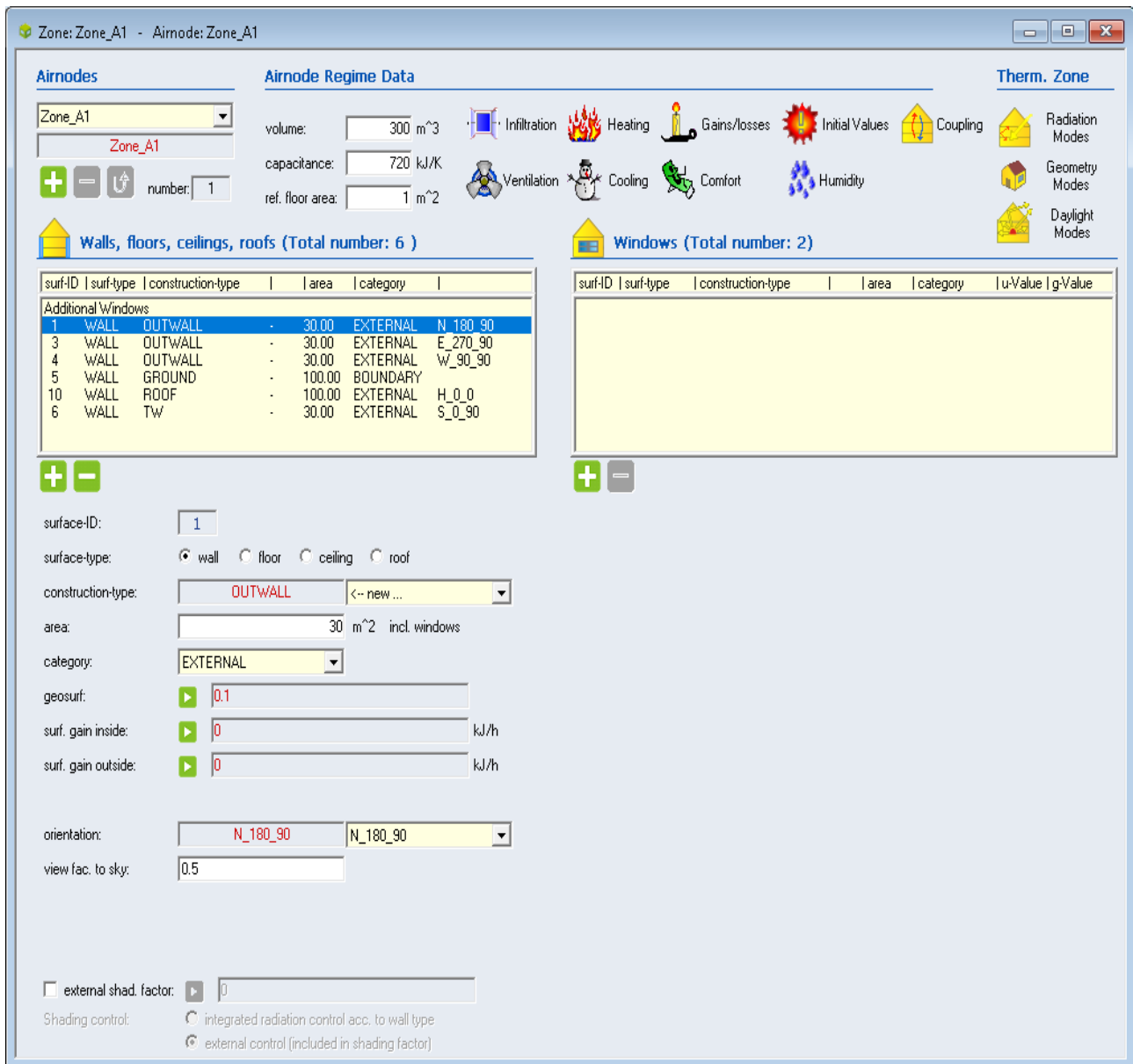
Η οριζόντια όψη του κτιρίου, δηλαδή η οροφή είναι η δυσμενέστερη την καλοκαιρινή περίοδο καθώς δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία με μεγαλύτερη καθετότητα και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Τα παραπάνω προκύπτουν από την προσομοίωση που κάναμε τοποθετώντας τον τοίχο Trombe στην νότια, βόρεια, δυτική και ανατολική πλευρά του κτιρίου μας για να δούμε την εσωτερική διακύμανση της θερμοκρασίας του κτιρίου μας. Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 4 στις εικόνες 4.22-4.23 και 4.26-4.27, όταν τοποθετήσουμε τον τοίχο Trombe στην πλευρά που θέλουμε θα αλλάξουμε και τα surface αντιστοίχα. [10]

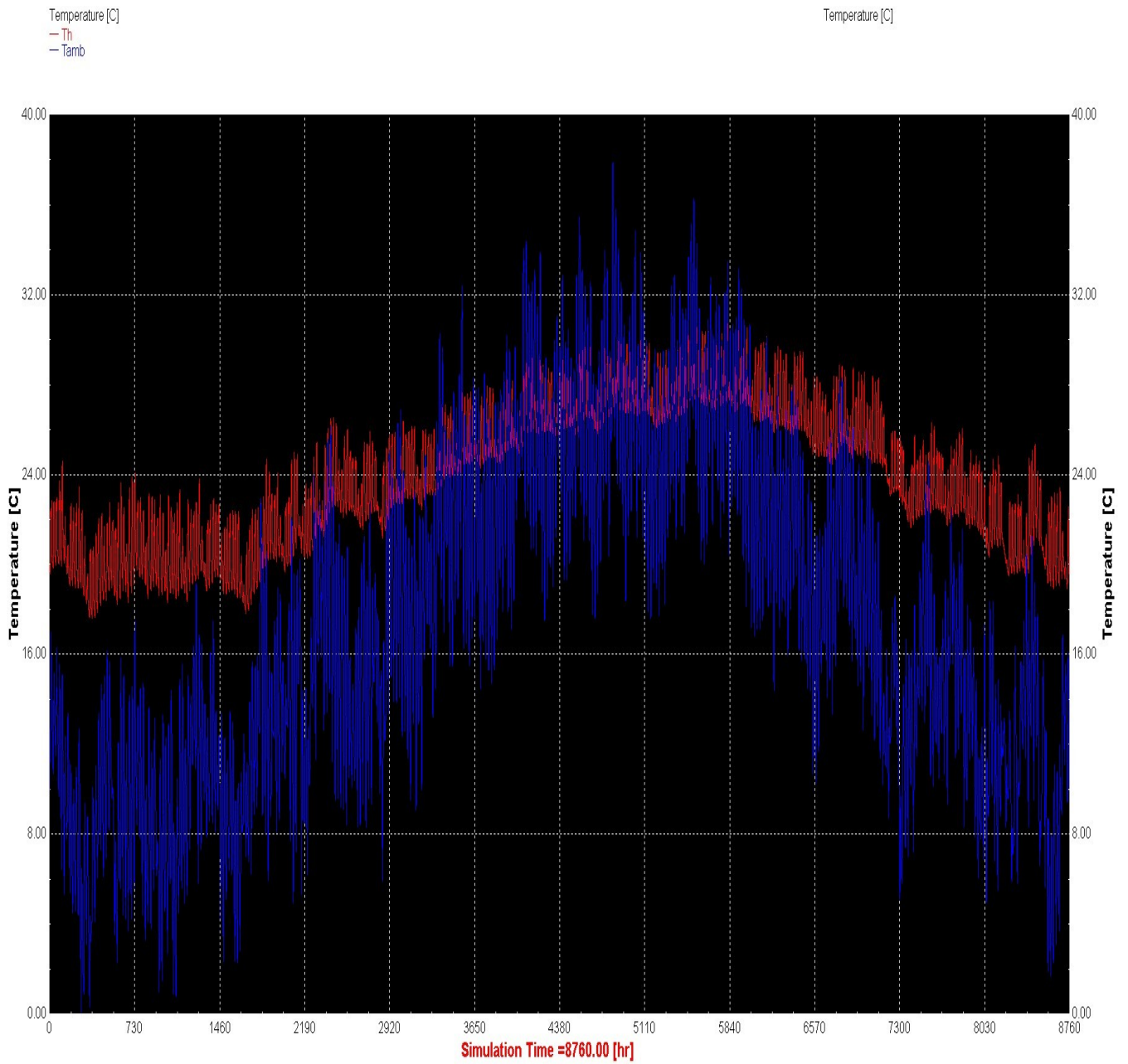
Έχοντας τοποθετήσει στην νότια πλευρά του κτιρίου μας τον τοίχο Trombe θα μελετήσουμε τις διακυμάνσεις των θερμοκρασιών που παρατηρούνται για ένα πλήρες έτος.

Οι μεταβλητές  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  αφορούν τις θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, περιβάλλοντος, αέρα εξόδου από τις θυρίδες προς τον χώρο του κτιρίου, εξωτερικής πλευράς τοίχου Trombe, εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe και υαλοστασίου αντίστοιχα. Οι θερμοκρασίες μετρούνται σε ( $^{\circ}\text{C}$ ).

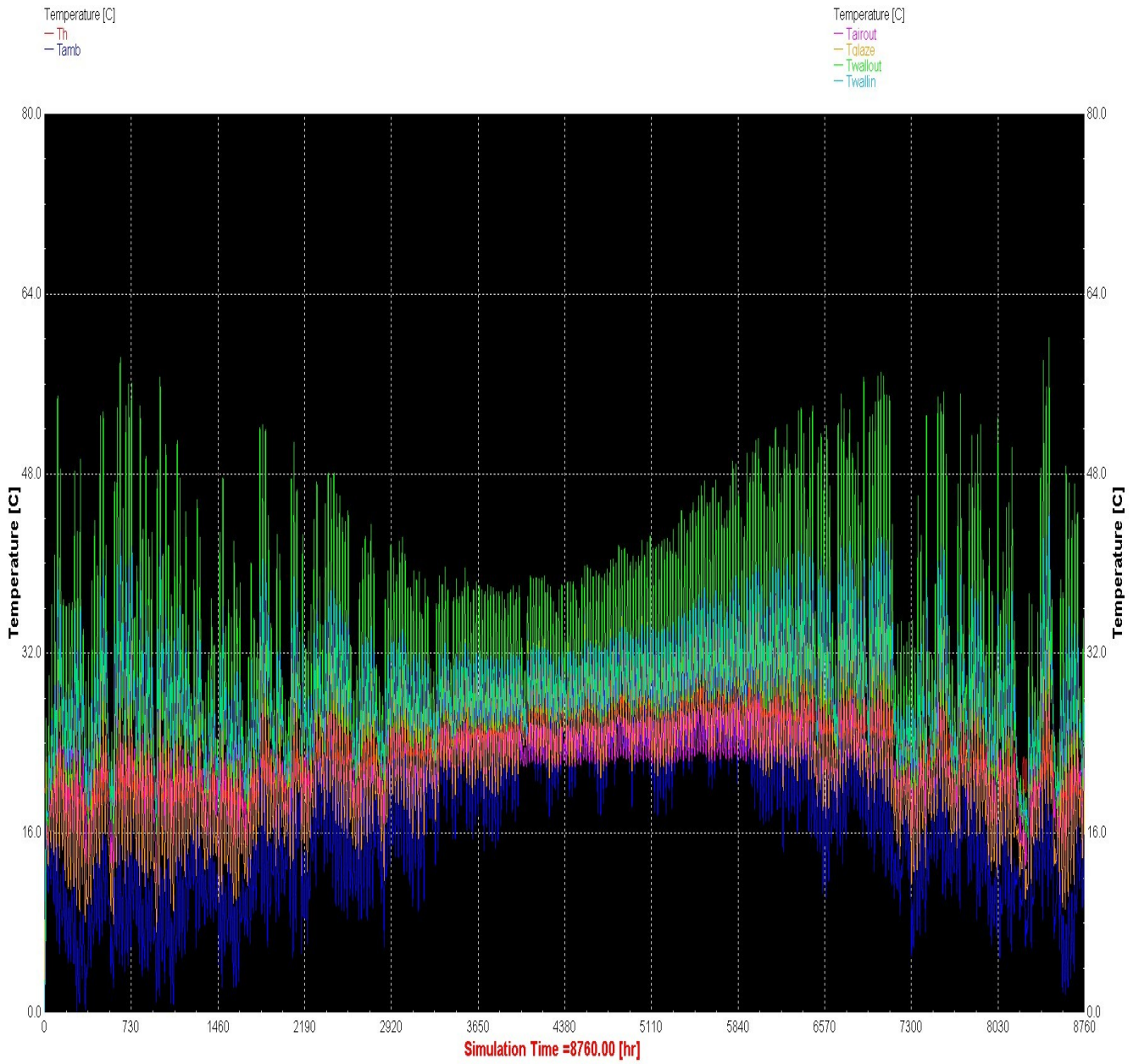
Τοίχος Trombe στη νότια πλευρά κτιρίου:



Εικόνα 5.1:Τοίχος Trombe τοποθετημένος στην νότια πλευρά του κτιρίου



Διάγραμμα 5.1:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος.



Διάγραμμα 5.2:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  &  $T_{wallin}$

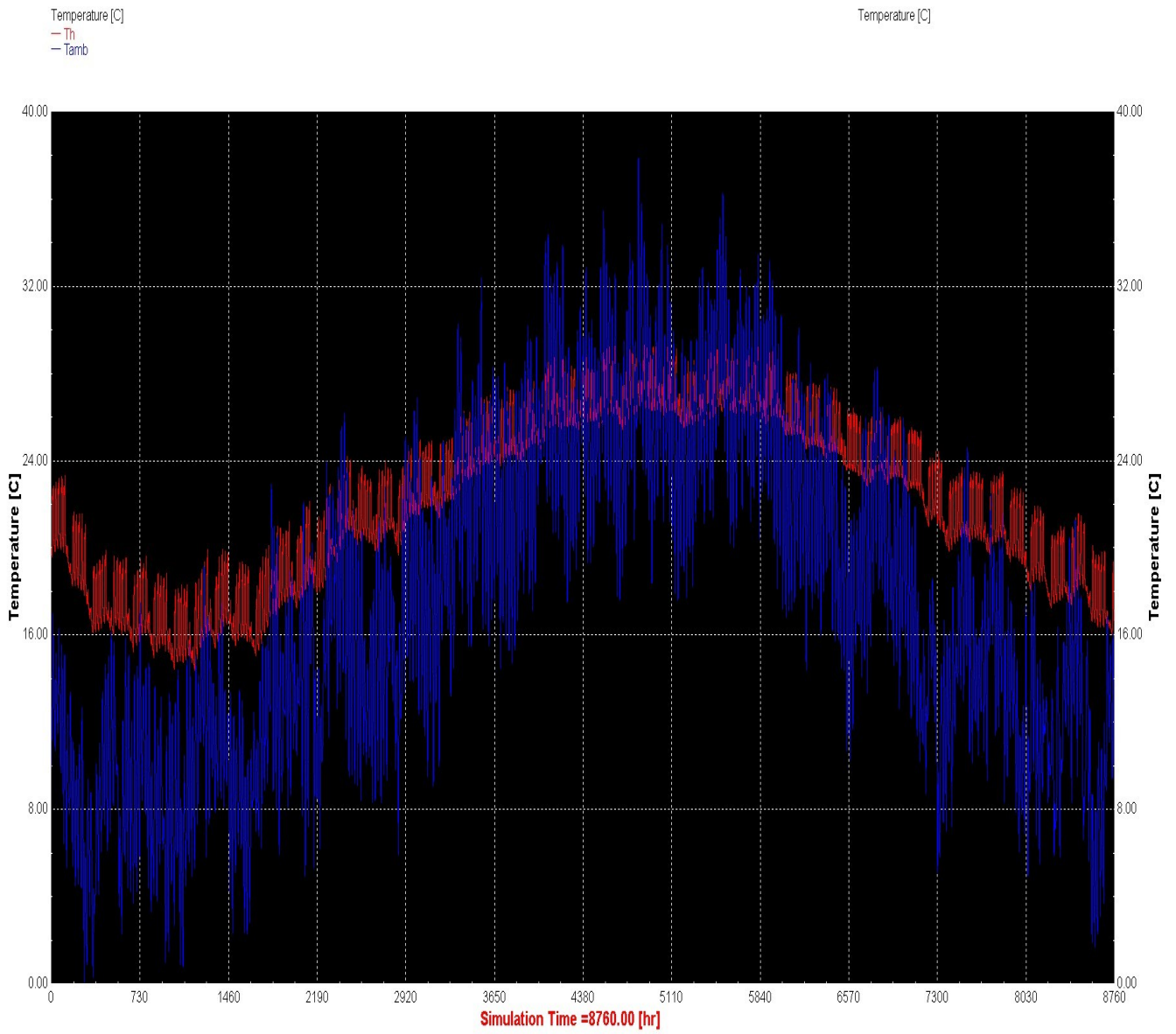
Για την περίπτωση που έχουμε τοποθετήσει τον τοίχο Trombe στην βόρεια πλευρά του κτιρίου μας κάνουμε την ίδια διαδικασία, με τις μεταβλητές των θερμοκρασιών να παραμένουν ίδιες με πριν. Το ίδιο θα κάνουμε και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις που έχουμε τοποθετήσει τον τοίχο Trombe στη δυτική, ανατολική πλευρά και τέλος στην οροφή.

### Τοίχος Trombe στη βόρεια πλευρά κτιρίου:

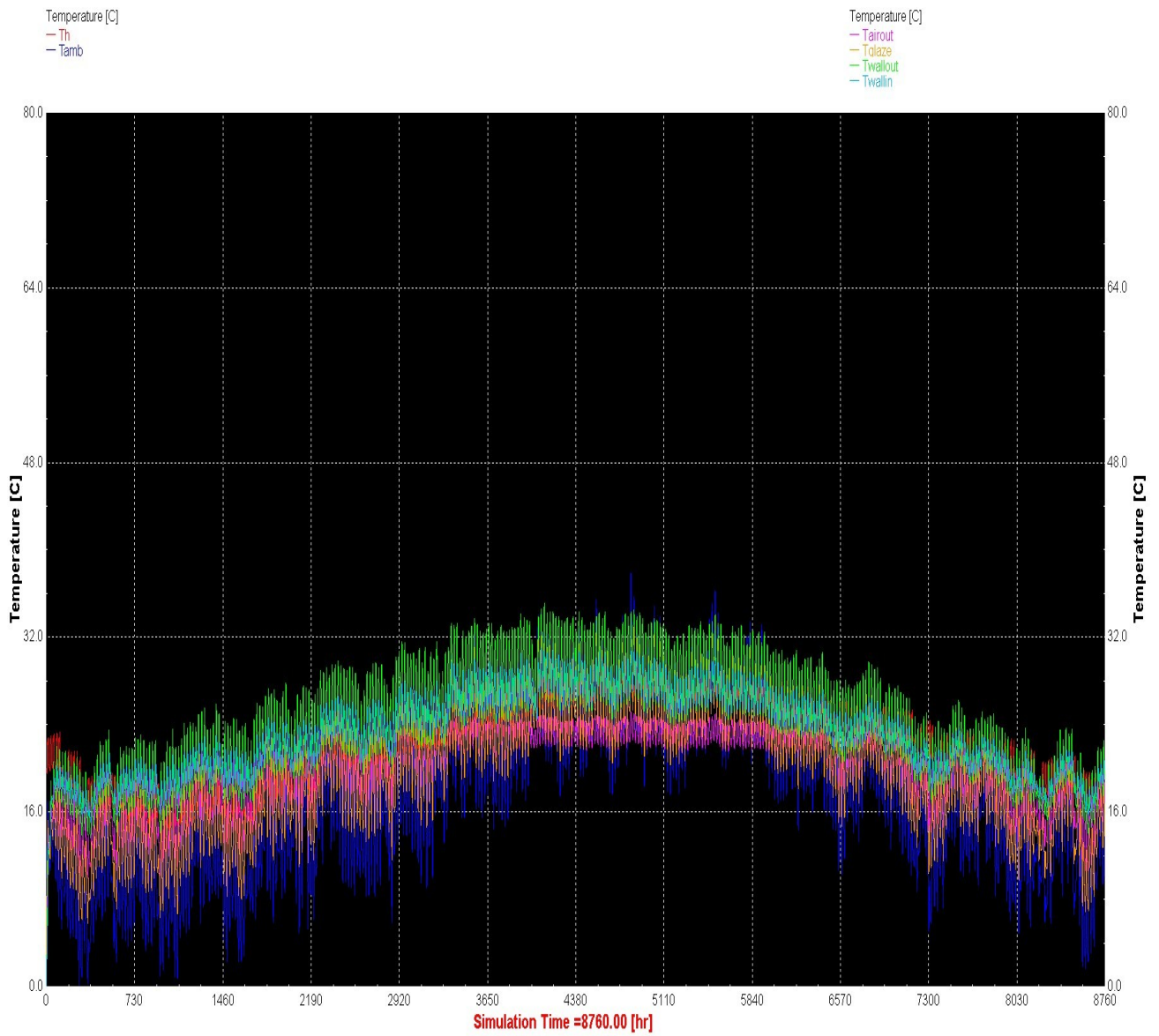


Εικόνα 5.2: Τοίχος Trombe τοποθετημένος στην βόρεια πλευρά του κτιρίου.





Διάγραμμα 5.3:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος



Διάγραμμα 5.4:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  &  $T_{wallin}$

## Τοίχος Trombe στη δυτική πλευρά κτιρίου:

Zone: Zone\_A1 - Airmode: Zone\_A1

**Airnodes**  
Zone\_A1  
Zone\_A1  
number: 1

**Airnode Regime Data**  
volume: 300 m<sup>3</sup>  
capacitance: 720 kJ/K  
ref. floor area: 1 m<sup>2</sup>

**Therm. Zone**  
Infiltration Heating Gains/losses Initial Values Coupling Radiation Modes  
Ventilation Cooling Comfort Humidity Geometry Modes Daylight Modes

**Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
Additional Windows				
1	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL N_180_90
3	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL E_270_90
4	WALL	TW	30.00	EXTERNAL W_90_90
5	WALL	GROUND	100.00	BOUNDARY
10	WALL	ROOF	100.00	EXTERNAL H_0_0
6	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL S_0_90

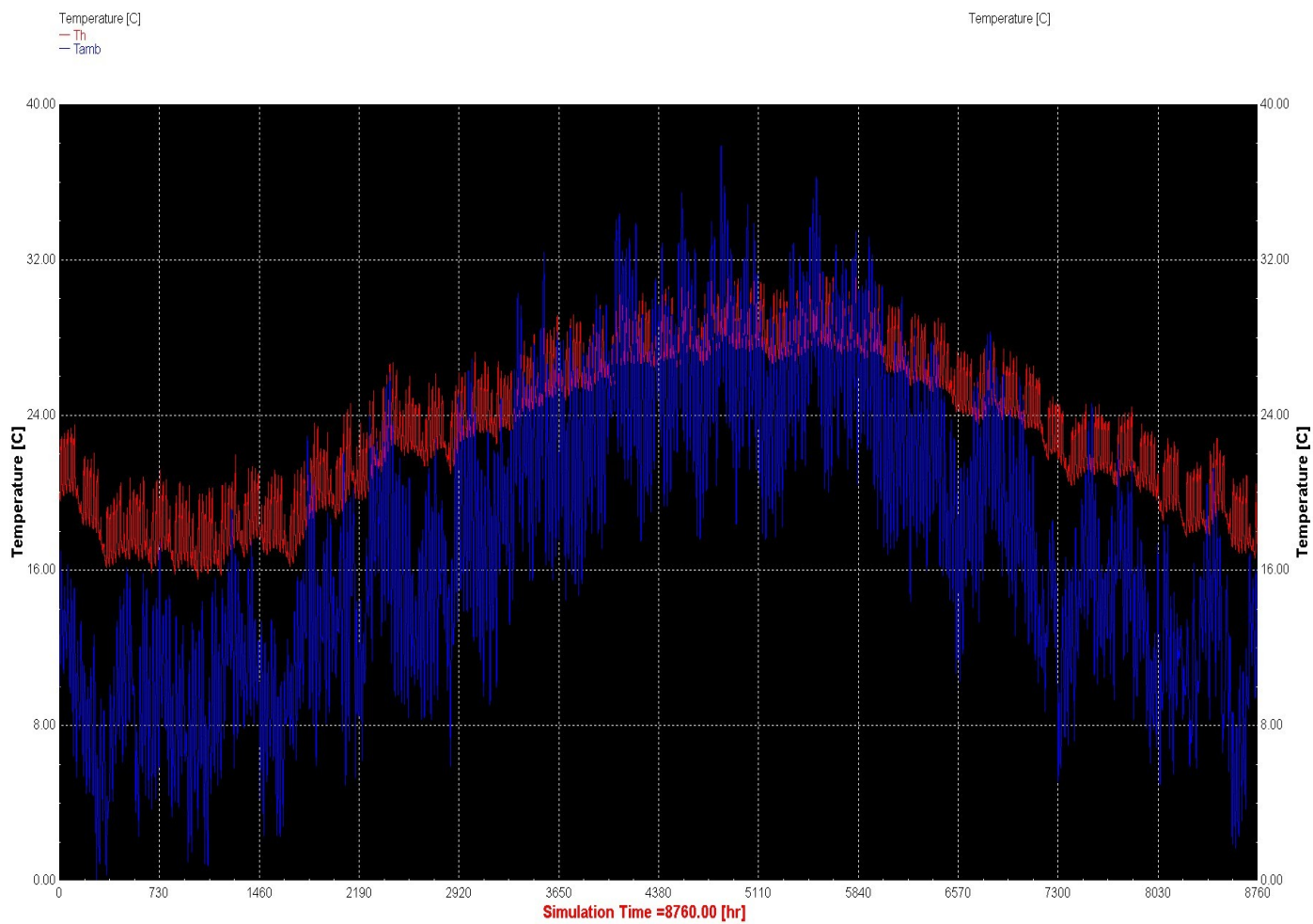
**Windows (Total number: 2)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category	u-Value	g-Value
9	WINDOW	DOUBLE	6.00	EXTERNAL	1.1	0.62

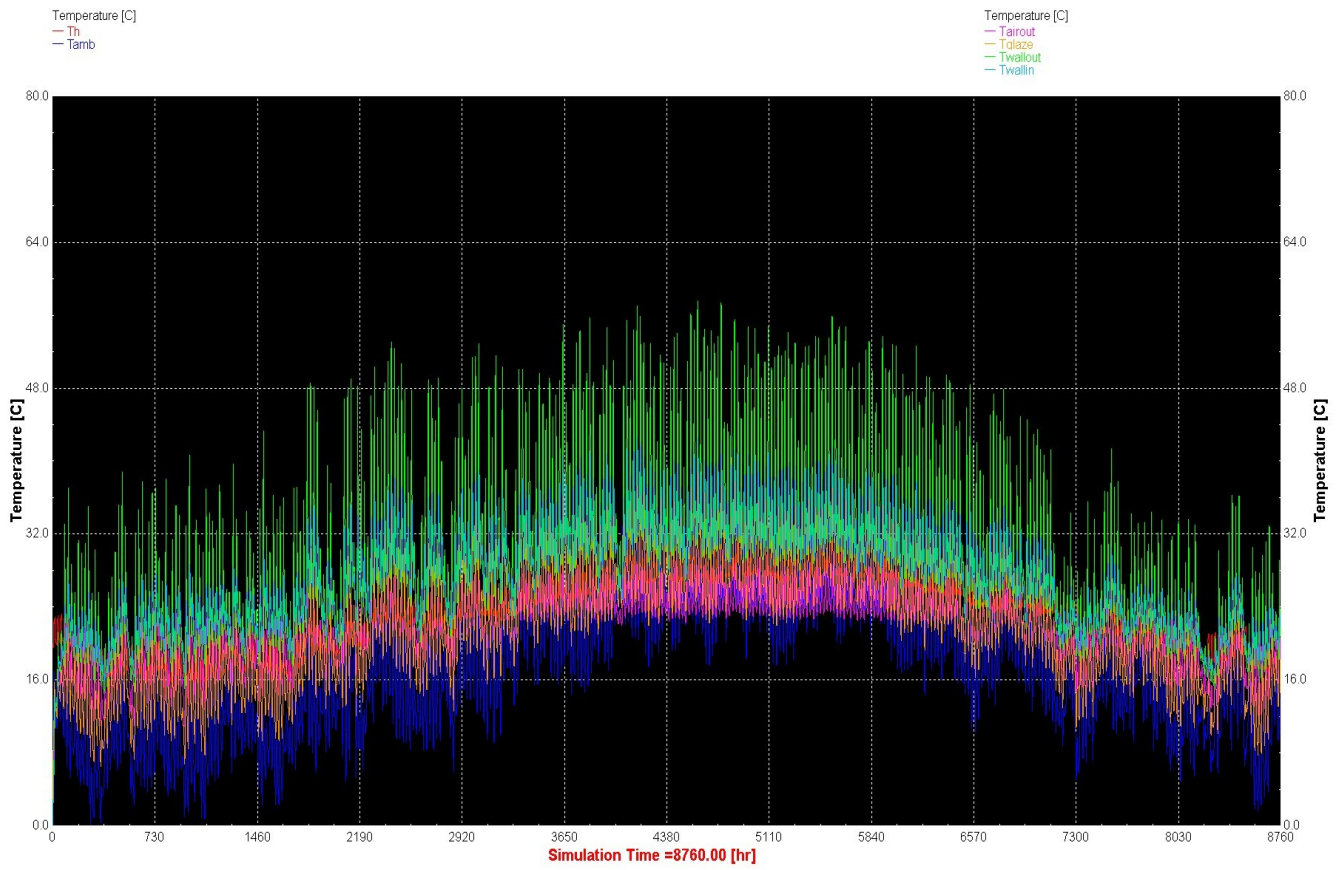
**Surface 4 (WALL TW):**  
 surface-ID: 4  
 surface-type: wall  
 construction-type: TW  
 area: 30 m<sup>2</sup> incl. windows  
 category: EXTERNAL  
 geosurf: 0.1  
 surf. gain inside: 0 kJ/h  
 surf. gain outside: 0 kJ/h  
 orientation: W\_90\_90  
 view fac. to sky: 0.5  
 external shad. factor: 0  
 Shading control: external control (included in shading factor)

**Surface 9 (WINDOW DOUBLE):**  
 surface-ID: 9  
 surface-type: window  
 construction-type: DOUBLE  
 area: 6 m<sup>2</sup>  
 category: EXTERNAL  
 geosurf: 0  
 surf. gain inside: 0 kJ/h  
 surf. gain outside: 0 kJ/h  
 orientation: W\_90\_90  
 view fac. to sky: 0.5  
 internal shad. factor: 0.7  
 Shading control: external control (included in shading factor)  
 external shad. factor: 0  
 Shading control: external control (included in shading factor)

Εικόνα 5.3: Τοίχος Trombe τοποθετημένος στην δυτική πλευρά του κτιρίου



Διάγραμμα 5.5:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος



Διάγραμμα 5.6:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  &  $T_{wallin}$

Τοίχος Trombe στην ανατολική πλευρά κτιρίου:

The screenshot displays the configuration window for a wall in a simulation. The window title is "Zone: Zone\_A1 - Airnode: Zone\_A1".

**Airnodes:** Zone\_A1 (number: 1)

**Airnode Regime Data:** volume: 300 m<sup>3</sup>, capacitance: 720 kJ/K, ref. floor area: 1 m<sup>2</sup>. Icons for Infiltration, Heating, Gains/losses, Initial Values, Coupling, Ventilation, Cooling, Comfort, and Humidity are visible.

**Therm. Zone:** Radiation Modes, Geometry Modes, Daylight Modes.

**Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
Additional Windows				
1	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL N_180_90
3	WALL	TW	30.00	EXTERNAL E_270_90
4	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL W_90_90
5	WALL	GROUND	100.00	BOUNDARY
10	WALL	ROOF	100.00	EXTERNAL H_0_0
6	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL S_0_90

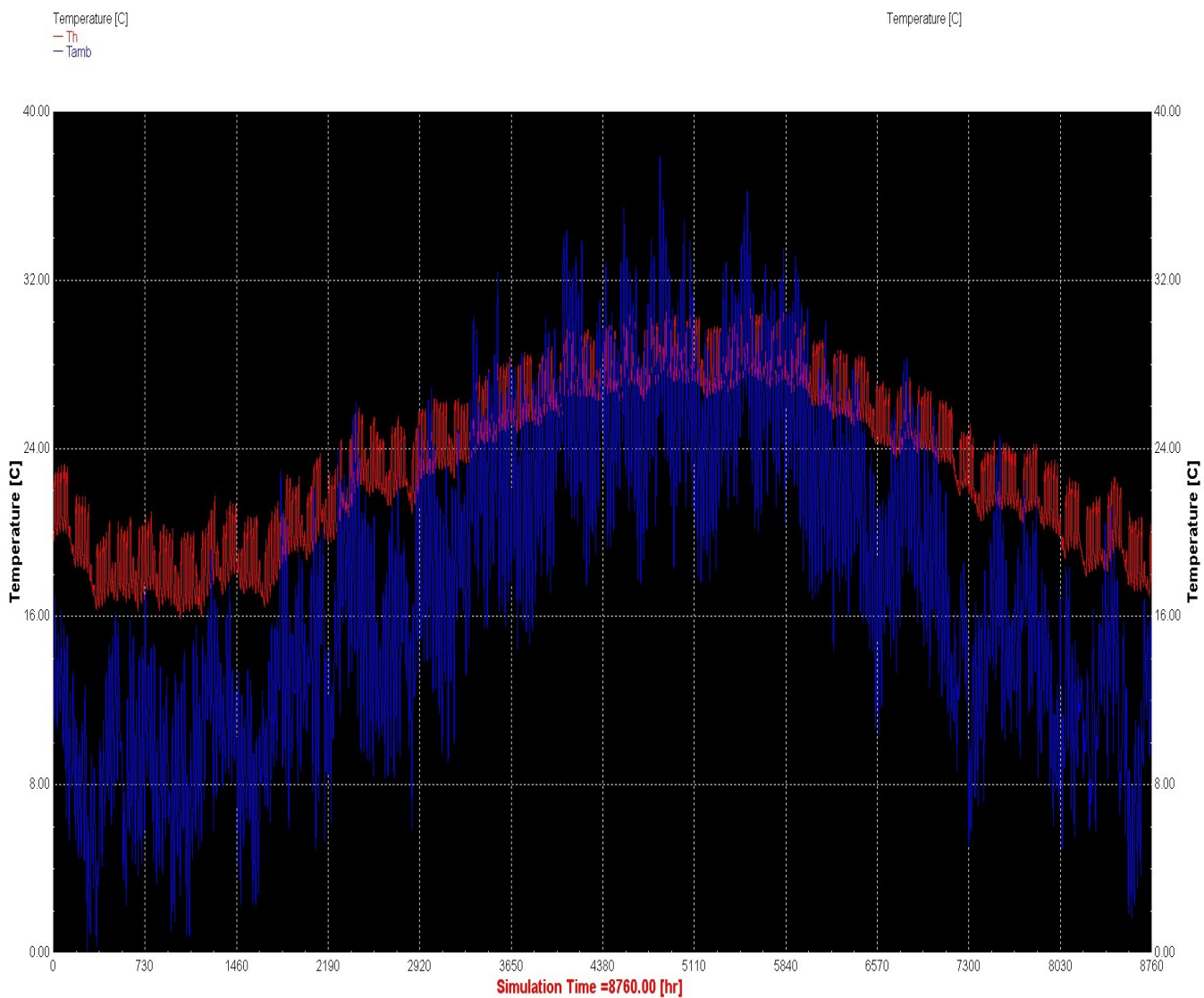
**Windows (Total number: 2)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category	u-Value	g-Value

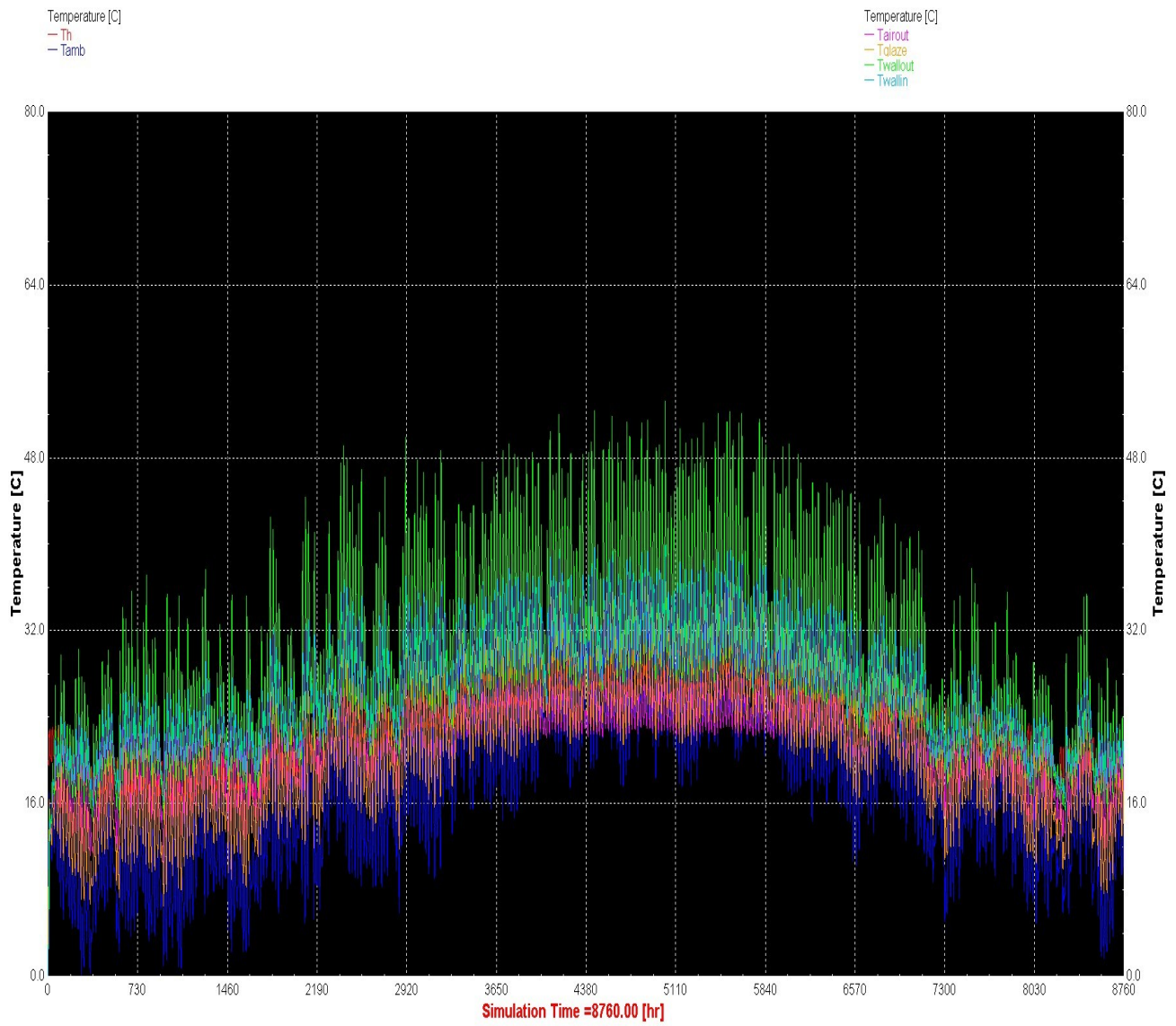
**Wall Configuration Details:**

- surface-ID: 1
- surface-type:  wall
- construction-type: OUTWALL
- area: 30 m<sup>2</sup> incl. windows
- category: EXTERNAL
- geosurf: 0.1
- surf. gain inside: 0 kJ/h
- surf. gain outside: 0 kJ/h
- orientation: N\_180\_90
- view fac. to sky: 0.5
- external shad. factor: 0
- Shading control:  external control (included in shading factor)

Εικόνα 5.4: Τοίχος Trombe τοποθετημένος στην ανατολική πλευρά του κτιρίου



Διάγραμμα 5.7:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος



Διάγραμμα 5.8:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  &  $T_{wallin}$



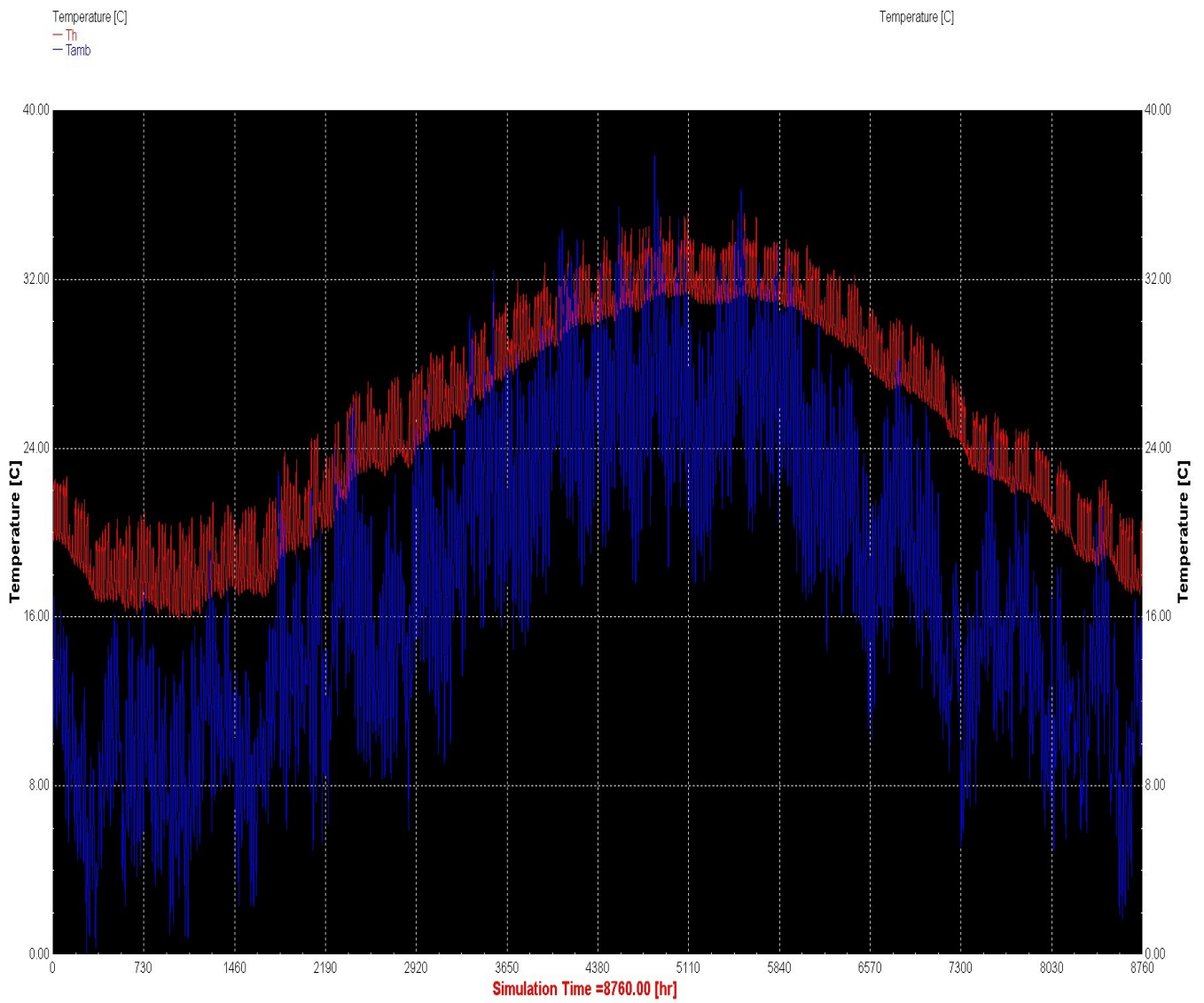
## Τοίχος Trombe στην οροφή του κτιρίου:

The screenshot shows the software interface for defining a Trombe wall on a roof. The interface is divided into several sections:

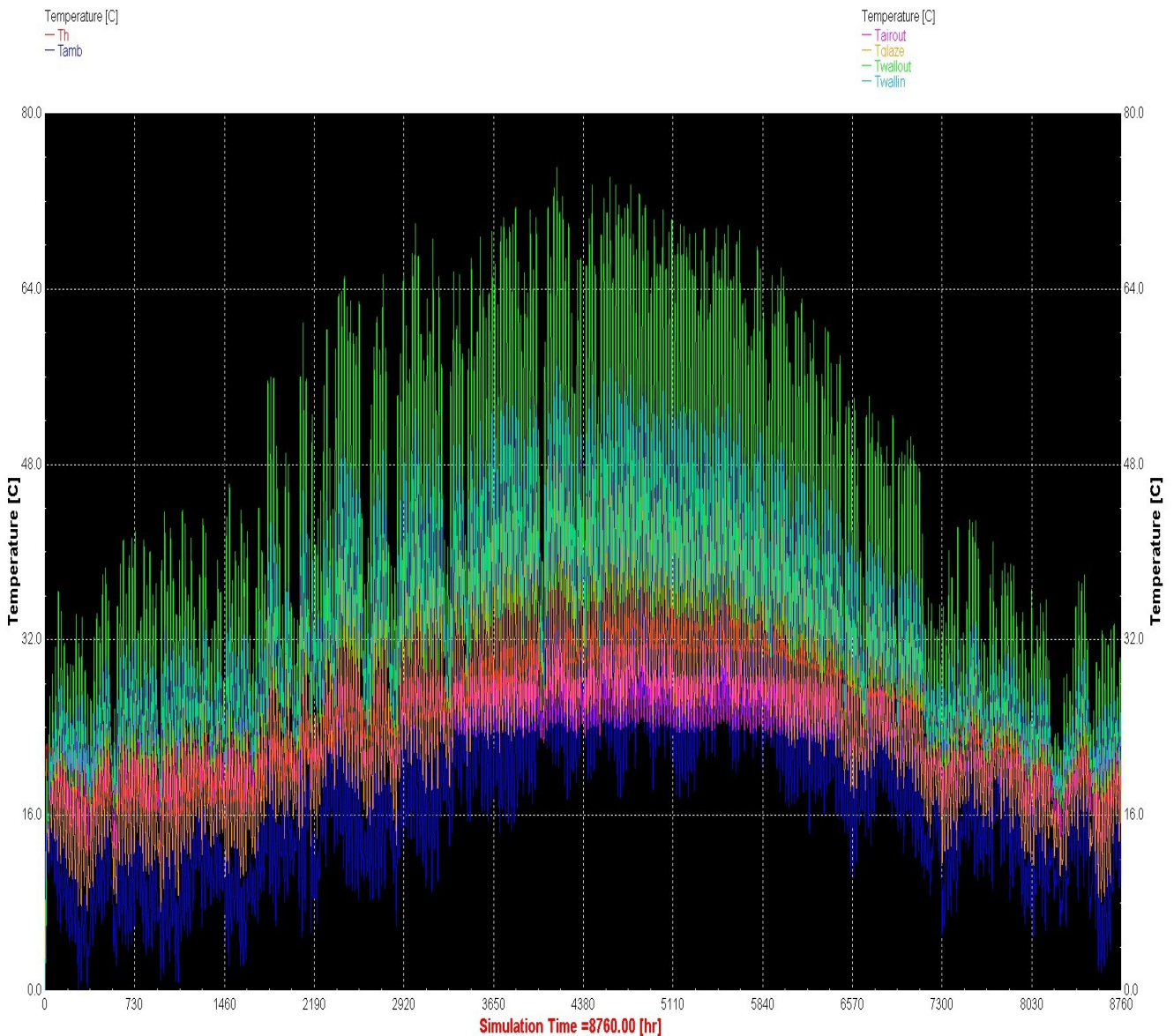
- Airnodes:** A dropdown menu shows 'Zone\_A1' and 'Zone\_A1' below it. There are buttons for adding (+), subtracting (-), and refreshing (↻) airnodes. A 'number' field is set to 1.
- Airnode Regime Data:** Fields for 'volume' (300 m<sup>3</sup>), 'capacitance' (720 kJ/K), and 'ref. floor area' (1 m<sup>2</sup>). There are icons for Infiltration, Heating, Gains/losses, Initial Values, Coupling, Ventilation, Cooling, Comfort, and Humidity.
- Therm. Zone:** Icons for Radiation Modes, Geometry Modes, and Daylight Modes.
- Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6):** A table with columns: surf-ID, surf-type, construction-type, area, category. The table lists:
 

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
1	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL
3	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL
4	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL
5	WALL	GROUND	100.00	BOUNDARY
10	WALL	TW	100.00	EXTERNAL
6	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL
- Additional Windows:** A table with columns: surf-ID, surf-type, construction-type, area, category. It is currently empty.
- Windows (Total number: 2):** A table with columns: surf-ID, surf-type, construction-type, area, category, u-Value, g-Value. It is currently empty.
- Surface Properties:**
  - surface-ID: 10
  - surface-type:  wall,  floor,  ceiling,  roof
  - construction-type: TW (selected from a dropdown)
  - area: 100 m<sup>2</sup> incl. windows
  - category: EXTERNAL (selected from a dropdown)
  - geosurf: 0
  - surf. gain inside: 0 kJ/h
  - surf. gain outside: 0 kJ/h
  - orientation: H\_0\_0 (selected from a dropdown)
  - view fac. to sky: 0.5
  - external shad. factor: 0
  - Shading control:  integrated radiation control acc. to wall type,  external control (included in shading factor)

Εικόνα 5.5: Τοίχος Trombe τοποθετημένος στην οροφή του κτιρίου



Διάγραμμα 5.9:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος



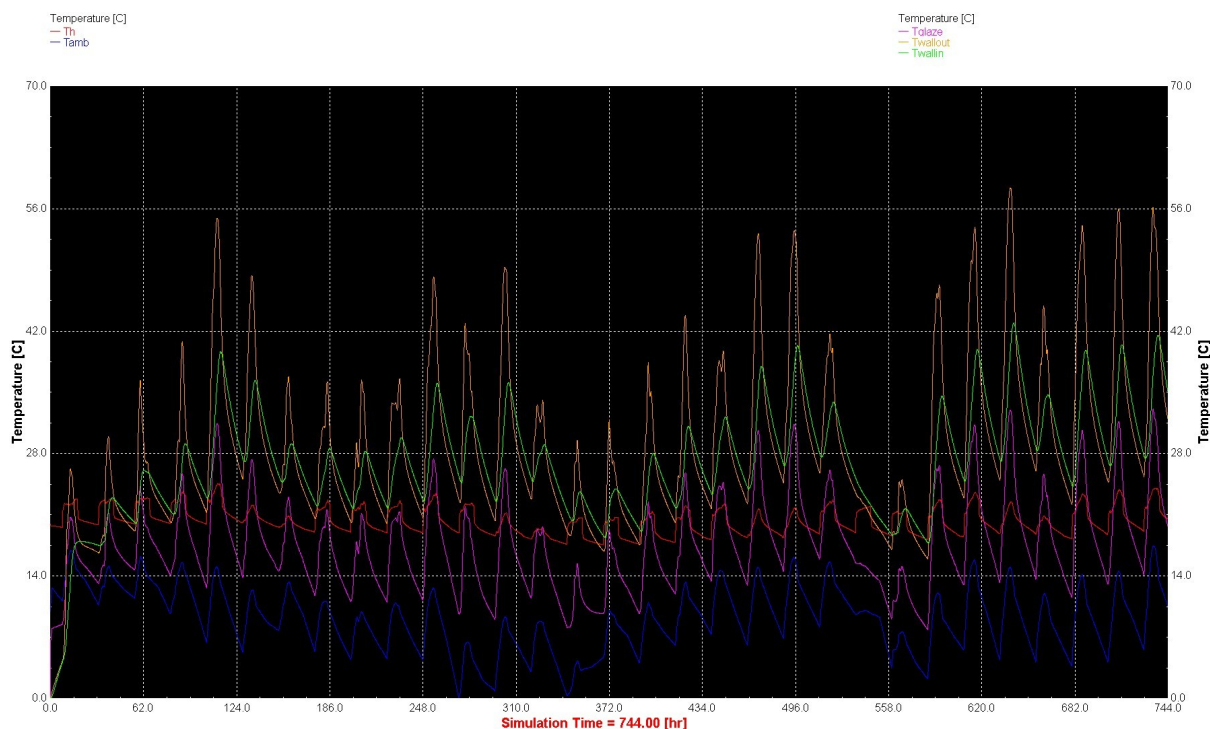
Διάγραμμα 5.10:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{airout}$ ,  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  &  $T_{wallin}$

Τα χαρακτηριστικά και οι διαστάσεις του τοίχου Trombe παρέμειναν τα ίδια σε κάθε περίπτωση που εξετάσαμε προηγουμένως, ώστε η συσχέτιση μεταξύ τους να είναι ακριβής.

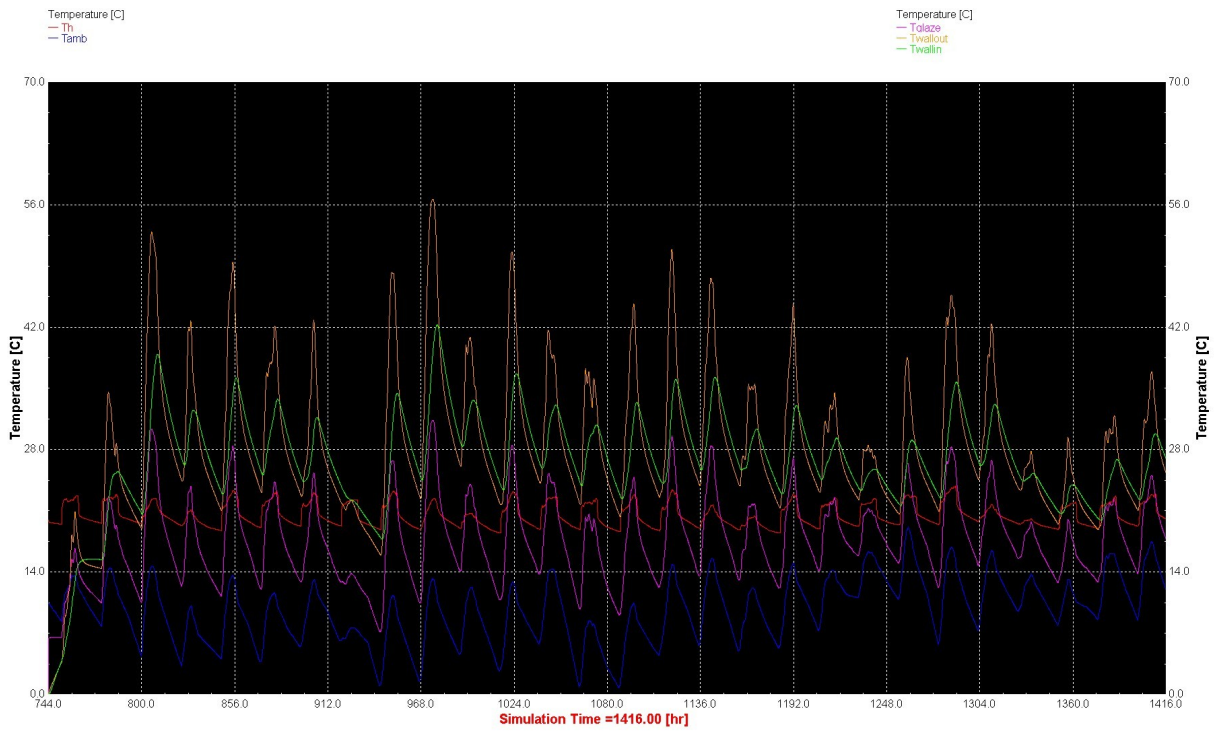
Στη συνέχεια της εργασίας ο τοίχος Trombe θα είναι τοποθετημένος στην νότια πλευρά του κτιρίου μας επειδή θέλουμε να μεγιστοποιήσουμε τα θερμικά μας κέρδη τους χειμερινούς μήνες. Στο διάγραμμα 5.2 έχουμε τις ετήσιες διακυμάνσεις των θερμοκρασιών της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς του τοίχου Trombe καθώς και του υαλοστασίου όταν είναι τοποθετημένος στη νότια πλευρά του κτιρίου. Θα παρουσιάσουμε τις διακυμάνσεις

των παραπάνω θερμοκρασιών ανά μήνα για να δούμε αναλυτικά πώς καταγράφονται στον τοίχο Trombe και στο υαλοστάσιο.

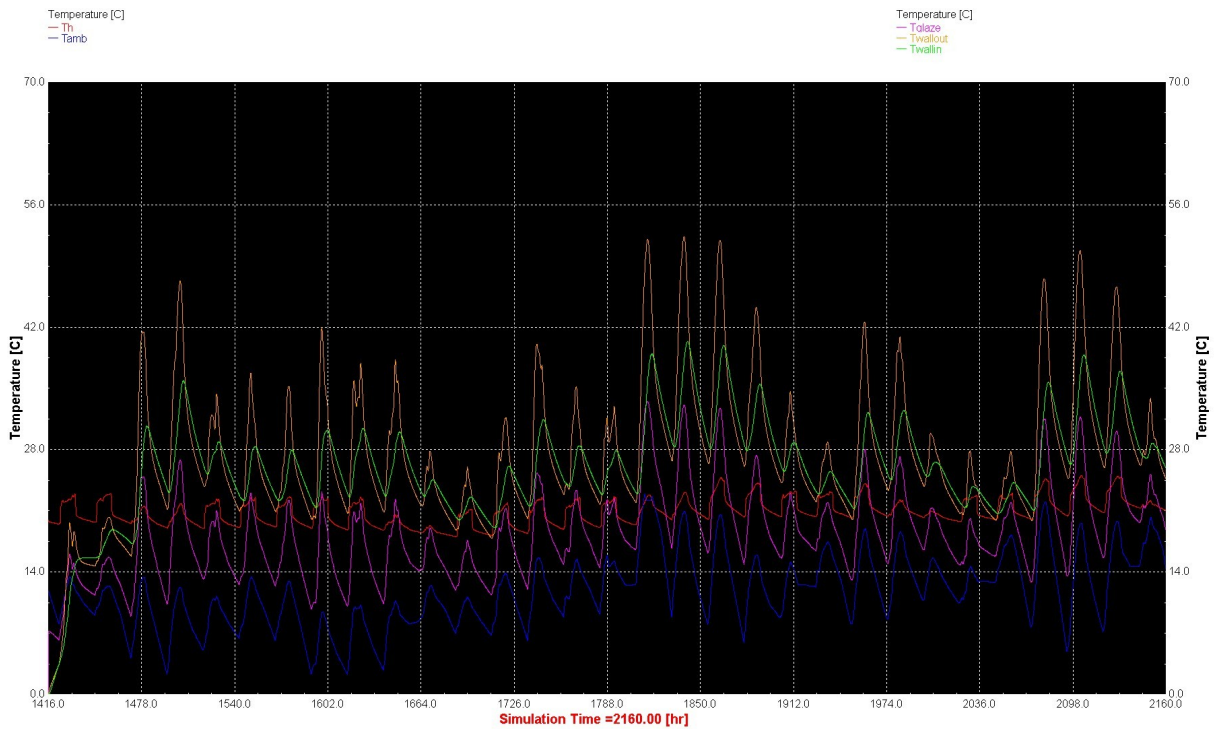
Όπως και πριν οι μεταβλητές  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  αφορούν τις θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, περιβάλλοντος, εξωτερικής πλευράς τοίχου Trombe, εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe και υαλοστασίου. Οι θερμοκρασίες μετριοούνται σε ( $^{\circ}\text{C}$ ).



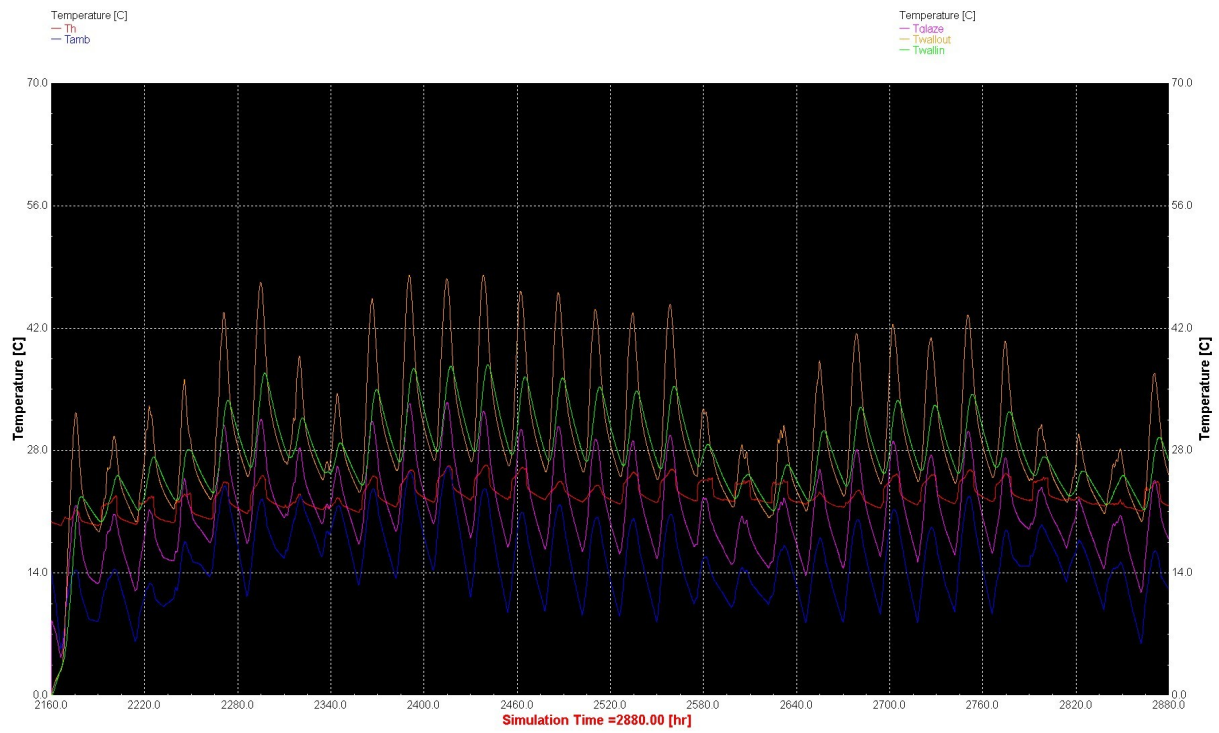
Διάγραμμα 5.11: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Ιανουαρίου



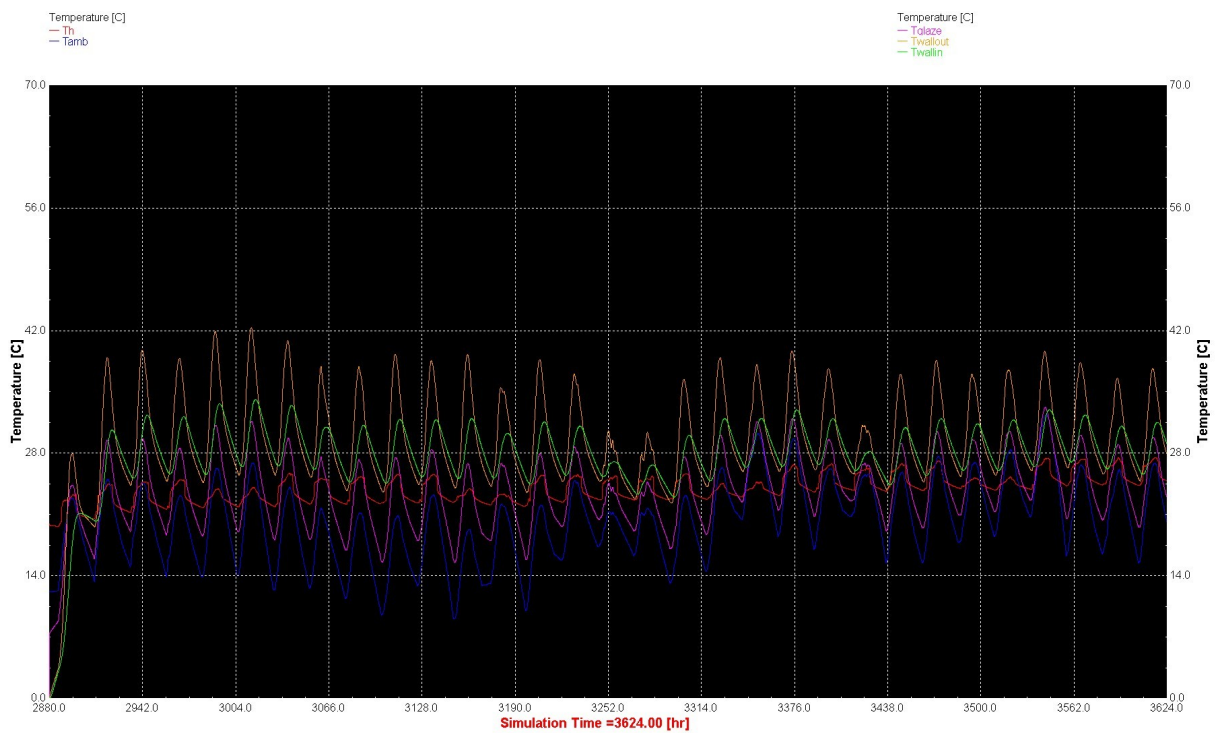
Διάγραμμα 5.12: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Φεβρουαρίου



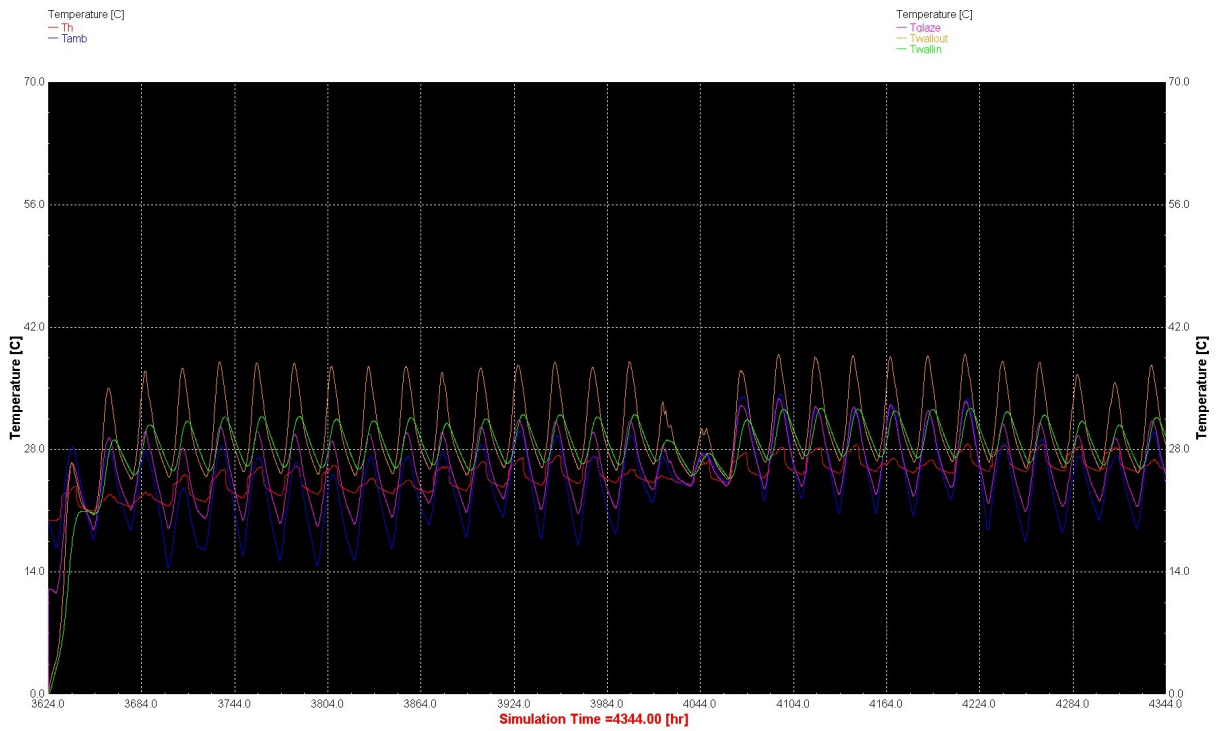
Διάγραμμα 5.13: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Μαρτίου



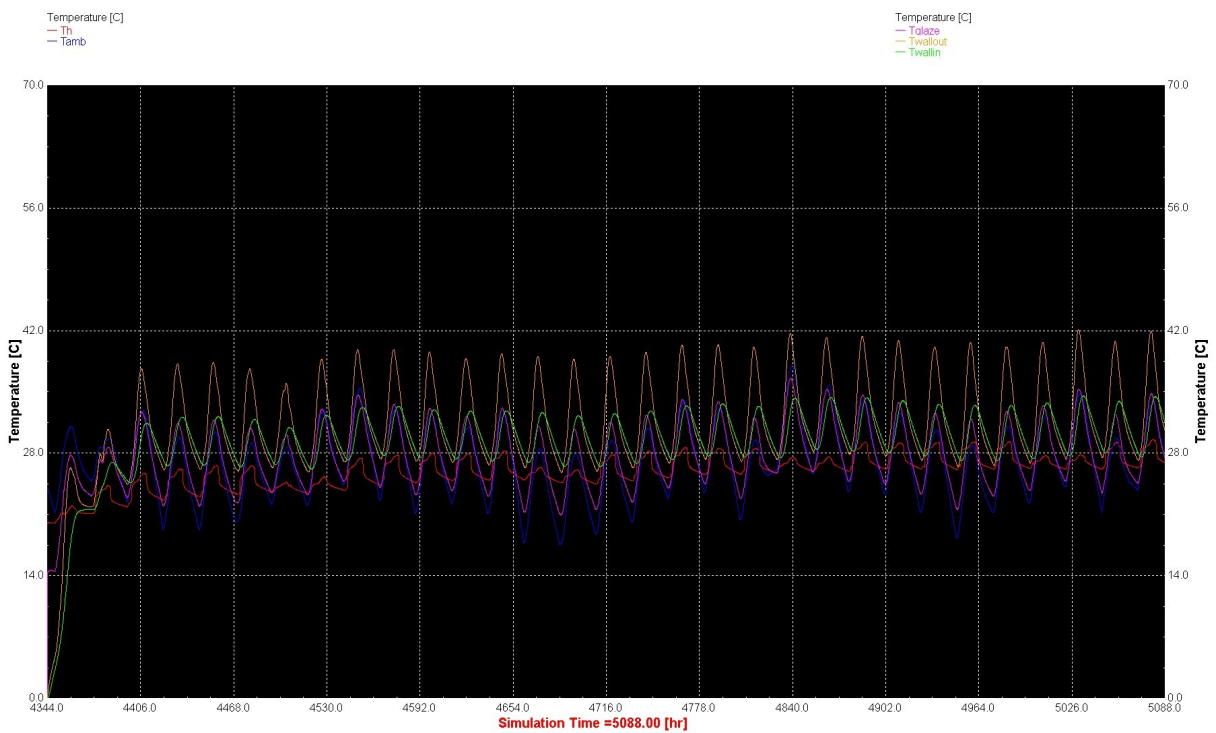
Διάγραμμα 5.14: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Απριλίου



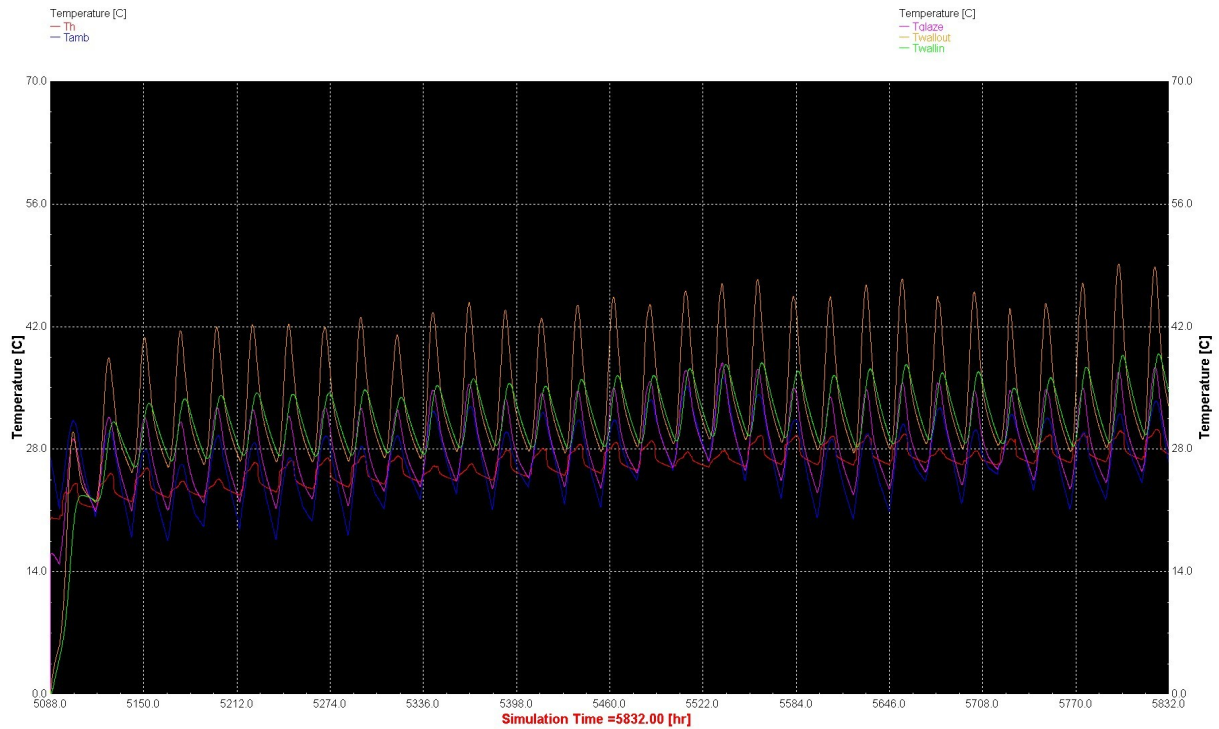
Διάγραμμα 5.15: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Μαΐου



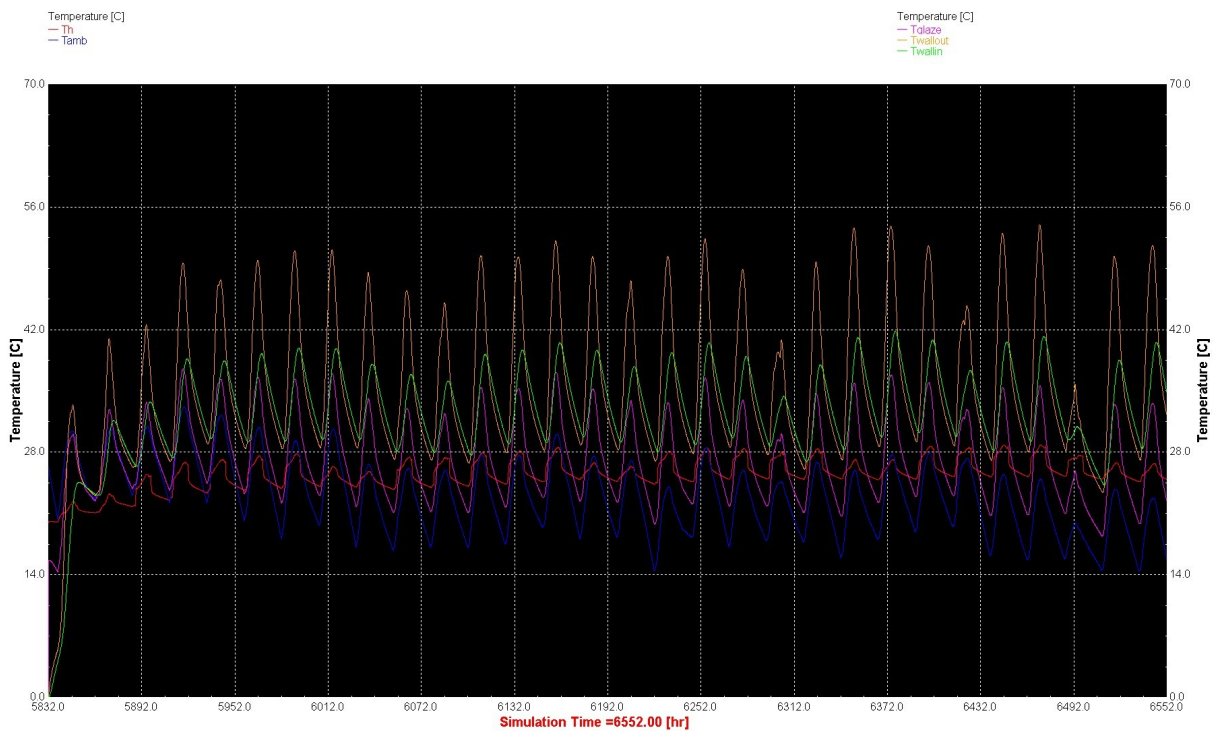
Διάγραμμα 5.16: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Ιουνίου



Διάγραμμα 5.17: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Ιουλίου

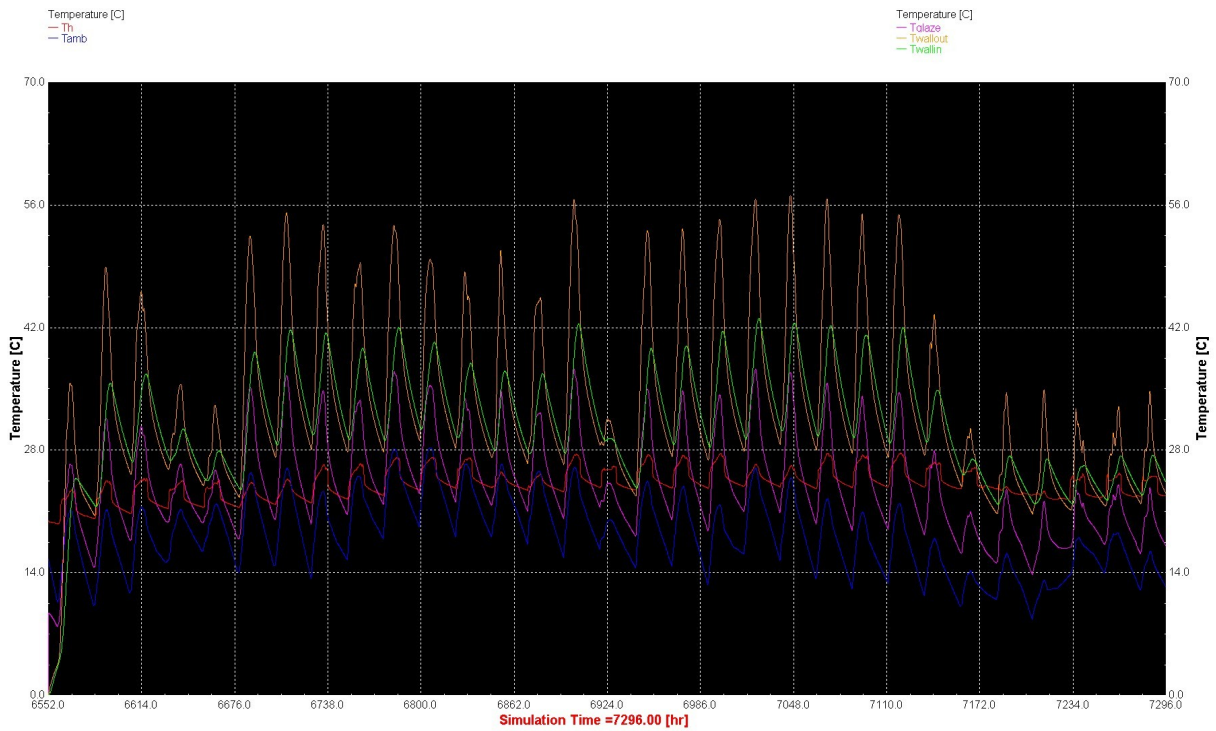


Διάγραμμα 5.18: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Αυγούστου

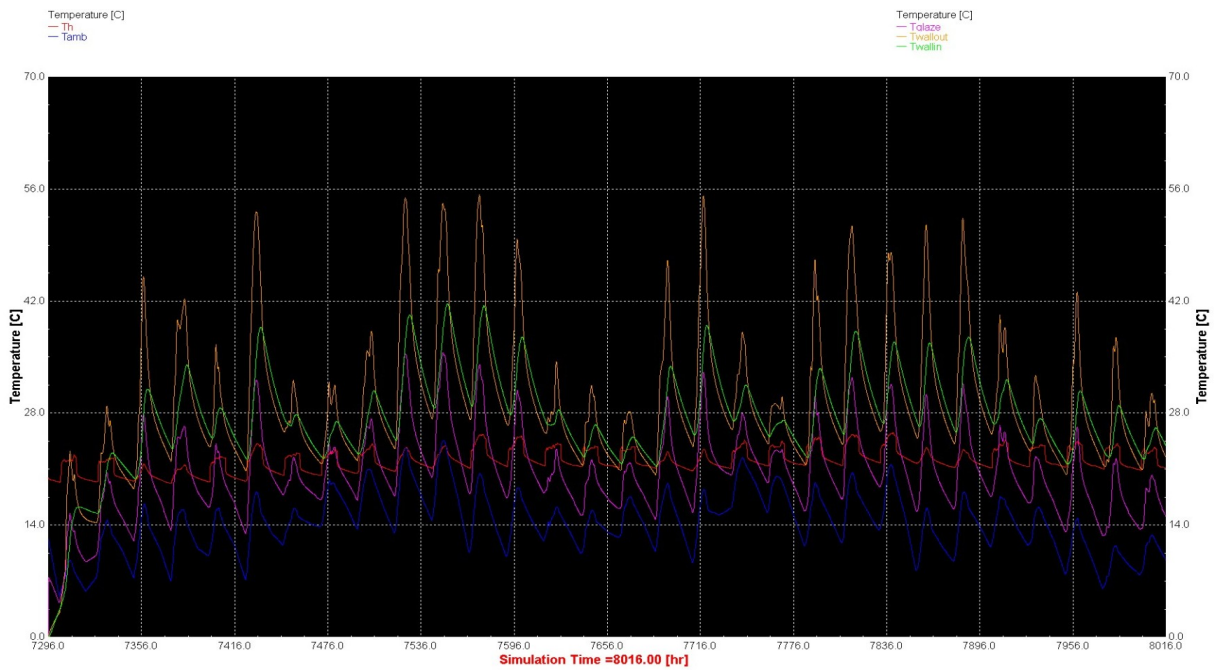


Διάγραμμα 5.19: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Σεπτεμβρίου

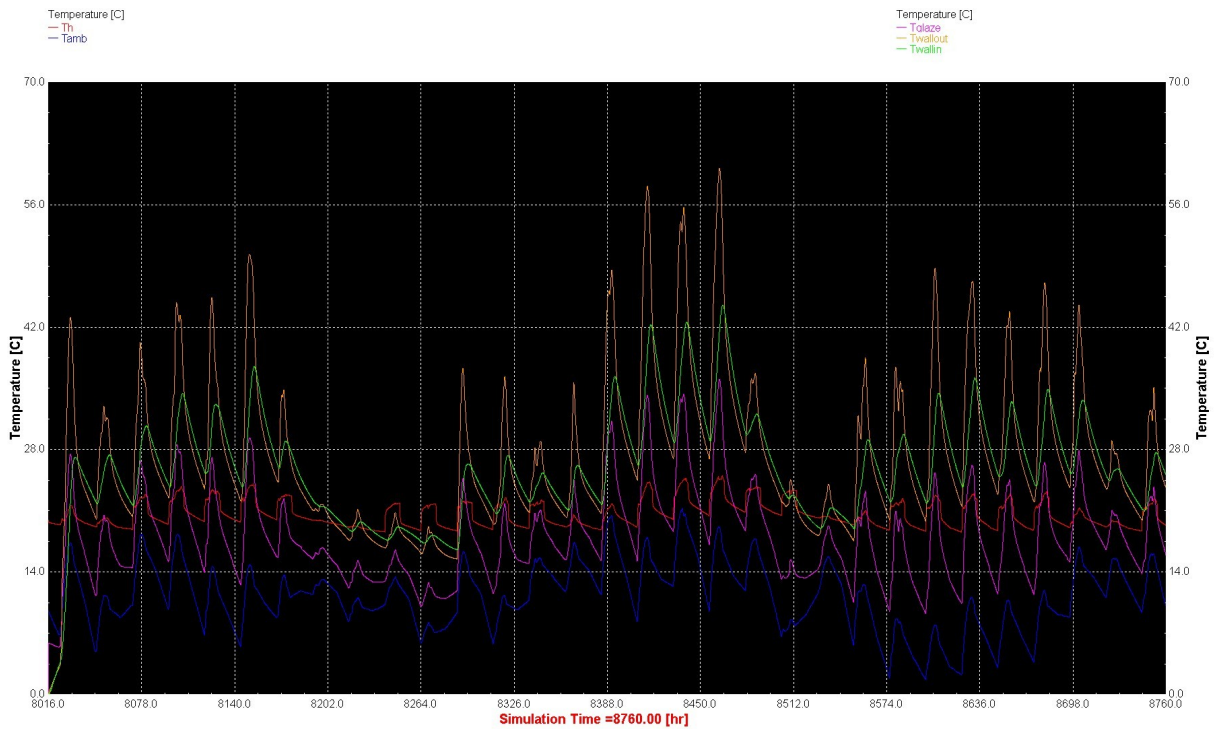




Διάγραμμα 5.20: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Οκτωβρίου



Διάγραμμα 5.21: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Νοεμβρίου



Διάγραμμα 5.22: Διακυμάνσεις θερμοκρασιών  $T_h$ ,  $T_{amb}$ ,  $T_{wallout}$ ,  $T_{wallin}$ ,  $T_{glaze}$  Δεκεμβρίου

Σε κάθε run που κάνουμε ανά μήνα πηγαίνουμε στο στοιχείο Printer και από τα External files διαλέγουμε το edit και αποθηκεύουμε το αρχείο με τις μετρήσεις των θερμοκρασιών. Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε την μέση μηνιαία θερμοκρασία, την μέγιστη μηνιαία και την ελάχιστη μηνιαία που υπολογίσαμε για το υαλοστάσιο, για την εξωτερική και εσωτερική πλευρά του τοίχου Trombe αντίστοιχα.

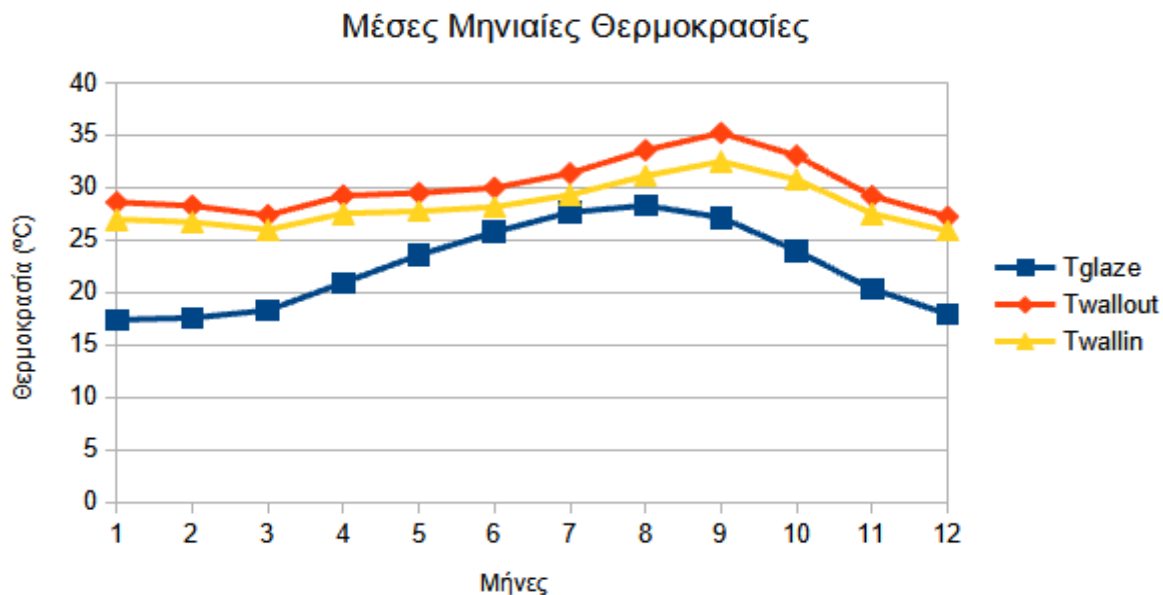
Μέση μηνιαία θερμοκρασία υαλοστασίου, εξωτερικής- εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe:

Για την μέση μηνιαία θερμοκρασία που μετρήθηκε στην προσομοίωση μας έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα με τις μεταβλητές  $T_{glaze}$ ,  $T_{wallout}$  και  $T_{wallin}$  να είναι οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του υαλοστασίου, της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς του τοίχου Trombe αντίστοιχα.

Μήνες	T <sub>glaze</sub> (°C)	T <sub>wallout</sub> (°C)	T <sub>wallin</sub> (°C)
Ιανουάριος	17,4	28,61	26,97
Φεβρουάριος	17,58	28,27	26,72
Μάρτιος	18,3	27,37	25,99
Απρίλιος	20,94	29,24	27,55
Μάιος	23,58	29,5	27,75
Ιούνιος	25,77	29,99	28,16
Ιούλιος	27,65	31,37	29,3
Αύγουστος	28,3	33,57	31,13
Σεπτέμβριος	27,16	35,22	32,5
Οκτώβριος	23,98	33,05	30,77
Νοέμβριος	20,35	29,19	27,52
Δεκέμβριος	17,94	27,23	25,88

Πίνακας 5.1: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου, εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe.

Σχεδιάζοντας τις παραπάνω μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες έχουμε το ακόλουθο διάγραμμα:



Διάγραμμα 5.23: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου, εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe.

Παρατηρούμε πώς οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες των πλευρών του τοίχου Trombe διαφέρουν από 1,8 έως 2,8 (°C), με τις καμπύλες στο διάγραμμα να έχουν την ίδια

“συμπεριφορά”. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στο υαλοστάσιο είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με τις πλευρές του τοίχου Trombe τον χειμώνα έως και 11 (°C), ενώ το καλοκαίρι η διαφορά αυτή μειώνεται στους 2 (°C) και 4,5 (°C) αντίστοιχα.

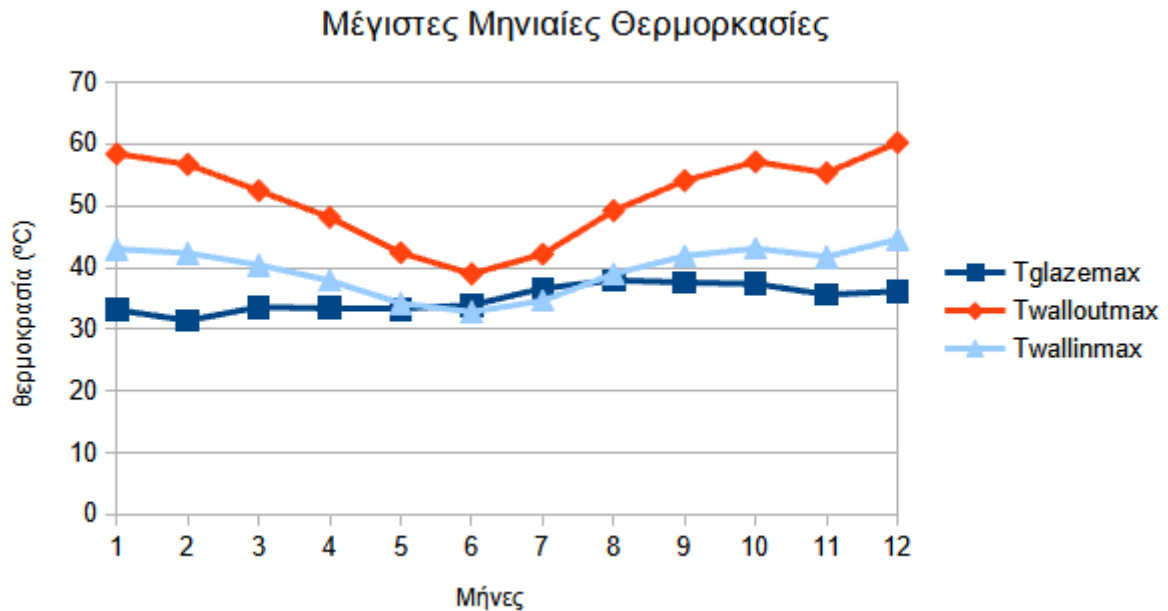
Μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία υαλοστασίου, εξωτερικής - εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe:

Για την μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία που μετρήθηκε στην προσομοίωση μας έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα με τις μεταβλητές Tglazemax, Twalloutmax και Twallinmax να είναι οι μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες του υαλοστασίου, της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς του τοίχου Trombe αντίστοιχα.

Μήνες	Tglazemax (°C)	Twalloutmax (°C)	Twallinmax (°C)
Ιανουάριος	33,12	58,38	42,97
Φεβρουάριος	31,38	56,68	42,31
Μάρτιος	33,57	52,42	40,4
Απρίλιος	33,51	48,11	37,86
Μάιος	33,27	42,37	34,18
Ιούνιος	33,87	38,94	32,8
Ιούλιος	36,6	42,15	34,59
Αύγουστος	37,91	49,17	38,94
Σεπτέμβριος	37,57	54,04	41,86
Οκτώβριος	37,31	57,11	43,08
Νοέμβριος	35,6	55,3	41,72
Δεκέμβριος	36,1	60,2	44,56

Πίνακας 5.2: Μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου, εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe

Τοποθετώντας τις παραπάνω θερμοκρασίες στο διάγραμμα έχουμε τις εξής καμπύλες:



Διάγραμμα 5.24:Μέγιστες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου,εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe

Όπως είναι λογικό η εξωτερική πλευρά του τοίχου Trombe παρουσιάζει μεγαλύτερες τιμές των μεγίστων θερμοκρασιών από την εσωτερική.Τους χειμερινούς μήνες έχουμε αύξηση των τιμών αυτών εξαιτίας της πορείας του ήλιου ενώ το καλοκαίρι παρατηρούμε μια μεγάλη μείωση στις θερμοκρασίες αυτές έως και 20 (°C).Το υαλοστάσιο διατηρεί σχετικά μια σταθερή πορεία στις τιμές του το πρώτο εξάμηνο,με τους υπόλοιπους 6 μήνες να παρουσιάζει μια αύξηση έως και 4,5 (°C).

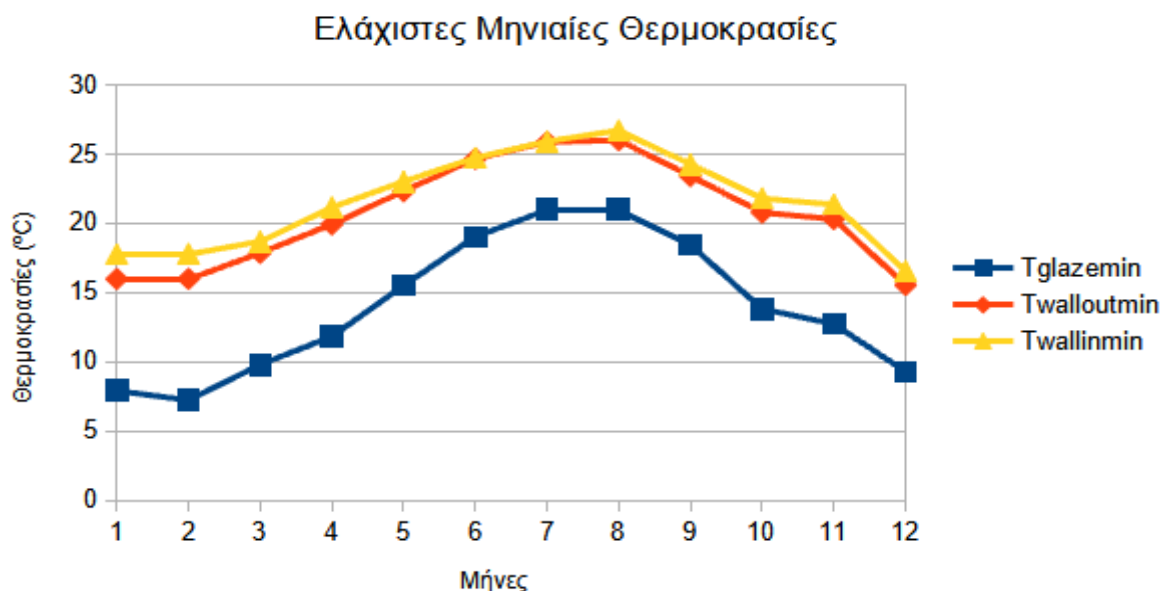
Ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία υαλοστασίου,εξωτερικής - εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe:

Για την ελάχιστη μηνιαία θερμοκρασία που μετρήθηκε στην προσομοίωση μας έχουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα με τις μεταβλητές Tglazemin, Twalloutmin και Twallinmin να είναι οι ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες του υαλοστασίου, της εξωτερικής και εσωτερικής πλευράς του τοίχου Trombe αντίστοιχα.

Μήνες	Tglazemin (°C)	Twalloutmin (°C)	Twallinmin (°C)
Ιανουάριος	7,92	15,99	17,77
Φεβρουάριος	7,23	16	17,81
Μάρτιος	9,81	17,87	18,7
Απρίλιος	11,83	19,93	21,16
Μάιος	15,52	22,33	23,02
Ιούνιος	19,04	24,66	24,73
Ιούλιος	21	25,87	25,91
Αύγουστος	21,03	26	26,71
Σεπτέμβριος	18,45	23,42	24,27
Οκτώβριος	13,82	20,78	21,8
Νοέμβριος	12,74	20,31	21,36
Δεκέμβριος	9,3	15,55	16,58

Πίνακας 5.3:Ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου,εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe

Τοποθετώντας τις παραπάνω θερμοκρασίες στο διάγραμμα έχουμε τις ακόλουθες καμπύλες:



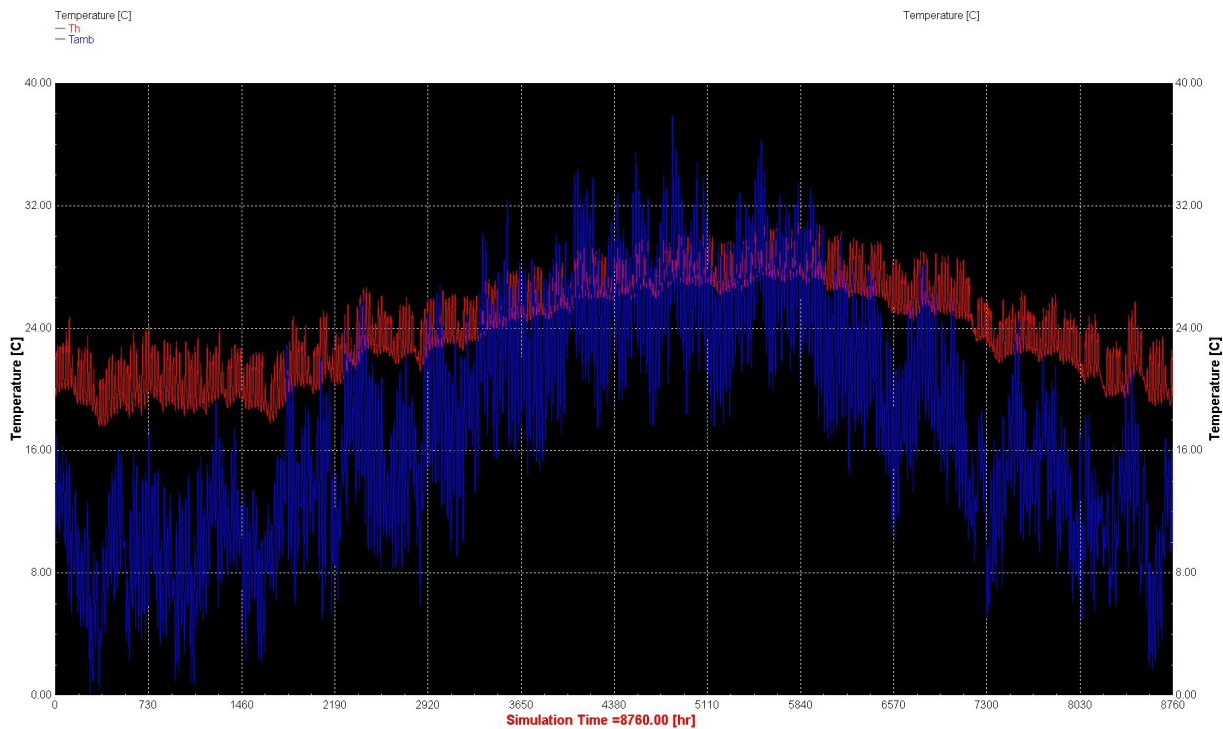
Διάγραμμα 5.25:Ελάχιστες μηνιαίες θερμοκρασίες υαλοστασίου,εξωτερικής & εσωτερικής πλευράς τοίχου Trombe.

Αρχικά παρατηρούμε πως οι καμπύλες μεταξύ τους έχουν ίδια μορφή. Επίσης παρατηρούμε πως ο εξωτερικός τοίχος Trombe έχει μικρότερες τιμές σε σχέση με τον εσωτερικό ειδικά τους χειμερινούς μήνες, ενώ το καλοκαίρι η διαφορά αυτή τείνει να είναι πολύ μικρή της τάξεως των 0,1 – 0,5 (°C). Το υαλοστάσιο του χειμερινούς μήνες έχει μια διαφορά έως και 10 (°C) με τις πλευρές του τοίχου Trombe, ενώ το καλοκαίρι η διαφορά αυτή μειώνεται στους 5 (°C).

Στις προσομοιώσεις που έγιναν προηγουμένως ο τοίχος Trombe είχε σαν πάχος σκυρόδεμα 200mm και η απόσταση του διακένου ήταν 10cm. Στη συνέχεια θα αλλάξουμε τα μεγέθη αυτά για να παρατηρήσουμε την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας. Τα υπόλοιπα μεγέθη θα παραμείνουν ίδια.

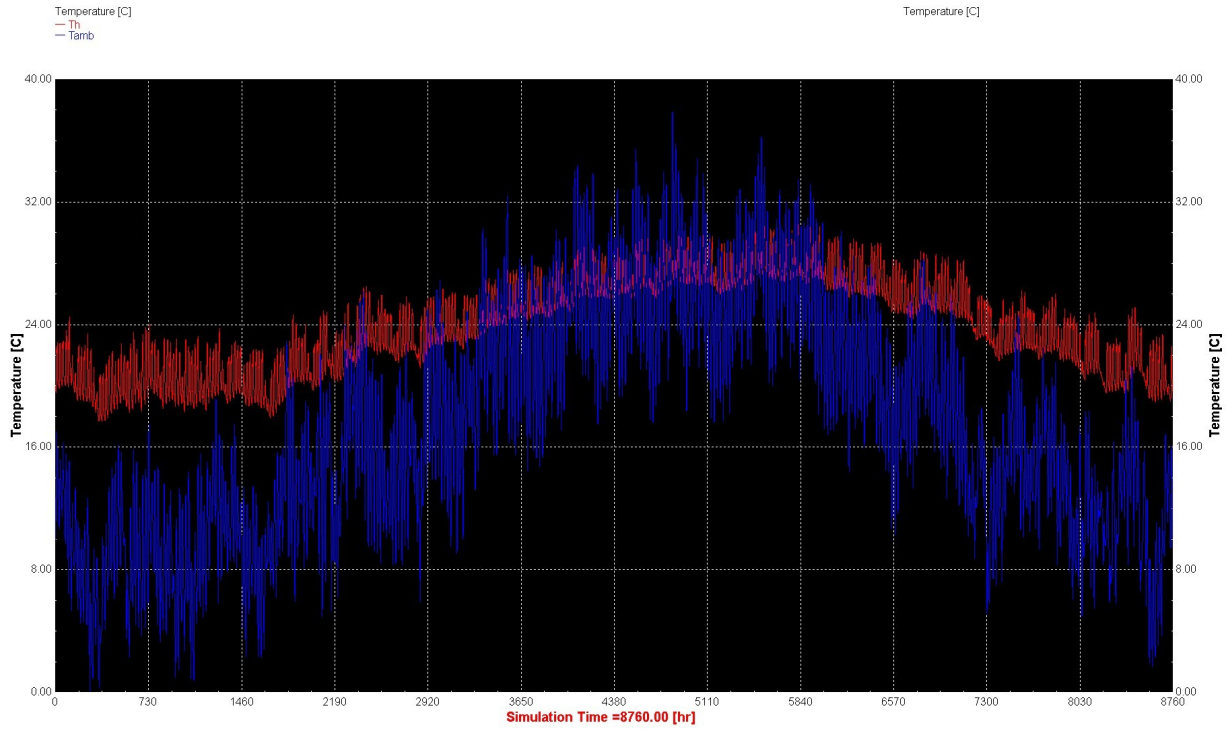
Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τις ωριαίες θερμοκρασίες που υπολογίσαμε για μία τυπική χειμερινή και καλοκαιρινή ημέρα, στις 11 Ιανουαρίου και 21 Ιουλίου αντίστοιχα. Ο τοίχος Trombe θα παραμείνει στην νότια πλευρά του κτιρίου μας για τις ακόλουθες περιπτώσεις.

Πάχος τοίχου Trombe 170mm & απόσταση διακένου 9 cm:



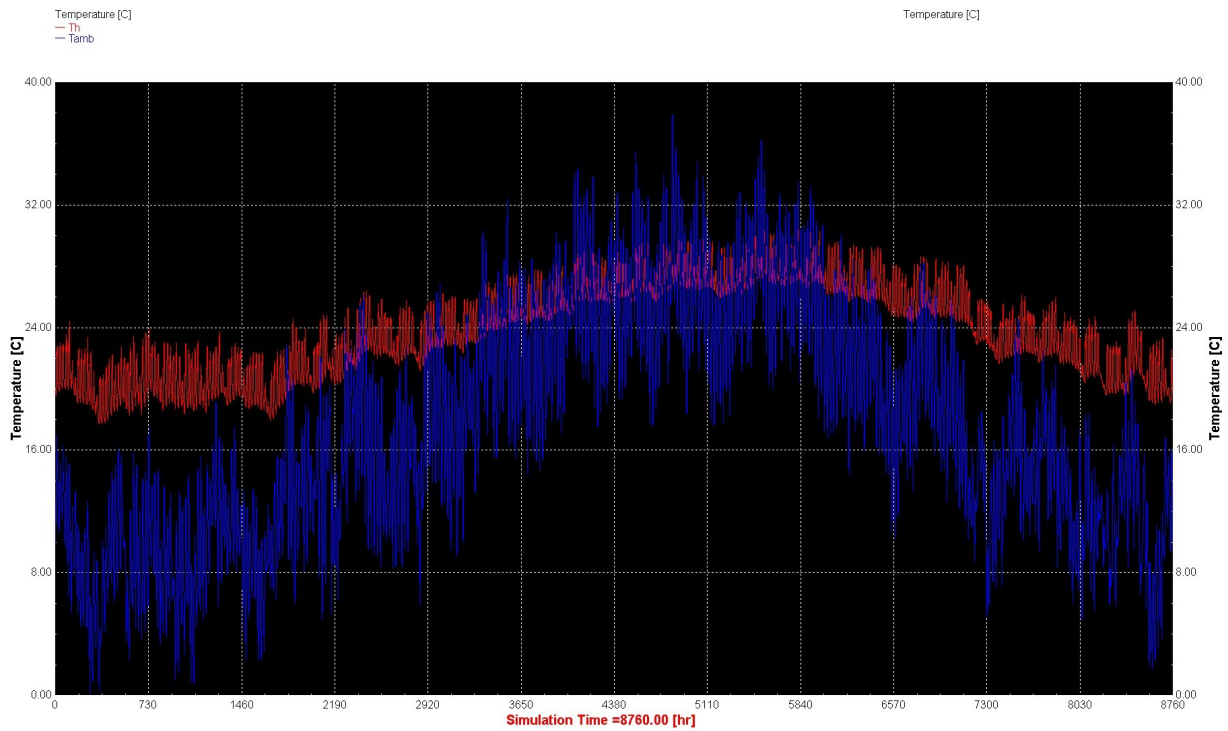
Διάγραμμα 5.26: Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος

Πάχος τοίχου Trombe 250mm & απόσταση διακένου 11 cm:



Διάγραμμα 5.27:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος

Πάχος τοίχου Trombe 300mm & απόσταση διακένου 12 cm:



Διάγραμμα 5.28:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος



Παρατηρούμε πώς για τις περιπτώσεις που αλλάξαμε το πάχος του σκυροδέματος και την απόσταση του διακένου υπάρχουν μικρές αποκλίσεις στα διαγράμματα. Αυτό έγινε επειδή όταν μειώσαμε το πάχος του τοίχου Trombe μειώσαμε και την απόσταση του διακένου, ενώ όταν αυξήσαμε το πάχος αυξήσαμε και την απόσταση.

Για μία τυπική ημέρα του χειμώνα και του καλοκαιριού στις 11 Ιανουαρίου και 21 Ιουλίου αντίστοιχα, θα παρουσιάσουμε τις ωριαίες θερμοκρασίες που μετρήθηκαν στην προσομοίωση μας για τη περίπτωση ενός κλασσικού κτιρίου και τεσσάρων περιπτώσεων που ο τοίχος Trombe έχει διαφορετικό πάχος και απόσταση διακένου όπως αυτές παραπάνω.

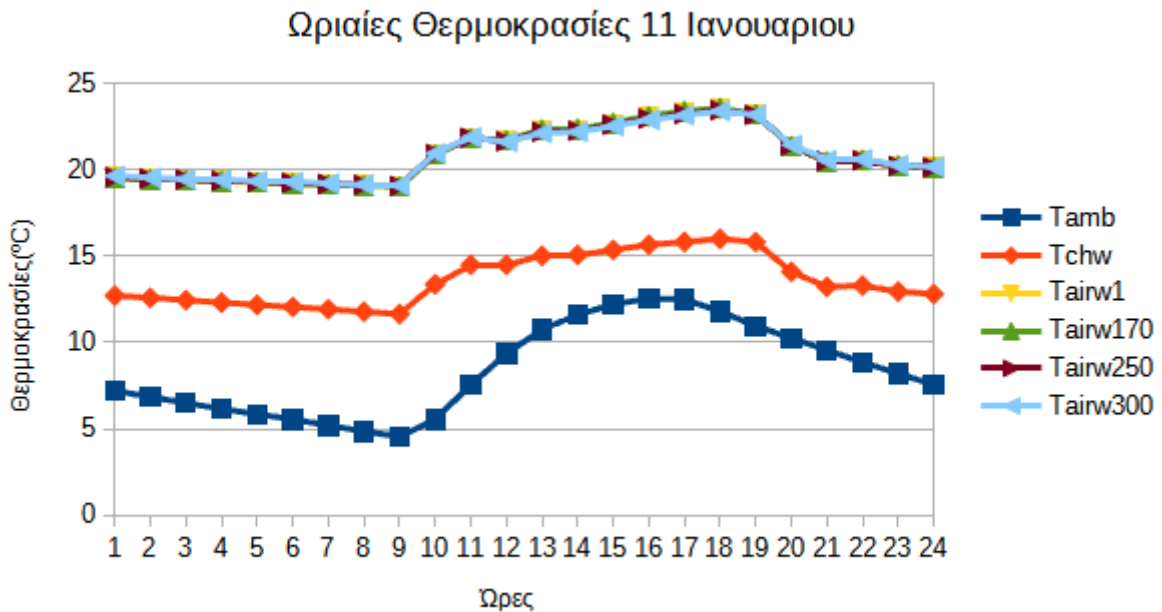
Οι μεταβλητές  $T_{amb}$ ,  $T_{chw}$ ,  $T_{airw1}$ ,  $T_{airw170}$ ,  $T_{airw250}$  και  $T_{airw300}$  είναι οι ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, αέρα στο εσωτερικό ενός κλασσικού κτιρίου και αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας με την διαφορά πως ο τοίχος Trombe έχει πάχος 200mm, 170mm, 250mm, 300mm και η απόσταση του διακένου είναι 10cm, 9cm, 11cm, 12cm αντίστοιχα. Οι παραπάνω μεταβλητές των θερμοκρασιών αφορούν την 11η Ιανουαρίου.

#### Ωριαίες θερμοκρασίες 11ης Ιανουαρίου:

Ωρα (hr)	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$T_{chw}(^{\circ}C)$	$T_{airw1}(^{\circ}C)$	$T_{airw170}(^{\circ}C)$	$T_{airw250}(^{\circ}C)$	$T_{airw300}(^{\circ}C)$
1	7,2	12,71	19,54	19,54	19,57	19,64
2	6,85	12,59	19,47	19,46	19,49	19,54
3	6,5	12,45	19,4	19,4	19,43	19,45
4	6,15	12,31	19,34	19,33	19,36	19,4
5	5,85	12,18	19,23	19,27	19,3	19,33
6	5,55	12,05	19,22	19,21	19,24	19,27
7	5,2	11,92	19,15	19,15	19,18	19,2
8	4,85	11,78	19,1	19,08	19,12	19,15
9	4,55	11,64	19,03	19,02	19,06	19,09
10	5,55	13,37	20,88	20,87	20,91	20,94
11	7,55	14,49	21,83	21,83	21,85	21,87
12	9,35	14,49	21,67	21,7	21,64	21,61
13	10,75	15,01	22,26	22,31	22,19	22,12
14	11,6	15,07	22,31	22,36	22,25	22,18
15	12,2	15,36	22,65	22,71	22,6	22,52
16	12,55	15,65	23,02	23,1	22,95	22,88
17	12,5	15,81	23,3	23,39	23,22	23,14
18	11,8	16	23,5	23,56	23,44	23,39
19	10,95	15,81	23,17	23,22	23,17	23,17
20	10,25	14,1	21,36	21,38	21,4	21,43

21	9,55	13,22	20,46	20,48	20,5	20,55
22	8,85	13,29	20,52	20,56	20,54	20,6
23	8,2	12,95	20,21	20,25	20,22	20,27
24	7,55	12,81	20,12	20,16	20,13	20,17

Πίνακας 5.4:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,αέρα κλασσικού κτιρίου,αέρα κτιρίου προσομοίωσης



Διάγραμμα 5.29:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,αέρα κλασσικού κτιρίου,αέρα κτιρίου προσομοίωσης

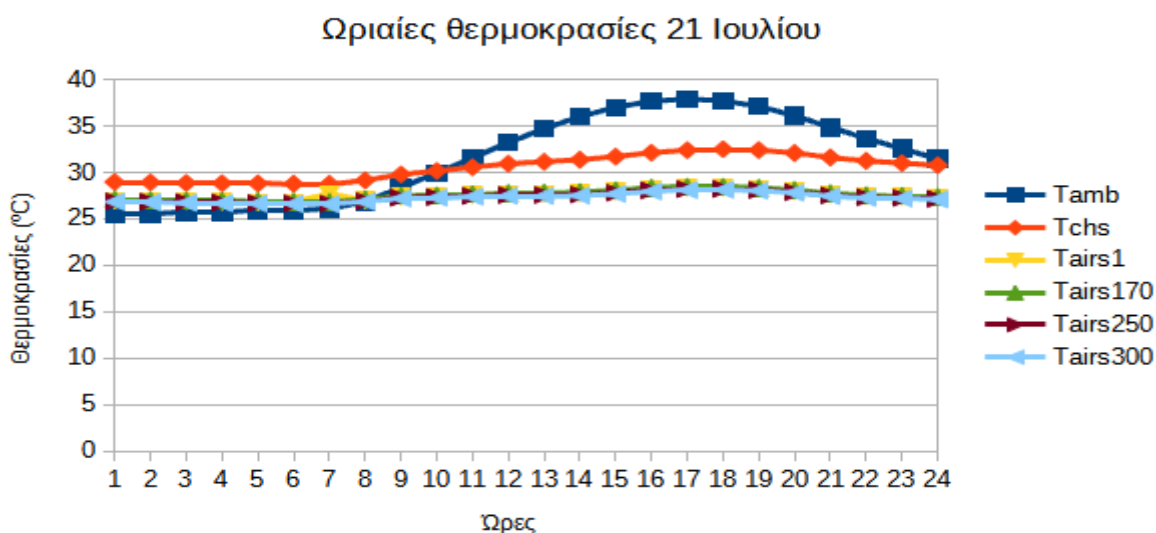
Οι μεταβλητές Tamb,Tchs,Tairs1,Tairs170,Tairs250 και Tairs300 είναι οι αντίστοιχες ωριαίες θερμοκρασίες τις 21ης Ιουλίου.

Ωριαίες θερμοκρασίες 21ης Ιουλίου:

Ωρα (hr)	Tamb(°C)	Tchs(°C)	Tairs1(°C)	Tairs170(°C)	Tairs250(°C)	Tairs300(°C)
1	25,55	28,97	26,98	27,09	26,89	26,83
2	25,55	28,92	26,94	27,05	26,85	26,78
3	25,65	28,87	26,88	27	26,8	26,73
4	25,75	28,84	26,84	26,94	26,76	26,68
5	25,85	28,81	26,8	26,9	26,7	26,64
6	25,95	28,78	26,76	26,86	26,67	26,6

7	26,1	28,77	27,72	26,82	26,64	26,57
8	26,85	29,15	27	27,1	26,91	26,84
9	28,35	29,78	27,36	27,46	27,28	27,2
10	29,95	30,16	27,45	27,55	27,35	27,28
11	31,55	30,56	27,56	27,67	27,47	27,39
12	33,2	30,94	27,67	27,79	27,57	27,48
13	34,7	31,15	27,69	27,82	27,57	27,46
14	36	31,37	27,75	27,89	27,62	27,5
15	37	31,7	27,94	28,09	27,81	27,69
16	37,65	32,12	28,21	28,36	28,07	27,95
17	37,9	32,39	28,33	28,48	28,21	28,1
18	37,7	32,5	28,33	28,48	28,22	28,13
19	37,1	32,4	28,22	28,35	28,11	28,03
20	36,1	32,09	27,98	28,11	27,88	27,8
21	34,85	31,6	27,63	27,76	27,53	27,45
22	33,65	31,24	27,42	27,55	27,33	27,25
23	32,55	31	27,36	27,49	27,26	27,19
24	31,45	30,77	27,26	27,38	27,16	27,08

Πίνακας 5.5:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,αέρα κλασσικού κτιρίου,αέρα κτιρίου προσομοίωσης



Διάγραμμα 5.30:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,αέρα κλασσικού κτιρίου,αέρα κτιρίου προσομοίωσης

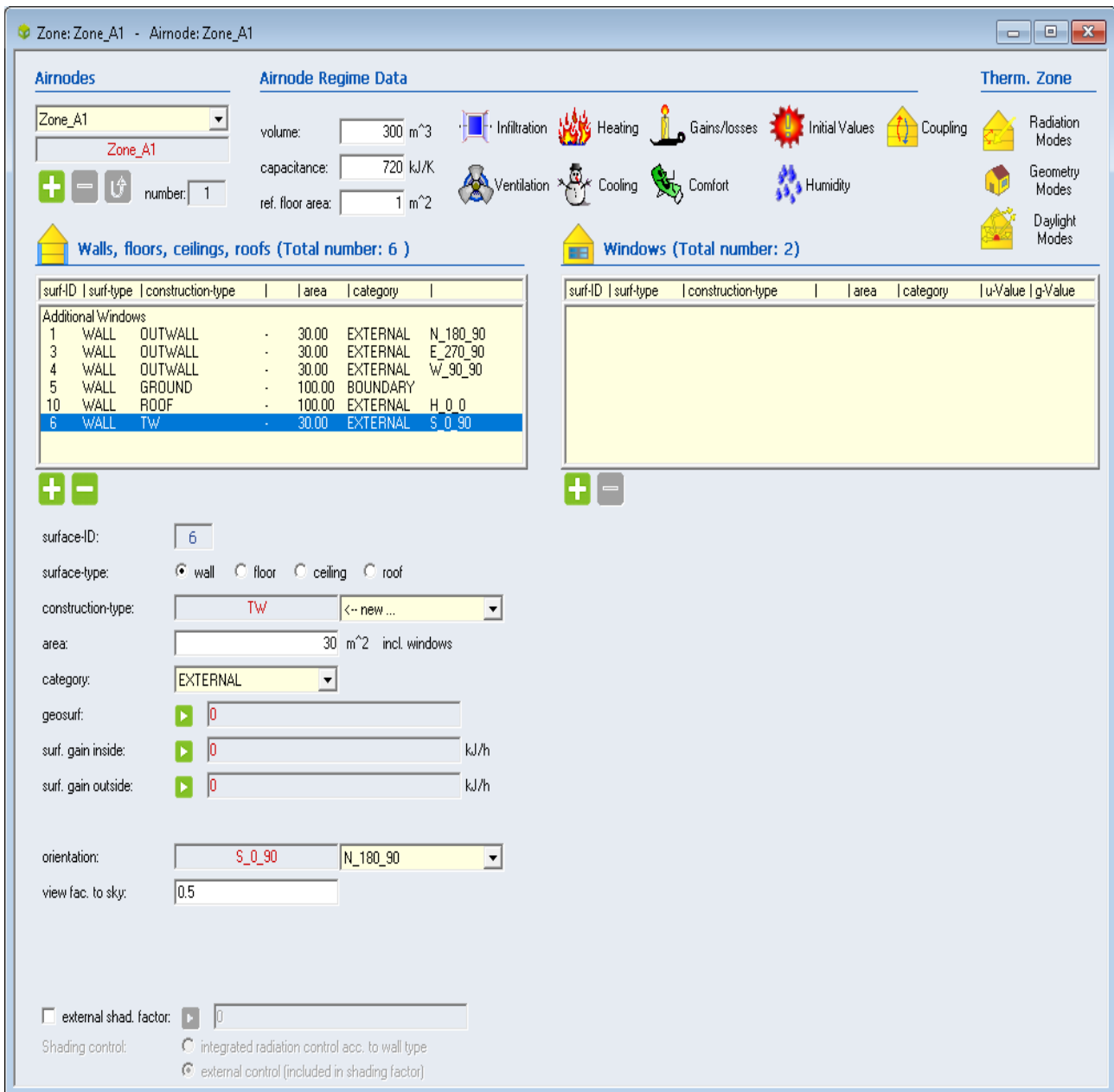
Από τις μετρήσεις παρατηρούμε πως την χειμερινή και καλοκαιρινή ημέρα οι αλλαγές που κάναμε στο πάχος του Trombe και στο διάκενο επηρέασαν σε πολύ μικρό βαθμό την θερμοκρασία αέρα του κτιρίου μας, από 0,1 έως και 0,4 (°C). Αυτό οφείλεται όπως είπαμε στην κατάλληλη επιλογή του διακένου τόσο όταν αυξήθηκε το πάχος αλλά και όταν μειώθηκε.

## 5.2 Παρουσίαση σεναρίων προσομοίωσης

Στα σενάρια που θα παρουσιαστούν στην συνέχεια, ο τοίχος Trombe είναι τοποθετημένος στην νότια πλευρά του κτιρίου μας και έχει τα χαρακτηριστικά που έχουν αναφερθεί στις εικόνες 4.29 & 4.30, με πάχος 200mm και απόσταση διακένου 10cm.

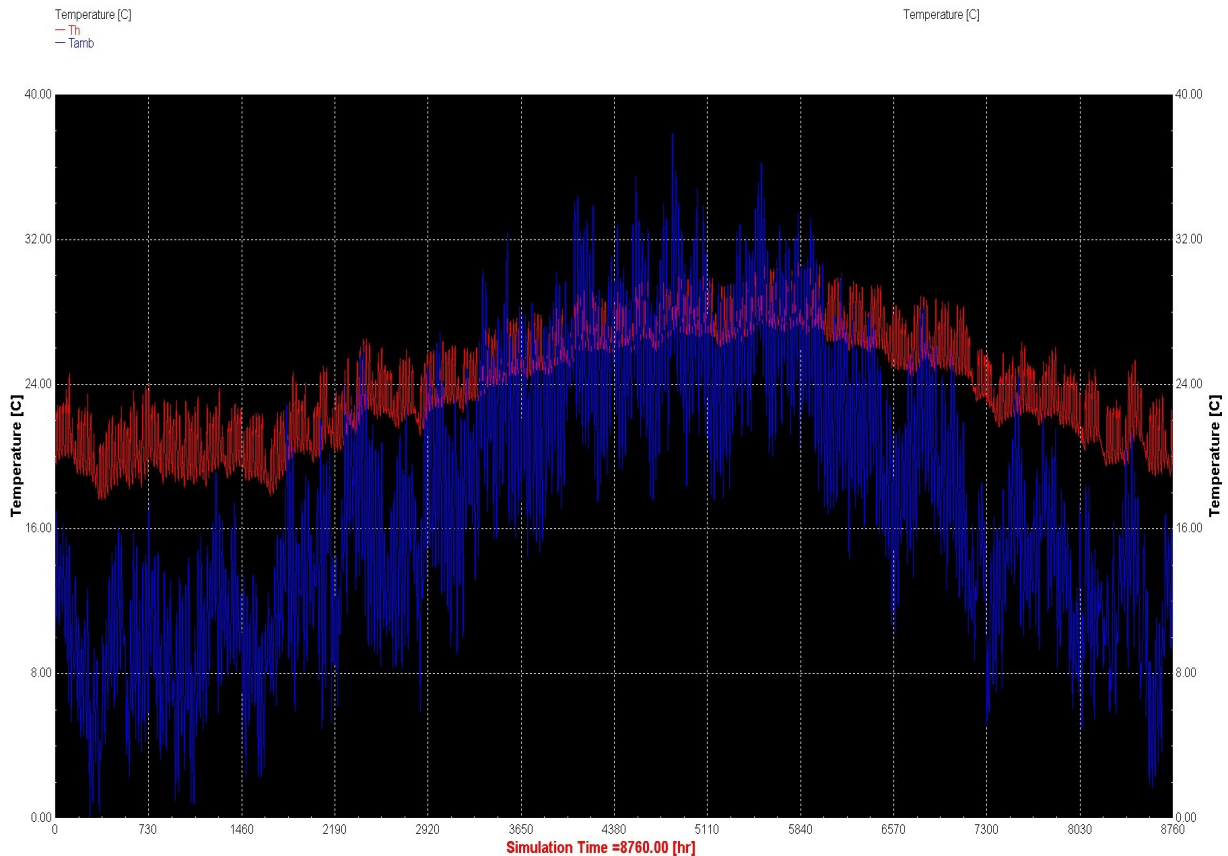
### **Σενάριο 1:**

Σε αυτό το σενάριο εξετάζουμε την κλασική περίπτωση που ο τοίχος Trombe είναι τοποθετημένος στη νότια πλευρά του κτιρίου μας.



Εικόνα 5.6: Σενάριο 1 κλασικός τοίχος Trombe

Αρχικά θα κάνουμε την προσομοίωση για ένα πλήρες έτος ώστε να παρατηρήσουμε την διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (μεταβλητή  $T_h$ ) σε σχέση με την θερμοκρασίας περιβάλλοντος (μεταβλητή  $T_{amb}$ ). Οι θερμοκρασίες μετρούνται σε ( $^{\circ}\text{C}$ ).



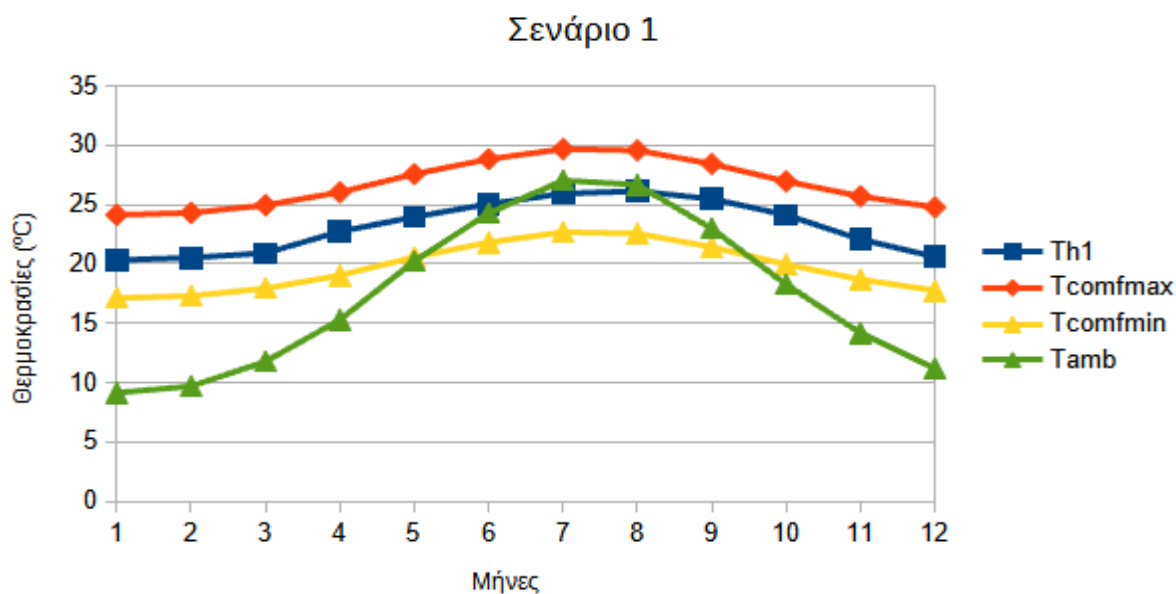
Διάγραμμα 5.31:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος σεναρίου 1

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για το σενάριο 1 για όλο το έτος σε σύγκριση με τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Αφού κάνουμε run για τον μήνα που θέλουμε πηγαίνουμε στο στοιχείο Printer και από τις επιλογές external files πατάμε το edit και αποθηκεύουμε το αρχείο με τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας. Την διαδικασία αυτή την κάνουμε για κάθε μήνα του έτους. Για τον υπολογισμό της βέλτιστης θερμοκρασίας θερμικής άνεσης θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση της ASHRAE :  $T_{comf} = 0,31 \cdot T_{amb} + 17,8$  (°C), με  $T_{amb}$  την θερμοκρασία ξηρού βολβού περιβάλλοντος. Έτσι έχοντας υπολογίσει την βέλτιστη θερμοκρασία θερμικής άνεσης  $T_{comf}$  επιλέγουμε ένα επίπεδο αποδοχής 80% το οποίο μας υποδεικνύει ένα θερμοκρασιακό εύρος 7 °C. Επομένως θα χαράξουμε δύο καμπύλες μέγιστης και ελάχιστης θερμικής άνεσης  $T_{comfmax}$  και  $T_{comfmin}$ , που θα ισχύει  $T_{comfmax} = T_{comf} + 3,5$  (°C) και  $T_{comfmin} = T_{comf} - 3,5$  (°C) αντίστοιχα. Η μεταβλητή  $Th1$  είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας για το σενάριο 1.

Μήνας	Th1 (°C)	Tcomfmax (°C)	Tcomfmin (°C)	Tamb (°C)
Ιανουάριος	20,33	24,14	17,14	9,15
Φεβρουάριος	20,53	24,31	17,31	9,69
Μάρτιος	20,92	24,95	17,95	11,77
Απρίλιος	22,74	26,05	19,05	15,3
Μάιος	23,96	27,58	20,58	20,24
Ιούνιος	25,05	28,83	21,83	24,27
Ιούλιος	25,93	29,69	22,69	27,04
Αύγουστος	26,13	29,57	22,57	26,67
Σεπτέμβριος	25,48	28,43	21,43	22,98
Οκτώβριος	24,13	26,97	19,97	18,27
Νοέμβριος	22,08	25,7	18,7	14,18
Δεκέμβριος	20,6	24,78	17,78	11,2

Πίνακας 5.6: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου, θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 1

Ακολουθώντας θα σχεδιάσουμε τα διαγράμματα των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών που υπολογίσαμε παραπάνω για να δούμε αν είμαστε εντός των θερμικών ορίων ή εκτός και σε ποιούς μήνες αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.32: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου, θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 1

Παρατηρούμε πως για όλο τον χρόνο βρισκόμαστε εντός των ορίων θερμικών ανέσεων στο σενάριο 1. Ο Ιανουάριος είναι ο πιο κρύος μήνας με αποτέλεσμα να χρειαζόμαστε τα

περισσότερα θερμικά κέρδη τότε, ενώ τον Αύγουστο έχουμε την μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία.

## Σενάριο 2:

Στο σενάριο 2 έχουμε προσθέσει ένα νότιο άνοιγμα-παράθυρο πάνω στον τοίχο Trombe. Το νότιο αυτό άνοιγμα βρίσκεται στο κέντρο του τοίχου και έχει διαστάσεις 3m<sup>2</sup> με διπλό τζάμι και συντελεστή σκίασης 0,7.

The screenshot shows the software interface for Zone: Zone\_A1. The main window is titled "Zone: Zone\_A1 - Airnode: Zone\_A1". It features several panels and tables.

**Airnodes:** Zone\_A1, number: 1

**Airnode Regime Data:**

- volume: 300 m<sup>3</sup>
- capacitance: 720 kJ/K
- ref. floor area: 1 m<sup>2</sup>

**Therm. Zone:** Infiltration, Heating, Gains/losses, Initial Values, Coupling, Radiation Modes, Ventilation, Cooling, Comfort, Humidity, Geometry Modes, Daylight Modes.

**Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
Additional Windows				
1	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL N_180_90
3	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL E_270_90
4	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL W_90_90
5	WALL	GROUND	100.00	BOUNDARY
10	WALL	ROOF	100.00	EXTERNAL H_0_0
6	WALL	TW	30.00	EXTERNAL S_0_90

**Windows (Total number: 2)**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category	u-Value	g-Value
2	WINDOW	DOUBLE	3.00	EXTERNAL	1.1	0.62

**Configuration for Surface ID: 6 (Wall TW):**

- surface-type: wall
- construction-type: TW
- area: 30 m<sup>2</sup> incl. windows
- category: EXTERNAL
- orientation: S\_0\_90, N\_180\_90
- view fac. to sky: 0.5
- external shad. factor: 0
- Shading control: external control (included in shading factor)

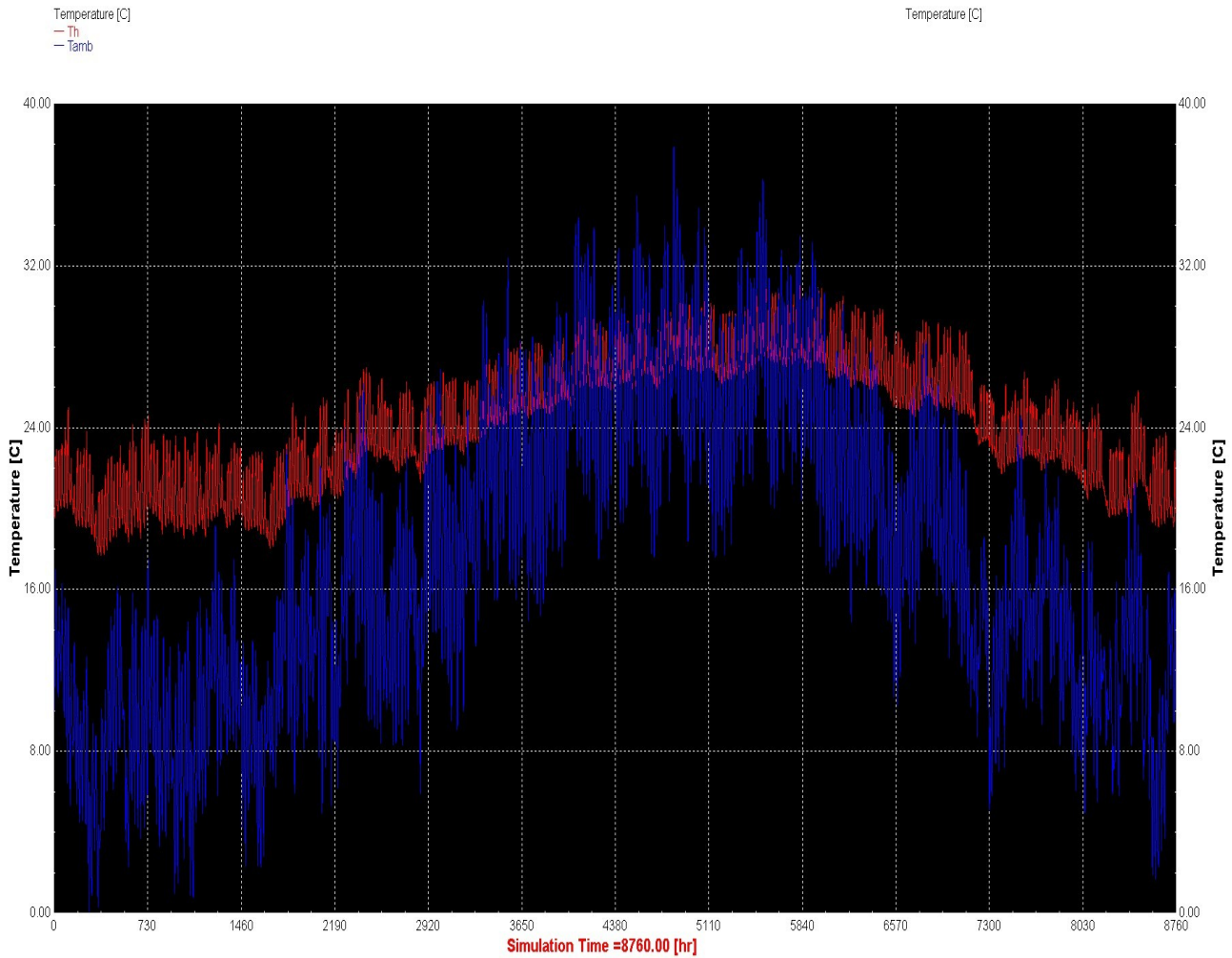
**Configuration for Surface ID: 2 (Window DOUBLE):**

- surface-type: window
- construction-type: DOUBLE
- area: 3 m<sup>2</sup>
- category: EXTERNAL
- orientation: S\_0\_90, N\_180\_90
- view fac. to sky: 0.5
- internal shad. factor: 0.7
- Shading control: external control (included in shading factor)

Εικόνα 5.7: Σενάριο 2 τοποθέτηση ανοίγματος-παραθύρου 3m<sup>2</sup> στον τοίχο Trombe

Η επιλογή αυτή έγινε με το σκεπτικό να αυξήσουμε την εισροή της ηλιακής ακτινοβολίας και κατά επέκταση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου μας. Όπως και πριν θα παρουσιάσουμε την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (μεταβλητή Th) σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (μεταβλητή Tamb).





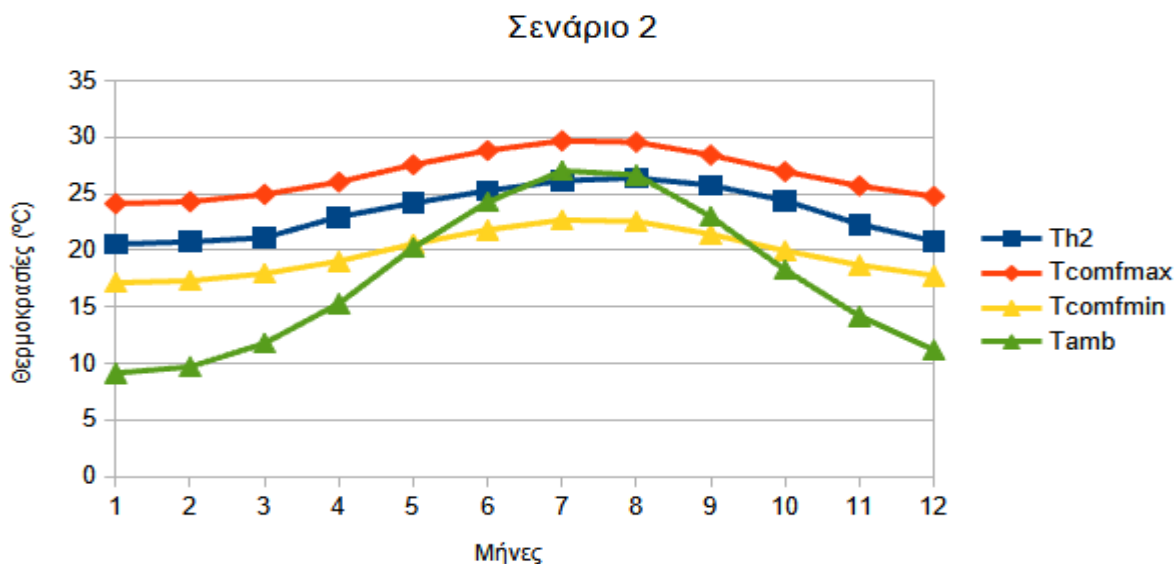
Διάγραμμα 5.33:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος σεναρίου 2

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου που προέκυψαν από το σενάριο 2 με τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά ASRAE όπως και προηγουμένως. Η μεταβλητή Th2 είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας για το σενάριο 2.

Μήνας	Th2 (°C)	Tcomfmax (°C)	Tcomfmin (°C)	Tamb (°C)
Ιανουάριος	20,5571	24,1399133	17,13991	9,153293
Φεβρουάριος	20,7609598	24,30805729	17,30805729	9,694866
Μάρτιος	21,1298	24,95232581	17,95232581	11,773978
Απρίλιος	22,9718	26,0457822	19,04578	15,301
Μάιος	24,185028	27,5753591	20,5753591	20,235376
Ιούνιος	25,2802	28,8267965	21,8267965	24,272
Ιούλιος	26,1687	29,68502164	22,68502164	27,04074
Αύγουστος	26,397655	29,57050081	22,5705	26,671317
Σεπτέμβριος	25,76182565	28,42723667	21,42723667	22,983111
Οκτώβριος	24,396543	26,96531331	19,9653133	18,26748656
Νοέμβριος	22,307947	25,69942611	18,699426	14,1837222
Δεκέμβριος	20,81915	24,77541747	17,77541747	11,20330645

Πίνακας 5.7: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου, θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 2

Θα σχεδιάσουμε σε διάγραμμα τις παραπάνω μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για να δούμε αν είμαστε εντός ή εκτός των θερμοκρασιακών ορίων και σε ποιους μήνες αντίστοιχα.



Διάγραμμα 5.34: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου, θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 2

Παρατηρούμε πώς για κάθε μήνα βρισκόμαστε εντός των θερμικών ορίων, με τον Ιανουάριο να αποτελεί τον μήνα με την χαμηλότερη θερμοκρασία και τον Αύγουστο τον μήνα με την μεγαλύτερη μέση θερμοκρασία αέρα εντός του κτιρίου μας.

### Σενάριο 3:

Στο σενάριο 3 έχουμε τοποθετήσει τον τοίχο Trombe στη νότια πλευρά του κτιρίου ακριβώς όπως και στο σενάριο 1, αλλά έχουμε προσθέσει στο κέντρο της οροφής ένα ανοίγμα-παραθύρο διαστάσεων  $6\text{m}^2$ , με διπλό τζάμι και συντελεστή σκίασης 0,7.

The screenshot shows the software interface for Scenario 3, specifically the configuration of a window on the roof. The interface is divided into several sections:

- Airnodes:** Zone\_A1, number: 1
- Airnode Regime Data:** volume: 300 m<sup>3</sup>, capacitance: 720 kJ/K, ref. floor area: 1 m<sup>2</sup>
- Therm. Zone:** Radiation Modes, Geometry Modes, Daylight Modes
- Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6):**

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
1	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL N_180_90
3	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL E_270_90
4	WALL	OUTWALL	30.00	EXTERNAL W_90_90
5	WALL	GROUND	100.00	BOUNDARY
10	WALL	ROOF	100.00	EXTERNAL H_0_0
6	WALL	TW	30.00	EXTERNAL S_0_90
- Windows (Total number: 2):**

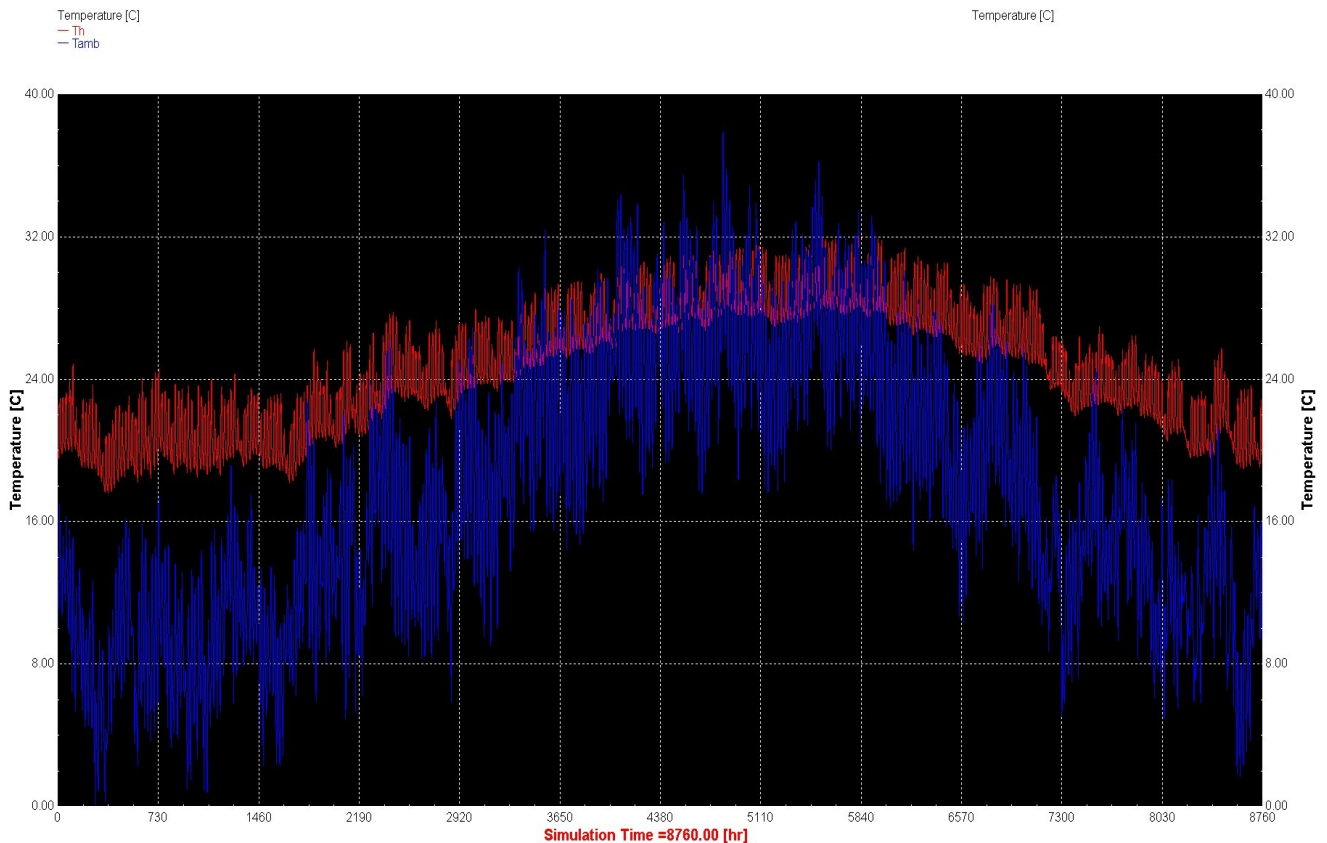
surf-ID	surf-type	construction-type	area	category	u-Value	g-Value
2	WINDOW	undefined	6.00	EXTERNAL	0	0

The window configuration details are as follows:

- surface-ID:** 2
- surface-type:** window
- construction-type:** undefined, DOUBLE
- area:** 6 m<sup>2</sup>
- category:** EXTERNAL
- geosurf:** 0
- surf. gain inside:** 0 kJ/h
- surf. gain outside:** 0 kJ/h
- orientation:** H\_0\_0, N\_180\_90
- view fac. to sky:** 0.5
- internal shad. factor:** 0.7
- Shading control:** external control (included in shading factor)
- external shad. factor:** 0
- Shading control:** external control (included in shading factor)

Εικόνα 5.8: Σενάριο 3 τοποθέτηση ανοίγματος-παραθύρου  $6\text{m}^2$  στην οροφή του κτιρίου

Η σκέψη σε αυτό το σενάριο είναι να συγκριθεί η αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας αέρα του κτιρίου κατά την χειμερινή περίοδο σε σχέση με τα προηγούμενα σενάρια.Επισης ενδιαφέρον έχει ο έλεγχος της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας την καλοκαιρινή περίοδο,καθώς με την τοποθέτηση του ανοίγματος στην οροφή θα υπάρχει αύξηση των θερμικών κερδών ειδικά το καλοκαίρι,με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να βρεθούμε εκτός των θερμικών ορίων.Όπως και πριν θα δούμε την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου (μεταβλητή Th) σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (Tamb).



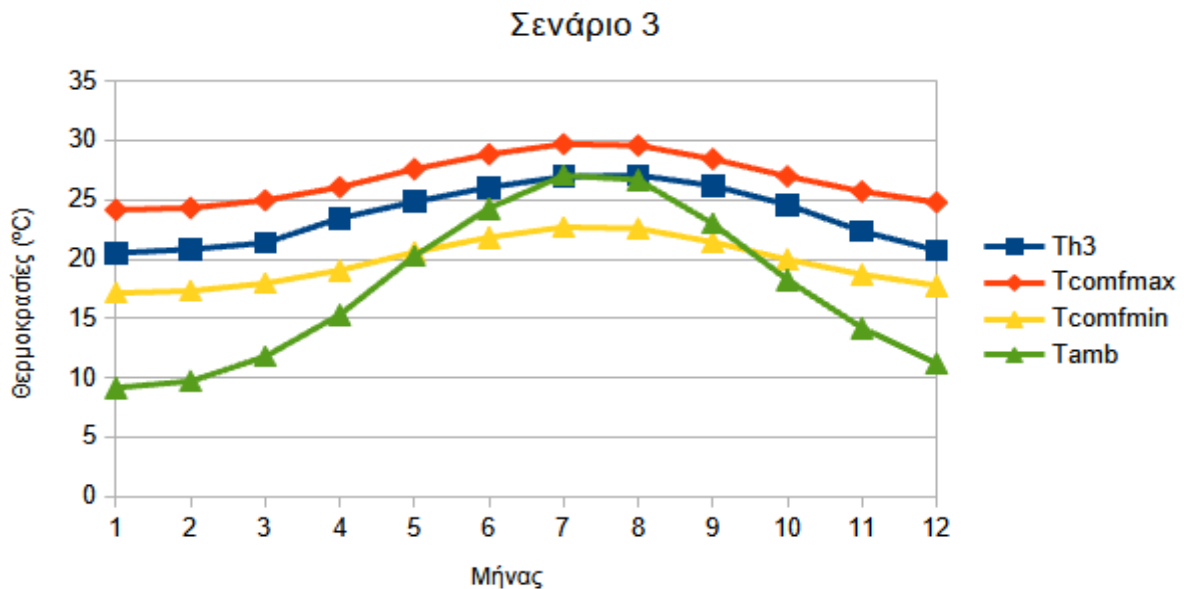
Διάγραμμα 5.35:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος σεναρίου 3

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που προέκυψαν από το σενάριο 3 με τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά ASRAE.Η μεταβλητή Th3 είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας για το σενάριο 3.

Μήνας	Th3 (°C)	Tcomfmax (°C)	Tcomfmin (°C)	Tamb (°C)
Ιανουάριος	20,504	24,1399133	17,13991	9,153293
Φεβρουάριος	20,817	24,30805729	17,30805729	9,694866
Μάρτιος	21,3562	24,95232581	17,95232581	11,773978
Απρίλιος	23,4386	26,0457822	19,04578	15,301
Μάιος	24,819467	27,5753591	20,5753591	20,235376
Ιούνιος	26,03959455	28,8267965	21,8267965	24,272
Ιούλιος	26,939318	29,68502164	22,68502164	27,04074
Αύγουστος	27,0531	29,57050081	22,5705	26,671317
Σεπτέμβριος	26,174325	28,42723667	21,42723667	22,983111
Οκτώβριος	24,57416	26,96531331	19,9653133	18,26748656
Νοέμβριος	22,3307	25,69942611	18,699426	14,1837222
Δεκέμβριος	20,7444	24,77541747	17,77541747	11,20330645

Πίνακας 5.8:Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου,θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 3

Θα σχεδιάσουμε στο διάγραμμα την μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικού του κτιρίου μας και θα ελέγξουμε αν είμαστε εντός ή εκτός των θερμοκρασιακών ορίων άνεσης.



Διάγραμμα 5.36:Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου,θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 3

Παρατηρούμε πως βρισκόμαστε εντός των θερμοκρασιακών ορίων άνεσης για όλο τον χρόνο, με τον Ιανουάριο να αποτελεί τον μήνα με την χαμηλότερη μέση θερμοκρασία ενώ ο Αύγουστος με την μεγαλύτερη.

## Σενάριο 4:

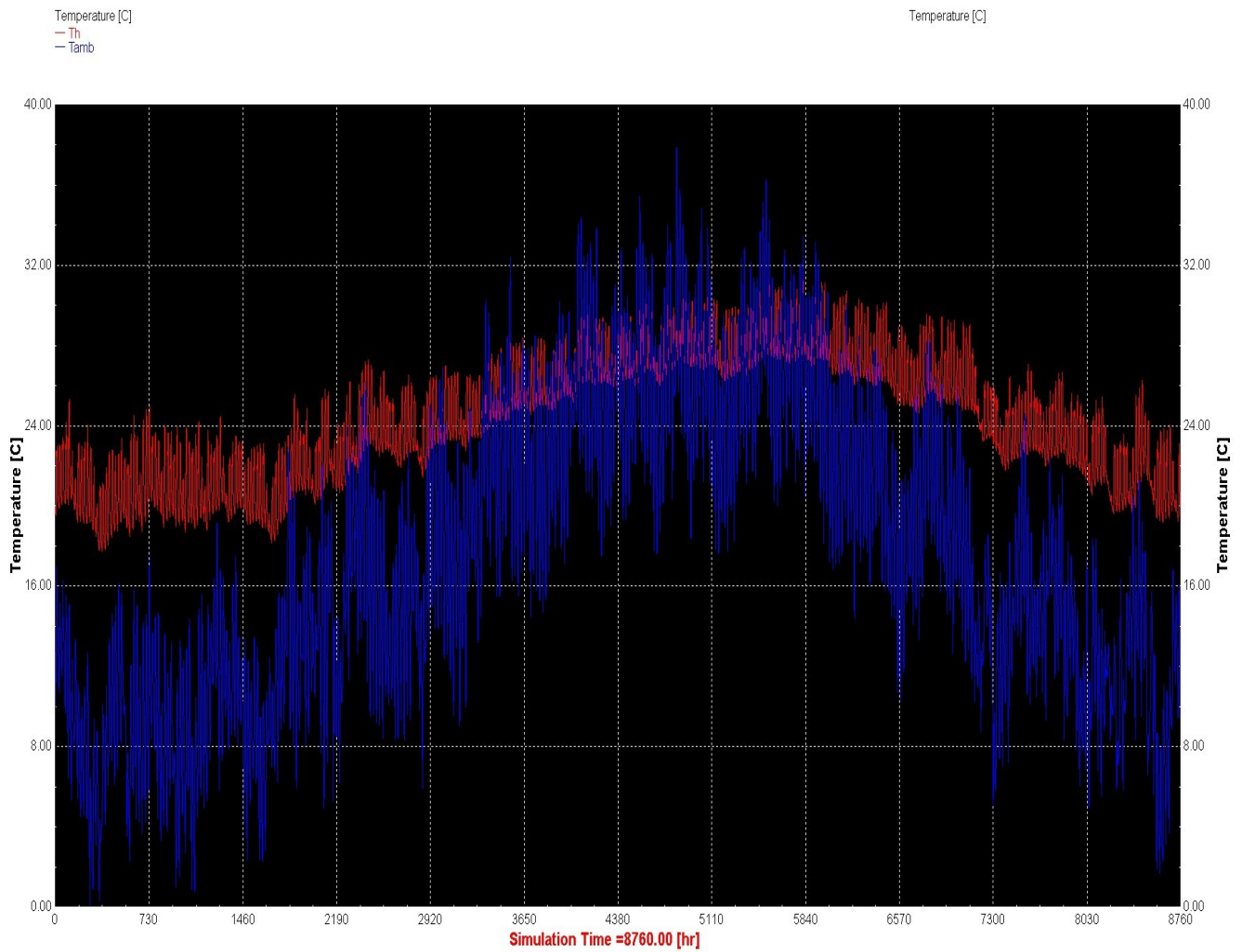
Στο σενάριο 4 έχουμε τοποθετήσει στον τοίχο Trombe ένα άνοιγμα-παράθυρο όπως ακριβώς και στο σενάριο 2, αλλά αυτή τη φορά το εμβαδόν του ανοίγματος είναι 5 m<sup>2</sup>, με διπλό τζάμι και συντελεστή σκίασης 0,7.

The screenshot shows the software interface for Scenario 4, specifically the configuration of a window on a Trombe wall. The interface is divided into several sections:

- Airnodes:** Zone\_A1, Airnode Regime Data (volume: 300 m<sup>3</sup>, capacitance: 720 kJ/K, ref. floor area: 1 m<sup>2</sup>).
- Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 6):** A table listing surfaces with their IDs, types, construction types, areas, and categories. Surface 6 is highlighted as a Trombe wall (TW).
- Windows (Total number: 2):** A table listing windows. Window 2 is highlighted as a double window (DOUBLE) with an area of 5 m<sup>2</sup>.
- Configuration Panels:**
  - Surface 6 (Wall):** surface-ID: 6, surface-type: wall, construction-type: TW, area: 30 m<sup>2</sup>, category: EXTERNAL, orientation: S\_0\_90, view fac. to sky: 0.5.
  - Surface 2 (Window):** surface-ID: 2, surface-type: window, construction-type: DOUBLE, area: 5 m<sup>2</sup>, category: EXTERNAL, orientation: S\_0\_90, view fac. to sky: 0.5, internal shad. factor: 0.7.

Εικόνα 5.9: Σενάριο 4 τοποθέτηση ανοίγματος-παραθύρου 5m<sup>2</sup> στον τοίχο Trombe.

Σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να συγκρίνουμε τον βαθμό στον οποίο βοήθησε ένα μεγαλύτερο άνοιγμα στον τοίχο Trombe σε σχέση με τα άλλα σενάρια, ειδικά του δεύτερου. Θα παρουσιάσουμε την ετήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας (μεταβλητή Th) σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος (Tamb).



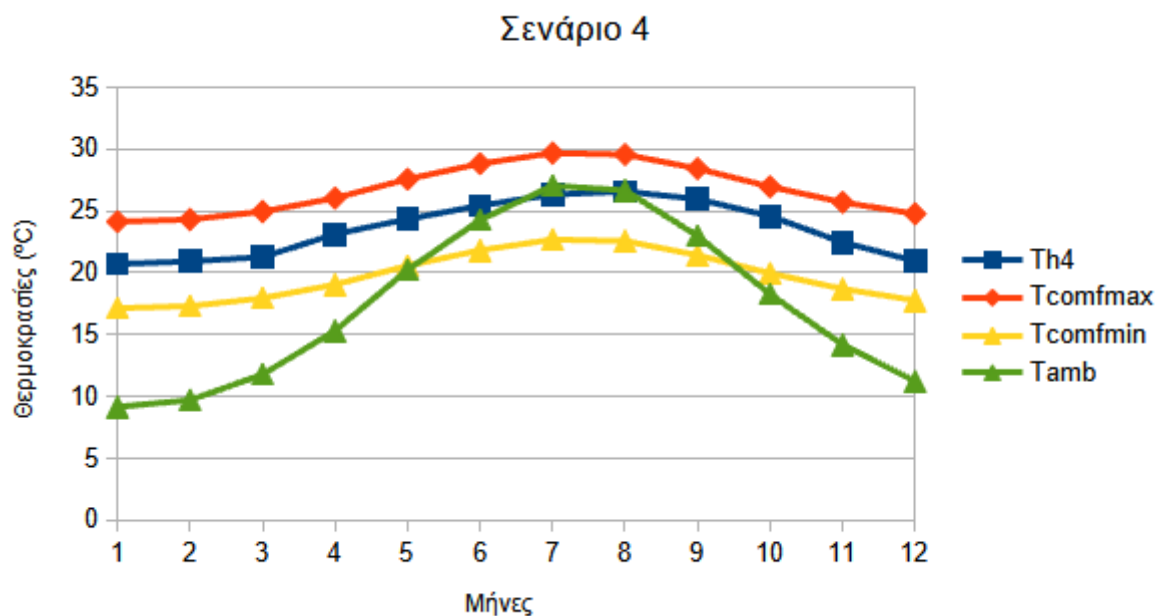
Διάγραμμα 5.37:Ετήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών αέρα κτιρίου & περιβάλλοντος σεναρίου 4

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που προέκυψαν από το σενάριο 4 με τις συνθήκες θερμικής άνεσης κατά ASRAE. Η μεταβλητή Th4 είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας για το σενάριο 4.

Μήνας	Th4 (°C)	Tcomfmax (°C)	Tcomfmin (°C)	Tamb (°C)
Ιανουάριος	20,715	24,1399133	17,13991	9,153293
Φεβρουάριος	20,9197	24,30805729	17,30805729	9,694866
Μάρτιος	21,278658	24,95232581	17,95232581	11,773978
Απρίλιος	23,13094	26,0457822	19,04578	15,301
Μάιος	24,34129	27,5753591	20,5753591	20,235376
Ιούνιος	25,43615	28,8267965	21,8267965	24,272
Ιούλιος	26,3305	29,68502164	22,68502164	27,04074
Αύγουστος	26,579817	29,57050081	22,5705	26,671317
Σεπτέμβριος	25,95724	28,42723667	21,42723667	22,983111
Οκτώβριος	24,582	26,96531331	19,9653133	18,26748656
Νοέμβριος	22,466239	25,69942611	18,699426	14,1837222
Δεκέμβριος	20,9537	24,77541747	17,77541747	11,20330645

Πίνακας 5.9:Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου,θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 4

Θα σχεδιάσουμε στο διάγραμμα την μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα του εσωτερικού του κτιρίου μας και θα ελέγξουμε αν είμαστε εντός ή εκτός των ορίων θερμικής άνεσης.



Διάγραμμα 5.38:Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα κτιρίου,θερμικής άνεσης & περιβάλλοντος σεναρίου 4



Παρατηρούμε πως βρισκόμαστε εντός των θερμοκρασιακών ορίων άνεσης για όλο τον χρόνο, με τον Ιανουάριο να αποτελεί τον μήνα με την χαμηλότερη μέση θερμοκρασία ενώ ο Αύγουστος με την μεγαλύτερη.

Από τα προηγούμενα τέσσερα σενάρια που παρουσιάστηκαν διαπιστώνουμε πώς σε όλα είμαστε εντός των ορίων θερμικής άνεσης για κάθε μήνα, χωρίς κάποιος να είναι οριακά εντός. Επίσης παρατηρούμε πώς οι ετήσιες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου έχουν την ίδια “συμπεριφορά”.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις θερμοκρασίες του αέρα που παρατηρούνται στο εσωτερικό του κτιρίου μας για τα παραπάνω τέσσερα σενάρια σε μία τυπική μέρα του χειμώνα στις 11 Ιανουαρίου και σε μία του καλοκαιριού στις 21 Ιουλίου. Για να έχουμε καλύτερη εικόνα των θερμοκρασιών θα παρουσιάσουμε και τις θερμοκρασίες στο εσωτερικό ενός κλασσικού κτιρίου για τις αντίστοιχες μέρες του χειμώνα και του καλοκαιριού. Το κλασσικό κτίριο δεν φέρει τοίχο Trombe στη νότια πλευρά αλλά όλες οι πλευρές των τοίχων είναι ίδιοι όπως έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο 4 στις εικόνες 4.41-4.42.

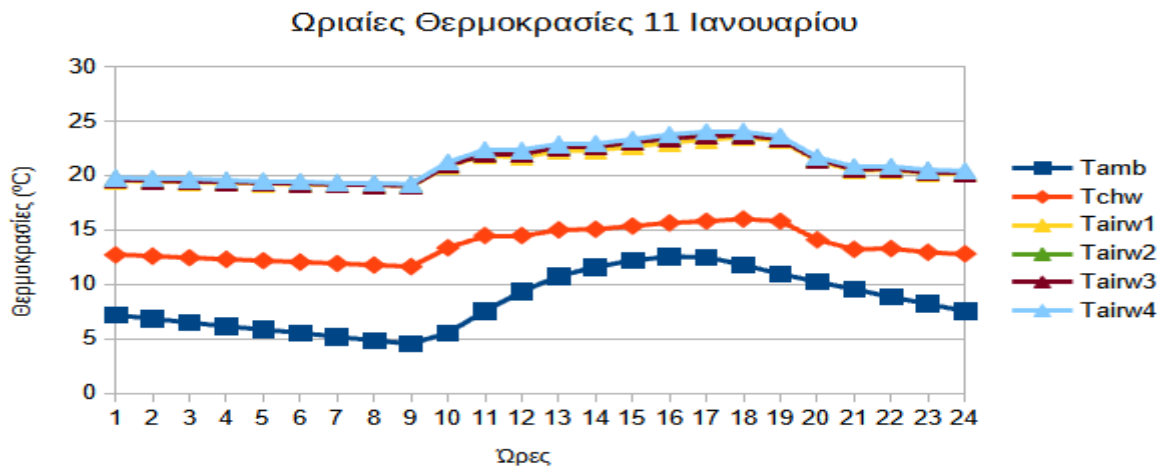
Για την 11 Ιανουαρίου έχουμε τις ακόλουθες θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου με τις μεταβλητές Tamb, Tch<sub>w</sub>, Tairw<sub>1</sub>, Tairw<sub>2</sub>, Tairw<sub>3</sub>, Tairw<sub>4</sub> να είναι οι ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, κλασσικού κτιρίου, κτιρίου σεναρίων 1,2,3,4 αντίστοιχα.

#### Ωριαίες θερμοκρασίες 11ης Ιανουαρίου:

Ωρα (hr)	Tamb(°C)	Tchw(°C)	Tairw1(°C)	Tairw2(°C)	Tairw3(°C)	Tairw4(°C)
1	7,2	12,71	19,54	19,7	19,61	19,8
2	6,85	12,59	19,47	19,61	19,53	19,72
3	6,5	12,45	19,4	19,54	19,46	19,65
4	6,15	12,31	19,34	19,47	19,39	19,57
5	5,85	12,18	19,23	19,4	19,32	19,5
6	5,55	12,05	19,22	19,34	19,25	19,43
7	5,2	11,92	19,15	19,27	19,19	19,36
8	4,85	11,78	19,1	19,2	19,11	19,29
9	4,55	11,64	19,03	19,14	19,05	19,22
10	5,55	13,37	20,88	21,08	20,95	21,22
11	7,55	14,49	21,83	22,13	22	22,34
12	9,35	14,49	21,67	22,05	21,96	22,31
13	10,75	15,01	22,26	22,62	22,6	22,88
14	11,6	15,07	22,31	22,68	22,69	22,94
15	12,2	15,36	22,65	23,05	23,05	23,32
16	12,55	15,65	23,02	23,46	23,42	23,75
17	12,5	15,81	23,3	23,71	23,62	24

18	11,8	16	23,5	23,81	23,7	24,04
19	10,95	15,81	23,17	23,42	23,33	23,6
20	10,25	14,1	21,36	21,55	21,48	21,68
21	9,55	13,22	20,46	20,66	20,57	20,8
22	8,85	13,29	20,52	20,7	20,63	20,83
23	8,2	12,95	20,21	20,39	20,31	20,52
24	7,55	12,81	20,12	20,3	20,21	20,42

Πίνακας 5.10:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,κλασσικού κτιρίου,σεναρίων 1,2,3,4 11ης Ιανουαρίου



Διάγραμμα 5.39:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,κλασσικού κτιρίου,σεναρίων 1,2,3,4 11ης Ιανουαρίου

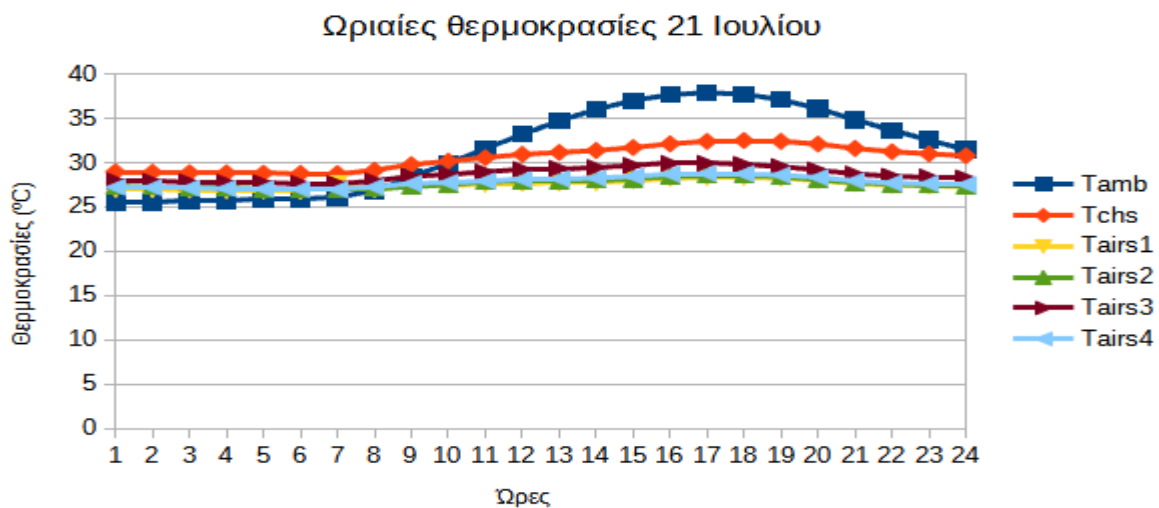
Για την 21η Ιουλίου έχουμε τις ακόλουθες θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου με τις μεταβλητές Tamb,Tchs,Tairs1,Tairs2,Tairs3,Tairs4 να είναι οι ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,κλασσικού κτιρίου,κτιρίου σεναρίων 1,2,3,4 αντίστοιχα.

Ωριαίες θερμοκρασίες 21ης Ιουλίου:

Ωρα (hr)	Tamb(°C)	Tchs(°C)	Tairs1(°C)	Tairs2(°C)	Tairs3(°C)	Tairs4(°C)
1	25,55	28,97	26,98	27,35	27,95	27,24
2	25,55	28,92	26,94	27,27	27,89	27,2
3	25,65	28,87	26,88	27,2	27,82	27,14
4	25,75	28,84	26,84	27,13	27,77	27,1
5	25,85	28,81	26,8	27,06	27,72	27,04
6	25,95	28,78	26,76	27	27,66	27
7	26,1	28,77	27,72	26,95	27,63	26,96
8	26,85	29,15	27	27,1	27,95	27,25

9	28,35	29,78	27,36	27,28	28,45	27,65
10	29,95	30,16	27,45	27,5	28,67	27,76
11	31,55	30,56	27,56	27,83	28,96	27,93
12	33,2	30,94	27,67	27,92	29,23	28,1
13	34,7	31,15	27,69	27,95	29,34	28,17
14	36	31,37	27,75	28	29,45	28,26
15	37	31,7	27,94	28,18	29,68	28,46
16	37,65	32,12	28,21	28,42	29,91	28,71
17	37,9	32,39	28,33	28,58	29,92	28,79
18	37,7	32,5	28,33	28,59	29,8	28,74
19	37,1	32,4	28,22	28,42	29,55	28,6
20	36,1	32,09	27,98	28,07	29,17	28,33
21	34,85	31,6	27,63	27,74	28,72	27,95
22	33,65	31,24	27,42	27,59	28,47	27,7
23	32,55	31	27,36	27,49	28,39	27,65
24	31,45	30,77	27,26	27,4	28,27	27,54

Πίνακας 5.11:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,κλασσικού κτιρίου,σεναρίων 1,2,3,4 για 21ης Ιουλίου



Διάγραμμα 5.40:Ωριαίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος,κλασσικού κτιρίου,σεναρίων 1,2,3,4 για 21ης Ιουλίου

Για την 11η Ιανουαρίου παρατηρούμε πως στο εσωτερικό του κτιρίου μας επικρατούν καλές συνθήκες θερμικής άνεσης για κάθε σενάριο σε σχέση με ένα κλασσικό κτίριο,με μία

αύξηση της θερμοκρασίας γύρω στους 7,5 (°C).Μεταξύ των σεναρίων παρατηρούμε πώς οι θερμοκρασίες διαφέρουν από 0,2 έως και 0,8 (°C), με τις πρωινές και βραδινές ώρες να έχουμε τις μικρότερες διαφορές θερμοκρασιών και τις μεγαλύτερες κατά την διάρκεια της ημέρας.

Για την 21η Ιουλίου έχουμε μια καλή πορεία της θερμοκρασίας του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας για κάθε σενάριο σε σχέση με ένα κλασσικό κτίριο,με μία μείωση της θερμοκρασίας από 2 έως και 4 (°C) στην διάρκεια της ημέρας.Μεταξύ των σεναρίων 1,2,4 οι διαφορές των θερμοκρασιών είναι χαμηλές γύρω στους 0,45 (°C),ενώ το σενάριο 3 πού έχει το άνοιγμα-παράθυρο στην οροφή έχει μεγαλύτερη διαφορά στους 1,3 (°C) εξαιτίας της πορείας του ήλιου το καλοκαίρι.

### 5.3 Σύγκριση σεναρίων προσομοίωσης

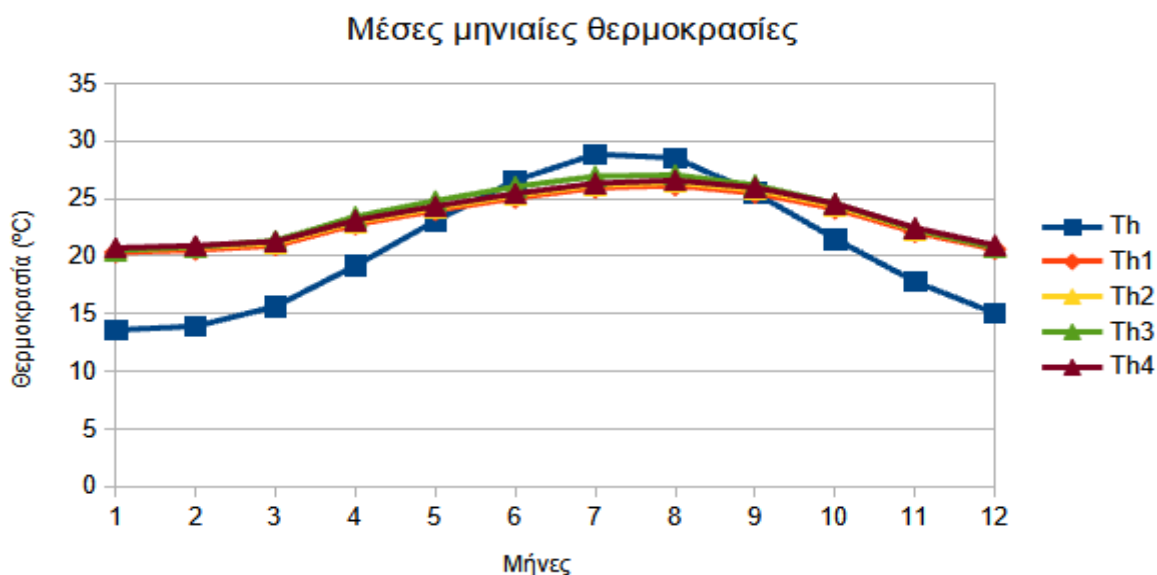
Αρχικά θα υπολογίσουμε την μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα που υπάρχει στο εσωτερικό του κλασσικού κτιρίου.Η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για την περίπτωση αυτή είναι η μεταβλητή Th.Έχοντας παρουσιάσει προηγουμένως τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μας για τα σενάρια 1,2,3 και 4 στη συνέχεια θα τα συγκρίνουμε μεταξύ τους για να δούμε κατά πόσο αυξήθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου μας.Η μεταβλητή Th1 αφορά την μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα για το εσωτερικό του κτιρίου μας για το σενάριο 1,ενώ οι μεταβλητές Th2, Th3,Th4 για τα σενάρια 2,3 και 4 αντίστοιχα.

Μήνας	Th (°C)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Th3 (°C)	Th4 (°C)
Ιανουάριος	13,5929	20,329299	20,5571	20,504	20,715
Φεβρουάριος	13,9114	20,531985	20,7609598	20,817	20,9197
Μάρτιος	15,63324	20,9154888	21,1298	21,3562	21,278658
Απρίλιος	19,1774	22,74136	22,9718	23,4386	23,13094
Μάιος	23,06755	23,958517	24,185028	24,819467	24,34129
Ιούνιος	26,572	25,054	25,2802	26,03959455	25,43615
Ιούλιος	28,85656	25,933698	26,1687	26,939318	26,3305
Αύγουστος	28,5336	26,13287	26,397655	27,0531	26,579817
Σεπτέμβριος	25,497798	25,4777	25,76182565	26,174325	25,95724

Οκτώβριος	21,506119	24,126659	24,396543	24,57416	24,582
Νοέμβριος	17,79069	22,07898	22,307947	22,3307	22,466239
Δεκέμβριος	15,03726	20,603	20,81915	20,7444	20,9537

Πίνακας 5.12: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κλασσικού κτιρίου & σεναρίων 1,2,3,4

Σχεδιάζοντας τις παραπάνω θερμοκρασίες ανά μήνα του πίνακα 5.12 έχουμε την εξής αναπαράσταση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών:



Διάγραμμα 5.41: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κλασσικού κτιρίου & των σεναρίων 1,2,3,4.

Παρατηρούμε πώς τα σεσνάρια που εξετάσαμε έχουν την ίδια “συμπεριφορά”, χωρίς κάποιο να αποκλίνει από τα υπόλοιπα. Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε κάθε σεσνάριο ξεχωριστά με την περίπτωση του κλασσικού κτιρίου για να δούμε πόσο αυξήθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα.

Μήνας	Th1-Th (°C)	Th2-Th (°C)	Th3-Th (°C)	Th4-Th (°C)
Ιανουάριος	6,7363399	6,964	6,911	7,122
Φεβρουάριος	6,620585	6,84955	6,9056	7
Μάρτιος	5,2822	5,49656	5,72296	5,6454
Απρίλιος	3,56396	3,7944	4,2612	3,9535
Μάιος	0,8909	1,117	1,7519	1,2737
Ιούνιος	-1,518	-1,2918	-0,5324	-1,13585
Ιούλιος	-2,92286	-2,6878	-1,9172	-2,526

Αύγουστος	-2,4	-2,1359	-1,48	-1,95378
Σεπτέμβριος	-0,02	0,264	0,6765	0,45944
Οκτώβριος	2,62	2,89	3,068	3,07588
Νοέμβριος	4,288	4,5172	4,54	4,675549
Δεκέμβριος	5,56574	5,78189	5,707	5,91644

Πίνακας 5.13: Διαφορές μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σεναρίων 1,2,3,4 - κλασσικού κτιρίου.

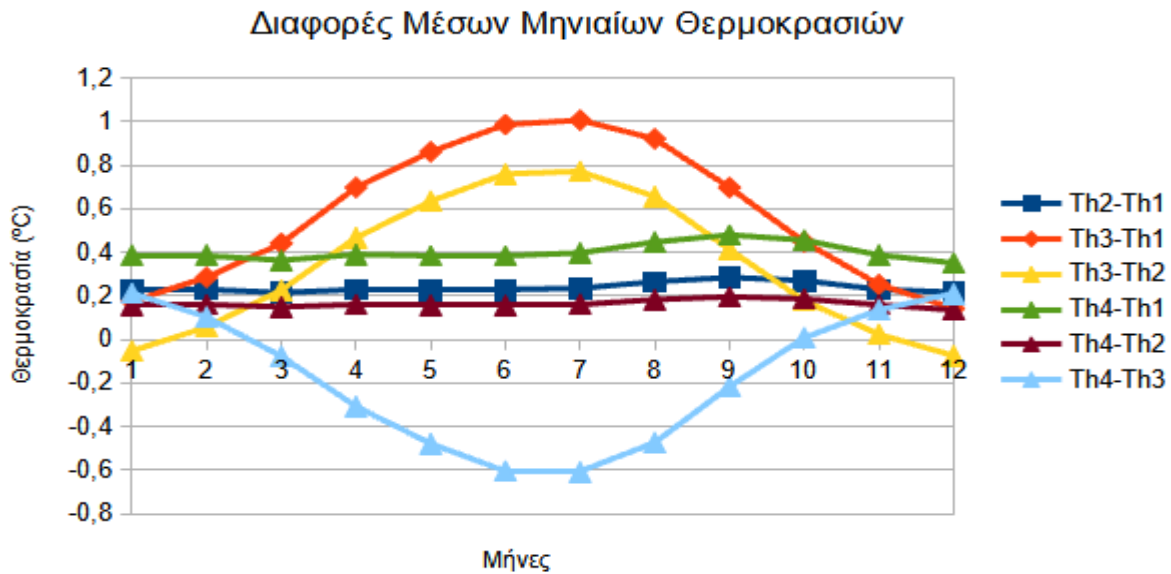
Από τον πίνακα 5.13 οδηγούμαστε στο συμπέρασμα πως ο τοίχος Trombe σχεδόν σε κάθε σενάριο προσφέρει μια αύξηση στην μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα του κτιρίου από 4.3 έως και 7 (°C) τους χειμερινούς μήνες. Τους θερινούς μήνες παρατηρούμε πως η τοποθέτηση του τοίχου Trombe μας βοήθησε να έχουμε χαμηλότερες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου από 1,5 έως 3 (°C) σε σχέση με την την περίπτωση ενός κλασσικού κτιρίου.

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε τα σενάρια 1,2,3,4 μεταξύ τους για δούμε σε τι βαθμό αυξήθηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Μήνας	Th2-Th1 (°C)	Th3-Th1 (°C)	Th3-Th2 (°C)	Th4-Th1 (°C)	Th4-Th2 (°C)	Th4-Th3 (°C)
Ιανουάριος	0,2278	0,1747	-0,0531	0,3857	0,1579	0,211
Φεβρουάριος	0,22897	0,285	0,05604	0,387715	0,1587402	0,1027
Μάρτιος	0,2143	0,4407	0,2264	0,3631692	0,148858	-0,0775
Απρίλιος	0,23044	0,69724	0,4668	0,38958	0,15914	-0,30766
Μάιος	0,2265	0,86095	0,634439	0,382773	0,15626	-0,478177
Ιούνιος	0,2262	0,9855945	0,75939455	0,38215	0,15595	-0,60344
Ιούλιος	0,235	1,0056	0,7706	0,3968	0,1618	-0,6088
Αύγουστος	0,264785	0,92023	0,655445	0,446947	0,18216	-0,4738
Σεπτέμβριος	0,28412565	0,696625	0,412499	0,47954	0,195414	-0,217
Οκτώβριος	0,269884	0,4475	0,177617	0,45534	0,185457	0,00784
Νοέμβριος	0,228967	0,25172	0,02275	0,387259	0,15829	0,1355
Δεκέμβριος	0,21615	0,1414	-0,07475	0,3507	0,13455	0,2093

Πίνακας 5.14: Διαφορές μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σεναρίων 1,2,3,4

Για καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα τοποθετήσουμε τις παραπάνω διαφορές σε διάγραμμα για να δούμε πώς επηρεάστηκε η θερμοκρασία του αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου με την προσθήκη των ανοιγμάτων στον τοίχο Trombe και στην οροφή αντιστοιχώς.



Διάγραμμα 5.42: Διαφορές μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών σεναρίων 1,2,3,4

Παρατηρούμε πώς με την προσθήκη του ανοίγματος-παραθύρου στον τοίχο Trombe για το σενάριο 2 έχουμε μια αύξηση της θερμοκρασίας από 0,216 έως 0,229 (°C) από τον κλασσικό τοίχο Trombe που εξετάσαμε στο σενάριο 1 τους χειμερινούς μήνες. Για τους θερινούς μήνες έχουμε μια αύξηση της θερμοκρασίας σχετικά μικρή από 0,226 έως 0,284 (°C). Επομένως η προσθήκη του ανοίγματος-παραθύρου πάνω στον τοίχο Trombe είναι επιθυμητή καθώς βοηθάει στην προσθήκη θερμικών κερδών τους χειμερινούς μήνες, ενώ τους θερινούς μήνες που επιζητούμε την μείωση των θερμικών κερδών, η μικρή αύξηση της θερμοκρασίας δεν επιβαρύνει σε σημαντικό βαθμό.

Στη συνέχεια θα γίνει η σύγκριση του κλασσικού τοίχου Trombe (σενάριο 1) με αυτού στο οποίο πέρα από τον τοίχο Trombe έχουμε προσθέσει στην οροφή ένα άνοιγμα-παραθύρο 6m<sup>2</sup> (σενάριο 3). Τους χειμερινούς μήνες παρατηρούμε ότι έχουμε μια αύξηση της θερμοκρασίας από 0,14 έως και 0,285 (°C) που είναι επιθυμητή, ενώ τους θερινούς μήνες εξαιτίας της τροχιάς του ήλιου έχουμε μια σημαντική αύξηση από 0,7 έως και 1 (°C).

Στο σενάριο 4 με την αύξηση του ανοίγματος-παραθύρου πάνω στον τοίχο Trombe στα 5 m<sup>2</sup>, είχε ως αποτέλεσμα να έχουμε μια αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας τους χειμερινούς μήνες από 0,35 έως 0,388 (°C) σε σχέση με τον κλασσικό τοίχο Trombe που μελετήθηκε στο σενάριο 1. Τους θερινούς μήνες παρατηρούμε πως υπάρχει μία αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από 0,382 έως 0,48 (°C) η οποία δεν δημιουργεί πρόβλημα στην θερμική άνεση του κτιρίου. Επομένως η προσθήκη του ανοίγματος στον τοίχο Trombe βοηθάει την περίοδο που χρειαζόμαστε περισσότερα θερμικά κέρδη, ενώ δεν επιβαρύνει σε σημαντικό βαθμό το καλοκαίρι.

Η μεταξύ σύγκριση των σεναρίων 2 και 4 έχει ενδιαφέρον καθώς η αύξηση του εμβαδού του ανοίγματος-παραθύρου από τα 3 m<sup>2</sup> στα 5 m<sup>2</sup> οδήγησε την μέση μηνιαία θερμοκρασία τους χειμερινούς μήνες να αυξηθεί από 0,135 έως 0,159 (°C). Τους θερινούς μήνες υπήρχε

μια αύξηση από 0,155 έως 0,195 (°C) που δεν δημιουργεί πρόβλημα στην θερμική άνεση στο εσωτερικό του κτιρίου.

Με την σύγκριση των σεναρίων 3 και 4 καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως το σενάριο 4 προσφέρει τους χειμερινούς μήνες μια αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από 0,1 έως 0,21 (°C), ενώ το καλοκαίρι εξαιτίας της πορείας του ήλιου το σενάριο 3 έχει μεγαλύτερη αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από 0,48 έως 0,61 (°C).

## 5.4 Αξιολόγηση σχετικής υγρασίας σεναρίων

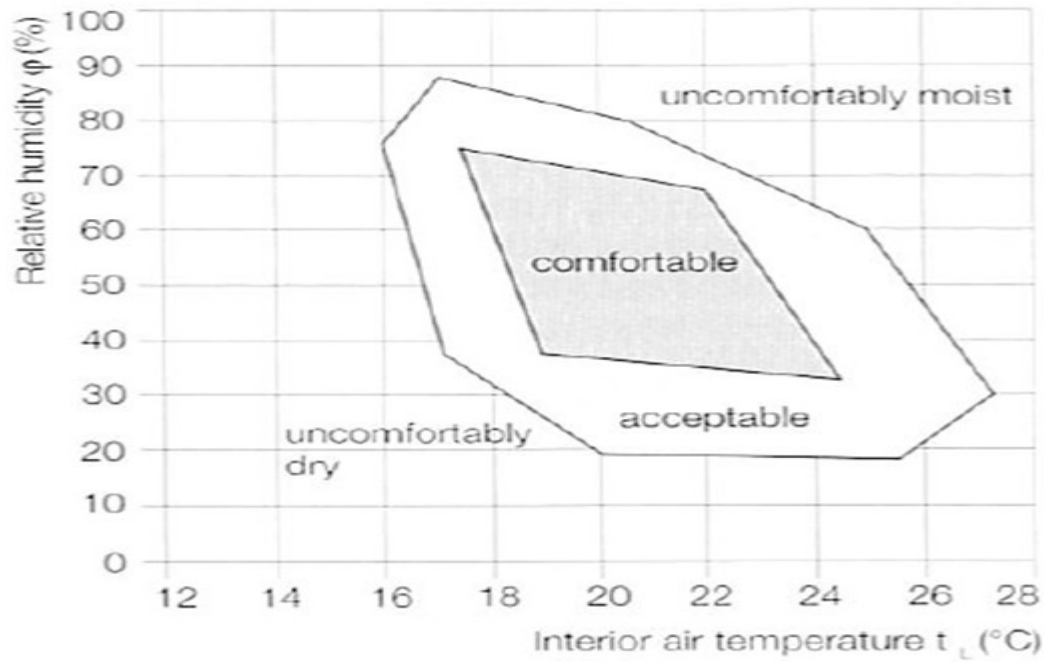
Θα γίνει μια αξιολόγηση της σχετικής υγρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό του κτιρίου μας για κάθε σενάριο καθώς είναι ένας σημαντικός παράγοντας που παρουσιάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης και ευεξίας.

Σχετική υγρασία είναι ο λόγος της ποσότητας ή της μάζας των υδρατμών, που περιέχει ο αέρας, προς εκείνη την ποσότητα ή το βάρος των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει μέχρις ότου αυτός κορεσθεί.[24]

Η σχετική υγρασία εξαρτάται από την θερμοκρασία του αέρα, μετράται σε ποσοστά (%) και δείχνει κατά πόσο η εκάστοτε υγρομετρική κατάσταση του αέρα απέχει από την κατάσταση κορεσμού (σχετική υγρασία 100%). Κατάσταση κορεσμού έχουμε όταν επικρατεί ομίχλη ή βρέχει. Ισχύει γενικά ο κανόνας ότι όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα ελαττώνεται η σχετική υγρασία του και αντιστρόφως. Επίσης ισχύει η ακόλουθη σχέση: Σχετική Υγρασία =  $e/e_s$ , που το  $e$  αναφέρεται στους ακόρεστους υδρατμούς ενώ το  $e_s$  στους κορεσμένους. Η  $e$  είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας και η  $e_s$  είναι μονοσήμαντη συνάρτηση της θερμοκρασίας.[23] Γενικά η σχετική υγρασία στο εσωτερικό ενός χώρου πρέπει να κυμαίνεται ανάμεσα από 30 έως 70%. Σχετική υγρασία κάτω του 30% προκαλεί ξηρότητα των βλεννογόνων, του λαιμού ακόμη και προβλήματα στην όραση ενώ άνω του 70% μπορεί να προκαλέσει το σχηματισμό μούχλας στο χώρο.

Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται τα αποδεκτά και μη όρια σχετικής υγρασίας σε συσχετισμό με την θερμοκρασία του αέρα :





Εικόνα 5.10: Χάρτης άνεσης – σχετικής υγρασίας [25]

Για να υπολογίσουμε την σχετική υγρασία του κτιρίου μας προσθέτουμε την μεταβλητή εξόδου στο Building για την σχετική υγρασία. Στη συνέχεια την συνδέουμε με το στοιχείο Printer και λαμβάνουμε τις μετρήσεις μας.

Outputs

Calculate Transfer Functions

Timebase:

Outputs

Resulting Output List

No	Name	Unit	ZNr	Airnode	SurfNr	Description
1	TAIR_Zone_A1	C	1	Zone_A1		air temperature of airnode
2	RELHUM_Zone_A1	%	1	Zone_A1		relativ humidity of airnode air

Output Definition

No	Aimodes/Nodes/Airlinks	NTypes
1	Zone_A1	1
2	Zone_A1	9

+ -

✓ ✗

Εικόνα 5.11: Προσθήκη μεταβλητής εξόδου σχετικής υγρασίας Building

Θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα κάθε προσομοίωσης για το ποσοστό της σχετικής υγρασίας κάθε μήνα μαζί με την μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου, δηλαδή τις ήδη υπολογισμένες θερμοκρασίες Th1,Th2,Th3,Th4 ενώ οι μεταβλητές Rh1,Rh2,Rh3,Rh4 είναι τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας για τα σενάρια 1,2,3,4 αντίστοιχα. Στους πίνακες θα υπάρχει ο χαρακτηρισμός της κατάστασης του αέρα βάσει του χάρτη άνεσης- σχετικής υγρασίας (εικόνα 5.10) που αναφέραμε προηγουμένως.

Μήνας	Th1 (°C)	Rh1 (%)	Κατάσταση
Ιανουάριος	20,33	77,67	acceptable
Φεβρουάριος	20,53	75,2	acceptable
Μάρτιος	20,92	71,55	acceptable
Απρίλιος	22,74	63,38	acceptable
Μάιος	23,96	59,74	acceptable
Ιούνιος	25,05	53,78	acceptable
Ιούλιος	25,93	49,05	moist
Αύγουστος	26,13	50,08	moist
Σεπτέμβριος	25,48	57,75	moist
Οκτώβριος	24,13	67,2	moist
Νοέμβριος	22,08	77,7	moist
Δεκέμβριος	20,6	73,46	acceptable

Πίνακας 5.15: Μέση μηνιαία θερμοκρασία, ποσοστό σχετικής υγρασίας & χαρακτηρισμός κατάστασης σεναρίου 1

Μήνας	Th2 (°C)	Rh2 (%)	Κατάσταση
Ιανουάριος	20,56	76,92	acceptable
Φεβρουάριος	20,76	74,4	acceptable
Μάρτιος	21,13	70,82	acceptable
Απρίλιος	22,97	62,55	acceptable
Μάιος	24,19	58,93	acceptable
Ιούνιος	25,28	53,07	acceptable
Ιούλιος	26,17	48,38	moist
Αύγουστος	26,4	49,31	moist
Σεπτέμβριος	25,76	56,79	moist
Οκτώβριος	24,4	66,16	moist
Νοέμβριος	22,31	76,86	moist
Δεκέμβριος	20,82	72,73	acceptable

Πίνακας 5.16: Μέση μηνιαία θερμοκρασία, ποσοστό σχετικής υγρασίας & χαρακτηρισμός κατάστασης σεναρίου 2

Μήνας	Th3 (°C)	Rh3 (%)	Κατάσταση
Ιανουάριος	20,5	77,11	acceptable
Φεβρουάριος	20,82	74,22	acceptable
Μάρτιος	21,36	70,08	acceptable
Απρίλιος	23,44	60,9	acceptable
Μάιος	24,82	56,75	acceptable
Ιούνιος	26,04	50,78	moist
Ιούλιος	26,94	46,28	moist
Αύγουστος	27,05	47,47	moist
Σεπτέμβριος	26,17	55,43	moist
Οκτώβριος	24,57	65,48	moist
Νοέμβριος	22,33	76,81	moist
Δεκέμβριος	20,74	72,96	acceptable

Πίνακας 5.17: Μέση μηνιαία θερμοκρασία, ποσοστό σχετικής υγρασίας & χαρακτηρισμός κατάστασης σεναρίου 3

Μήνας	Th4 (°C)	Rh4 (%)	Κατάσταση
Ιανουάριος	20,72	76,4	acceptable
Φεβρουάριος	20,92	73,84	acceptable
Μάρτιος	21,28	70,32	acceptable
Απρίλιος	23,13	61,98	acceptable
Μάιος	24,34	58,38	acceptable
Ιούνιος	25,44	52,58	acceptable
Ιούλιος	26,33	47,93	moist
Αύγουστος	26,58	48,8	moist
Σεπτέμβριος	25,96	56,14	moist
Οκτώβριος	24,58	65,45	moist
Νοέμβριος	22,47	72,27	acceptable
Δεκέμβριος	20,95	72,22	acceptable

Πίνακας 5.18: Μέση μηνιαία θερμοκρασία, ποσοστό σχετικής υγρασίας & χαρακτηρισμός κατάστασης σεναρίου 4

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις διαφορές των ποσοστών της σχετικής υγρασίας των σεναρίων μεταξύ τους:

Μήνας	Rh4-Rh1	Rh4-Rh2	Rh4-Rh3
Ιανουάριος	-1,27	-0,52	-0,71
Φεβρουάριος	-1,36	-0,56	-0,38
Μάρτιος	-1,23	-0,5	0,24
Απρίλιος	-1,4	-0,57	1,08
Μάιος	-1,36	-0,55	1,63
Ιούνιος	-1,2	-0,49	1,8
Ιούλιος	-1,12	-0,45	1,65
Αύγουστος	-1,28	-0,51	1,33
Σεπτέμβριος	-1,61	-0,65	0,71
Οκτώβριος	-1,75	-0,71	-0,03
Νοέμβριος	-5,43	-4,59	-4,54
Δεκέμβριος	-1,24	-0,51	-0,74

Πίνακας 5.19 : Διαφορές ποσοστών σχετικής υγρασίας σεναρίων

Μήνας	Rh3-Rh1	Rh3-Rh2	Rh3-Rh4
Ιανουάριος	-0,56	0,19	0,71
Φεβρουάριος	-0,98	-0,18	0,38
Μάρτιος	-1,47	-0,74	-0,24
Απρίλιος	-2,48	-1,65	-1,08
Μάιος	-2,99	-2,18	-1,63
Ιούνιος	-3	-2,29	-1,8
Ιούλιος	-2,77	-2,1	-1,65
Αύγουστος	-2,61	-1,84	-1,33
Σεπτέμβριος	-2,32	-1,36	-0,71
Οκτώβριος	-1,72	-0,68	0,03
Νοέμβριος	-0,89	-0,05	4,54
Δεκέμβριος	-0,5	0,23	0,74

Πίνακας 5.20 : Διαφορές ποσοστών σχετικής υγρασίας σεναρίων

Όπως είναι λογικό αναμέναμε τους θερινούς μήνες τα ποσοστά σχετικής υγρασίας να είναι χαμηλότερα από τις άλλες περιόδους. Αυτό που παρατηρούμε στα σενάρια 1,2 είναι ότι από τον Δεκέμβριο έως και τον Ιούνιο η κατάσταση της σχετικής υγρασίας είναι αποδεκτή ενώ οι υπόλοιποι μήνες είναι στο πεδίο του δυσάρεστα υγρού εξαιτίας της μεγάλης μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα και του χαμηλού ποσοστού υγρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου.

Στο σενάριο 3 η κατάσταση της σχετικής υγρασίας είναι αποδεκτή από τον Δεκέμβριο έως και το Μάιο ενώ οι υπόλοιποι μήνες είναι στο πεδίο του δυσάρεστα υγρού. Αυτό οφείλεται στο άνοιγμα-παράθυρο της οροφής καθώς υπάρχει μια σχετική μείωση στα ποσοστά της σχετικής υγρασίας τους θερινούς μήνες γύρω στο 1,5 έως και 3 %, συγκριτικά με τα άλλα σενάρια το οποίο είναι λογικό αφού όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως το σενάριο 3 παρουσιάζει τους θερινούς μήνες μια αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα από 0,7 έως 1 (°C) σε σχέση με τα άλλα σενάρια.

Στο σενάριο 4 η κατάσταση της σχετικής υγρασίας είναι αποδεκτή από τον Νοέμβριο έως και τον Ιούνιο ενώ οι υπόλοιποι μήνες είναι στο πεδίο δυσάρεστα υγρού. Το σενάριο αυτό είναι το βέλτιστο από άποψης σχετικής υγρασίας καθώς μόνο 4 μήνες βρίσκονται εκτός του αποδεκτού πεδίου, με τον Οκτώβριο να είναι οριακά εκτός. Σε σύγκριση με το σενάριο 1 την περίπτωση του κλασσικού τοίχου Trombe το σενάριο 4 έχει μια μείωση του ποσοστού της σχετικής υγρασίας από 1,1 έως και 1,75 %, ενώ τον Νοέμβριο έχει μείωση 5,43%.

## 6. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα και σχόλια καταλήγουμε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Στο σενάριο 1, το οποίο ουσιαστικά είναι ο κλασσικός τοίχος Trombe τοποθετημένος στη νότια πλευρά του κτιρίου παρουσιάζεται μια σημαντική αύξηση στη θερμική συμπεριφορά τόσο τους χειμερινούς μήνες όσο και του καλοκαιρινούς σε σχέση με ένα κλασσικό κτίριο. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως είναι εντός των ορίων θερμικής άνεσης για κάθε μήνα. Είναι σημαντική η συμβολή του συστήματος για θέρμανση τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο που η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι χαμηλή και απαιτούνται τα περισσότερα θερμικά κέρδη ενώ για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο που η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι υψηλή επιθυμούμε την ελαχιστοποίηση των θερμικών κερδών. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε πως έχουμε αποφύγει την εμφάνιση του φαινομένου υπερθέρμανσης λόγω της κατάλληλης μοντελοποίησης του τοίχου Trombe. Το ποσοστό της σχετικής υγρασίας του κτιρίου κυμαίνεται όλο τον χρόνο από 49.05 έως 77.7 % και είναι στο αποδεκτό επίπεδο

για τους μήνες από τον Δεκέμβριο έως και τον Ιούνιο. Οι υπόλοιποι μήνες βρίσκονται στο πεδίο του δυσάρεστα υγρού.

- Στο σενάριο 2 τοποθετήσαμε ένα παράθυρο-άνοιγμα στο κέντρο του τοίχου Trombe διαστάσεων 3 m<sup>2</sup> με συντελεστή σκίασης 0,7. Οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως είναι εντός των ορίων θερμικής άνεσης για κάθε μήνα. Η χρήση παραθύρου-ανοίγματος οδήγησε στην αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας κατά 0.22 (°C) τους χειμερινούς μήνες ενώ τους θερινούς μήνες υπήρχε μια αύξηση από 0,23 έως 0,29 (°C) σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές για το σενάριο 1. Εκτός από τα θερμικά πλεονεκτήματα που έχει το σενάριο 2, η χρήση του παραθύρου-ανοίγματος παρέχει επιπλέον φως στο χώρο. Ο τοίχος Trombe τοποθετείται σε έναν χώρο στον οποίο υπάρχει έντονη κινητικότητα στην διάρκεια της ημέρας όπως είναι το καθιστικό ή η κουζίνα του κτιρίου. Το ποσοστό της σχετικής υγρασίας του κτιρίου είναι από 48.38 έως και 76,92 %, με τους μήνες από Δεκέμβριο έως Ιούνιο να είναι στο αποδεκτό πεδίο και τους υπόλοιπους να βρίσκονται στο πεδίο του δυσάρεστα υγρού.
- Στο σενάριο 3 αντί να τοποθετήσουμε ένα παράθυρο-άνοιγμα στον τοίχο Trombe επιλέξαμε να το προσθέσουμε στην οροφή με διαστάσεις 6 m<sup>2</sup> και συντελεστή σκίασης 0,7. Το αποτέλεσμα ήταν να αυξηθεί η μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα στο εσωτερικό του κτιρίου τους χειμερινούς μήνες από 0.14 έως και 0.285 (°C), ενώ τους καλοκαιρινούς μήνες αυξήθηκε από 0.7 έως και 1 (°C) σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες του σεναρίου 1 όπως έχουμε αναφέρει προηγουμένως. Είναι λογικό να υπάρχει αυτή η αύξηση το καλοκαίρι λόγω της θέσης του παραθύρου-ανοίγματος και της πορείας του ήλιου. Ωστόσο και σε αυτό το σενάριο οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ήταν εντός των ορίων θερμικής άνεσης προσφέροντας περισσότερο φως στο εσωτερικό του κτιρίου. Το ποσοστό της σχετικής υγρασίας του κτιρίου είναι από 46.28 έως 77.11 % με τους μήνες από τον Δεκέμβριο έως τον Μάιο να είναι στο αποδεκτό πεδίο και τους υπόλοιπους στο πεδίο του δυσάρεστα υγρού.
- Στο σενάριο 4, το οποίο αποτελεί μια προέκταση του σεναρίου 2 έχουμε προσθέσει στο κέντρο του τοίχου Trombe ένα παράθυρο-άνοιγμα αλλά αυτή τη φορά διαστάσεων 5 m<sup>2</sup> με συντελεστή σκίασης 0,7. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες από 0.35 έως και 0.39 (°C) τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με το σενάριο 1 του κλασσικού τοίχου Trombe. Τους θερινούς μήνες υπήρχε μια αύξηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από 0.38 έως και 0.48 (°C), χωρίς να δημιουργήσει κάποιο πρόβλημα αφού και σε αυτό το σενάριο οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες είναι εντός των ορίων θερμικής άνεσης για όλους τους μήνες. Το σενάριο 4 αποτελεί το βέλτιστο από όλα τα σενάρια που εξετάστηκαν καθώς προσφέρει τα περισσότερα θερμικά κέρδη τους κρύους μήνες του χρόνου που είναι και το ζητούμενο της παρούσας εργασίας, χωρίς να επιβαρύνει σημαντικά το κτίριο το καλοκαίρι που επιθυμούμε όσο το δυνατόν λιγότερα θερμικά κέρδη. Επίσης είναι το βέλτιστο από πλευράς σχετικής υγρασίας η οποία κυμαίνεται από 47.93 έως 76.4 %, με τους μήνες από Νοέμβριο έως Ιούνιο να είναι στο αποδεκτό πεδίο και τους υπόλοιπους στο δυσάρεστα υγρού.
- Η σχέση μεταξύ των τιμών του πάχους του τοίχου Trombe και της απόστασης του διακένου είναι πολύ σημαντική καθώς όπως είδαμε στην παρούσα εργασία με τις κατάλληλες τιμές μπορούμε να πετύχουμε τα θερμικά επίπεδα που θέλουμε.
- Σε μία τυπική χειμερινή ημέρα ο τοίχος Trombe οδήγησε στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου στους 7,5 (°C), ενώ σε μία τυπική καλοκαιρινή ημέρα μείωσε την θερμοκρασία από 2 έως και 4 (°C) αποφεύγοντας την εμφάνιση του φαινομένου της υπερθέρμανσης.

- Σημαντικό ρόλο στην αποφυγή υπερθέρμανσης τους θερινούς μήνες ήταν η κατάλληλη διαστασιολόγηση των θυρίδων εξαερισμού. Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε να αποτελούν το 4% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου Trombe το οποίο βοήθησε σημαντικά να αποφύγουμε υψηλές θερμοκρασίες στο εσωτερικό του κτιρίου μας το καλοκαίρι, με την αντίστοιχη μείωση των θερμικών κερδών τον χειμώνα να είναι σε μικρό βαθμό.
- Ενδιαφέρον θα είχε για μελλοντική μελέτη ο τοίχος νερού, επειδή είναι αρκετά αποδοτικός λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του νερού καθώς και τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας που επικρατούν στο εσωτερικό του κτιρίου με την εφαρμογή του.

## 7.Βιβλιογραφία

[1] [http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi\\_bioclimatikos.htm](http://www.cres.gr/energy-saving/enimerosi_bioclimatikos.htm)

[2] [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/bioklimatikos\\_sxediasmos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm)

[3] Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων (pdf του μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτιρίων- Τζιβανίδης Χ.)

[4] Τσιμπάνος Παναγιώτης, 'Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας στην εσωτερική θερμική άνεση κτιρίων', διπλωματική εργασία, Αθήνα 2008

[5] <https://www.monodomiki.gr/Arthra-kai-symvoyles/Gia-Thermomonosi/Thermiki-Anesi>

[6] [http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/pathitika\\_iliaka\\_systimata.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm)



- [7]ΠΑΤΣΙΑΟΥΡΑ ΑΘΑΝΑΣΙΑ, 'Υπολογιστική μελέτη της θερμικής απόδοσης τοίχου Trombe με ενσωματωμένο υλικό αλλαγής φάσης', διπλωματική εργασία, Πάτρα Μάρτιος 2021
- [8]Indirect Solar Gain System <http://www.scuo-lacascia.it/attivita/clil2/webquest/resources/consumerenergycenter/www.consumerenergycenter.org/home/construction/solardesign/indirect.html>
- [9][http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/pathitika\\_iliaka\\_systimata\\_emmeso\\_kerdos\\_systyma\\_kerdous.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_systyma_kerdous.htm)
- [10]Δρακωνάκης Γεώργιος, 'Παραμετρική ανάλυση και βελτιστοποίηση θερμικής συμπεριφοράς τοίχων θερμικής αποθήκευσης', διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη Οκτώβριος 2016
- [11][http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_fysikos\\_aerismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm)
- [12]Μαρία-Ελισάβετ Χατζηνωτά, 'Δυνατότητες εφαρμογής παθητικών συστημάτων στο αστικό περιβάλλον', διπλωματική εργασία, Θεσσαλονίκη Ιούλιος 2012
- [13][http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_psi\\_xi\\_edafous.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_psi_xi_edafous.htm)
- [14][http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_exatmistikos\\_drosismos.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_exatmistikos_drosismos.htm)
- [15][http://www.cres.gr/energy\\_saving/Ktiria/fysikos\\_drosismos\\_nyxterini\\_aktinobolia.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_nyxterini_aktinobolia.htm)
- [16]ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, 'Ανάλυση της λειτουργίας του τοίχου Trombe με τη χρήση μεθόδων πεπερασμένων διαφορών', διπλωματική εργασία, Νοέμβριος 2006
- [17]ΓΡΟΝΤΑΣ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ, 'Σύγκριση και αξιολόγηση παθητικών μοντέλων τοίχου Trombe με χρήση του λογισμικού ENERGY PLUS', διπλωματική εργασία, Αθήνα Ιούνιος 2016
- [18]Trombe Wall and Attached Sunspace <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/trombe-wall-and-attached-sunspace>
- [19]ΣΤΑΥΜΟΥ ΘΩΜΑ, ΕΦΡΑΙΜΙΔΗ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ, 'Βιοκλιματικός σχεδιασμός στον κτηριακό τομέα', πτυχιακή εργασία, Αθήνα Αιγάλεω 2014
- [20][http://www.cres.gr/energy\\_saving/biomixania/thermiki\\_prostasia\\_kelyfous\\_hlioprostasia.htm](http://www.cres.gr/energy_saving/biomixania/thermiki_prostasia_kelyfous_hlioprostasia.htm)
- [21]ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΟΣΧΟΣ, 'Προσομοίωση υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας από ηλιακά συστήματα για θέρμανση κτιρίου', διπλωματική εργασία, Αθήνα Φεβρουάριος 2016
- [22]ΑΣΗΜΑΚΗ Γ. ΔΕΛΗ, 'Προσομοίωση ηλιακά υποβοηθούμενης αντλίας θερμότητας με το λογισμικό TRNSYS', διπλωματική εργασία, Αθήνα Σεπτέμβριος 2014
- [23] <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math3.html>
- [24] [https://el.wikipedia.org/wiki/Υγρασία\\_ατμόσφαιρας](https://el.wikipedia.org/wiki/Υγρασία_ατμόσφαιρας)
- [25] Factors of Comfort, Environmental Design in University Curricula and Architectural Training in Europe <https://www.educate-sustainability.eu/kb/content/factors-comfort>
- [26](PDF) An innovative Trombe wall as a passive heating system for a building in Athens – A comparison with the conventional Trombe wall and the insulated wall (researchgate.net)
- [27](PDF) Transient Performance Analysis of a Model Building Integrated with a Trombe-Wall (researchgate.net)
- [28]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806002726>
- [29]<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610214007450>
- [30]<https://www.mdpi.com/2071-1050/9/12/2179>
- [31]<https://www.intechopen.com/chapters/19415>
- [32][https://www.sustainable-buildings-journal.org/articles/sbuild/full\\_html/2020/01/sbuild200003/sbuild200003.html](https://www.sustainable-buildings-journal.org/articles/sbuild/full_html/2020/01/sbuild200003/sbuild200003.html)
- [33]<http://www.trnsys.com/assets/docs/03-ComponentLibraryOverview.pdf>
- [34]ΦΡΑΓΓΗΣ ΦΩΚΑΣ, 'ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ ΓΡΑΦΕΙΩΝ', διπλωματική εργασία, Αθήνα Ιανουάριος 2011