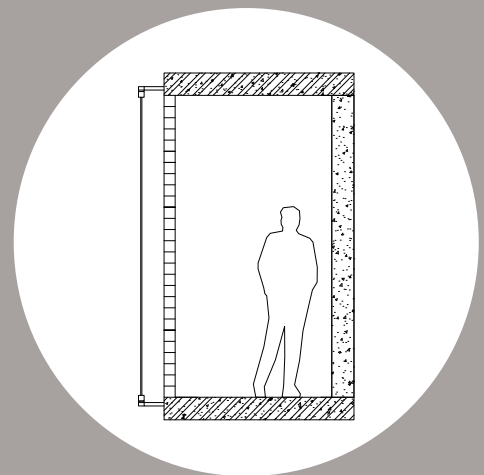




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ | ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ ΜΕ ΧΡΗΣΗ
ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ
ENERGY PLUS



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΓΡΟΝΤΑΣ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ

Επιβλέπων : Χρήστος Τζιβανίδης

Αθήνα, Ιούνιος 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1 Εισαγωγή στον Βιοκλιματικό Σχεδιασμό	4
1.1 Βασικές Αρχές Βιοκλιματικού Σχεδιασμού	6
1.2 Θερμική άνεση	7
1.3 Παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης	9
1.3.1 Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους	10
1.3.2 Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους	11
1.3.3 Συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους	14
1.4 Φυσικός Αερισμός	15
1.5 Φυσική Ψύξη	17
2 Τοίχος Trombe	18
2.1 Γενική Λειτουργία	20
2.2 Βασικός Σχεδιασμός	22
2.3 Κύρια Μέρη	23
2.3.1 Υαλοστάσιο (glazing)	23
2.3.2 Τοίχος Μάζας	24
2.4 Σχεδιασμός και Διαστασιολόγηση του Τοίχου Trombe	25
2.4.1 Υαλοστάσιο	26
2.4.2 Διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου θερμικής αποθήκευσης	27
2.4.3 Τοίχος θερμικής αποθήκευσης	27
2.4.4 Θυρίδες Εξαερισμού	28
2.4.5 Προεξοχή οροφής	29
2.4.6 Μονωτές και ανακλαστήρες	31
2.5 Πρότυπα σπίτια με τοίχο Trombe	32
3 Προσομοίωση στο Energy Plus	40
3.1 Βασικοί αλγόριθμοι υπολογισμών Energy Plus	44
3.2 Κατηγορίες δεδομένων εισαγωγής στο Energy Plus	48
3.2.1 Εισαγωγή Μετεωρολογικών δεδομένων	49
3.3 Διαδικασία προσομοίωσης	50
3.3.1 Περιγραφή κτιρίου	50
3.3.2 Σχεδιασμός στο Google Sketch-up	51
3.3.3 Επεξεργασία δεδομένων στο idf Editor	62
4 Παρουσίαση Σεναρίων Προσομοίωσης	84
4.1 Σενάριο 1ο	86
4.2 Σενάριο 2ο	88
4.3 Σενάριο 3ο	90
4.4 Σενάριο 4ο	91
5 Αποτελέσματα Προσομοίωσης	96

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο σκοπό την διερεύνηση των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν σε ένα απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας με εγκατάσταση συστήματος τοίχου Trombe. Ο Βιοκλιματικός σχεδιασμός, μέσω της προσαρμογής των κτιρίων στο τοπικό κλίμα και φυσικό περιβάλλον, αποσκοπεί στην μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και στην βελτιστοποίηση των συνθηκών θερμικής άνεσης και διαβίωσης. Ο τοίχος Trombe είναι παθητικό σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους, το οποίο παρ' ότι στο εξωτερικό έχει υλοποιηθεί σε μια πληθώρα εφαρμογών, στην Ελλάδα δεν είναι ευρέως διαδεδομένο. Στην προσομοίωση αυτή εισήχθησαν τα γεωγραφικά και κλιματικά δεδομένα της Αθήνας για την μελέτη της εγκατάστασης ενός τοίχου Trombe και των εσωτερικών συνθηκών που επικρατούν με την χρήση αυτού.

Αρχικά στο Κεφάλαιο 1 έγινε μια εισαγωγή στον Βιοκλιματικό Σχεδιασμό, τα παθητικά συστήματα θέρμανσης και τις τεχνικές του φυσικού αερισμού

και φυσικής ψύξης.

Στο Κεφάλαιο 2 παρουσιάστηκε αναλυτικά το σύστημα του τοίχου Trombe με τα βασικά χαρακτηριστικά της σχεδίασης του και τον τρόπο λειτουργίας του.

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρεται αρχικά ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος προσομοίωσης Energy Plus. Έπειτα παρουσιάζεται αναλυτικά ο σχεδιασμός των μοντέλων στο σχεδιαστικό πρόγραμμα της Google Sketch-up Make με το Plug-in του Open Studio. Τέλος παρουσιάζεται το "χτίσιμο" του προγράμματος προσομοίωσης στο Energy Plus.

Στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των 4 διαφορετικών Σεναρίων.

Στο κεφάλαιο 5 εκθέτονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης τα οποία περιλαμβάνουν διαγράμματα ημερήσιας κατανομής θερμοκρασίας ζώνης-διακένου, πίνακες μηνιαίων τιμών θερμοκρασίας- σχετικής υγρασίας.

1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ
ΣΤΟΝ
ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

1.1

ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ [1]

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός αποτελεί ένα αντικείμενο μελέτης του μηχανικού (μηχανολόγου, αρχιτέκτονα, πολιτικού μηχανικού κλπ) που στόχο έχει τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας στο κατώτερο δυνατό επίπεδο ενός ήδη υπάρχοντος κτιρίου ή ενός προς σχεδιασμό κτιρίου. Βασική προϋπόθεση, είναι η αξιοποίηση των τοπικών περιβαλλοντικών παραμέτρων και μορφών ενέργειας. Κάποιες βασικές αρχές βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι οι εξής :

- Κατάλληλη χωροθέτηση του κτιρίου μέσα στο οικόπεδο με σκοπό την εκμετάλλευση των καιρικών συνθηκών. Συγκεκριμένα στην Ελλάδα, ο κατάλληλος προσανατολισμός είναι ο νότιος για να εξασφαλίζεται επάρκεια ηλιασμού.
- Λειτουργία του κτιρίου ως φυσικός ηλιακός συλλέκτης τον χειμώνα, για θέρμανση των χώρων.
- Λειτουργία του κτιρίου ως αποθήκη φυσικής ψύξης το καλοκαίρι για επίτευξη φυσικού δροσισμού και αερισμού.
- Λειτουργία του κτιρίου ως αποθήκη θερμότητας έτσι ώστε με τα κατάλληλα υλικά κατασκευής να μπορεί να αποδώσει την συσσωρευμένη

θερμότητα και σε περίοδο κρύου ή με έλλειψη ηλίου.

- Λειτουργία του κτιρίου ως παγίδα θερμότητας με επαρκή μόνωση του κτηρίου με σκοπό την αποφυγή θερμικών απωλειών τον χειμώνα και τη θωράκιση από την ανεπιθύμητη θερμότητα το καλοκαίρι.
- Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό.

1.2

ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ [1]

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, εκτός από την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας σε μια οικία, αποσκοπεί και στην δημιουργία ιδανικών συνθηκών διαβίωσης. Η θερμική άνεση είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται για να ορίσει μια πνευματική κατάσταση, η οποία εκφράζει την ικανοποίηση από το θερμικό περιβάλλον. Η έμφαση δηλ. δίνεται στο γεγονός ότι πρόκειται περισσότερο για μια πνευματική κατάσταση, κι επομένως πρόκειται περισσότερο για ένα ψυχολογικό φαινόμενο παρά για μια φυσική οργανική κατάσταση. Επομένως, μπορεί να επηρεάζεται από την προσωπική διάθεση του καθενός, την κουλτούρα της κάθε προσωπικότητας καθώς και από άλλους προσωπικούς, οργανικούς και κοινωνικούς παράγοντες.

Πέραν όμως από αυτούς τους ψυχολογικούς παράγοντες, η θερμική άνεση επηρεάζεται και από παράγοντες που σχετίζονται με το περιβάλλον και με τον ίδιο τον άνθρωπο.

Οι παράγοντες που σχετίζονται με το περιβάλλον είναι:

- η θερμοκρασία του αέρα και ο έλεγχος αυτής τόσο κατά τη διάρκεια του χειμώνα όσο και κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού,
- η σχετική υγρασία,
- η μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία των επιφανειών που περιβάλλουν το χώρο και
- η κίνηση/ταχύτητα του αέρα.

Οι παράγοντες που σχετίζονται με τον άνθρωπο είναι:

- ο μεταβολισμός του
- ο φύλο και η ηλικία του
- το ντύσιμο
- η δραστηριότητα του ατόμου στον εκάστοτε χώρο
- η κατάσταση της υγείας του

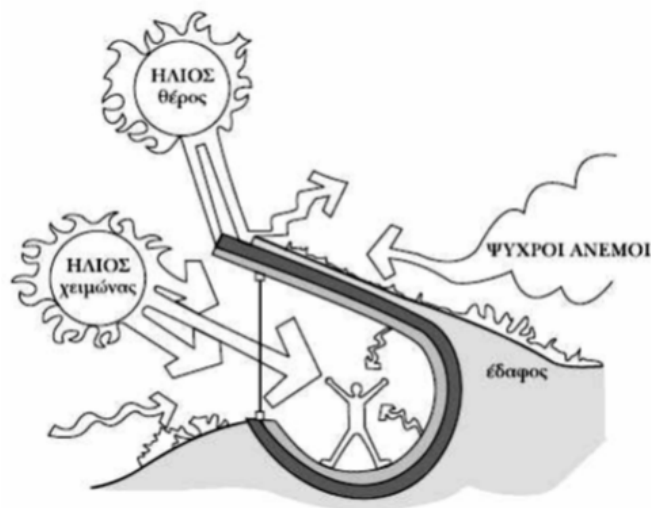
Συνεπώς, μαζί με το αυξημένο ενδιαφέρον που έχει παρουσιαστεί για την ανάλυση των παραγόντων που επηρεάζουν την θερμική άνεση του ανθρώπου, έχει εμφανιστεί και η ανάγκη να αναπτυχθούν τα κατάλληλα μέσα και συστήματα τα οποία θα μπορούν να εξασφαλίσουν τις αποδεκτές συνθήκες τόσο σε

χώρους κατοικίας, όσο και σε χώρους εργασίας, μεταφοράς κλπ. Οι εσωτερικοί χώροι θα πρέπει να πληρούν τις απαιτούμενες συνθήκες θερμοκρασίας, υγρασίας, αερισμού αλλά και τα κατάλληλα επίπεδα φωτισμού, χρωμάτων, θορύβων, καθώς και ποιότητας αέρα. Η καλή ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος στα κτήρια προσφέρει πλήρη άνεση που αναλύεται σε θερμική άνεση, οπτική άνεση, ακουστική άνεση και καλή ποιότητα αέρα και γίνεται αισθητή μέσω του δέρματος, των ματιών, των αυτιών και της μύτης, ενώ οι επιπτώσεις του ακατάλληλου

εσωτερικού περιβάλλοντος (είτε αυτές εμφανίζονται με κακή ποιότητα αέρα, είτε με ξηρή ατμόσφαιρα, είτε με θερμοκρασίες έξω από τα όρια της θερμικής άνεσης), μπορούν να δημιουργήσουν πολλά προβλήματα στους χρήστες των κτιρίων. Στόχος λοιπόν είναι η επίτευξη των επιθυμητών επιπέδων για όλες αυτές τις παραμέτρους, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συνδυασμός κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης για τον χρήστη και ορθολογικότερης κατανάλωσης ενέργειας.

1.3

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ [2],[3],[17]

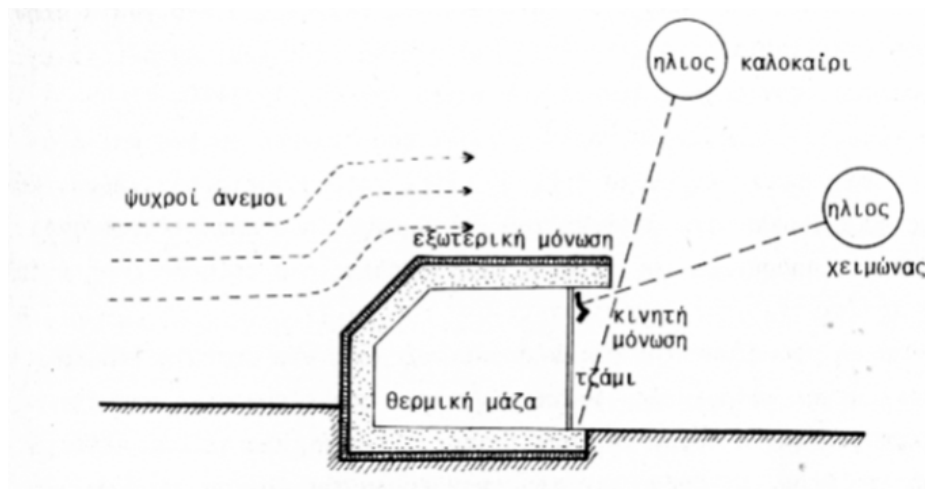


Εικόνα 1. Παθητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης [4]

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, είναι ειδικά σχεδιασμένα παράθυρα, τοίχοι, πατώματα, τα οποία συλλέγουν, αποθηκεύουν και διανέμουν την ηλιακή θερμότητα τον χειμώνα και προστατεύουν το κτιριακό κέλυφος από τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης είναι απλά, απαιτούν ελάχιστη συντήρηση και δεν χρειάζονται μηχανικά μέρη.

Βασικός παράγοντας στην κατασκευή πετυχημένων παθητικών συστημάτων είναι η αξιοποίηση του τοπικού κλίματος όπως και η γνώση της κατεύθυνσης και κλίσης του ηλίου στις εκάστοτε συντεταγμένες. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, ανάλογα με τον τρόπο που προσλαμβάνουν και διαχειρίζονται την ηλιακή ακτινοβολία, χωρίζονται σε 3 βασικές κατηγορίες :

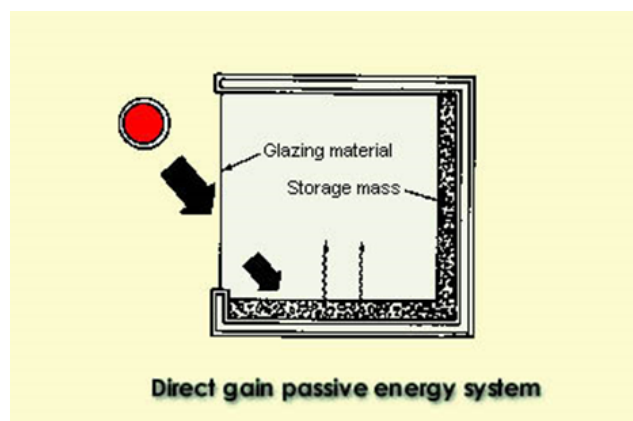
1.3.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΜΕΣΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ [1],[4],[5]



Εικόνα 2. Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους 1 [4]

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 ημέρα στη νύχτα αλλά και στην αποθήκευση θερμότητας κατά τις περιόδους χωρίς ήλιο.

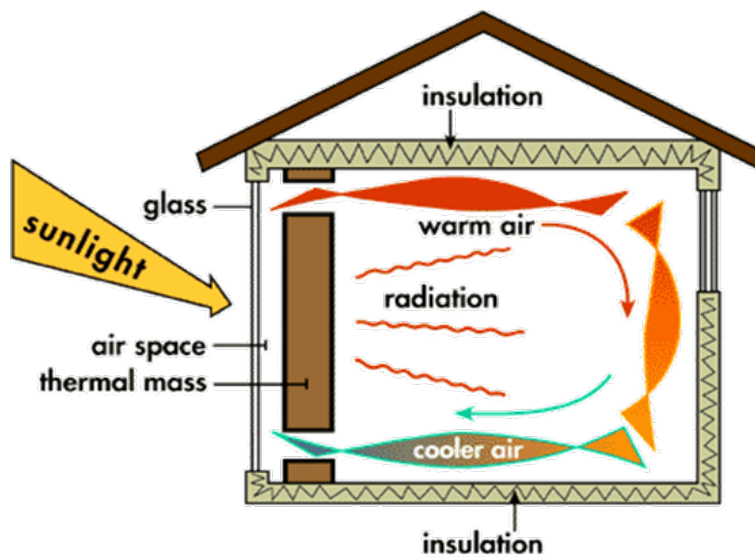


Εικόνα 3. Σύστημα άμεσου ηλιακού κέρδους 2 [5]

Βασικές προϋποθέσεις για τη σωστή λειτουργία ενός συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους είναι η ύπαρξη των εξής :

- Νότιο υαλοστάσιο μεγάλης επιφάνειας (μπροστά από τον χώρο)
- Ένα πάτωμα και έναν τοίχο θερμικής αποθήκευσης τα όποια να έχουν μεγάλη επιφάνεια και να εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία
- Μία μέθοδο μόνωσης της αποθηκευμένης θερμότητας από τα εξωτερικά κλιματικά δεδομένα.

1.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΜΜΕΣΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ [1],[4],[5]

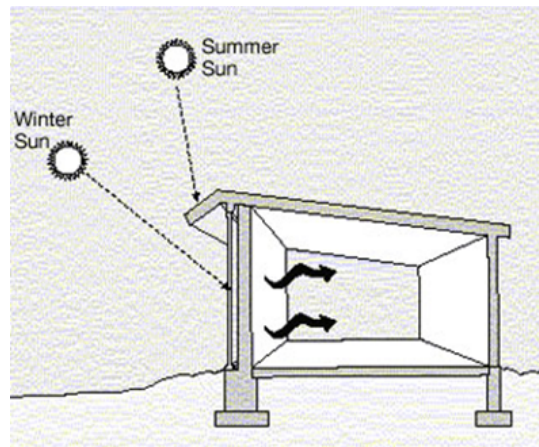


Εικόνα 4. Σύστημα έμμεσου ηλιακού κέρδους [18]

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.

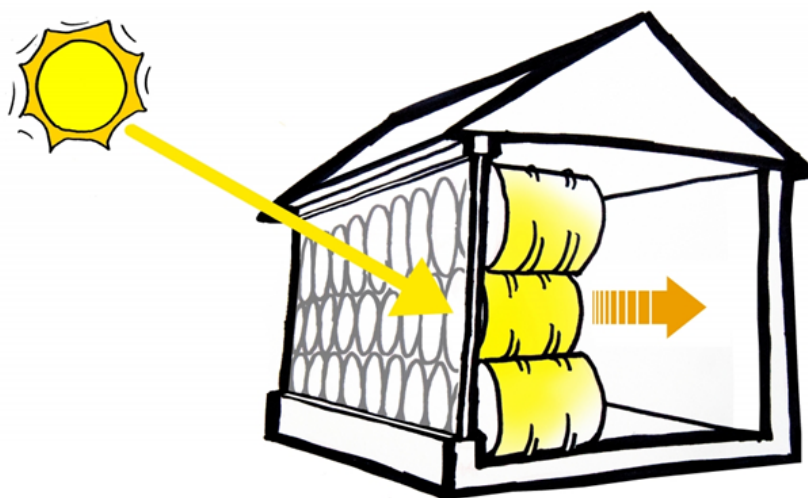
Ηλιακός τοίχος μάζας



Εικόνα 5. Ηλιακός Τοίχος Μάζας [19]

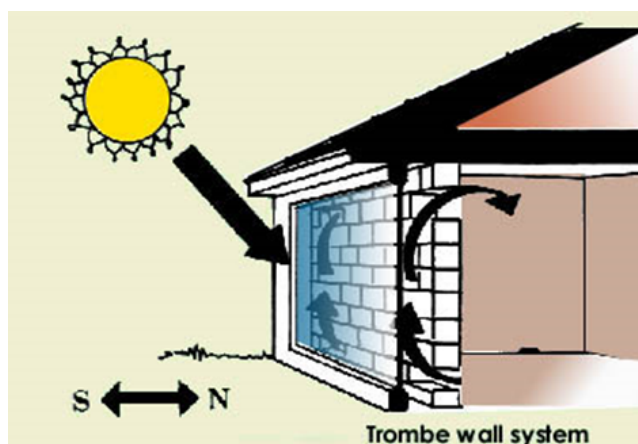
Στο σύστημα αυτό, υπάρχει ένα γυάλινο άνοιγμα προσανατολισμένο στο νότο, μπροστά από τον τοίχο. Μεταξύ του γυαλιού και του τοίχου υπάρχει ένα διάκενο στο οποίο γίνεται η θέρμανση του αέρα και σταδιακά αρχίζει και η θέρμανση της εξωτερικής πλευράς του τοίχου. Βασικό χαρακτηριστικό του τοίχου που πρέπει να μελετάται είναι η θερμοχωρητικότητα του η οποία ουσιαστικά εξασφαλίζει την αποθήκευση μεγάλης ποσότητας θερμότητας έτσι ώστε μέσω της χρονικής υστέρησης

να αποδίδεται η αποθηκευμένη θερμότητα αργά το βράδυ, όταν υπάρχει και μεγαλύτερη ανάγκη. Είναι σημαντικό να ξεχωρίσουμε τον τοίχο νερού ο οποίος έχει μελετηθεί εκτενέστατα λόγω της πολύ υψηλής θερμοχωρητικότητας του νερού. Ένα σύνολο κοντέινερ με νερό βρίσκεται στην νότια πλευρά του σπιτιού σαν τοίχος. Αντίθετα με τους συμβατικούς τοίχους από μπετόν ή σκυρόδεμα, οι τοίχοι νερού απαιτούν μικρότερη επιφάνεια.



Εικόνα 6. Τοίχος Νερού [20]

Τοίχος Trombe-Michel

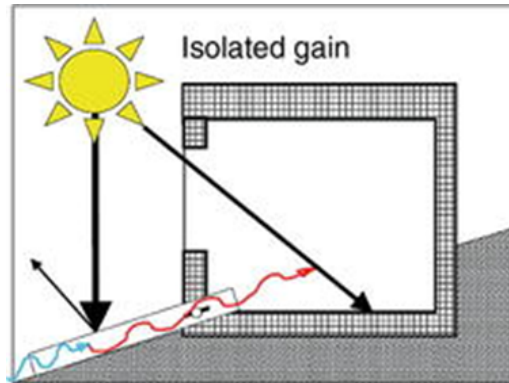


Εικόνα 7. Τοίχος Trombe [5]

Ο τοίχος Trombe είναι ένας νότια προσανατολισμένος τοίχος χωρίς μόνωση στην κατασκευή του και με μια σκουρόχρωμη επίστρωση στην εξωτερική επιφάνεια, η οποία αποσκοπεί στην συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Μπροστά από τον τοίχο βρίσκεται ένα υαλοστάσιο το οποίο συλλέγει την θερμότητα κατά τη διάρκεια της ημέρας και μέσω κατάλληλης θερμομόνωσης συγκρατεί την αποθηκευμένη θερμότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στον

τοίχο περνάει στον εσωτερικό χώρο το βράδυ. Ο τοίχος Trombe έχει επίσης 2 θυρίδες, στο πάνω και στο κάτω μέρος του, έτσι ώστε ο θερμός αέρας ο οποίος είναι πιο ελαφρύς να περνάει στον χώρο και να τον θερμαίνει. Στην συνέχεια θα γίνει εκτενέστερη παρουσίαση των χαρακτηριστικών και του τρόπου λειτουργίας του τοίχου Trombe.

1.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟΜΟΝΩΜΕΝΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΡΔΟΥΣ [1],[4],[5]



Εικόνα 8. Σύστημα απομονωμένου ηλιακού κέρδους

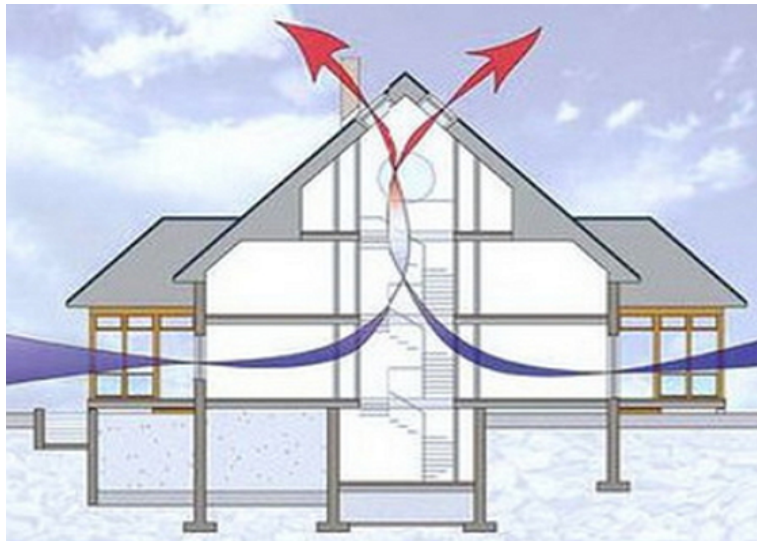
Η γενική ιδέα του συστήματος απομονωμένου κέρδους είναι ότι η συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής ακτινοβολίας, γίνεται ανεξάρτητα του κτηρίου. Ένα απομονωμένο σύστημα έχει αναπόσπαστα κομμάτια ξεχωριστά από τον χώρο της κατοικίας. Ένας γυάλινος ηλιακός συλλέκτης, αποθηκεύει θερμότητα και μέσω ειδικού δικτύου διασύνδεσης την μεταφέρει στην κατοικία. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των απομονωμένων συστημάτων είναι οι ηλιακοί χώροι, τα θερμοκήπια και τα ηλιακά αίθρια. Για την αποφυγή απωλειών, είναι βασικό η πρόβλεψη ρυθμίσεων στο κέλυφος του θερμοκηπίου-ηλιακού χώρου όπως νυχτερινή

προστασία το χειμώνα και ηλιοπροστασία σε συνδυασμό με αερισμό το καλοκαίρι. Τέλος η θερμική απόδοση του ηλιακού χώρου επηρεάζεται από τους εξής βασικούς παράγοντες:

- Προσανατολισμός και σύνδεση με το κτίριο
- Μέγεθος
- Υλικά κατασκευής και κλίση υαλοστασίου

1.4

ΦΥΣΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ [6]



Εικόνα 9. Σύστημα Φυσικού Αερισμού [6]

Ο φυσικός αερισμός αποσκοπεί στην αποβολή της θερμότητας κατά τους θερινούς μήνες κυρίως, με φυσικά μέσα. Ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα φυσικού αερισμού μπορεί να μειώσει τις

ανάγκες κλιματισμού ενός χώρου και συνεπώς την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του κτιρίου.

Κύριοι τρόποι φυσικού αερισμού είναι οι εξής :

- Διαμερής δια μέσου κατάλληλα σχεδιασμένων ανοιγμάτων στο εξωτερικό περίβλημα του κτιρίου και στην εσωτερική τοιχοποιία. Θυρίδες στο πάνω και κάτω τμήμα των επιφανειών βοηθούν στην κίνηση του αέρα και την απομάκρυνση της θερμότητας.
- Καμινάδα – πύργος αερισμού μέσω του φαινομένου του φυσικού ελκυσμού, ο θερμός αέρας, λόγω χαμηλότερης πυκνότητας, κινείται

προς τα ανώτερα στρώματα και μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, αποβάλλεται από το κτίριο

- Ηλιακή καμινάδα η οποία στη νότια πλευρά της έχει υαλοστάσιο αντί τοιχοποιίας. Χάρη στο υαλοστάσιο, η θερμοκρασία μέσα στην καμινάδα αυξάνεται σημαντικά, οπότε το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού γίνεται πιο έντονο και έτσι έχουμε διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα. Ηλιακή καμινάδα [6]



Εικόνα 10. Ηλιακή καμινάδα [6]

1.5

ΦΥΣΙΚΗ ΨΥΞΗ

Ο φυσικός δροσισμός μπορεί αρχικά να επιτευχθεί με την κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κατοικιών. Πρόκειται για κατοικίες, οι οποίες βρίσκονται σε άμεση επαφή με το έδαφος. Τους θερμούς μήνες το έδαφος έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες από το περιβάλλον και βοηθά στη

απομάκρυνση της θερμότητας. Αντίθετα, το χειμώνα το έδαφος λειτουργεί σαν μόνωση. Με τη χρήση επίσης ενός συστήματος αγωγών σε βάθος 1-3 μέτρα ο αέρας του εξωτερικού περιβάλλοντος, με τη βοήθεια φυσικών δυνάμεων, εισέρχεται στο κτίριο ψυχρότερος.



Εικόνα 11. Σύστημα Φυσικής Ψύξης (Υπόσκαφη κατοικία) [6]

Ένας άλλος τρόπος φυσικού δροσισμού είναι μέσω της νυχτερινής ακτινοβολίας. Σε αυτή την περίπτωση ο νυχτερινός ουρανός λειτουργεί σαν αποδέκτης της ακτινοβολίας που έχει συσσωρευτεί σε ένα κτίριο μέσω της οροφής του. Επειδή όμως η αποβολή μεγάλης ποσότητας θερμικής ενέργειας, προϋποθέτει οροφή χωρίς μόνωση, τα συγκεκριμένα συστήματα

αποτελούν ειδικές κατασκευές όπως ο μεταλλικός ακτινοβολητής ή λίμνη οροφής. Τέλος υπάρχει και η μέθοδος της εξατμιστικής ψύξης. Το νερό για να εξατμιστεί απορροφά ένα μεγάλο ποσό θερμότητας και έτσι γύρω από συντριβάνια, πισίνες κλπ παρατηρούμε πτώση της θερμοκρασίας του αέρα.

2

ΤΟΙΧΟΣ
TROMBE

2.1

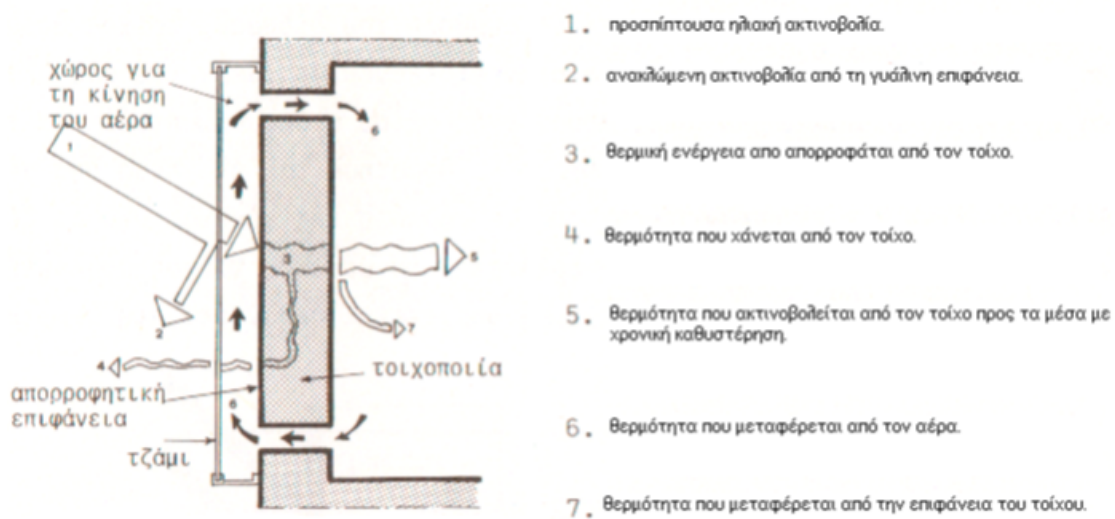
ΓΕΝΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ [1], [4], [7]

Ο τοίχος Trombe αποτελεί ένα βασικό παθητικό σύστημα θέρμανσης και κύριο αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής. Η αρχική ιδέα ήταν του Edward S. Morse ο οποίος την έκανε και πατέντα το 1881. Η ιδέα αναπτύχθηκε πλήρως το 1960 από τον καθηγητή F.Trombe και τον αρχιτέκτονα J.Michel του ερευνητικού κέντρου C.N.R.S (Centre National de la Recherche Scientifique), οι οποίοι εφάρμοσαν την ιδέα στα πρώτα πειραματικά ηλιακά σπίτια στο Odeillo της Γαλλίας το 1967.

Το σύστημα αποτελείται από έναν νότια προσανατολισμένο τοίχο μεγάλου πάχους (συνήθως 30-40cm), υψηλής θερμοχωρητικότητας, βαμμένο σε σκούρο χρώμα στην εξωτερική του πλευρά. Σε απόσταση 3-5cm υπάρχει υαλοστάσιο και στο ενδιάμεσο τοίχου και γυάλινης επιφάνειας, διάκενο αέρα. Στο πάνω και κομμάτι του τοίχου υπάρχουν θυρίδες (συνήθως 10 cm) οι οποίες βοηθούν στην ομαλή διακίνηση του αέρα.

Ο τοίχος Trombe βασίζεται κυρίως σε 2 φαινόμενα :

- **Το φαινόμενο του θερμοκηπίου.** Η θερμότητα του ηλίου, με τη μορφή υπεριώδους ακτινοβολίας μικρού κύματος και υψηλής ενέργειας, περνάει την γυάλινη επιφάνεια και εγκλωβίζεται στο διάκενο. Αυτό συμβαίνει διότι η προηγούμενη ακτινοβολία έχει απορροφηθεί στην σκουρόχρωμη επιφάνεια και επανεκπέμπεται με τη μορφή μεγάλου μήκους κύματος υπέρυθρη ακτινοβολία. Η θερμική ενέργεια μεταφέρεται με αργό ρυθμό από τον τοίχο στην εσωτερική επιφάνεια. Ο χώρος πίσω από τον τοίχο θερμαίνεται με μία χρονική υστέρηση της τάξης των 8-10 ωρών.



Εικόνα 12. Λειτουργία Τοίχου Trombe [4]

Η αποτελεσματικότητα της απορρόφησης και της αποβολής της θερμότητας του τοίχου εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

1. Πόσο σκουρόχρωμη είναι η επιφάνεια του τοίχου.
2. Πόσο ανακλαστική είναι η επιφάνεια.
3. Την θερμοχωρητικότητα του τοίχου.
4. Την γωνία πρόσπτωσης της ακτινοβολίας σε σχέση με την επιφάνεια του τοίχου.
5. Την θερμική αγωγιμότητα του τοίχου.

- **Το φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού:**

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η προσπίπτουσα ακτινοβολία περνάει από το τζάμι του υαλοστασίου και θερμαίνει τον αέρα που βρίσκεται στο διάκενο. Οι θυρίδες ανοίγουν και ο θερμός αέρας, λόγω υψηλότερης πυκνότητας,

ανεβαίνει προς τα πάνω και περνάει στον εσωτερικό χώρο ενώ αντίστοιχα ο κρύος αέρας του δωματίου, αναπληρώνει το κενό που δημιουργείται. Κατά τη διάρκεια της νύχτας οι θυρίδες παραμένουν κλειστές για να μην έχουμε απώλειες θερμότητας και η θερμότητα μεταδίδεται μέσω ακτινοβολίας από τον τοίχο στον χώρο. Τους θερινούς μήνες η λειτουργία του Τοίχου αλλάζει. Ένα τμήμα του εξωτερικού υαλοστασίου, στο πάνω μέρος, πρέπει να ανοίγει για να απομακρύνεται ο ζεστός αέρας του διακένου. Επιπλέον για την αποφυγή υπερθέρμανσης του χώρου η επάνω θυρίδα του τοίχου παραμένει κλειστή.

2.2

ΒΑΣΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ [4], [7]

Ο βασικός σχεδιασμός του τοίχου Trombe αποτελείται αρχικά από τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης. Το εμβαδόν του εν λόγω τοίχου εξαρτάται από το εμβαδόν του πατώματος στον εσωτερικό χώρο. Έτσι ισχύει η σχέση: $\text{λόγος εμβαδών} = \text{τοίχος} / \text{πάτωμα} = 0,33-0,75$. Η συσσωρευτική ικανότητα του τοίχου είναι $160-280 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ αποθήκευσης για κάθε m^2 επιφάνειας συλλογής και το πάχος του, $10-45 \text{ cm}$. Όσο μεγαλύτερο πάχος έχει ο τοίχος, τόσο μικρότερη μεταβολή έχει η θερμοκρασία στο εσωτερικό. Αντίθετα σε ένα τοίχο μικρού πάχους το κύμα θερμότητας κινείται με μεγαλύτερη ταχύτητα και περνάει στον εσωτερικό χώρο, πιο γρήγορα.

Το διάκενο αέρος μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου είναι $5-15 \text{ cm}$ με σύννηθες 10 cm .

Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων προκύπτουν από τον λόγο του συνολικού εμβαδού των ανοιγμάτων πάνω και κάτω προς το εμβαδόν του τοίχου να είναι $0,01$.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας της εξωτερικής επιφάνειας του τοίχου πρέπει να κυμαίνεται από $13 \text{ }^\circ\text{C}$ τη νύχτα, μέχρι $65 \text{ }^\circ\text{C}$ μια ηλιόλουστη μέρα. Αντίθετα η εσωτερική θερμοκρασία είναι $18-32 \text{ }^\circ\text{C}$.

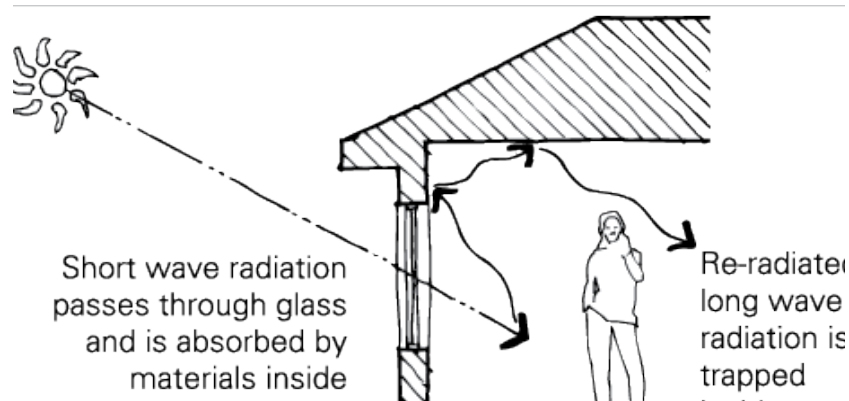
2.3

ΚΥΡΙΑ ΜΕΡΗ [8]

2.3.1 ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΟ (GLAZING)

Βασικό στοιχείο ενός παθητικού συστήματος είναι το υαλοστάσιο, το οποίο έχει σαν κύριο ρόλο την παγίδευση της θερμότητας από την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτή την ικανότητα μπορούν να παγιδεύουν συγκεκριμένου μήκους κύματος ακτινοβολία και επιτρέπουν σε άλλη να περνάει. Ένα καλού υλικού γυαλί, επιτρέπει την μετάδοση μικρού μήκους κύματος ηλιακή ακτινοβολία και συγκρατεί την μεγάλο μήκους, προς θέρμανση της επιφάνειας

συλλογής. Κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το ιδανικό υαλοστάσιο, είναι αντίσταση στην υπεριώδη ακτινοβολία, καλή θερμική ισορροπία, υψηλή αντίσταση σε διάβρωση, χαμηλό κόστος αγοράς και συντήρησης, αντίσταση σε θραύση και κρούση. Τα 2 πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά υαλοστασίων είναι το γυαλί και το πλαστικό.



Εικόνα 13. Ακτινοβολία και Υαλοστάσιο

2.3.2 ΤΟΙΧΟΣ ΜΑΖΑΣ

Το πιο βασικό μέρος του συγκεκριμένου παθητικού συστήματος είναι ο τοίχος μάζας, ο οποίος είναι υπεύθυνος για την συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Για να είναι αποδοτικός ο τοίχος Trombe, πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μπορεί να απορροφήσει σχεδόν όλη την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται. Για αυτό το λόγο, όπως αναφέραμε και παραπάνω, πρέπει ο τοίχος να είναι βαμμένος σε πολύ σκούρο ή μαύρο χρώμα. Το είδος της βαφής που θα χρησιμοποιηθεί εξαρτάται και από το υλικό του τοίχου.

Όσον αφορά την επιλογή υλικού για τον τοίχο Trombe, πρέπει να λάβουμε υπόψη 2 βασικές παραμέτρους: το κόστος και τα θερμικά χαρακτηριστικά του υλικού, δηλαδή πόση θερμότητα μπορεί ένα υλικό να αποθηκεύσει και πόσα γρήγορα μπορεί να την μεταδώσει. Οι φυσικές ιδιότητες που προσδιορίζουν τα θερμικά χαρακτηριστικά είναι οι εξής:

- Πυκνότητα εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μια μονάδα όγκου. Μας

ενδιαφέρει γιατί όσο πιο πυκνό είναι ένα υλικό, τόσο περισσότερη θερμότητα μπορεί να αποθηκεύσει.

- Θερμική αγωγιμότητα είναι το μέτρο του πόσο γρήγορα και εύκολα μπορεί η θερμότητα να μεταφέρεται μέσω ενός υλικού. Η μεταφορά της θερμότητας οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας και γίνεται από το θερμό μέρος του υλικού στο πιο ψυχρό.
- Ειδική θερμότητα αποτελεί το μέτρο της θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσει τη θερμοκρασία συγκεκριμένης μάζας υλικού.
- Ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας το ποσοστό θερμότητας που μπορεί να αποθηκευτεί σε ένα κυβικό εκατοστό, όταν η θερμοκρασία του υλικού αυξάνεται κατά 1 °C

Παρακάτω παρουσιάζεται ένας πίνακας με βασικά υλικά και τις ιδιότητές τους:

Υλικό	Πυκνότητα (kg/m ³)	Ειδική Θερμότητα (J/(kg*K))	Αγωγιμότητα (W/(m*K))	Ογκομετρική χωρητικότητα θερμότητας (J/ m ³ *K)
Σκυρόδεμα 1	2306,65	669,88	0,9345	1542,5
Σκυρόδεμα 2	2242,58	837,36	1,7307	1877,9
Πλινθοδομή	1970,27	837,36	0,6922	1676,7
Ασβεστόλιθος	1649,90	921,09	0,9345	1542,5
Ξύλο (πεύκο)	423,49	2805,15	0,1090	1395
Πλίθα	1697,95	1004,83	0,5192	1676,7
Νερό	993,14	4186,80	0,6057	4158,1

Πίνακας 1 Υλικά Κατασκευής

2.4

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ

Ο σχεδιασμός του συστήματος πρέπει να λαμβάνει υπόψη την προσεκτική επιλογή του σημείου τοποθέτησης. Η άμεση πρόσβαση του ηλίου είναι βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία του τοίχου. Έτσι κρίνεται απαραίτητη η γνώση του που είναι ο νότος, η πορεία του ηλίου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους και ο πιθανός σκiasμός από κοντινά κτίρια ή δέντρα.

Το μέγεθος του συστήματος, εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων :

- Κλιματολογικές συνθήκες
 - Υλικά κατασκευής κτιρίου
 - Επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία
 - Χώροι που υπάρχουν τοίχοι, πατώματα, οροφή, παράθυρα, πόρτες και όγκος κάθε δωματίου.
 - Προδιαγραφές του συστήματος θέρμανσης
- Βασικό κομμάτι του σχεδιασμού είναι ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών του κτιρίου είτε κατευθείαν από τα δομικά του στοιχεία είτε από ρωγμές είτε από το σύστημα εξαερισμού.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω, η θερμότητα μεταφέρεται από ένα θερμό σε ένα πιο ψυχρό σώμα

ή περιοχή. Η μεταφορά γίνεται με ακτινοβολία, αγωγή και μετάδοση θερμότητας. η τοιχοποιία και τα δομικά στοιχεία του κτιρίου είναι αυτά που θα σταματήσουν τη μεταφορά της θερμότητας.

Το μέτρο αντίστασης της ροής της θερμότητας λέγεται συντελεστής R (R- value). Όσο μεγαλύτερη η ικανότητα του υλικού να αντιστέκεται στη ροή της θερμότητας, τόσο μεγαλύτερο το R.

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας της ASHRAE με κάποια βασικά υλικά και την τιμή R τους :

Υλικό	Συντελεστής-R
Γυψοσανίδα	0,45
Κόντρα πλακέ	0,62
Ασβεστο-τσιμεντοκονίαμα	0,21
Υαλονήματα	11,00
Stucco	0,20

Πίνακας 2 Συντελεστής R υλικών

Για να υπολογίσουμε όμως το συνολικό R ενός τοίχου πρέπει να βρούμε πρώτα το αντίστοιχο κάθε στρώματος (layer) του τοίχου και μετά να τα προσθέσουμε όλα μαζί.

Ένα άλλο μέγεθος που μας ενδιαφέρει και εξαρτάται από το συντελεστή R, είναι ο συντελεστής U ο οποίος εκφράζει την ικανότητα ενός υλικού ή δομικού στοιχείου να διαβιβάζει θερμότητα και είναι το αντίστροφο του συντελεστή R. Όσο πιο χαμηλό συντελεστή U έχει ένα υλικό, τόσο καλύτερα λειτουργεί το συγκεκριμένο υλικό σαν μονωτής.

Ο υπολογισμός της απώλειας θερμότητας ενός κτιρίου, προκύπτει από την εξής εξίσωση:

$$U \text{ (W/m}^2\text{K)} \times \text{Μέγεθος κτιρίου (m}^2\text{)} \times 24 \text{ (h/day)}$$

Με αυτό τον τρόπο, αφού έχουμε υπολογίσει τις θερμικές απώλειες κάθε μέρους του κτιρίου, μπορούμε να βρούμε τις συνολικές απώλειες, προσθέτοντας τις επιμέρους.

Ένα άλλο βασικό μέγεθος που μας ενδιαφέρει είναι

οι εναλλαγές του αέρα σε κάθε χώρο ανά ώρα. Αυτό που πρέπει να γνωρίζουμε είναι ο όγκος του κάθε δωματίου και η ποσότητα του αέρα που εισάγεται από το εξωτερικό του κτιρίου. Γνωρίζοντας λοιπόν τα παραπάνω μπορούμε να υπολογίσουμε τον συνολικό όγκο του αέρα που θα χρειαστεί να θερμάνουμε. Θα χρειαστούμε τα εξής μεγέθη :

- Ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα $c_p=1000 \text{ J/kgK}$
- Πυκνότητα του αέρα $\rho=1,275 \text{ kg/m}^3$
- Όγκος δωματίου 1 m^3
- Αλλαγή στη θερμοκρασία του χώρου $\Delta T=1 \text{ }^\circ\text{C}$

Συνεπώς, για να αυξήσουμε τη θερμοκρασία του αέρα ενός χώρου 1 m^3 κατά $1 \text{ }^\circ\text{C}$ πρέπει να του προσδώσουμε ενέργεια ίση με :

$$U = m \cdot c_p \cdot \Delta T = 1,275 \text{ KJ.}$$

2.4.1 ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΟ

Γενικά στα υαλοστάσια, συνίσταται η χρήση διπλού τζαμιού. Το εσωτερικό θα πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς είναι συχνό το φαινόμενο υπερθέρμανσης. Ένας τοίχος χωρίς εξαερισμό μπορεί να φτάσει στην εξωτερική του πλευρά (στο διάκενο) τους $93 \text{ }^\circ\text{C}$, ενώ αντίστοιχα ένας με οπές αερισμού φτάνει τους $71 \text{ }^\circ\text{C}$.

Το εξωτερικό κομμάτι του υαλοστασίου θα πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό αφού είναι αυτό που βρίσκεται σε άμεση επαφή με το περιβάλλον και τις υπεριώδης ακτίνες του ηλίου.

Από μελέτες και κατασκευές που έχουν γίνει, έχει αποδειχθεί ότι το καλύτερο υλικό είναι το γυαλί. Το κόστος, η ανθεκτικότητα, η ευκολία χρήσης το καθιστούν προτιμότερο από πλαστικό ή υαλονήματα.

Παρ' όλα αυτά, πολύ-ανθρακικά, φθοράνθρακες και πολυβινύλια φθοριούχα θεωρούνται επαρκή υλικά για το εσωτερικό μέρος του υαλοστασίου λόγω της αντοχής τους σε μεγάλες θερμοκρασίες.

2.4.2 ΔΙΑΚΕΝΟ ΜΕΤΑΞΥ ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΙΧΟΥ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Βασική απαίτηση για το διάκενο είναι να υπάρχει επαρκής χώρος για τον αερισμό και τις συνθήκες θέρμανσης. Ένα πολύ μικρό διάκενο, έχει σαν αποτέλεσμα τον αναποτελεσματικό αερισμό του χώρου καθώς η κυκλοφορία του αέρα είναι περιορισμένη. Στο πολύ μεγάλο διάκενο συναντούμε άλλα προβλήματα, όπως τις μεγάλες απώλειες στα

ακραία σημεία του συστήματος καθώς και του ανεπιθύμητου σκιασμού του τοίχου από το πλαίσιο του υαλοστασίου.

Από μελέτες έχει προκύψει ότι το ιδανικό διάκενο είναι 10 εκατοστά.

2.4.3 ΤΟΙΧΟΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Ο τοίχος πρέπει να έχει την ικανότητα να αποθηκεύει σημαντικά ποσά θερμότητας, αλλά και να μπορεί να μεταδίδει αυτή την θερμότητα σε ικανοποιητικά χρονικά διαστήματα. Πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό το κομμάτι παίζει το πάχος του τοίχου όπως και η θερμική αγωγιμότητα των υλικών από τα οποία αποτελείται ο τοίχος. Για παράδειγμα, ένας παχύς τοίχος με υλικά χαμηλής αγωγιμότητας μεταβιβάζει την θερμότητα στον εσωτερικό χώρο με μεγαλύτερη

δυσκολία από κάποιον τοίχο αντίστοιχου πάχους και υψηλότερης αγωγιμότητας. Παρ' όλα αυτά, όσο πιο παχύς είναι ο τοίχος, τόσο μικρότερη η διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό.

Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας με το πάχος του τοίχου, την διακύμανση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό και της χρονικής καθυστέρησης :

Πάχος (εκατοστά)	Διακύμανση θερμοκρασίας (°C)	Χρονική Καθυστέρηση (ώρες)
20,3	4,4	6,8
30,5	2,2	9,3
40,6	1	11,9
50,8	0,5	14,5
60,9	0,3	17,1

Πίνακας 3 Χρονική Καθυστέρηση και Διακύμανση Θερμοκρασίας με βάση το πάχος (cm) του τοίχου

Με βάση αυτά και τον πίνακα που δόθηκε παραπάνω με τις ιδιότητες των υλικών προκύπτει ότι το πιο αποτελεσματικό υλικό για τον τοίχο Trombe είναι το σκυρόδεμα και ένα ικανοποιητικό πάχος είναι 25-35 εκατοστά. Αυτό κυρίως για μια κατασκευή κατοικίας. Αξίζει να αναφέρουμε ότι ο τοίχος νερού είναι αρκετά αξιόπιστος, λόγω της υψηλής αγωγιμότητας μπορεί να μεταφέρει μεγάλα ποσά θερμότητα στον εσωτερικό χώρο, αρκετά γρήγορα. Αυτή η λειτουργία της πρώιμης θέρμανσης μπορεί να φανεί εξαιρετικά χρήσιμη σε κτίρια όπως σχολεία ή γραφεία, στα οποία η θέρμανση χρειάζεται κυρίως τις πρωινές ώρες. Παρ' όλα αυτά, σε εφαρμογές που απαιτούν θέρμανση κυρίως τις ώρες που δεν υπάρχει ήλιος η

γρήγορη μεταφορά θερμότητας του τοίχου νερού, μπορεί να αποδειχθεί μειονέκτημα.

Υπάρχουν βέβαια και πρότυπα σπίτια όπως το Gunderson House στο Santa Fe, του Νέου Μεξικού τα οποία χρησιμοποιούν πιο πολύπλοκα συστήματα. Το συγκεκριμένο σπίτι χρησιμοποιεί ένα τοίχο θερμικής αποθήκευσης, στον οποίο υπάρχει και σκυρόδεμα και κιβώτια νερού. Περίπου 20 εκατοστών σφραγισμένα δοχεία νερού εντοιχίζονται σε 5 εκατοστά πλάκες σκυροδέματος.

2.4.4 ΘΥΡΙΔΕΣ ΕΞΑΕΡΙΣΜΟΥ

Σε ένα σύστημα τοίχου χωρίς θυρίδες εξαερισμού, ο αέρας στο διάκενο φτάνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες απ' ό,τι σε ένα σύστημα με θυρίδες. Έτσι οι απώλειες θερμότητας διαμέσω του υαλοστασίου είναι σημαντικά μεγαλύτερες. Παρ' όλα αυτά πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι θα υπάρχει αρκετή αποθήκευση θερμότητας στον τοίχο για να μην έχουμε απώλειες από τη διείσδυση του αέρα. Ο σωστός προγραμματισμός των θυρίδων μπορεί να αποτρέψει προβλήματα υπερθέρμανσης ή έλλειψης θερμότητας κατά τη διάρκεια των ωρών ανάγκης. Όσον αφορά το μέγεθος των θυρίδων και την τοποθέτηση, είναι βασικό να τονίσουμε τη διαφοροποίηση μεταξύ θυρίδων πάνω στο υαλοστάσιο και θυρίδων πάνω στον τοίχο Trombe. Οι πρώτες χρησιμοποιούνται κυρίως στην περίπτωση υπερθέρμανσης. Εάν ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης δεν έχει θυρίδες τότε κρίνεται απαραίτητο, το υαλοστάσιο να έχει και πάνω και κάτω θυρίδες. Στην περίπτωση όμως που ο τοίχος έχει θυρίδες τότε στο υαλοστάσιο χρειάζεται μόνο στο πάνω μέρος αφού οι εσωτερικές κατώτερες θυρίδες βοηθούν στην

εισαγωγή κρύου αέρα στο διάκενο.

Για την καλύτερη λειτουργία των θυρίδων, η απόσταση μεταξύ της πάνω και της κάτω πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη. Επίσης η πάνω θυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίδιου μεγέθους με την κάτω, ενώ κάποιες μελέτες έχουν υποδείξει ότι θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερη για να μπορεί ο θερμός αέρας, ο οποίος είναι και πυκνότερος, να κινείται πιο εύκολα μέσω της θυρίδας.

Το μέγεθος των θυρίδων είναι ένα ζήτημα το οποίο δεν έχει ξεκάθαρη απάντηση. Εάν οι θυρίδες είναι πολύ μεγάλες και καταλαμβάνουν σημαντικό χώρο τότε όπως είναι λογικό, δεν θα υπάρχει αρκετός χώρος στον τοίχο για αποθήκευση θερμότητας. Αντίθετα, αν οι θυρίδες είναι πολύ μικρές η κυκλοφορία του αέρα θα είναι αρκετά περιορισμένη. Ο καθηγητής του J. D. Balcomb του τμήματος ηλιακής ενέργειας των επιστημονικών εργαστηρίων του Los Alamos είχε προτείνει το σύνολο της επιφάνειας εξαερισμού να είναι το 1-2% της συνολικής επιφάνειας του τοίχου Trombe.

Υπάρχουν αρκετές περιπτώσεις όσον αφορά τον

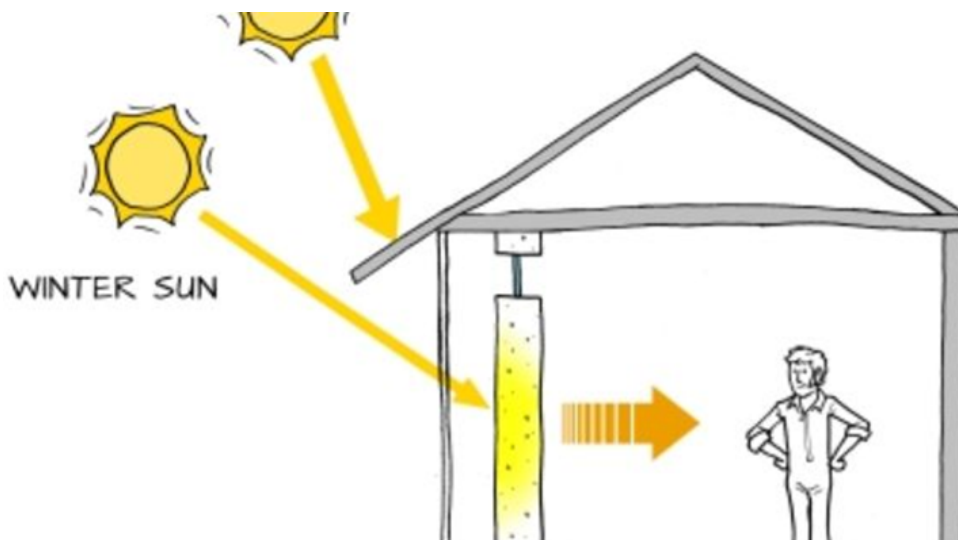
τρόπο κατασκευής των θυρίδων. Οι εξωτερικές θυρίδες θα ήταν σωστό να είναι διαφανείς έτσι ώστε να επιτρέπουν στην ηλιακή ακτινοβολία να τις διαπερνάει. Οι εσωτερικές θυρίδες μπορούν να είναι από οποιοδήποτε υλικό, απλά ένα θερμομονωτικό

είναι γενικά καλύτερο. Υπάρχουν κάποια συστήματα θυρίδων τα οποία χρησιμοποιούν ένα σύστημα κρεμαστών καλυμμάτων μπροστά από τις θυρίδες τα οποία λειτουργούν με σύστημα θερμοστάτη.

2.4.5 ΠΡΟΕΞΟΧΗ ΟΡΟΦΗΣ

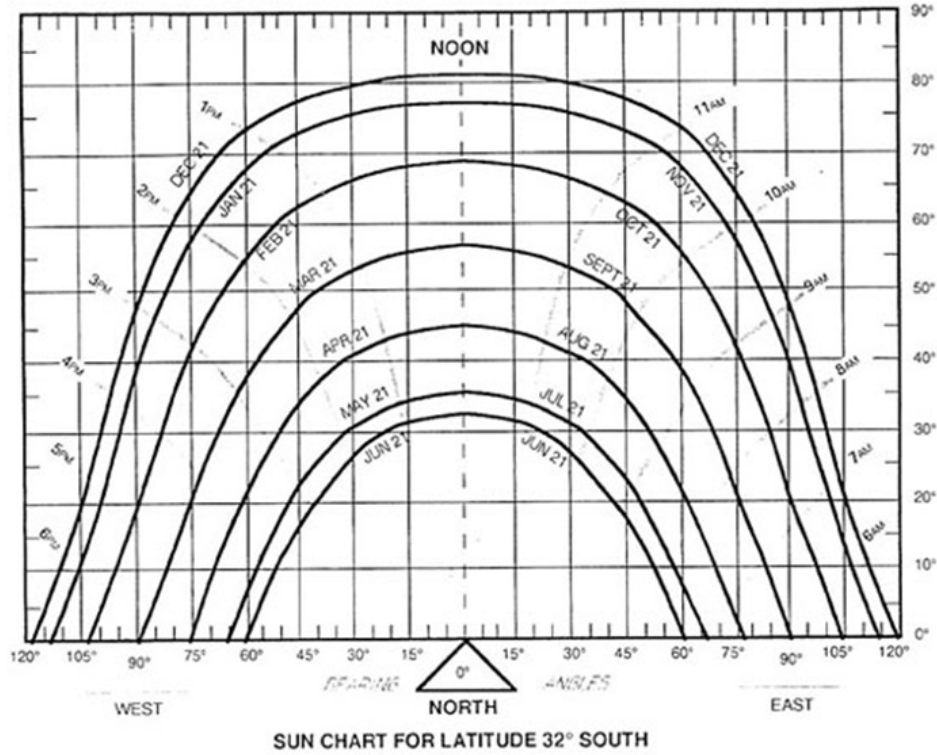
Ένα πολύ χρήσιμο κομμάτι του συστήματος του τοίχου Trombe είναι η προεξοχή της οροφής. Το καλοκαίρι λόγω της συνεχούς ακτινοβολίας του ηλίου η προεξοχή βοηθάει στην εν μέρη σκίαση του τοίχου και κατά συνέπεια την αποφυγή υπερθέρμανσης.

Τον χειμώνα, λόγω του ότι ο ήλιος βρίσκεται χαμηλά στον ουρανό, ο τοίχος Trombe λαμβάνει την ηλιακή ακτινοβολία όλη την ημέρα.

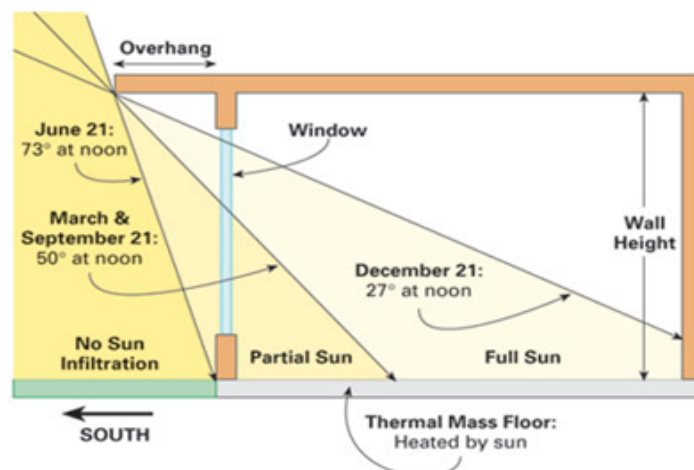


Εικόνα 14. Προεξοχή Οροφής

Για τον σχεδιασμό της προεξοχής μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ηλιακά διαγράμματα τα οποία δείχνουν την εκάστοτε γωνία του ηλίου στο γεωγραφικό μήκος και πλάτος που βρισκόμαστε.



Εικόνα 15. Ηλιακό Διάγραμμα [21]



Εικόνα 16. Κατανομή Ηλιακής Ακτινοβολίας [22]

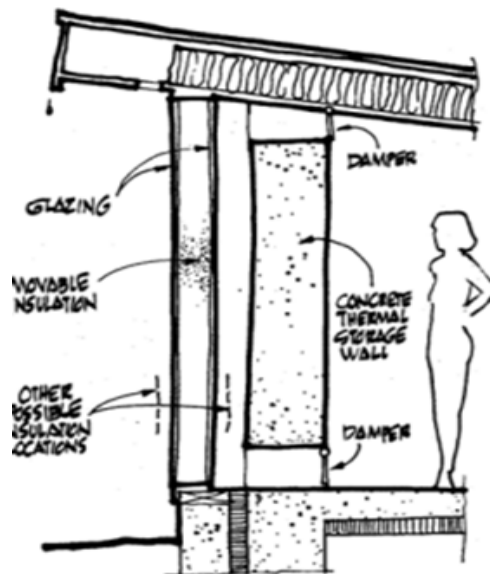
Παρ' όλα αυτά, πάντα υπάρχει και η επιλογή της κινητής προεξοχής η οποία επιτρέπει μεγαλύτερο έλεγχο. Το φθινόπωρο και την άνοιξη, ο ήλιος είναι χαμηλά στον ουρανό και οι θερμοκρασίες σε σχετικά

υψηλά επίπεδα, οπότε ο κίνδυνος υπερθέρμανσης υψηλός. Με την χειριζόμενη προεξοχή μπορεί να αποτραπεί αυτός ο κίνδυνος.

2.4.6 ΜΟΝΩΤΕΣ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ

Η αποτελεσματικότητα του τοίχου Trombe, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την προσθήκη μονωτή ή ανακλαστήρα για τον έλεγχο του ηλιακού κέρδους και των απωλειών θερμότητας. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ένα μονωμένο πάνελ με επιφάνεια ανάκλασης κατεβαίνει και έτσι ανακλάται

περισσότερο φως πάνω στον τοίχο και έχουμε περισσότερο θερμικό κέρδος. Κατά τη διάρκεια της νύχτας τραβιέται πάνω και η μόνωση μειώνει τις θερμικές απώλειες.



Εικόνα 17. Κινητή Μόνωση [23]

2.5 ΠΡΟΤΥΠΑ ΣΠΙΤΙΑ ΜΕ ΤΟΙΧΟ ΤΡΟΜΒΕ [9], [10], [11], [12]

- Ο αρχιτέκτονας Douglas K. Kelbaugh σχεδίασε ένα από τα πρώτα ηλιακά σπίτια στο New Jersey, στα μέσα του 1970. Το σπίτι χρησιμοποιεί τον τοίχο Trombe για την θέρμανση που χρειάζεται. Η κατοικία είναι κατασκευασμένη από κόντρα πλακέ, χωρίς να έχει περάσει διαδικασία βαφής. Για αυτό τον λόγο προκύπτει το σκούρο χρώμα. Η οροφή είναι κεκλιμένη προς τον βορρά και έχει 2 καμινάδες ακριβώς πάνω από τον τοίχο Trombe. Στο εξωτερικό του κτηρίου δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διακόσμηση καθώς προβάλλονται τα λειτουργικά στοιχεία του σπιτιού, που είναι το κόντρα πλακέ και ο τοίχος Trombe και το μικρό θερμοκήπιο κάτω από τον τοίχο. Ο τοίχος Trombe έχει 38 εκατοστά πάχος και είναι κατασκευασμένος από σκυρόδεμα. Μπροστά από τον τοίχο και σε απόσταση 15 εκατοστών βρίσκεται υαλοστάσιο διπλού τζαμιού επιφάνειας 55 τετραγωνικών μέτρων. Η κατασκευή ικανοποιεί περίπου τα 2/3 των αναγκών του σπιτιού σε θέρμανση τον χειμώνα. Οι υπόλοιπες ανάγκες του σπιτιού καλύπτονται από ένα σύστημα κλιβάνου που ενεργοποιείται με θερμοστάτη στο υπόγειο και ένα τζάκι στο καθιστικό. Η μέση θερμοκρασία τον πρώτο χειμώνα λειτουργίας της κατοικίας, ήταν 17 °C στο ισόγειο και 19,4 °C στον πρώτο όροφο. Το μόνο πρόβλημα που παρουσιάστηκε, ήταν οι θερμικές απώλειες από το θερμοκήπιο, το οποίο εν μέρει επιλύθηκε, μετατρέποντας το μονό γυαλί σε διπλό.



Εικόνα 18. Τοίχος Trombe Πρότυπης Κατοικίας Kelbaugh [9]



Εικόνα 19. Πλαϊνή όψη [9]



Εικόνα 20. Πρόσοψη και Πλάγια όψη

- Ο Jim Kries, πωλητής και σχεδιαστής κατοικιών, κατασκεύασε μια μικρή κοινότητα παθητικών ηλιακών σπιτιών στο Landenberg της Pennsylvania, την οποία ονόμασε “Τα Ηλιόλουστα Σπίτια” (The Sunburst Homes). Στην κατασκευή περιλαμβάνεται ένας τοίχος Trombe, νότιου προσανατολισμού, επιφάνειας 21 τετραγωνικών μέτρων και πάχους 35,5 εκατοστών, βαμμένος μαύρος στο εξωτερικό του για απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και άσπρο στόκο στο εσωτερικό. Μπροστά από τον τοίχο και σε απόσταση 15 εκατοστών, βρίσκεται υαλοστάσιο με μονωμένο τζάμι πάχους 1,6 εκατοστών. Το σύστημα του τοίχου περιλαμβάνει και μια προεξοχή 1 μέτρου για την επαρκή σκίαση του τοίχου κατά τη θερινή περίοδο και την αποφυγή υπερθέρμανσης. Στο τελευταίο συμβάλει και ένας ανεμιστήρας, ο οποίος είναι τοποθετημένος στο ταβάνι του 2ου ορόφου. Ο τοίχος Trombe καλύπτει περίπου το 60-75% των αναγκών της κατοικίας σε χειμερινή θέρμανση. Για αυτόν τον λόγο έχει εγκατασταθεί και δευτερεύον

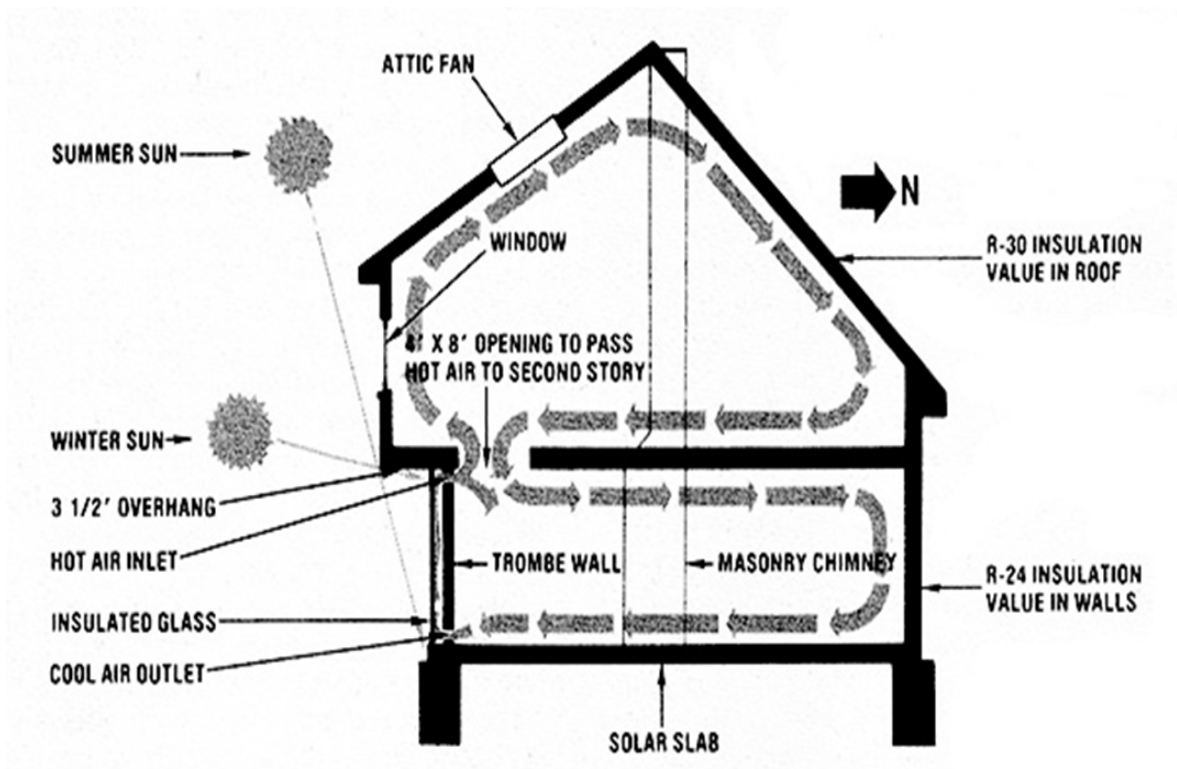
σύστημα θέρμανσης. Ένας κλίβανος ζεστού νερού ενεργοποιούμενος με θερμοστάτη λειτουργεί κατά τις πολύ κρύες μέρες και όταν η θερμοκρασία φτάσει τους 12 °C. Επιπλέον έχει προστεθεί και μια ξυλό-σομπα. Η μόνωση των τοίχων, περιλαμβάνει 15 εκατοστά υαλονήματα πεπιεσμένου βάμβακα πάνω από 2,5 εκατοστά φύλλα φελιζόλ. Αντίστοιχα στο ταβάνι υπάρχει 23 εκατοστά μόνωση πεπιεσμένου βάμβακα. Όσον αφορά το πάτωμα του σπιτιού, πρώτα υπάρχει ένα στρώμα 2,5 εκατοστών φελιζόλ, το οποίο καλύπτεται από 15 εκατοστά χαλίκι και άλλα 15 εκατοστά σκυρόδεμα. Τέλος υπάρχει και μια στρώση 7 εκατοστών απο τούβλο καπλαμά. Τα διαδοχικά αυτά στρώματα συντελούν στην επαρκή μόνωση του σπιτιού από το κρύο αλλά και στην αποθήκευση θερμότητας από την θερμική μάζα του πατώματος. Η λειτουργία του τοίχου Trombe είναι η κλασική λειτουργία που έχει αναφερθεί παραπάνω.



Εικόνα 21. The Sunburst Homes [10]



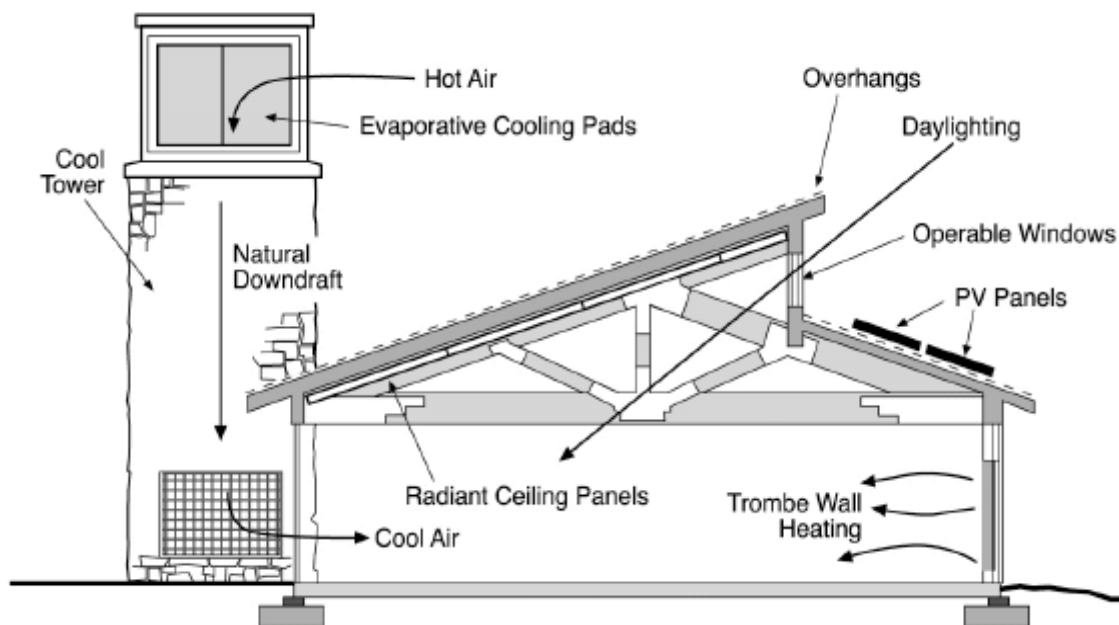
Εικόνα 22. Τοίχος Trombe (The Sunburst Homes) [10]



Εικόνα 23. Τομή και Λειτουργία των Sunburst Homes [10]

- Το κέντρο επισκεπτών στο εθνικό πάρκο Zion στην Utah. Περιλαμβάνει έναν τοίχο Trombe στην νότια πλευρά του κτιρίου. Ύψους 1,8 μέτρων και συνολικής επιφάνειας 68,7 τετραγωνικών μέτρων ο τοίχος αποτελεί το 44% της συνολικής νότιας επιφάνειας. Ο τοίχος Trombe έχει πάχος 20 εκατοστών και πρόκειται για σοβατισμένο σκυρόδεμα με συντελεστή R της τάξης των 0,4 K^*m^2/W . Μπροστά από τον τοίχο, βρίσκεται μονό τζάμι υψηλής διαπερατότητας, εγκατεστημένο σε ένα σύστημα βιτρίνας με διαχωριστικά. Οι υπόλοιποι τοίχοι έχουν 15 εκατοστά πάχος και συντελεστή R 2,8 K^*m^2/W . Στην εσωτερική πλευρά του τοίχου έχουν κατασκευαστεί τσιμεντένιες προεξοχές έτσι ώστε τα ράφια να μην είναι σε άμεση επαφή με τον τοίχο. Η εσωτερική τοιχοποιία έχει επιλεγεί για τη μεγιστοποίηση της μεταφοράς θερμότητας στον χώρο. Γλυκά όπως η γυψοσανίδα μπορεί να μειώσουν το ποσό

θερμότητας λόγω των μη αγωγίμων κενών αέρα στον τοίχο. Γι' αυτόν τον λόγο, τοποθετήθηκε εκτοξευμένο σκυρόδεμα γύρω από τους τοίχους. Πολύ σημαντικό κομμάτι που δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή είναι η τοποθέτηση της μόνωσης βάσης καθώς η απόδοση του τοίχου Trombe μπορεί να μηδενιστεί από τρισδιάστατη μετάδοση της θερμότητας στο έδαφος. Αυτό αποτράπηκε, αποσυνδέοντας θερμικά τη βάση του τοίχου από το έδαφος με μόνωση.



Source: NREL and NPS drawings.

Εικόνα 24. Σχηματική Απεικόνιση Κτιρίου Zion [12]

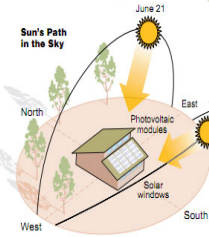
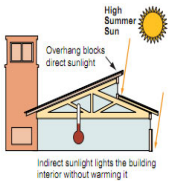
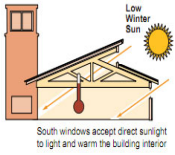
Lighting

The primary source of light in the Visitor Center is daylight. The building's energy management computer adjusts electric light as needed. No incandescent or halogen lights are used—T-8 fluorescent lamps and compact-fluorescent lamps are much more energy efficient. The exit signs provide a gentle glow with solid-state LED technology that also consumes very little energy.

Windows

Clerestory windows are part of the lighting system as well as a part of the heating and cooling systems. Computer simulations helped size the windows to collect the right amount of light. The sun enters in the winter, helping to keep the space heated (passive solar heating), and overhangs shade the glass from the high summer sun. A low-e coating on the glass reduces heat loss from the building while allowing light and heat to enter.

The Visitor Center was designed to block the west windows from the summer sun. These windows are made from glass that diverts the sun's heat. A tree canopy also minimizes heat gain on summer afternoons.

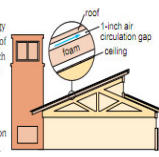


Low-energy design and renewable energy at Zion Visitor Center

Insulation

The building is well insulated, designed to use 70% less energy than a typical building without costing more to build. The roof is made of structural-insulated panels. These panels sandwich a layer of rigid foam insulation between sheets of oriented strand board. The panels are tighter than standard frame construction insulation systems, keeping heat out of the building in summer and in the building in winter.

The building also has foam insulation in wall cavities and insulated windows.



Natural Ventilation

The high clerestory windows help cool the Visitor Center by allowing hot air to escape while low windows near the doors allow cool air in. The building's energy management computer controls the operation of the clerestory windows.

Passive Down-Draft Cooltowers

When natural ventilation is not adequate, cooltowers help bring the indoor temperature down. Water sprayed on pads at the top of the towers evaporates, cooling the air. The cool, dense air "falls" through the tower and exits through the large openings at the bottom of the towers. The building's energy management computer controls the size of the openings at the bottom of the tower and can direct the cool air into the building, onto the patio, or both.

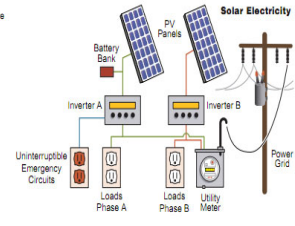
Heating

The Trombe wall provides most of the heating for the building. Heat from the sun is trapped between a pane of glass and a black selective coating. A masonry wall stores the heat for release into the building later in the day. Surface temperature of the inside of the Trombe wall can often reach 100°F (38°C). This warm surface provides radiant comfort to the visitors. When the sun is not shining, radiant ceiling panels provide heat.

Photovoltaics

Efficient design of the building eliminated large electric loads—minimal lights and no air-conditioning. Photovoltaic panels (7,200 watts) on the south roof provide the majority of the electricity needed by the building. Excess power is sold back to the power company for use elsewhere.

Some of the energy is stored in batteries. When the utility cannot provide power, the batteries provide power for "normal" daytime use. Using photovoltaics in combination with utility power results in a highly reliable power source.

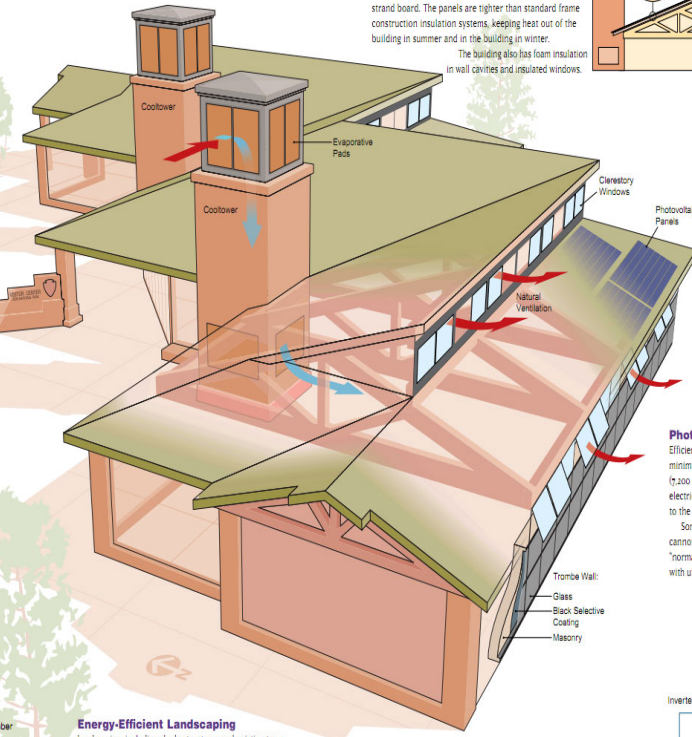


Energy-Efficient Landscaping

Landscaping, including shade structures and existing trees, creates an extension of the Visitor Center. These outdoor "rooms" for permanent displays allow for a smaller building design as well as lower capital and operation costs. Irrigation ditches provide most of the water needed for landscaping, saving pumping energy and water treatment.

Energy Management Computer

A computer ensures that all the energy-efficient features work together, collects weather data, and makes energy decisions about the building. It controls the cooltowers, radiant ceiling panels, lighting, and windows.



Εικόνα 25. Συνολική Λειτουργία στο Κέντρο Επισκεπτών Zion [12]



Εικόνα 26. Πρόσωση Κέντρου Επισκεπτών Zion [12]

Η εσωτερική θερμοκρασία του τοίχου είναι ομογενής από 32-36 °C και φτάνει το μέγιστο της στις 8-9 μ.μ. Ο τοίχος Trombe συνεισφέρει στο 20% του συνολικού ποσοστού θέρμανσης του κτιρίου. Η μέγιστη ροή της θερμότητας μέσα από τον τοίχο μετρήθηκε στα 89 W/m² ή 8.3 kW της συνολικής επιφάνειας του τοίχου.

Το ποσοστό της θερμότητας που δίνεται στο κτίριο, προς τη συνολική ηλιακή ακτινοβολία στο εξωτερικό του τοίχου, δηλαδή η μέση αποδοτικότητα του τοίχου ήταν 13%.

- Το Εθνικό Εργαστήριο Ανανεώσιμης Ενέργειας (NREL) των Ηνωμένων Πολιτειών, έχει ένα σύνολο εγκαταστάσεων 12 μίλια βόρεια του Colorado το οποίο χρησιμοποιείται για μέτρηση και επεξεργασία δεδομένων ανέμων. Οι εν λόγω εγκαταστάσεις, είχαν ανάγκη από ένα μικρό κτίριο εισόδου- φύλαξης το οποίο όμως έπρεπε να είναι ενεργειακά αυτόνομο. Έτσι, έγινε η εγκατάσταση ενός συστήματος φωτοβολταϊκών και 2 ανεμογεννητριών καθώς και ενός τοίχου Trombe. Στον τοίχο, περιλαμβάνεται ένα μόνο γυαλί υψηλής διαπερατότητας εγκατεστημένο σε ένα θερμικά διαχωρισμένο σύστημα βιτρίνας,

μπροστά από έναν τοίχο από σκυρόδεμα, πάχους 10 εκατοστών με επιφάνεια συλλογής θερμότητας. Οι υπόλοιποι τοίχοι αποτελούνται από 10 εκατοστά επικλινές σκυρόδεμα με εξωτερική μόνωση αφρολέξ με συντελεστή R 4,4 k*m²/W. Η συνολική επιφάνεια του Trombe καλύπτει το 34% της νότιας τοιχοποιίας και είναι περίπου 4,1 m². Η εσωτερική θερμοκρασία του τοίχου φτάνει σε ένα μέγιστο της τάξης των 49-54 °C στις 3.00-4.00 μ.μ. Ο τοίχος Trombe αποδίδει όλη την απαραίτητη θερμότητα κατά τη διάρκεια του μεσημεριού και του απογεύματος.



Εικόνα 27. Κτίριο εισόδου NREL [12]

3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ
ΣΤΟ ENERGY
PLUS

3

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΤΟ ENERGY PLUS

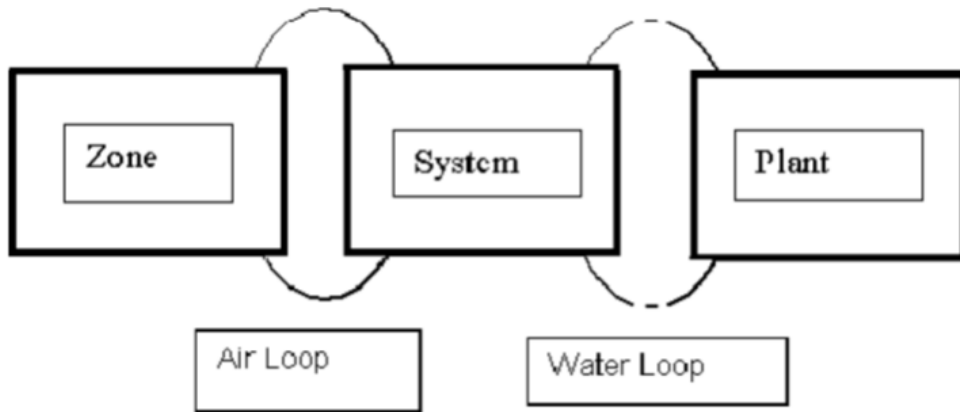
Το Energy Plus αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα που έχει αναπτυχθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των Η.Π.Α με σκοπό την υπολογισμό της ενέργειας που απαιτείται για την ψύξη και θέρμανση ενός κτιρίου. Η χρήση του λογισμικού γίνεται από ενεργειακούς μηχανικούς και αρχιτέκτονες οι οποίοι επιδιώκουν την προσαρμογή κατάλληλων συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού στο κτιριακό κέλυφος καθώς επίσης και την εκτίμηση του κόστους λειτουργίας και τη βελτιστοποίηση της ενεργειακής του απόδοσης.

Το Energy Plus βασίζεται σε 2 προγενέστερα προγράμματα ενεργειακής προσομοίωσης κτιρίων, το BLAST (Building Loads and System Thermodynamic) και DOE-2 (Department of Energy-2) τα οποία ομοίως είχαν σχεδιαστεί από την κυβέρνηση των ΗΠΑ. Λόγω του ότι τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σημαντικά οι υπολογιστικές μέθοδοι τα προγράμματα αυτά θεωρήθηκε σκόπιμο να βελτιωθούν, με αποτέλεσμα την σχεδίαση του Energy Plus από το 1996.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει την αναλυτική περιγραφή και τον γεωμετρικό σχεδιασμό

του κτιρίου καθώς και τα δομικά χαρακτηριστικά του κτιρίου και των συστημάτων ψύξης, θέρμανσης και κλιματισμού (HVAC Systems-Heating Ventilation and Air-condition Systems). Με βάση την περιγραφή της κατασκευής και των μηχανικών συστημάτων του κτιρίου, το πρόγραμμα υπολογίζει μια πληθώρα μεταβλητών όπως τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης για την θερμική ισορροπία του κτιρίου, οι θερμοκρασίες των θερμικών ζωνών και των επιφανειών, η ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου κλπ.

Στο Energy Plus, το μοντέλο προσομοιώνεται πιο ρεαλιστικά επειδή τα αποτελέσματα των υποπρογραμμάτων συνδέονται με αναδράσεις, καταλήγοντας σε μια λειτουργία ταυτόχρονης λύσης. Το σύνολο του προγράμματος, μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σειρά από λειτουργικά στοιχεία που ενώνονται με βρόχους ρευστών. Η διαδικασία επίλυσης είναι μια επαναληπτική δομή διαδοχικών αντικαταστάσεων τύπου Gauss-Seidell. Όλα τα στοιχεία ενσωματώνονται και ελέγχονται από τον διαχειριστή της προσομοίωσης.



Εικόνα 28. Κτίριο εισόδου NREL [12]

Κάποια βασικά χαρακτηριστικά του Energy Plus [13] είναι τα εξής :

- Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση της συμπεριφοράς του κτιρίου και των πρωτεύοντων και δευτερεύοντων συστημάτων, όταν αυτά είναι άμεσα συνδεδεμένα μεταξύ τους.
- Χρονικά βήματα μικρότερα της μίας ώρας για την αλληλεπίδραση μεταξύ θερμικών ζωνών και περιβάλλοντος, καθώς και μεταβλητά χρονικά βήματα για την αλληλεπίδραση των συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού και αερισμού (HVAC Systems)
- ASCII αρχεία κειμένου, για τα κλιματολογικά και τα δεδομένα εισόδου, που περιλαμβάνουν ωριαίες, ή και συντομότερες καταγραφές καθώς και αποτελέσματα με τύπο και μορφή που καθορίζονται από τον χρήστη.
- Τεχνική επίλυση βασισμένη στη θερμική ισορροπία των φορτίων του κτιρίου, που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής, τόσο για την εσωτερική όσο και για την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου
- Συναρτήσεις θερμικής αγωγιμότητας για τον υπολογισμό αυτής στα διάφορα μέρη του κτιρίου, όπως τοίχοι, οροφές, δάπεδα κλπ.
- Βελτιωμένη προσομοίωση της μεταφοράς θερμότητας μέσω εδάφους, βασισμένη σε τρισδιάστατα μοντέλα εδάφους και απλοποιημένες μεθόδους ανάλυσης
- Συνδυασμένο μοντέλο διάδοσης θερμότητας και μάζας για τον υπολογισμό της απορρόφησης και της αποβολής υγρασίας από κάθε στρώμα των επιφανειών του κτιρίου. Ο υπολογισμός γίνεται μέσω συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή με το μοντέλο EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model).
- Μοντέλα θερμικής άνεσης που λαμβάνουν υπόψη τους τη δραστηριότητα των ενοίκων, την υγρασία κλπ.
- Ανιστροπικό μοντέλο ουρανού για τον καλύτερο υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει σε κεκλιμένες επιφάνειες.
- Σύνθετοι υπολογισμοί ανοιγμάτων που περιλαμβάνουν ελεγχόμενες περσίδες παραθύρων, ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες κ.ά.
- Έλεγχοι της ημερήσιας ηλιακής φωτεινότητας, συμπεριλαμβανομένων και των υπολογισμών του εσωτερικού φωτισμού, της προσομοίωσης και του ελέγχου της θάμβωσης και του τεχνητού φωτισμού.
- Υπολογισμοί της ατμοσφαιρικής ρύπανσης για τις ποσότητες των εκπεμπόμενων ρύπων CO₂, SO_x, NO_x, CO και μικροσωματιδίων, οι οποίοι παράγονται κατά τις μετατροπές της ενέργειας ώστε να μπορεί να καταναλωθεί από το κτίριο και τα συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμού που αυτό διαθέτει.

3.1

ΒΑΣΙΚΟΙ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ENERGY PLUS [14]

Θεμελιώδεις εξισώσεις για την προσομοίωση θερμικών ζωνών

Η βάση για την προσομοίωση των θερμικών ζωνών και των συστημάτων αέρα είναι η κατάσταση εξισώσεων διατήρησης ενέργειας και υγρασίας και η λύση των συνήθων διαφορικών εξισώσεων που προκύπτουν, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο πρόβλεψης-διόρθωσης.

Συνάρτηση μεταφοράς αγωγιμότητας

Η πιο βασική λύση χρονοσειρών είναι η εξίσωση του συντελεστή που συσχετίζει τη ροή σε μία επιφάνεια ενός στοιχείου με μία άπειρη σειρά προγενέστερων θερμοκρασιών και στις 2 πλευρές :

$$q''_{ko}(t) = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{i,t-j\delta}$$

Όπου :

- q'' η ροή της θερμότητας
- T_a η θερμοκρασία
- X και Y οι συντελεστές απόκρισης
- i συμβολίζει την εσωτερική επιφάνεια του

δομικού στοιχείου

- o συμβολίζει την εξωτερική επιφάνεια του δομικού στοιχείου

Οι λύσεις της παραπάνω εξίσωσης ονομάζονται Conduction Transfer Functions – CTFs και είναι οι :

$$q''_{ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j T_{i,t-j\delta} + Y_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ki,t-j\delta}$$

Για την εσωτερική ροή θερμότητας και

$$q''_{ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \Phi_j q''_{ko,t-j\delta}$$

Για την εξωτερική ροή θερμότητας

Όπου :

- X_j εξωτερικός συντελεστής CTF
- Y_j διαγώνιος συντελεστής CTF
- Z_j εσωτερικός συντελεστής CTF
- Φ_j συντελεστής ροής CTF
- T_i θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας
- T_o θερμοκρασία εξωτερικής επιφάνειας

- q''_{ko} ροή θερμότητας από αγωγή στην εξωτερική επιφάνεια
- q''_{ki} ροή θερμότητας από αγωγή στην εσωτερική επιφάνεια

Εξίσωση θερμικής ισορροπίας εξωτερικών επιφανειών

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{con} + q''_{ko} = 0$$

όπου :

- q''_{asol} η απορροφημένη ροή θερμότητας λόγω άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος

- q''_{LWR} ροή θερμικής ακτινοβολίας μακρού μήκους κύματος λόγω ανταλλαγής με τον αέρα και τον περιβάλλοντα χώρο
- q''_{con} ροή θερμότητας λόγω συναγωγής με τον εξωτερικό αέρα
- q''_{ko} ροή θερμότητας λόγω αγωγής εντός του τοίχου

Εξίσωση θερμικής ισορροπίας εσωτερικών επιφανειών

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{con} = 0$$

όπου :

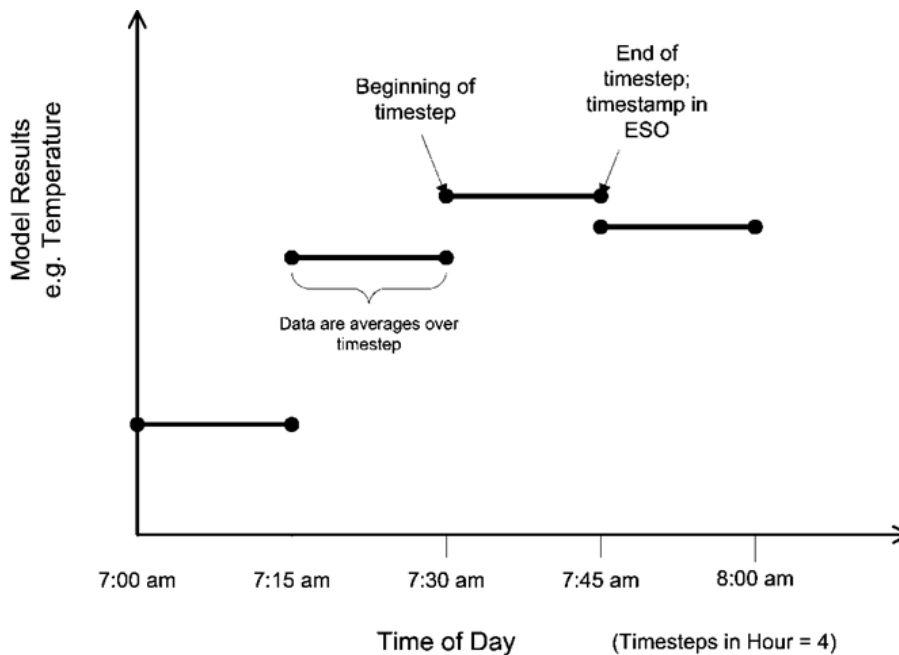
- q''_{LWX} ροή ακτινοβολίας μακρού μήκους κύματος λόγω ανταλλαγής μεταξύ των ζωνών
- q''_{SW} ροή ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος στις επιφάνειες από τα φώτα
- q''_{LWS} ροή ακτινοβολίας μακρού μήκους κύματος από τον εξοπλισμό της ζώνης
- q''_{ki} ροή θερμότητας λόγω αγωγής εντός του τοίχου

- q''_{sol} ροή εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από την επιφάνεια
- q''_{con} ροή θερμότητας λόγω συναγωγής στον αέρα της ζώνης

Μέθοδος χρονικών βημάτων

Τα χρονικά βήματα αποτελούν ουσιαστικά τα διαστήματα μέσα σε μια χρονική περίοδο στην οποία γίνεται η προσομοίωση του Energy Plus. Παρακάτω δίνεται ένα γράφημα, στο οποίο φαίνεται ότι η λύση προσεγγίζεται με την μέθοδο της «σκάλας». Διάφορα δεδομένα εισαγωγής και οριακές

συνθήκες των μοντέλων, εξαρτώνται από τον χρόνο και προσδιορίζονται για ένα συγκεκριμένο χρονικό βήμα και μετά διατηρούνται σταθερές για όλο το χρονικό βήμα.



Εικόνα 29. Μέθοδος χρονικών βημάτων [14]

Οι προβλεπόμενες τιμές για καταστατικές μεταβλητές, σαν τη θερμοκρασία, είναι ο μέσος όρος των τιμών κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος, ενώ τα αποτελέσματα για αθροιστικές μεταβλητές, όπως η ενεργειακή κατανάλωση, είναι απλώς το άθροισμα των τιμών εντός του βήματος.

Θεωρητικά, η λύση θα έπρεπε να είναι ταυτόχρονη,

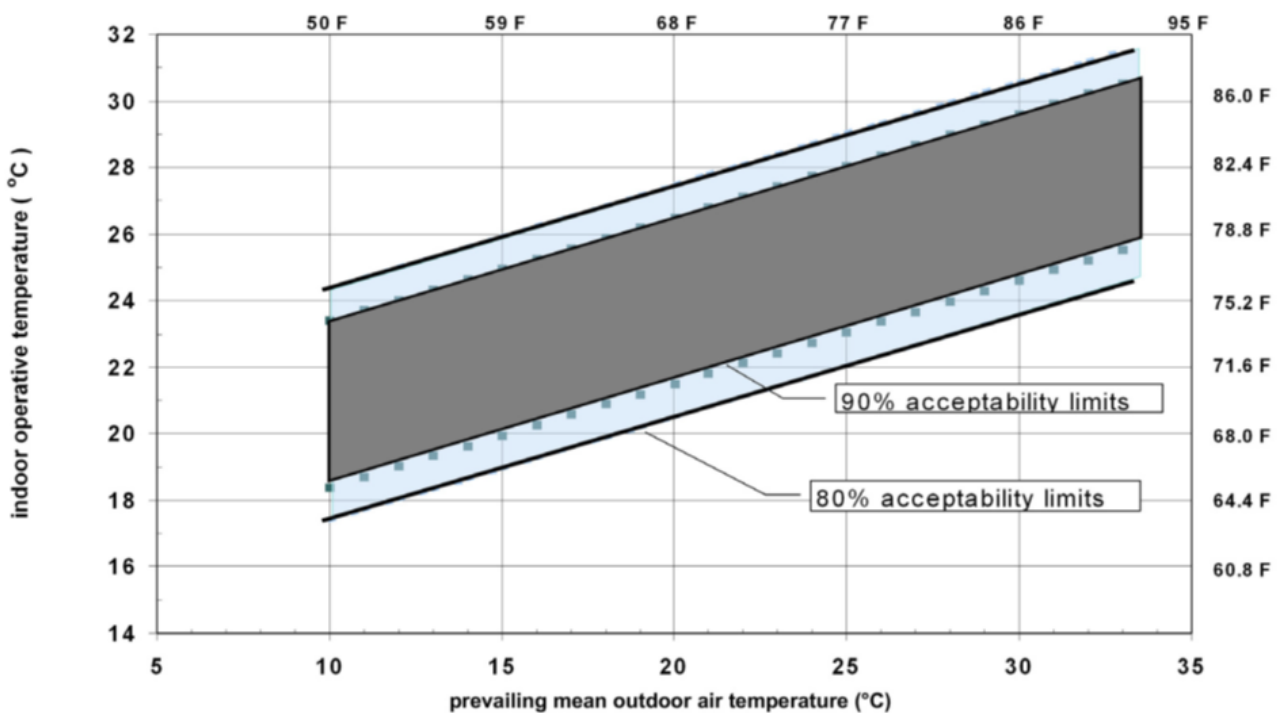
αυτό στην πραγματικότητα δεν συμβαίνει, οπότε τα μοντέλα που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα λαμβάνουν ως δεδομένα εισόδου για τους υπολογισμούς του τρέχοντος βήματος τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το προηγούμενο χρονικό βήμα.

Υπολογισμός χρόνου εκτός Θερμικής Άνεσης- Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Simple Model Summer or Winter Clothes not comfortable time (hr) [15]

Το Energy Plus χρησιμοποιεί ένα adaptive μοντέλο θερμικής άνεσης, το οποίο βασίζεται εξ' ολοκλήρου σε τιμές εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών. Σκοπός αυτού του μοντέλου είναι να υπολογίσει τον χρόνο κατά τον οποίο μια θερμική ζώνη βρίσκεται

εκτός θερμικής άνεσης. Το μοντέλο Standard 55-2010 υπολογίζει την μέση μηνιαία θερμοκρασία ως η μέση τιμή της θερμοκρασίας των 30 προηγούμενων μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών. Η ιδανική τιμή εσωτερικής θερμοκρασίας T_{ot} σε οC ορίζεται από την εξίσωση :

$$T_{ot} = 0,31 T_o + 17,8$$



Εικόνα 30. Θερμοκρασίες Θερμικής Άνεσης (Μοντέλο ASHRAE 55-2010)

3.2

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ ΣΤΟ ENERGY PLUS [14]

Στο Energy Plus, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει ένα σύνολο δεδομένων τα οποία εμπεριέχουν όλα τα χαρακτηριστικά που μπορεί να υπάρχουν σε ένα κτίριο όπως διαστάσεις, δομικά υλικά, συστήματα θέρμανσης-ψύξης, προγραμματισμός εργασιών κλπ. Τα λεγόμενα και ως classes έχουν αρκετά επιμέρους αντικείμενα τα οποία ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί και να καθορίσει με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα.

Βασικές κατηγορίες :

- Simulation Parameters : Ο χρήστης ορίζει τις πιο βασικές παραμέτρους της προσομοίωσης. (αλγόριθμους, σκιάσεις κλπ)
- Location and Climate : σε αυτή την κατηγορία ο χρήστης εισάγει τις συντεταγμένες της περιοχής που γίνεται η προσομοίωση καθώς και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή.
- Schedules : από τα πιο βασικά classes της προσομοίωσης. Ο χρήστης κατασκευάζει χρονοδιαγράμματα, τα οποία υποδεικνύουν βασικές χρήσεις του κτιρίου. (π.χ λειτουργία συστημάτων θέρμανσης-ψύξης, άνοιγμα-κλείσιμο παραθύρων, πότε και πόσοι άνθρωποι βρίσκονται σε μία θερμική ζώνη και η δραστηριότητα τους σε αυτή ζώνη κλπ.)
- Surface Construction Elements : Σε αυτό class γίνεται η βασική περιγραφή των δομικών στοιχείων και των χαρακτηριστικών τους.
- Thermal Zones and Surfaces : Εδώ χαρακτηρίζονται οι θερμικές ζώνες και περιγράφονται οι επιφάνειες (εσωτερική-εξωτερική τοιχοποιία-υαλοπετάσματα).
- Advanced Construction, Surface, Zone Concepts : Ορίζονται οι περιβάλλουσες συνθήκες κάθε επιφάνειας του κτιρίου
- Room Air Models : Στην περίπτωση που η θερμοκρασία του αέρα είναι ανομοιόμορφη σε κάποια ζώνη πρέπει να οριστεί ένα μαθηματικό μοντέλο που θα την υπολογίσει
- Internal Gains : Ο χρήστης εισάγει τα εσωτερικά κέρδη που μπορεί να προκύψουν από την παρουσία και δραστηριότητα κάποιου ατόμου, από φώτα, ηλεκτρικές συσκευές κλπ.
- Daylighting : Ορίζεται ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού κάποιας ζώνης ανάλογα με το επίπεδο του φυσικού φωτισμού.
- Zone Airflow : Περιγράφεται το είδος του αέρισμου που μπορεί να προκύψει για κάποια ζώνη (αθέλητος-infiltration, φυσικός-ventilation)
- Exterior Equipment : Εδώ ο χρήστης μπορεί να περιγράψει οποιονδήποτε εξοπλισμό βρίσκεται στο εξωτερικό του κτιρίου. (εξωτερικός φωτισμός, παροχή νερού κλπ)
- Fans : Εδώ εισάγεται ο ανεμιστήρας που μπορεί να υπάρχει εάν έχει εισαχθεί σύστημα θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- Coils : Αντίστοιχα με το από πάνω class, εδώ περιγράφονται οι θερμοσυσσωρευτές που μπορεί να διαθέτει το σύστημα θέρμανσης-

- ψύξης και κλιματισμού.
- Evaporative Coolers : Εδώ ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιγράψει ένα σύστημα ψύξης που βρίσκεται στο κτίριο.
- Humidifiers and Dehumidifiers : Περιγράφεται ο υγραντήρας και ο αφυγραντήρας ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- Heat Recovery : Εδώ περιγράφεται ο εναλλάκτης θερμότητας που περιέχει το εν λόγω σύστημα.
- Controllers / Setpoint Managers : Από αυτές τις 2 συνεργαζόμενες κατηγορίες ο χρήστης ελέγχει τη μηχανολογική λειτουργία των εγκατεστημένων συστημάτων.
- Air Distribution : Εδώ γίνεται η περιγραφή της διανομής του αέρα σε μία ζώνη από τα κατάλληλα συστήματα που αυτή περιέχει.
- Node-Branch Management : εδώ περιγράφονται τα κομβικά σημεία και οι διακλαδώσεις ενός συστήματος θέρμανσης-ψύξης και κλιματισμού.
- Pumps : περιγράφεται το σύνολο και ο τύπος των αντλιών που διαθέτουν οι μηχανολογικές εγκαταστάσεις του κτιρίου.
- Plant-Condenser Flow Control: Εδώ περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο διανέμονται τα ρευστά του κλειστού κυκλώματος της μηχανολογικής εγκατάστασης.
- Solar Collectors : Ο χρήστης μπορεί να περιγράψει το είδος των ηλιακών συλλεκτών που μπορεί να έχει εγκαταστήσει στο κτίριο.
- Plant Heating and Cooling Equipment, Condenser Equipment and Heat Exchangers : Ο χρήστης μπορεί να περιγράψει τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια μηχανολογική εγκατάσταση (π.χ boiler, πύργους ψύξης κλπ)
- Water Heaters and Thermal Storage : Στην κατηγορία περιγράφεται ο τύπος των δεξαμενών αποθήκευσης ζεστού νερού.
- Refrigeration : Περιγράφεται το σύστημα ψύξης που υπάρχει στο κτίριο.
- Demand Limiting Controls : Σε αυτή την κατηγορία, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να περιορίσει τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα.
- Electric Load Center Generators-Specifications : Εδώ ορίζονται διαφορά συστήματα τα οποία μπορούν να παράγουν ενέργεια όπως φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες κλπ.
- Performance Curves : Ο χρήστης καθορίζει τις εξισώσεις, οι οποίες θα δείξουν την μεταβολή της απόδοσης των συστημάτων της μηχανολογικής εγκατάστασης.
- Fluid Properties : Περιγράφονται οι θερμοφυσικές ιδιότητες των ρευστών που κυκλοφορούν στο σύστημα. (θερμοκρασία, συγκέντρωση, πυκνότητα κλπ)
- Economics : Εδώ μπορεί να οριστεί ένα σύνολο οικονομικών στοιχείων που αφορούν την ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου.
- Output Reporting : Εδώ ορίζονται από τον χρήστη όλες οι μεταβλητές που εξάγει το πρόγραμμα σαν αποτελέσματα μετά το πέρας της προσομοίωσης

3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ [16]

Το Energy Plus παρέχει ένα σύνολο κλιματικών δεδομένων για διάφορες περιοχές του κόσμου. Τα δεδομένα αυτά εισάγονται με τη μορφή αρχείου erw και περιέχουν τιμές για ένα τυπικό κλιματικό έτος αλλά και ειδικές τιμές για συγκεκριμένες μέρες σχεδιασμού. Τα αρχεία αυτά περιέχουν επίσης πληροφορίες για διάφορες παραμέτρους όπως ωριαία θερμοκρασία,

ωριαία υγρασία, ωριαία ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου, ωριαία ατμοσφαιρική πίεση και ωριαία ηλιακή ακτινοβολία. Τα διαθέσιμα στοιχεία για την Ελλάδα αφορούν τις περιοχές των Αθηνών, της Θεσσαλονίκης και της Ανδραβίδας.

3.3

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Το Energy Plus αποτελεί ένα πρόγραμμα προσομοίωσης το οποίο επεξεργάζεται τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου, τις τοιχοποιίες, τα υαλοστάσια, τα διάφορα συστήματα ψύξης-θέρμανσης-

κλιματισμού. Η απαραίτητη γεωμετρία εισάγεται από ένα άλλο πρόγραμμα το Google Sketch up Make 2015 σε συνεργασία με το plug-in του Open Studio v.1.7.4

3.3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΟΥ

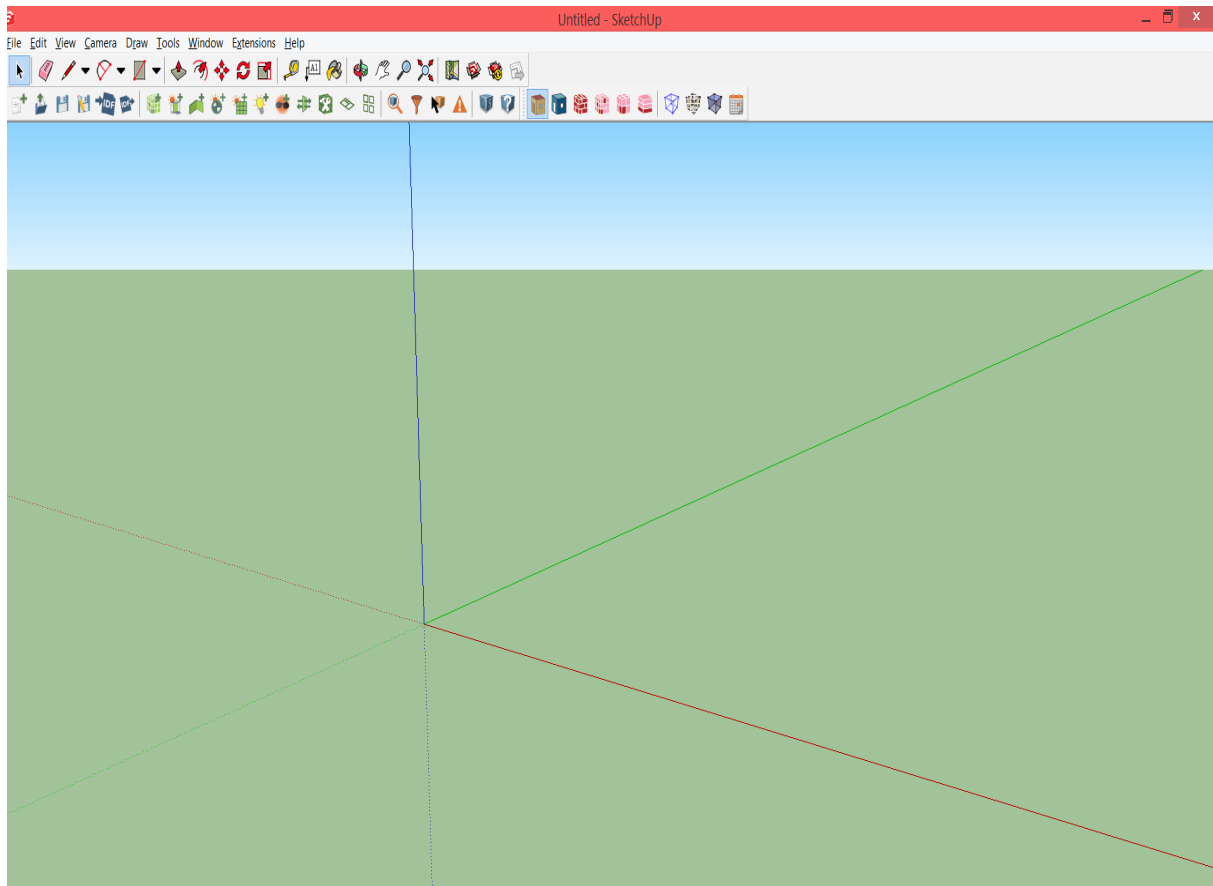
Το κτίριο που προσομοιώθηκε στο Energy Plus, πρόκειται για ένα απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας το οποίο σχεδιάστηκε με το ελεύθερο λογισμικό της Google το Sketch-up σε συνδυασμό με το plug-in του Open Studio. Πρόκειται για ένα δωμάτιο 25 m² με ύψος 3 μέτρων και ένα σύστημα τοίχου Trombe- διακένου- υαλοστασίου, με το διάκενο να βρίσκεται σε απόσταση 10 εκατοστών από τον τοίχο Trombe ο οποίος αποτελεί και την νότια τοιχοποιία του συστήματος. Η περιοχή προσομοίωσης είναι η Αθήνα με γεωγραφικό μήκος και πλάτος 23ο 73' και 37ο 9' αντίστοιχα και υψόμετρο 15m. Ο χωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες έγινε σύμφωνα με τα πρότυπα που Κ.Εν.Α.Κ (Φ.Ε.Κ. 407/9.4.2010) με βάση τις παρακάτω οδηγίες :

- Η επιθυμητή θερμοκρασία των εσωτερικών χώρων διαφέρει περισσότερο από 4 °C σε σχέση με τα άλλα τμήματα του κτιρίου κατά τη χειμερινή ή/και κατά τη θερινή περίοδο

- Υπάρχουν χώροι με διαφορετική χρήση ή λειτουργία, οι οποίοι συνήθως έχουν και διαφορετικές εσωτερικές συνθήκες σχεδιασμού (θερμοκρασία, σχετική υγρασία, νωπό αέρα κλπ)
- Υπάρχουν χώροι που εξυπηρετούνται από διαφορετικά συστήματα θέρμανσης, ψύξης και κλιματισμό τα λόγω διαφορετικών εσωτερικών συνθηκών
- Υπάρχουν χώροι που παρουσιάζουν πολύ μεγάλες συναλλαγές ενέργειας, όπως για παράδειγμα χώροι με νότιο προσανατολισμό που έχουν πολύ σημαντικά ηλιακά κέρδη
- Υπάρχουν χώροι, στους οποίους το σύστημα του μηχανικού αερισμού καλύπτει λιγότερο από το 80% της επιφάνειας της κάτοψης του χώρου

3.3.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΤΟ GOOGLE SKETCH UP

Κατά το άνοιγμα του προγράμματος εμφανίζεται το περιβάλλον εργασίας :



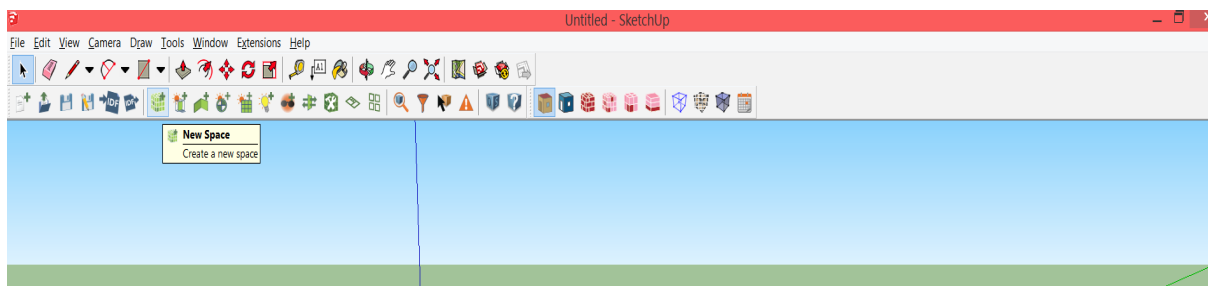
Εικόνα 31. Περιβάλλον εργασίας Google Sketch Up

Στην πρώτη γραμμή της επιφάνειας εργασίας του Sketch up υπάρχουν τα εργαλεία σχεδίασης με τα οποία θα σχεδιαστεί το κτίριο. Στην δεύτερη γραμμή βρίσκονται τα εργαλεία του Open Studio plug-in. Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε και 3 γραμμές : η πράσινη γραμμή αντιπροσωπεύει το βορρά, η κόκκινη την ανατολή και η μπλε την κατακόρυφο.

Τα παραπάνω στοιχεία είναι πολύ βασικά καθώς η γνώση τους βοηθά στον σωστό προσανατολισμό του κτιρίου.

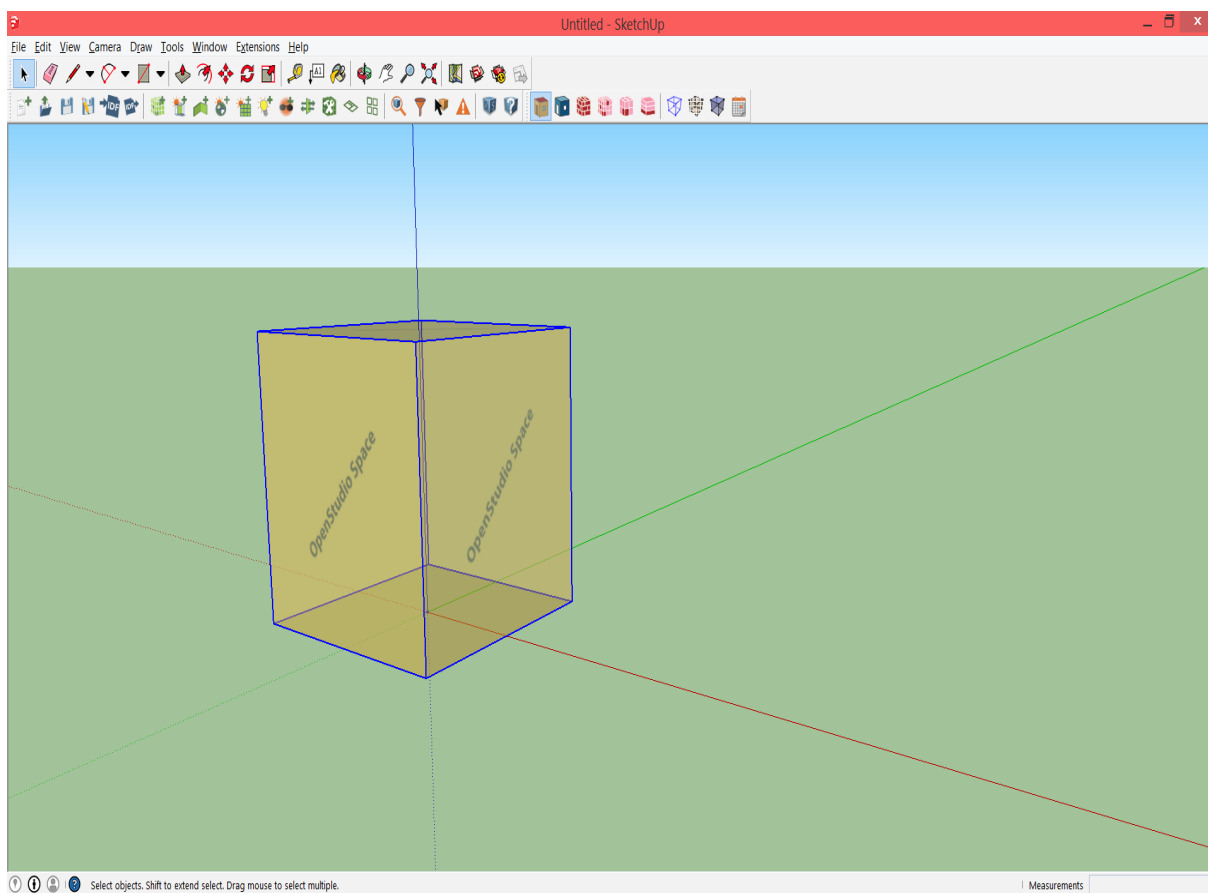
Στη συνέχεια πρέπει να εισαχθεί η θερμική ζώνη μέσα στην οποία στη συνέχεια θα αρχίσει ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του κτιρίου. Η εισαγωγή της θερμικής

ζώνης γίνεται με το εργαλείο New Space από το toolbar του Open Studio Plug in.



Εικόνα 32. New Space Tool (Δημιουργία Θερμικής Ζώνης)

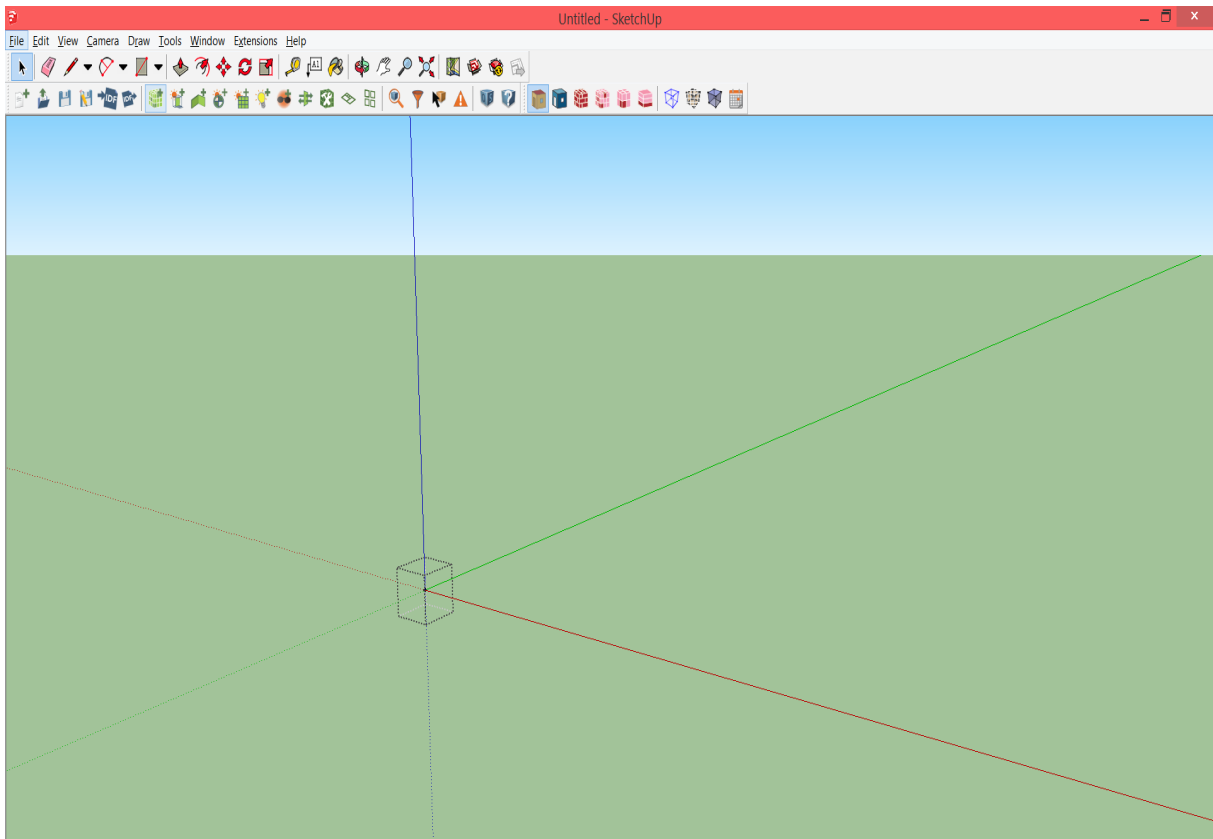
Αφού επιλέγει το εργαλείο εμφανίζεται ένας κύβος θερμικής ζώνης με μπλε ακμές, οι οποίες και αποτελούν τα όρια της



Εικόνα 33. Open Studio New Space (3d αναπαράσταση ορίων Θερμικής Ζώνης)

Με διπλό κλικ πάνω στον κύβο ενεργοποιείται η θερμική ζώνη. Ιδιαίτερα σημαντικό να τονίσουμε είναι ότι μόνο όταν είναι ενεργοποιημένη η θερμική

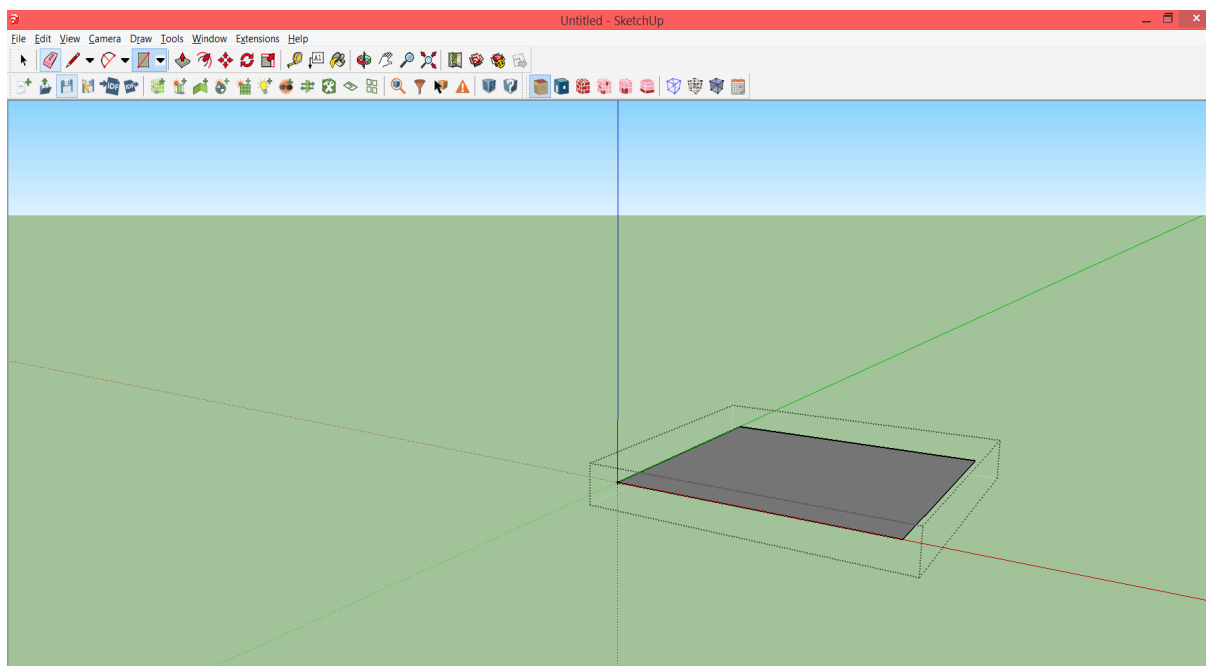
ζώνη μπορούν να σχεδιαστούν επιφάνειες τις οποίες αργότερα το Energy Plus θα αναγνωρίσει σαν τοιχοποιία κλπ.



Εικόνα 34. Μορφή Επεξεργασίας Θερμικής Ζώνης

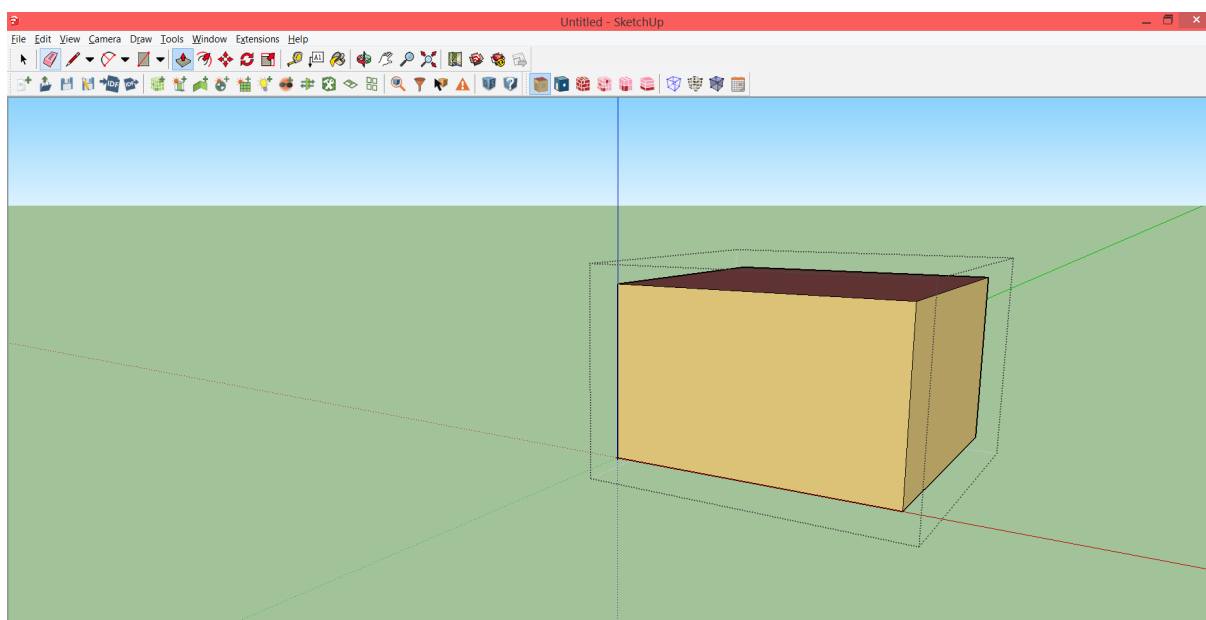
Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, η θερμική ζώνη έχει ενεργοποιηθεί και πλέον μπορούμε να αρχίσουμε την σχεδίαση. Με το εργαλείο shapes

σχεδιάζουμε ένα ορθογώνιο $5 \times 5 \text{ m}^2$ το οποίο ουσιαστικά θα είναι το πάτωμα.



Εικόνα 35. Δημιουργία Επιφάνειας Δαπέδου 1ης Θερμικής Ζώνης

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο παραπάνω ορθογώνιο. push-pull tool για να δώσουμε ύψος (3 m) στο



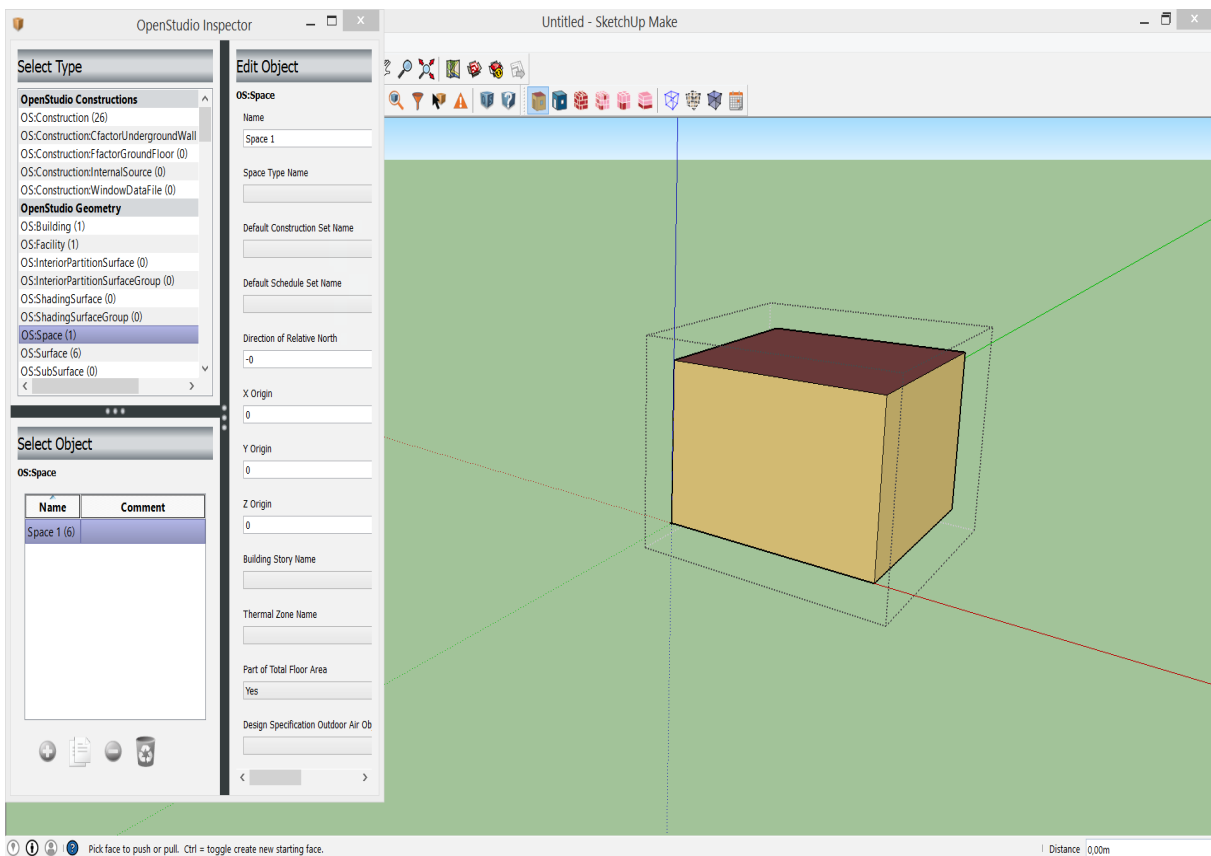
Εικόνα 36. Δημιουργία Τρισδιάστατης Επιφάνειας 1ης Θερμικής Ζώνης (Push-Pull tool)

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, οι επιφάνειες του σχήματος έχουν αλλάξει χρώμα. Αυτό είναι η ένδειξη ότι το Energy Plus έχει ταυτίσει τις κατακόρυφες επιφάνειες με τοίχους και τις οριζόντιες με οροφή -πάτωμα.

Πριν ξεκινήσουμε να σχεδιάζουμε την πόρτα, τα παράθυρα, τις θυρίδες αερισμού και το υαλοστάσιο του τοίχου Trombe, θα αναφέρουμε κάποια εργαλεία του Open Studio τα οποία δίνουν στοιχεία για τις επιφάνειες που έχουν σχεδιαστεί.

Αρχικά το Open Studio Inspector πρόκειται για ένα παράθυρο το οποίο ενημερώνει τον χρήστη

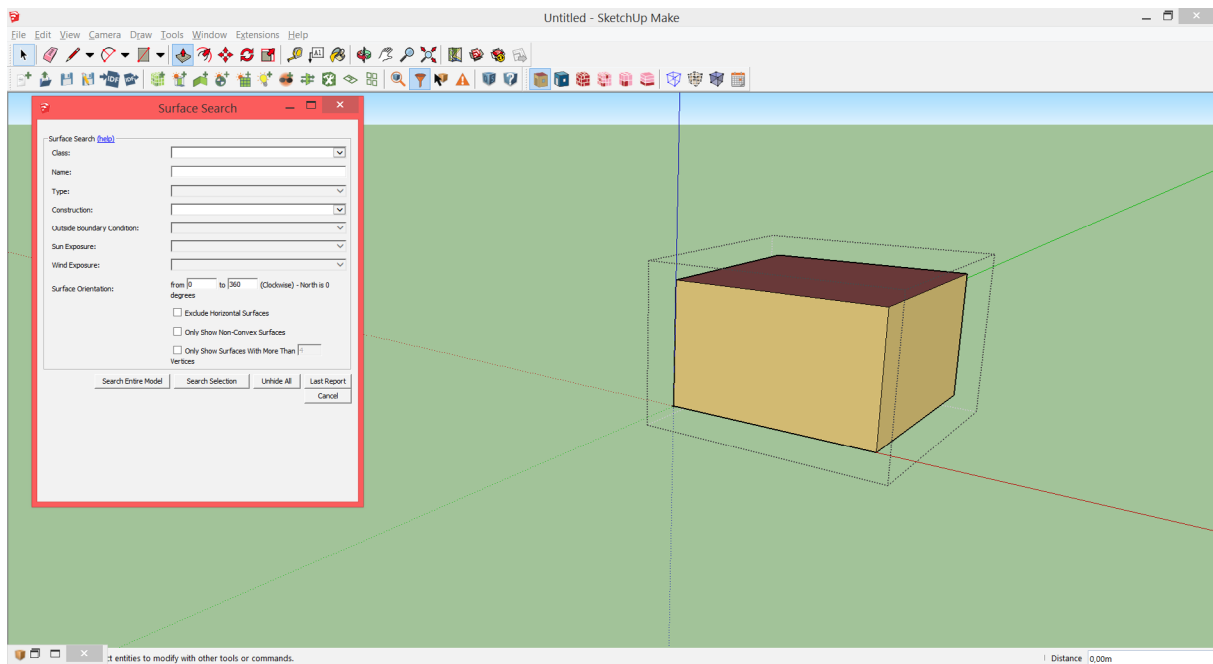
για όλες τις πληροφορίες των επιφανειών, όπως συντεταγμένες, είδος επιφάνειας, έκταση κλπ. Επίσης, μέσω του συγκεκριμένου εργαλείου, μπορούμε να ορίσουμε κάποια στοιχεία των επιφανειών, όπως για παράδειγμα το αν ένα παράθυρο θα είναι γυάλινο ή εάν θα ανοίγει ή θα είναι μόνο κλειστό κ.ά.



Εικόνα 37. Open Studio Inspector

Επίσης πολύ χρήσιμο εργαλείο είναι το Surface Match με το οποίο μπορούμε να βλέπουμε το όνομα της επιφάνειας, τον τύπο της, το είδος της κατασκευής, το

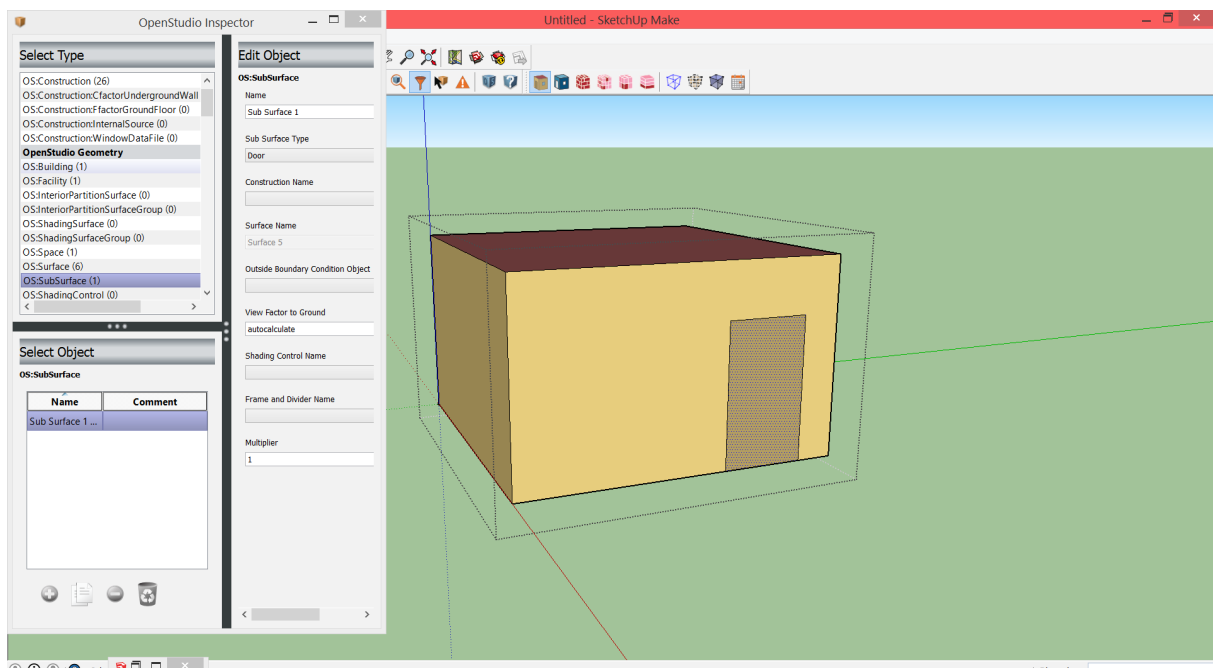
αν είναι εκτεθειμένη σε ήλιο, αέρα κλπ.



Εικόνα 38. Surface Search Tool

Επίσης πολύ χρήσιμο εργαλείο είναι το Surface Match με το οποίο μπορούμε να βλέπουμε το όνομα της επιφάνειας, τον τύπο της, το είδος της κατασκευής, το

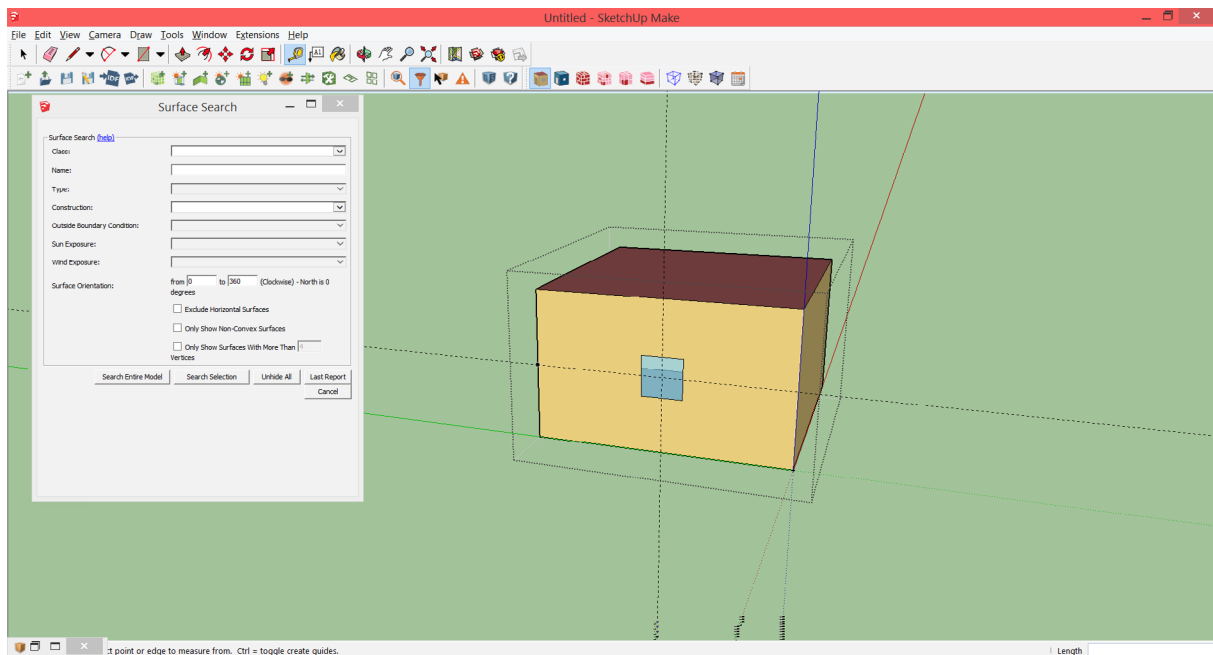
αν είναι εκτεθειμένη σε ήλιο, αέρα κλπ.



Εικόνα 39. Μορφοποίηση Πόρτας (Shape-Rectangle Tool)

Με την βοήθεια του εργαλείου tape measure tool, το οποίο χρησιμοποιείται για να μετρήσει αποστάσεις, να σχεδιάσει γραμμές καθοδήγησης και να αποδώσει

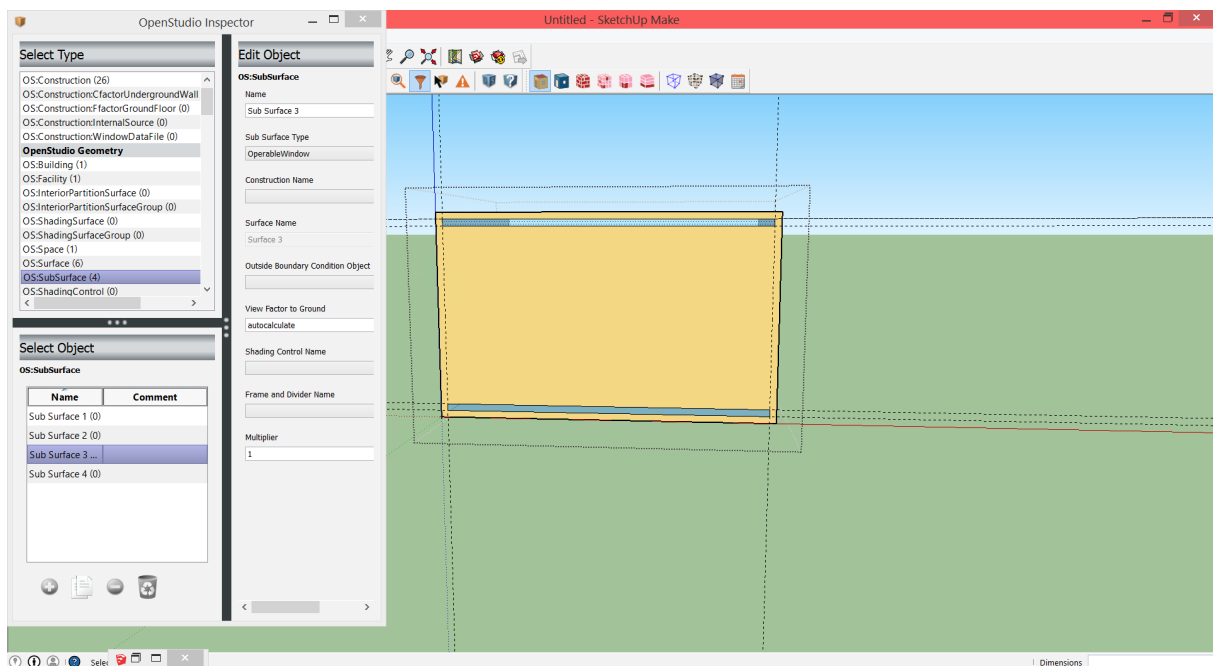
κλίμακα στο μοντέλο βρίσκουμε το κέντρο του τοίχου και από εκεί σχεδιάζουμε το παράθυρο.



Εικόνα 40. Μορφοποίηση Δυτικού Παραθύρου

Για τον σχεδιασμό των θυρίδων εξαερισμού του τοίχου Trombe θα ξαναχρησιμοποιήσουμε το tape measure tool για να σχεδιασθούν ομοιόμορφα και

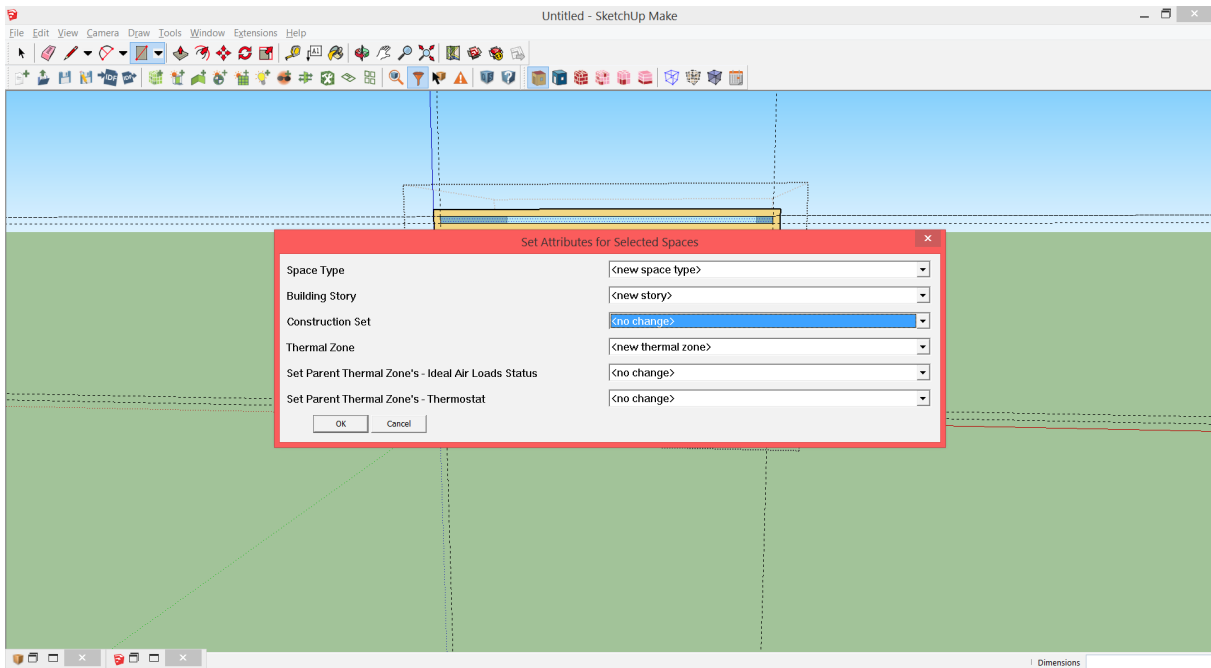
στο μέγεθος που θέλουμε. Οι θυρίδες έχουν πλάτος 0,1m.



Εικόνα 41. Σχεδιασμός Θυρίδων Εξαερισμού Τοίχου Trombe

Πλέον το πρώτο μέρος του κτιρίου δηλαδή η πρώτη θερμική ζώνη έχει σχεδιαστεί. Του προσδίδουμε τα χαρακτηριστικά της θερμικής ζώνης και του χώρου,

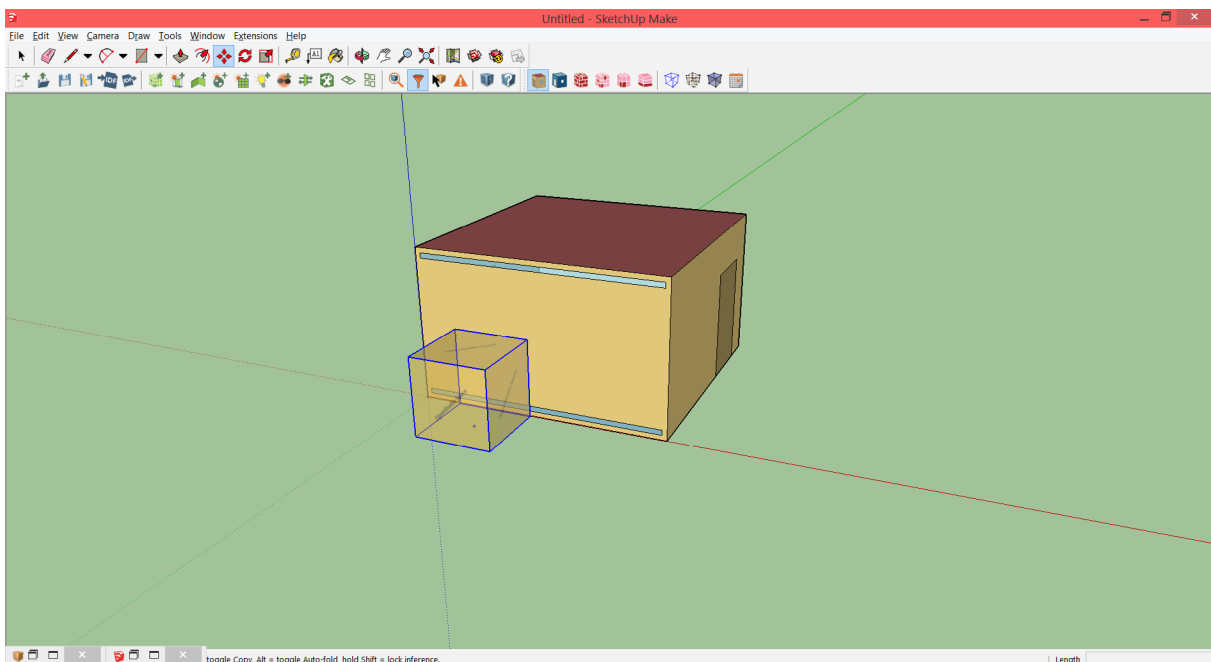
μέσω του εργαλείου Set Attributes for Selected Spaces.



Εικόνα 42. Χαρακτηριστικά Θερμικής Ζώνης (Attributes for Selected Spaces)

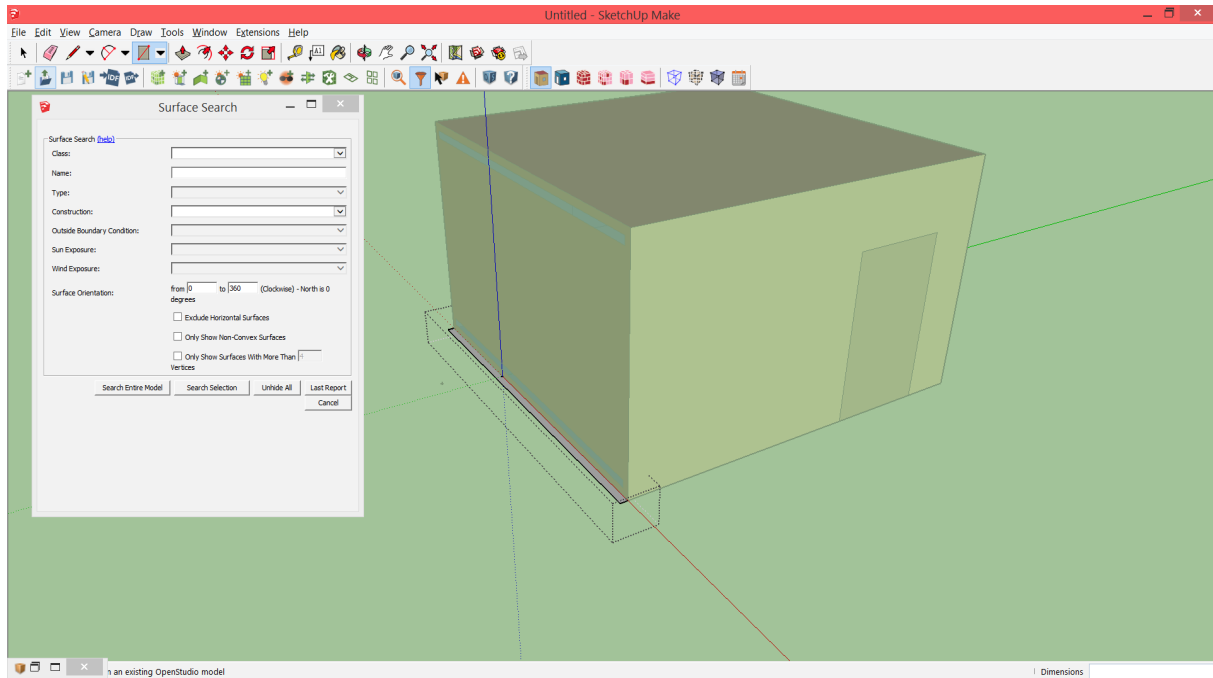
Στη συνέχεια θα προσθέσουμε την καινούργια θερμική ζώνη του συστήματος τοίχου Trombe—

διακένου-υαλοστασίου με το εργαλείο new space όπως αναφέραμε και παραπάνω.



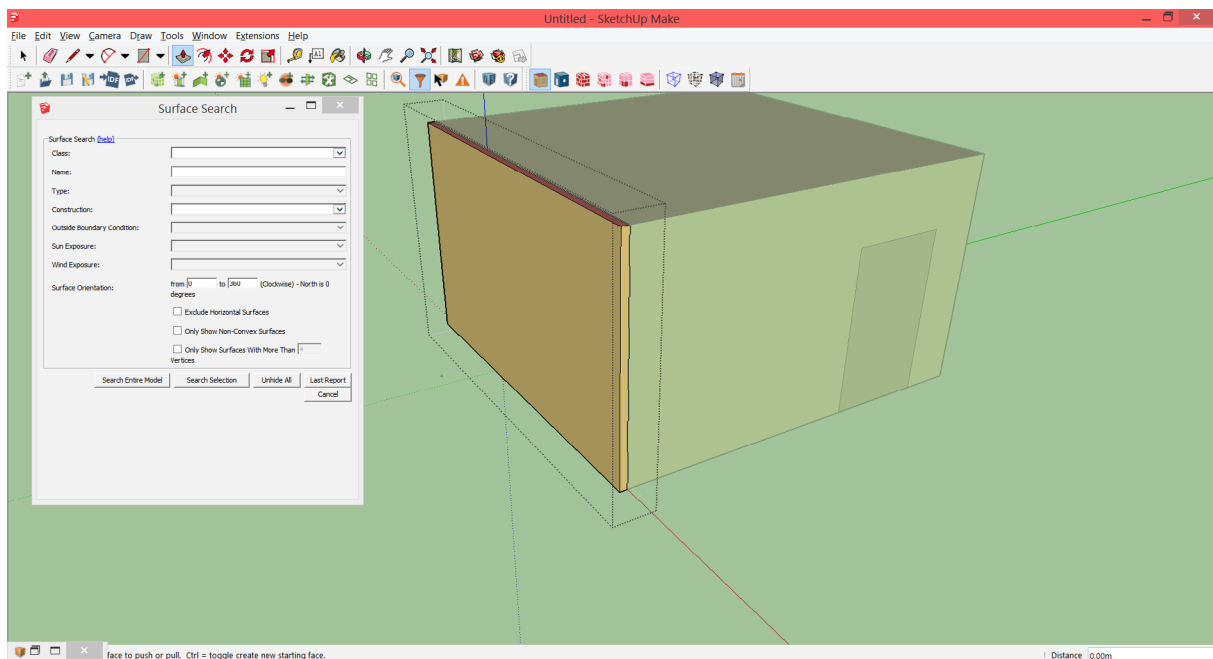
Εικόνα 43. Δημιουργία 2ης Θερμικής Ζώνης

Κάνοντας διπλό κλικ πάνω στη θερμική ζώνη 2 για να την ενεργοποιήσουμε θα σχεδιάσουμε την απόσταση του διακένου και το σύστημα τοίχου. Η απόσταση σχεδιάστηκε στα 0,1m.



Εικόνα 44. Δημιουργία Επιφάνειας Δαπέδου 2ης Θερμικής Ζώνης

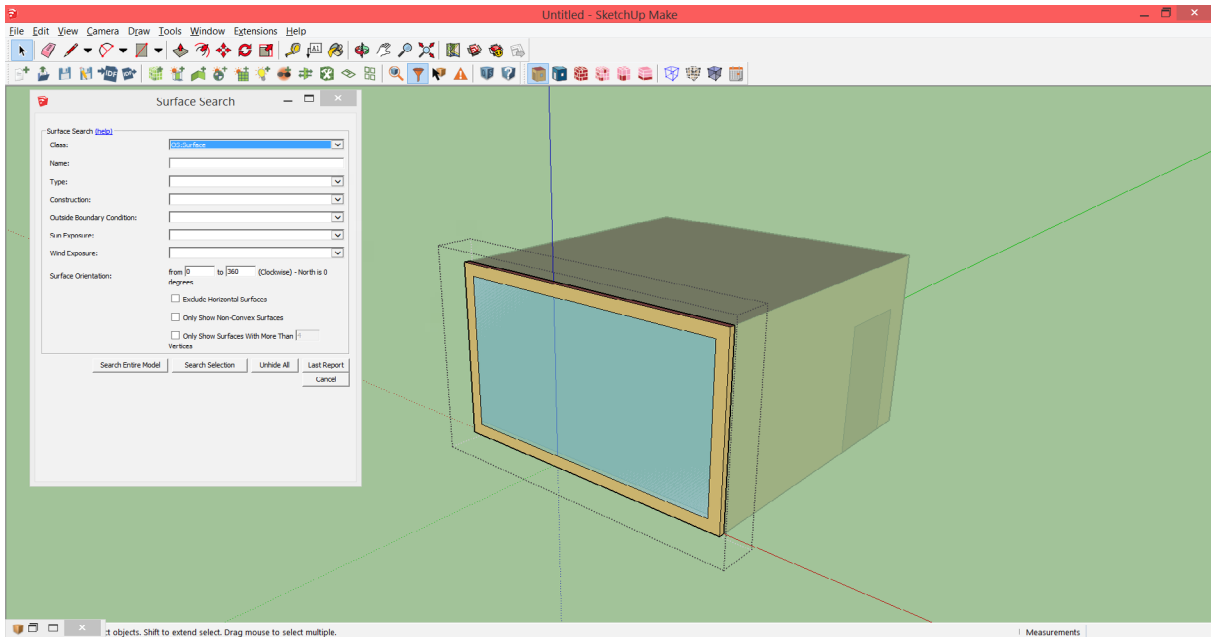
Με το push pull tool «σηκώνουμε» την επιφάνεια του διακένου στο ίδιο ύψος με το κτίριο.



Εικόνα 45. Δημιουργίας Τριδιάστατης Επιφάνειας 2ης Θερμικής Ζώνης

Και για να ολοκληρωθεί ο σχεδιασμός του υαλοστασίου, με το εργαλείο offset θα δημιουργήσουμε μια καινούργια επιφάνεια με ίδιες αναλογίες με την αρχική, με τις διαστάσεις που θα

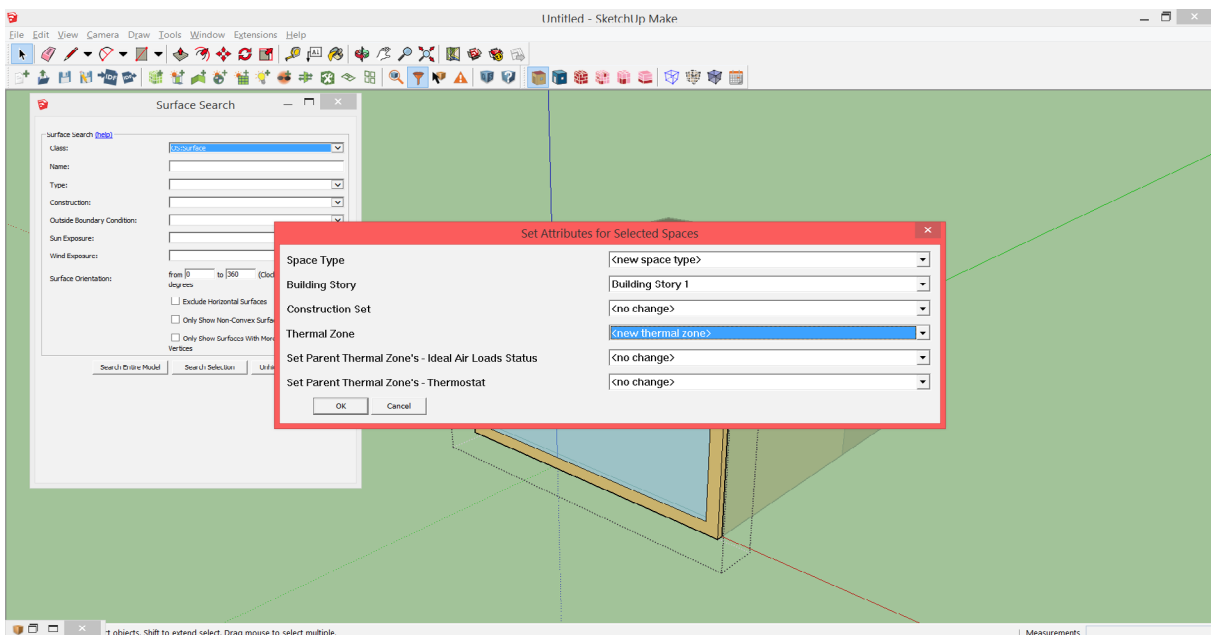
δηλώσουμε στο κάτω δεξιά κουτάκι (distance). Η απόσταση του υαλοστασίου από την ακμή του τοίχου δηλώθηκε στα 0,2m.



Εικόνα 46. Κατασκευή Υαλοστασίου (Offset tool)

Για να προδώσουμε τα χαρακτηριστικά της νέας θερμικής ζώνης στο σύστημα χρησιμοποιούμε το εργαλείο set attributes for selected spaces και την χαρακτηρίζουμε σαν Thermal Zone 2. Επίσης

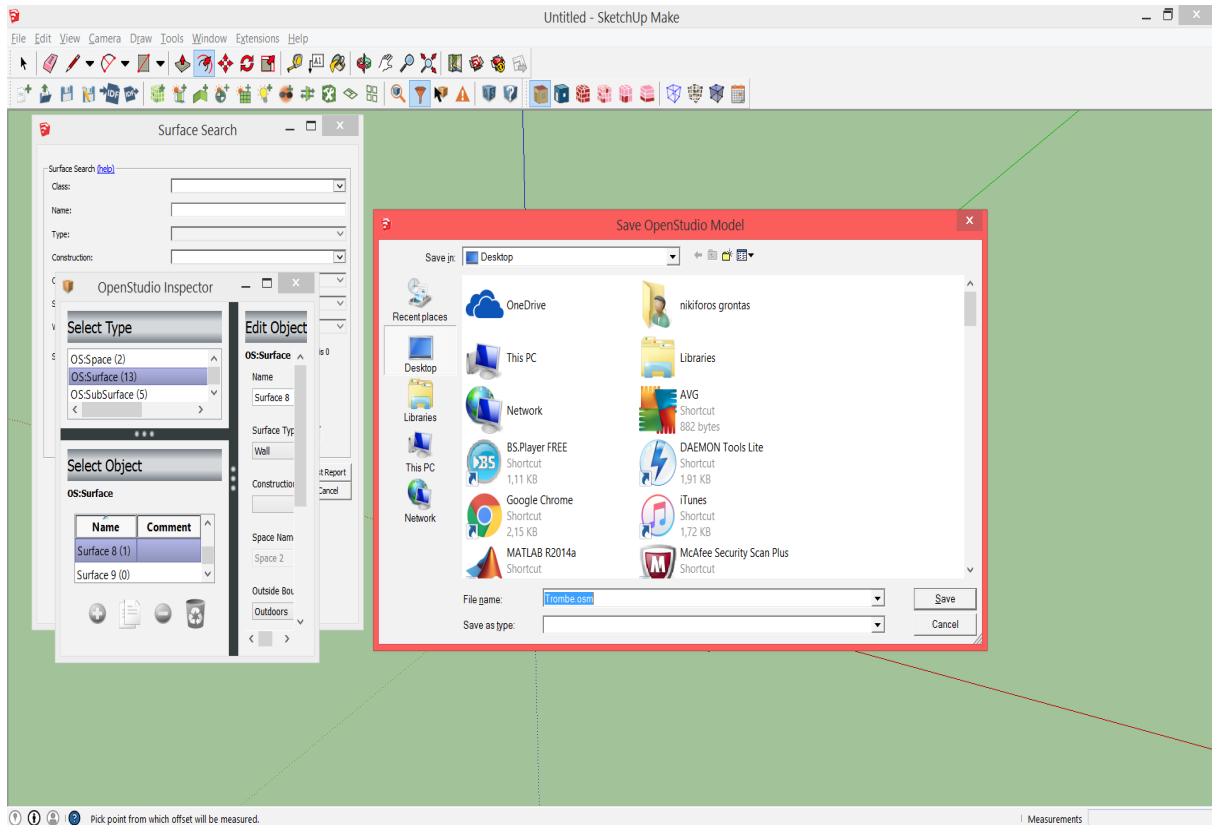
διαλέγουμε new space για να δηλώσουμε ότι πρόκειται για έναν νέο χώρο και παραμένει το Building 1 αφού το σύστημα βρίσκεται στο ίδιο κτίριο.



Εικόνα 47. Χαρακτηριστικά 2ης Θερμικής Ζώνης

Μέσω της εντολής save open studio model as, αποθηκεύουμε το αρχείο σε μορφή .osm με το όνομα που επιθυμούμε. Είναι βασικό να αποθηκευτεί το αρχείο σε αυτή την μορφή καθώς με αυτό τον τρόπο έχουν αποθηκευτεί οι γεωμετρίες και οι θερμικές

ζώνες που έχουν προσδοθεί στο μοντέλο μέσω του Open Studio. Το Sketch-up δεν αναγνωρίζει αυτές τις γεωμετρίες όταν αποθηκευτεί σε αρχείο .skp

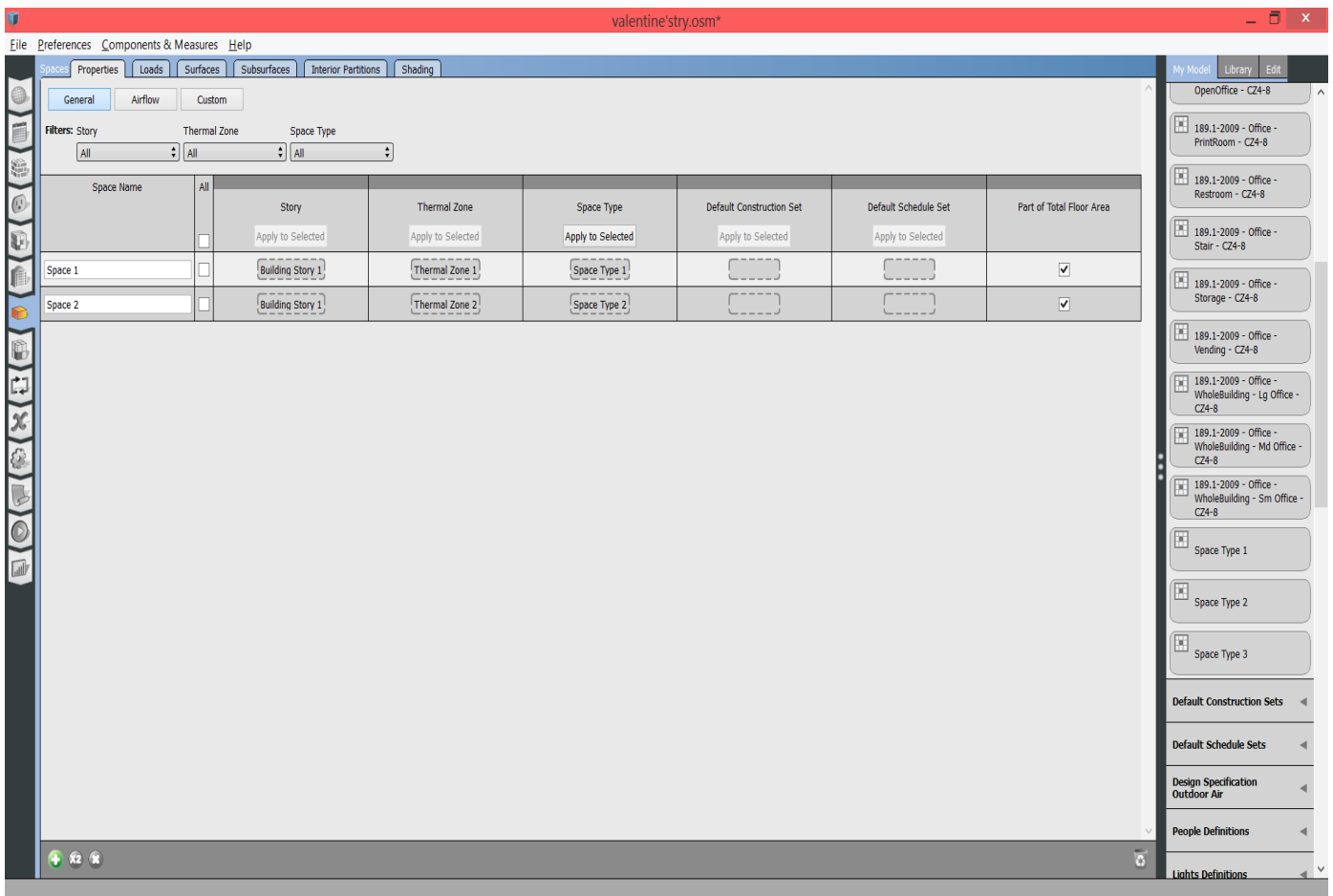


Εικόνα 48. Αποθήκευση Μοντέλου ως Αρχείο osm.

3.3.3 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ IDF EDITOR

Το βασικό μοντέλο του κτιρίου έχει κατασκευαστεί οπότε στη συνέχεια με την εντολή Launch Open Studio θα ανοίξουμε την επιφάνεια εργασίας του Open

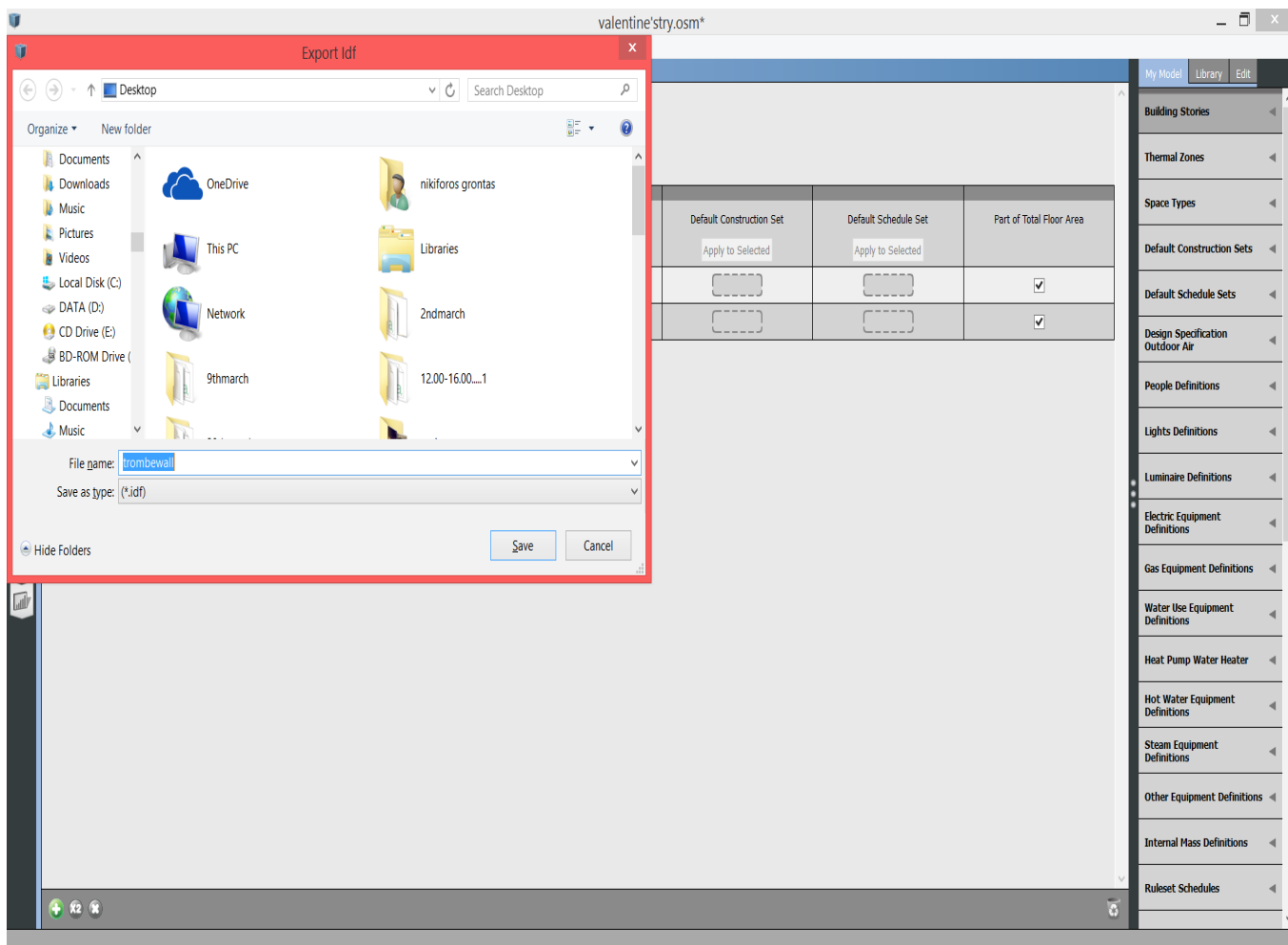
Studio για να αντιστοιχήσουμε τα χαρακτηριστικά των χώρων-θερμικών ζωνών.



Εικόνα 49. Επιφάνεια Εργασίας Open Studio

Μέσω της εντολής file>export>idf θα εξάγουμε το αρχείο το οποίο θα είναι το προς επεξεργασία για το

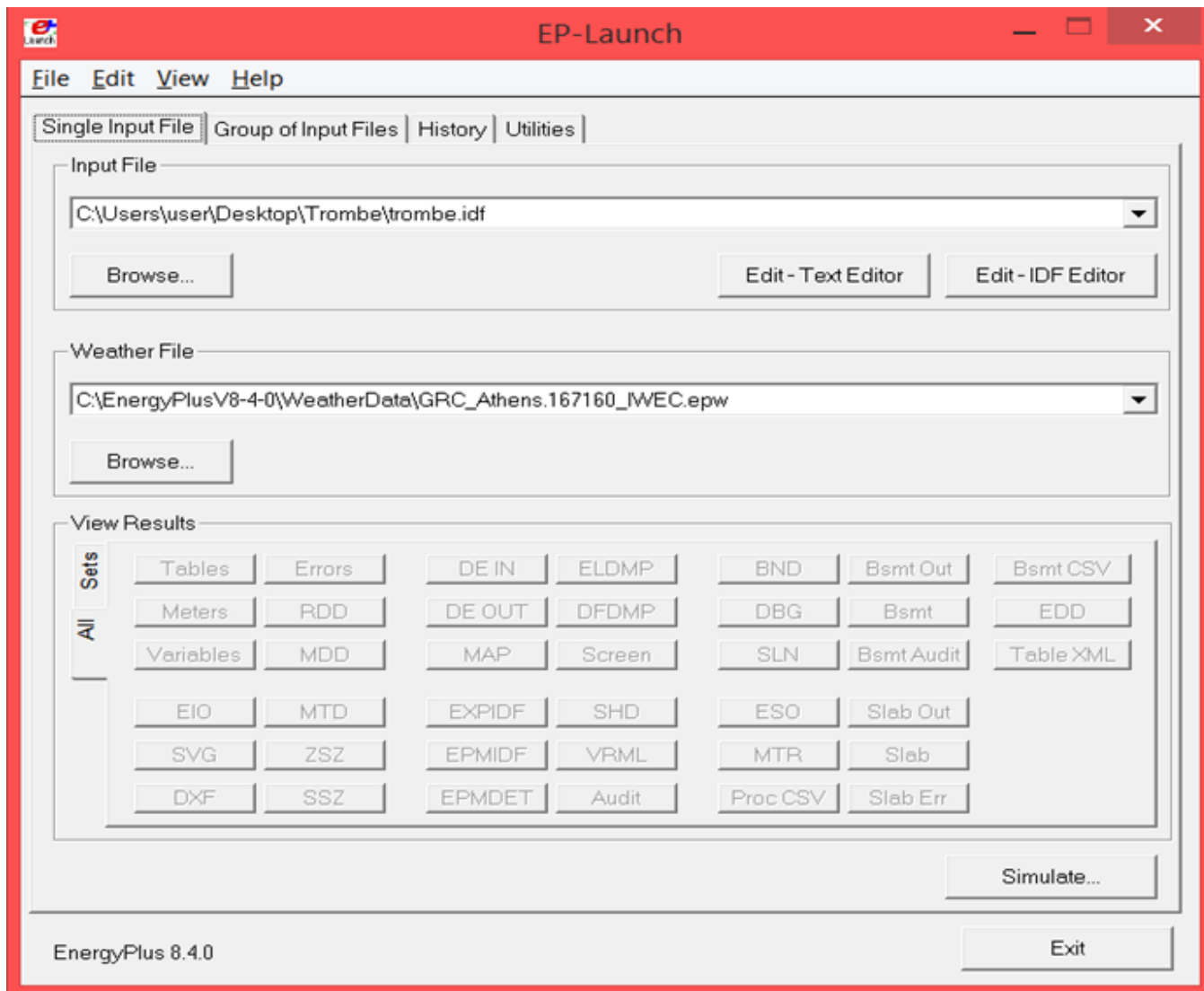
Energy Plus.



Εικόνα 50. Εισαγωγή αρχείου idf

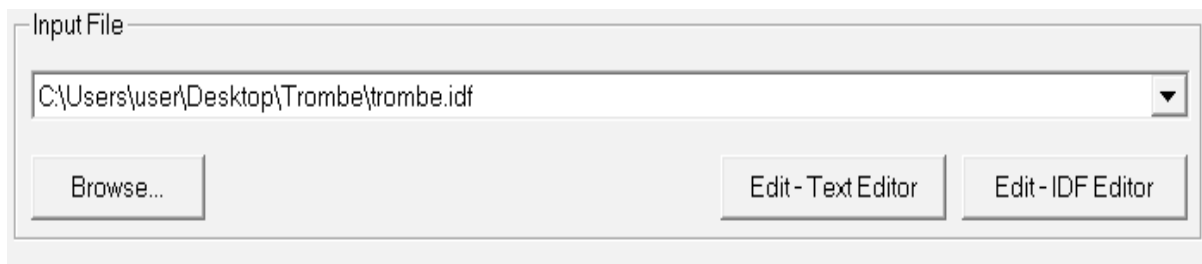
Όπως φαίνεται από την παραπάνω εικόνα η μορφή του αρχείου που αποθηκεύεται είναι .idf Κάνοντας κλικ στο αρχείο Trombe.idf ανοίγει η επιφάνεια

εργασίας του Energy Plus.



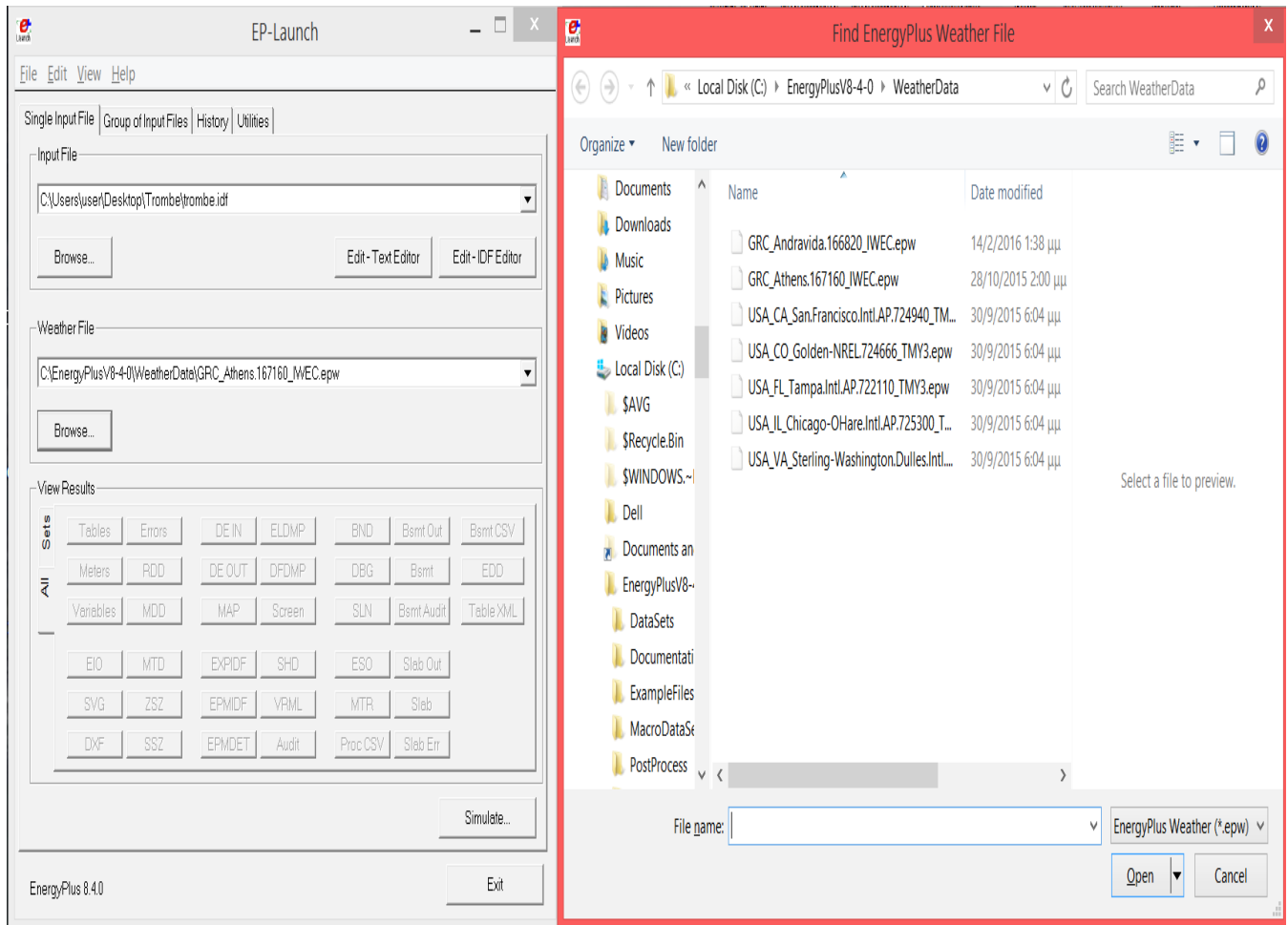
Εικόνα 51. Επιφάνεια Εργασίας Energy Plus (EP Launch)

Όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα έχει επιλεγεί η επεξεργασία ενός αρχείου.



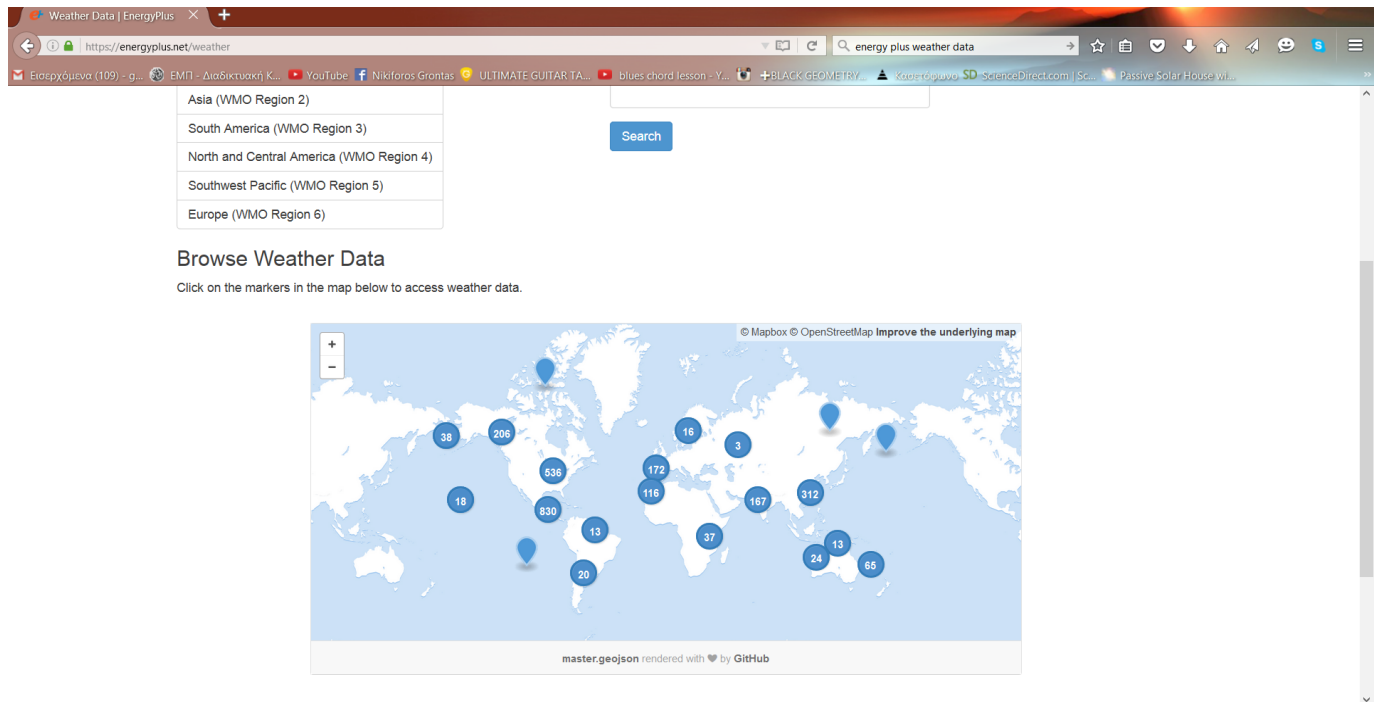
Εικόνα 52. Εισαγωγή αρχείου idf

Στη συνέχεια εισάγεται το αρχείο καιρού το οποίο είναι αποθηκευμένο κατά την εγκατάσταση του προγράμματος στο φάκελο του Energy Plus.



Εικόνα 53. Εισαγωγή αρχείου καιρού (weather file)

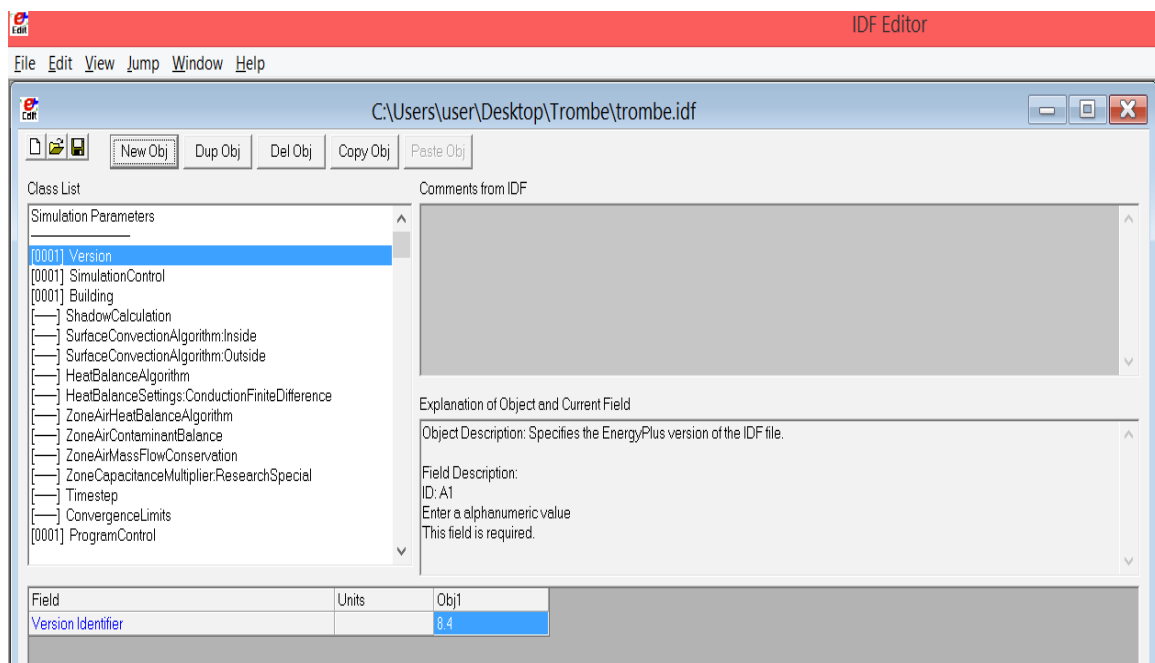
Εάν ο χρήστης επιθυμεί κάποια άλλη περιοχή μπορεί να ανατρέξει στο site του Energy Plus και από εκεί δίνεται μια πληθώρα επιλογών για όλο τον κόσμο.



Εικόνα 54. Δεδομένα Καιρού για Διάφορες Περιοχές

Για να ξεκινήσει η επεξεργασία των δεδομένων κάνουμε κλικ στην επιλογή Edit- Idf Editor που είναι η κύρια κοσόλα επεξεργασίας όλων των στοιχείων του

μοντέλου που έχουμε εισάγει. Η επιφάνεια εργασίας του είναι η παρακάτω :



Εικόνα 55. Επιφάνεια Εργασίας Idf Editor

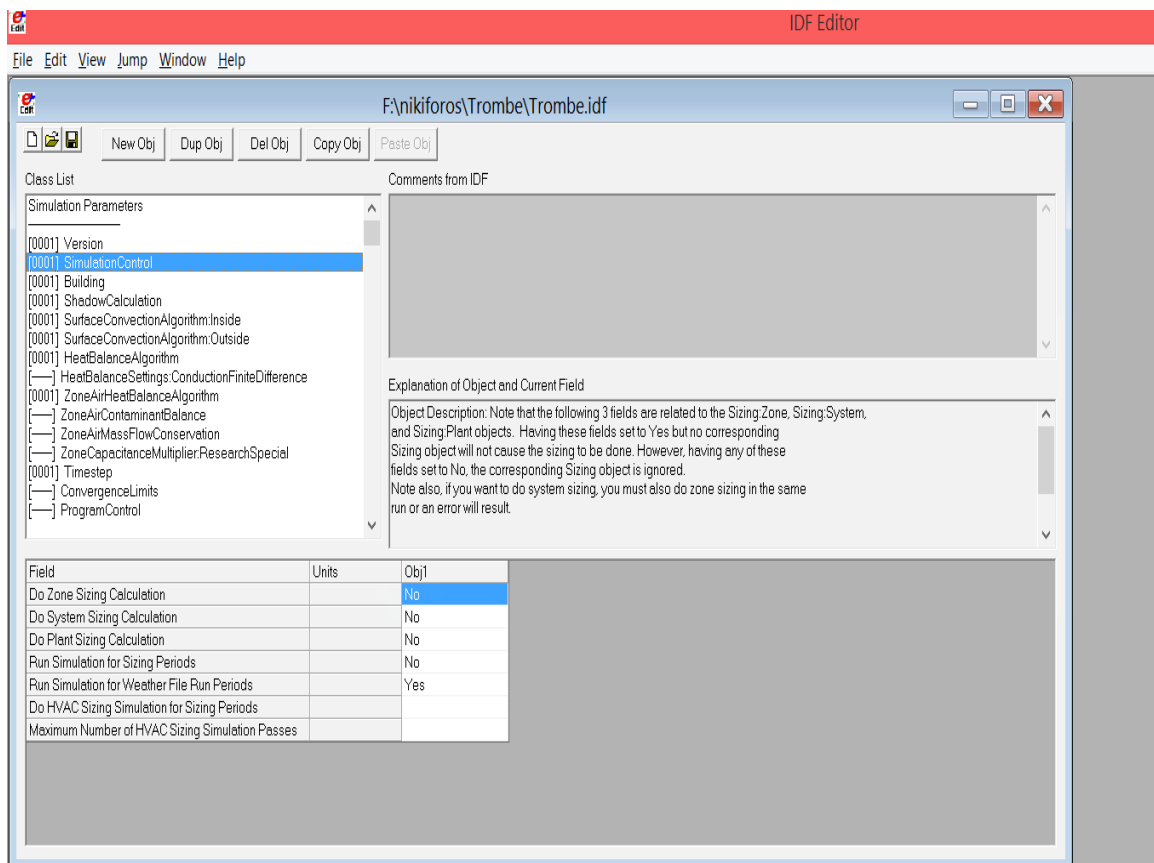
Από την γραμμή εργαλείων επιλέγουμε view>show classes with objects only έτσι ώστε να εμφανίζονται οι κλάσεις οι οποίες έχουν αντικείμενα. Για οποιαδήποτε άλλη παράμετρο προσομοίωσης επιθυμούμε, μπορούμε να ξεμαρκάρουμε την επιλογή και εμφανίζεται η λίστα με όλα τα αντικείμενα.

Simulation Parameters

- Do Zone Sizing Calculation: No. Το συγκεκριμένο πεδίο υπολογίζει θερμικά και ψυκτικά φορτία με βάση ένα ιδανικό θεωρητικό μοντέλο.
- Do System Sizing Calculation: No. Υπολογίζονται τα συνολικά θερμικά και ψυκτικά φορτία με βάση ένα απλοποιημένο μοντέλο.
- Do Plant Sizing Calculation: No. Δεν επιθυμούμε τον υπολογισμό της δυναμικότητας των συστημάτων θέρμανσης ψύξης αφού δεν θα

υπάρχουν στο μοντέλο μας.

- Run Simulation for Sizing Periods: No. Δεν ενδιαφέρουν την προσομοίωση μας οι πρότυπες μέρες.
- Run Simulation for Weather File Run Periods: Yes. Πραγματοποίηση της προσομοίωσης για περιόδους του έτους που θα δηλωθούν μετέπειτα, σύμφωνα με το αρχείο καιρού που έχουμε εισάγει.



Εικόνα 56. Παράμετροι Προσομοίωσης (Simulation Parameters)

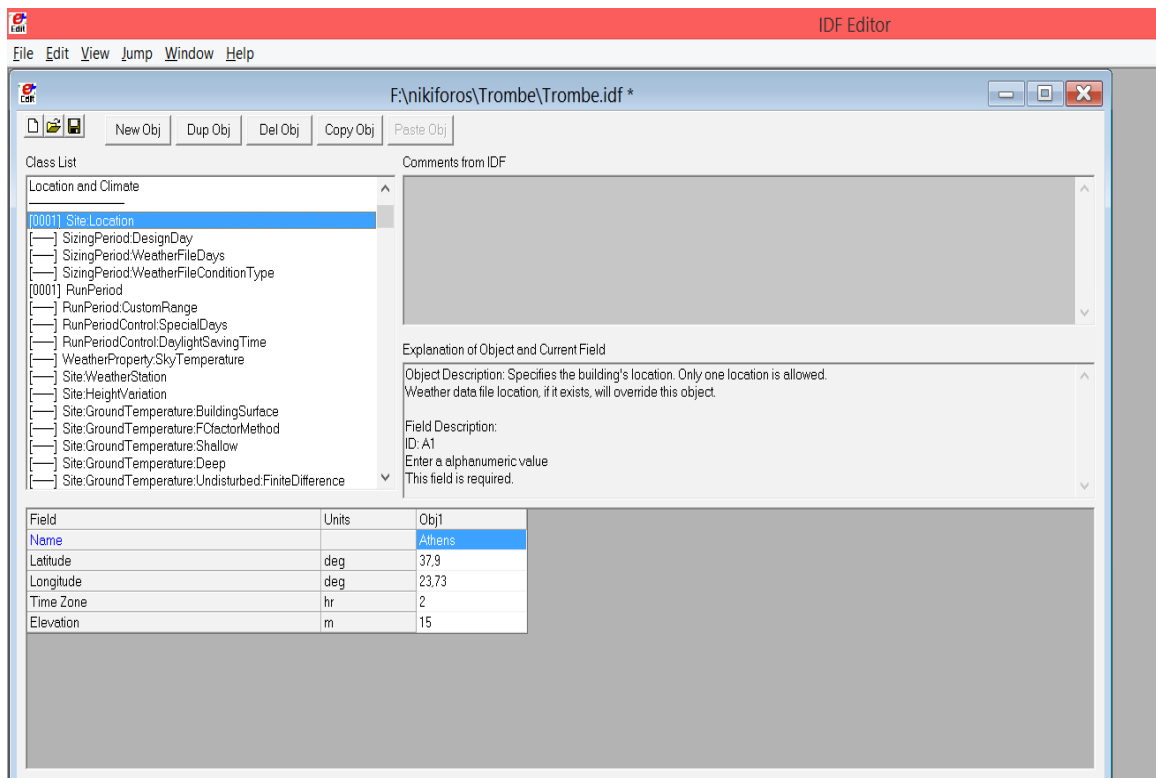
- Στο πεδίο Building έχει οριστεί ένα αντικείμενο με όνομα Building 1 (εισαγωγή δεδομένων αυτόματα από Open Studio)
- Στο πεδίο Shadow Calculation το οποίο ελέγχει τον σκιασμό του μοντέλου, εισάγεται ένα αντικείμενο με όνομα AverageOverDaysIn-Frequency με τις default παραμέτρους του προγράμματος.
- Στο πεδίο SurfaceConvectionAlgorithm: Inside το προεπιλεγμένο αντικείμενο για τον αλγόριθμο επίλυσης της ροής θερμότητας στο εσωτερικό των επιφανειών είναι ο αλγόριθμος TARP.
- Στο πεδίο SurfaceConvectionAlgorithm: Outside αντίστοιχα με το παραπάνω αντικείμενο αλλά για τις εξωτερικές επιφάνειες, έχουμε τον αλγόριθμο DOE-2.
- Στο πεδίο HeatBalanceAlgorithm: επιλέγεται ο αλγόριθμος υπολογισμού της θερμότητας και υγρασίας για τις επιφάνειες του κτιρίου.

Επιλέγεται το default αντικείμενο Conduction-TransferFunction.

- Στο πεδίο ZoneAirHeatBalanceAlgorithm: υπολογίζεται η ισορροπία θερμότητας του αέρα για κάποια ζώνη με αλγόριθμο AnalyticalSolution.
- Στο πεδίο Timestep: επιλέγεται το χρονικό βήμα της προσομοίωσης σε 60.

Location and Climate

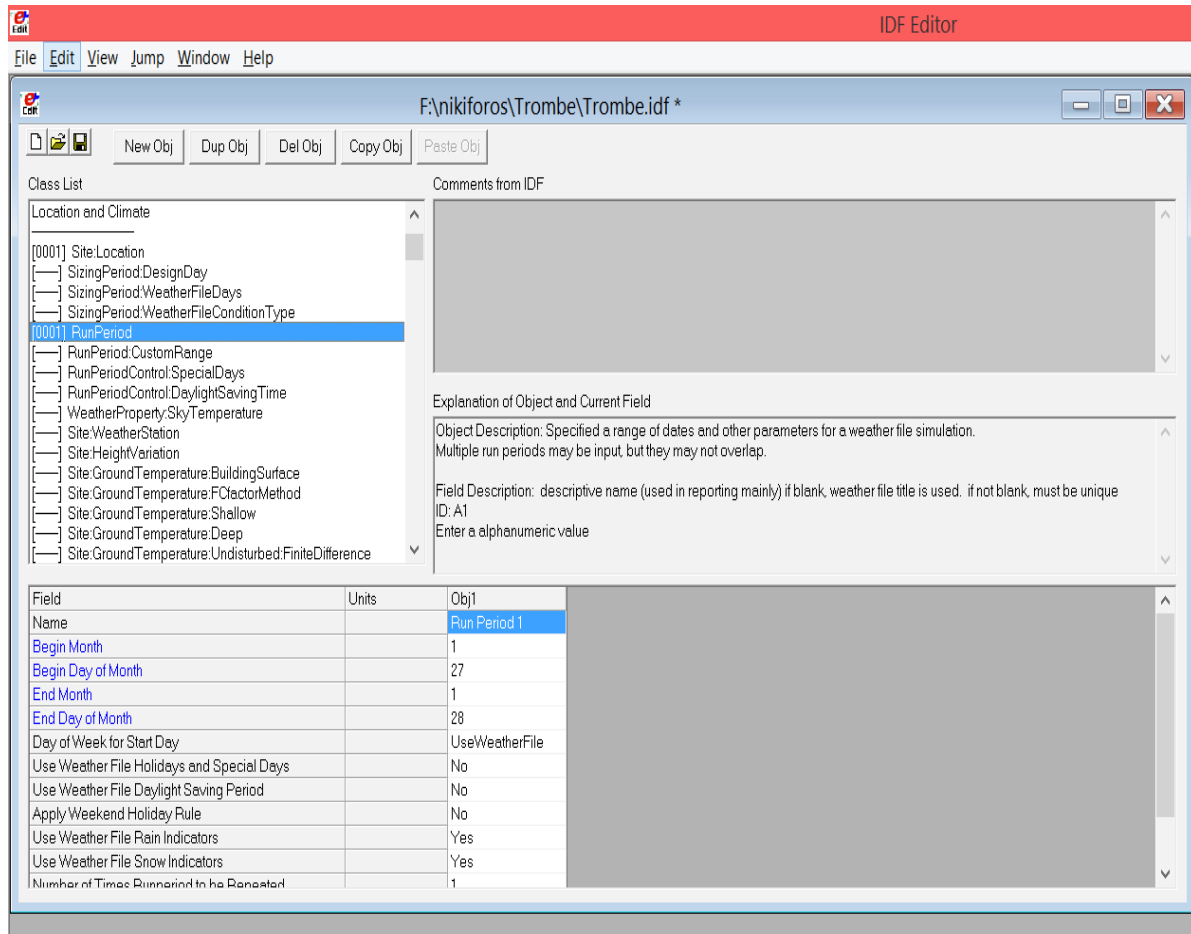
- Στο πεδίο Site: Location εισήχθησαν τα δεδομένα για την Αθήνα
 1. Γεωγραφικό πλάτος (Latitude) : 37,9deg
 2. Γεωγραφικό μήκος (Longitude) : 23,73deg
 3. Ζώνη ώρας (Time Zone) : 2hr
 4. Υψόμετρο (Elevation) : 15m



Εικόνα 57. Site Location

Το πεδίο Run Period είναι ένα πολύ σημαντικό σημείο στην προσομοίωση καθώς προσδιορίζει την περίοδο στην οποία θα γίνει η προσομοίωση. Στα πεδία που αναφέρουν τη χρήση του αρχείου καιρού για ημέρες εορτών (Holidays), ειδικές μέρες (Special Days), περίοδο θερινής ώρας (Daylight Saving Period) κ.ά, η τιμή της παραμέτρου έχει οριστεί σε No καθώς δεν

επιθυμούμε διάκριση των ημερών. Στο παρών αρχείο έχει επιλεγεί, η προσομοίωση να γίνει για μία μέρα του Ιανουαρίου(27η) κατά την οποία παρατηρήσαμε ότι υπάρχει μεγάλη διακύμανση θερμοκρασίας.



Εικόνα 58. Περίοδος Προσομοίωσης

Schedules

Επόμενο πολύ βασικό Class του Idf Editor είναι τα Schedules. Πρόκειται για τον προγραμματισμό των διάφορων δραστηριοτήτων ή χρήσεων του κτιρίου όπως ηλεκτρικές συσκευές, φωτισμός αλλά και η δραστηριότητα των χρηστών. Υπάρχουν 2 βασικοί τρόποι στην ανάλυση των προγραμμάτων. Αρχικά το σταδιακό χτίσιμο μέσω ημερήσιων, εβδομαδιαίων και εν τέλει ετήσιων, ή κατευθείαν μέσω του πεδίου Schedules: Compact στο οποίο καταστρώνουμε το ετήσιο πρόγραμμα. Τα ονόματα των προγραμμάτων έχουν οριστεί από InputOutputReference του Energy Plus Documentation. Και παρακάτω εξηγούνται οι τιμές που τους έχουν δοθεί :

- Το πρόγραμμα Number of People Year Schedule. Δεδομένου ότι έχει σχεδιαστεί ένα δωμάτιο για την προσομοίωση επιλέγουμε 1 άτομο για όλη τη διάρκεια του χρόνου.
- Το πρόγραμμα Activity Level Year Schedule. Η επιλογή που έχει γίνει, είναι για ένα άτομο καθιστό με μειωμένη δραστηριότητα και τιμή ίση με 108W/άτομο. Ενημερώνει για το επίπεδο και το είδος των δραστηριοτήτων των ατόμων που βρίσκονται στον χώρο. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται ένα σύνολο δραστηριοτήτων με τις τιμές σε W/άτομο :

Table 11. Metabolic Rates for Various Activities

Activity	Activity Level w/Person EnergyPlus Schedule Value	Activity Level W/m2	met*
Resting			
Sleeping	72	40	0.7
Reclining	81	45	0.8
Seated, quiet	108	60	1
Standing, relaxed	126	70	1.2
Walking (on level surface)			
3.2 km/h (0.9 m/s)	207	115	2
4.3 km/h (1.2 m/s)	270	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	396	220	3.8
Office Activities			
Reading, seated	99	55	1
Writing	108	60	1
Typing	117	65	1.1
Filing, seated	126	70	1.2

306

Filing, standing	144	80	1.4
Walking about	180	100	1.7
Lifting/packing	216	120	2.1
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	171 to 207	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	207 to 360	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	234	130	2.2
Machine work	189	105	1.8
sawing (table saw)	207 to 252	115 to 140	2.0 to 2.4
light (electrical industry)	423	235	4
Handling 50 kg bags	423	235	4

Πίνακας 4. Μεταβολικοί Ρυθμοί Διάφορων Δραστηριοτήτων

- Το πρόγραμμα Work Efficiency Year Schedule. Αφορά την απόδοση διαχείρισης ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα για υπολογισμούς θερμικής άνεσης και η τιμή του κυμαίνεται ανάμεσα στο 0 και το 1, όπου 0 σημαίνει ότι όλη η ενέργεια που παράγεται στο σώμα μετατρέπεται σε θερμότητα, ενώ το 1 αντιστοιχεί στην περίπτωση όπου όλη η ενέργεια του σώματος μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Από τη στιγμή που θεωρήσαμε ότι το άτομο είναι καθιστό με μειωμένη δραστηριότητα, η μεταβλητή θα πάρει την τιμή 0.
- Το πρόγραμμα Clothing Insulation Year Schedule. Καθορίζει την ποσότητα και το είδος ρουχισμού που φορά το άτομο και μετράται σε Clo.0 παρακάτω πίνακας από το Addendum of

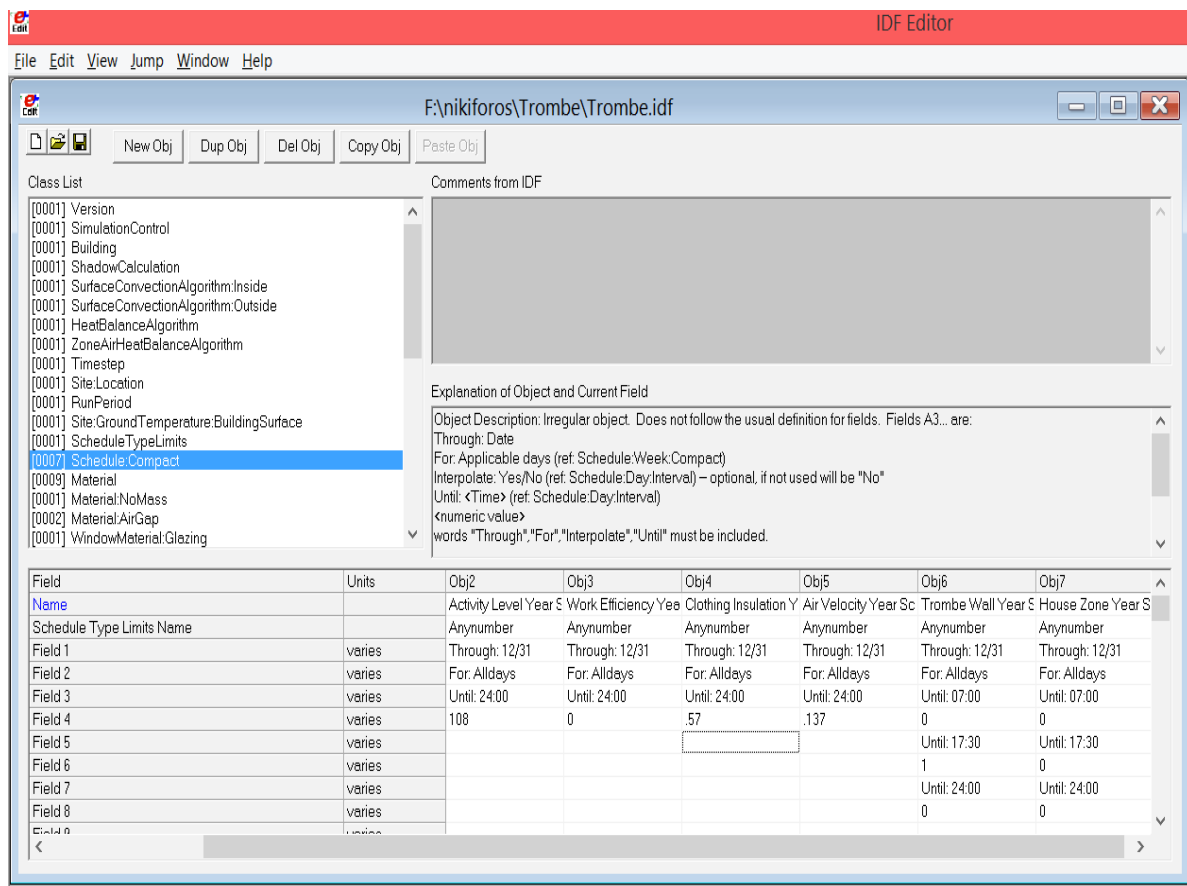
Ashrae Standard 55-2010 δίνει διάφορες τιμές για διαφορετικό ρουχισμό. Η επιλογή που έγινε είναι για μακρύ παντελόνι και κοντομάνικο πουκάμισο με τιμή 0.57.

TABLE B4-5.2.2.2A Clothing Insulation Values for Typical Ensembles*

Clothing Description	Garments Included ^{b,c}	<i>I_{cl}</i> (clo)
Trousers	1) Trousers, short-sleeve shirt	0.57
	2) Trousers, long-sleeve shirt	0.61
	3) #2 plus suit jacket	0.96
	4) #2 plus suit jacket, vest, T-shirt	1.14
	5) #2 plus long-sleeve sweater, T-shirt	1.01
	6) #5 plus suit jacket, long underwear bottoms	1.30
Skirts/Dresses	7) Knee-length skirt, short-sleeve shirt (sandals)	0.54
	8) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, full slip	0.67
	9) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, long-sleeve sweater	1.10
	10) Knee-length skirt, long-sleeve shirt, half slip, suit jacket	1.04
	11) Ankle-length skirt, long-sleeve shirt, suit jacket	1.10
Shorts	12) Walking shorts, short-sleeve shirt	0.36
Overalls/Coveralls	13) Long-sleeve coveralls, T-shirt	0.72
	14) Overalls, long-sleeve shirt, T-shirt	0.89
	15) Insulated coveralls, long-sleeve thermal underwear tops and bottoms	1.37
Athletic	16) Sweat pants, long-sleeve sweatshirt	0.74
Sleepwear	17) Long-sleeve pajama tops, long pajama trousers, short 3/4 length robe (slippers, no socks)	0.96

Πίνακας 5. Τυπικές Τιμές Μόνωσης Διαφόρων Ειδών Ρουχισμού

- Το πρόγραμμα Air Velocity Year Schedule. Δίνει την τιμή της ταχύτητας του αέρα σε m/s, η οποία ορίστηκε στα 0,137 m/s.
- Το πρόγραμμα Trombe Wall Year Schedule το οποίο ορίζει το άνοιγμα και το κλείσιμο των θυρίδων του τοίχου Trombe. Η τιμή 0 σημαίνει ότι οι θυρίδες παραμένουν κλειστές ενώ το 1 ότι ανοίγουν. Το πρόγραμμα που επιλέξαμε στο συγκεκριμένο σενάριο ήταν το εξής:
 1. 24.00-07.00 οι θυρίδες παραμένουν κλειστές
 2. 07.00-17.30 οι θυρίδες ανοίγουν
 3. 17.00-24.00 οι θυρίδες κλείνουν και πάλι
- Το πρόγραμμα House Zone Year Schedule το οποίο αντίστοιχα με το από πάνω, ενημερώνει για το άνοιγμα και το κλείσιμο των παραθύρων-πορτών για φυσικό αερισμό του σπιτιού.
 1. 24.00-11.00 τα παράθυρα παραμένουν κλειστά
 2. 11.00-14.00 τα παράθυρα ανοίγουν
 3. 14.00-17.00 κλείνουν
 4. 17.00-18.30 ανοίγουν
 5. 18.30-24.00 κλείνουν
 (Τα παραπάνω προγράμματα αφορούν την προσομοίωση του κτιρίου κατά την 27η Ιανουαρίου.)



Εικόνα 59. Προγράμματα Λειτουργίας (Schedules)

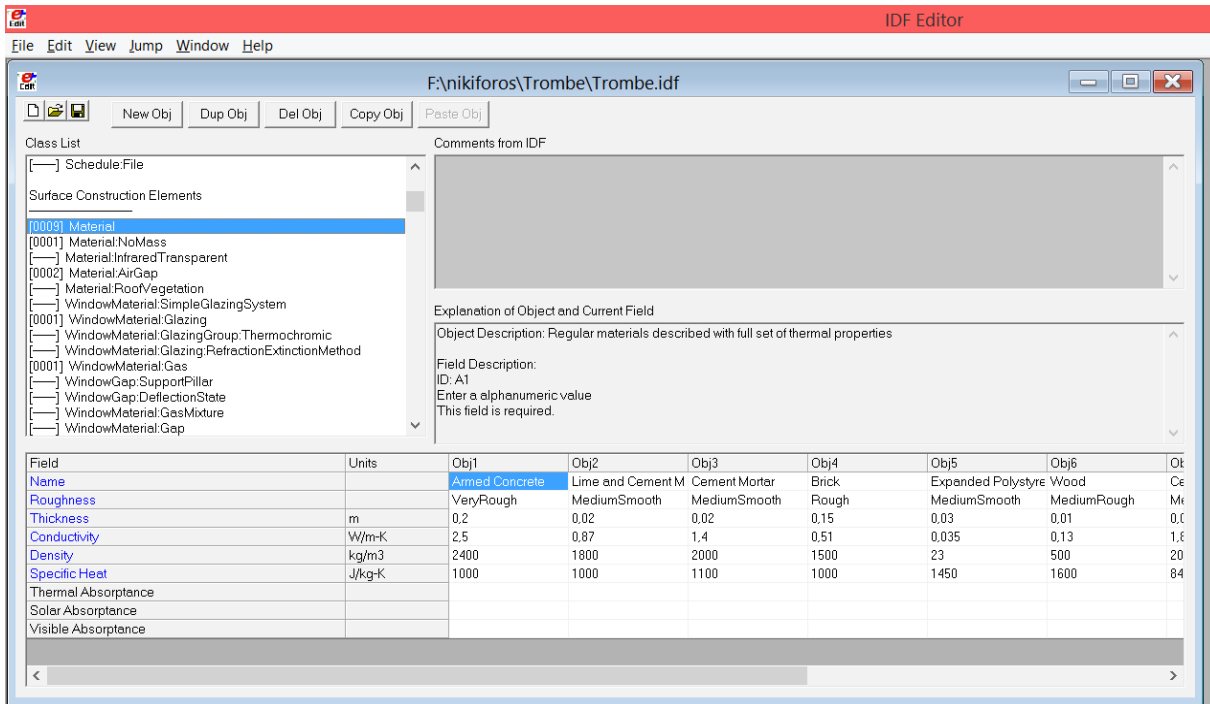
Surface Construction Elements

- Στο πρώτο πεδίο του Surface Construction Elements το Material, δηλώνονται τα υλικά με τα οποία είναι κατασκευασμένα τα δομικά στοιχεία

του κτιρίου που έχουμε σχεδιάσει, καθώς και κάποιες θερμοφυσικές ιδιότητες τους.

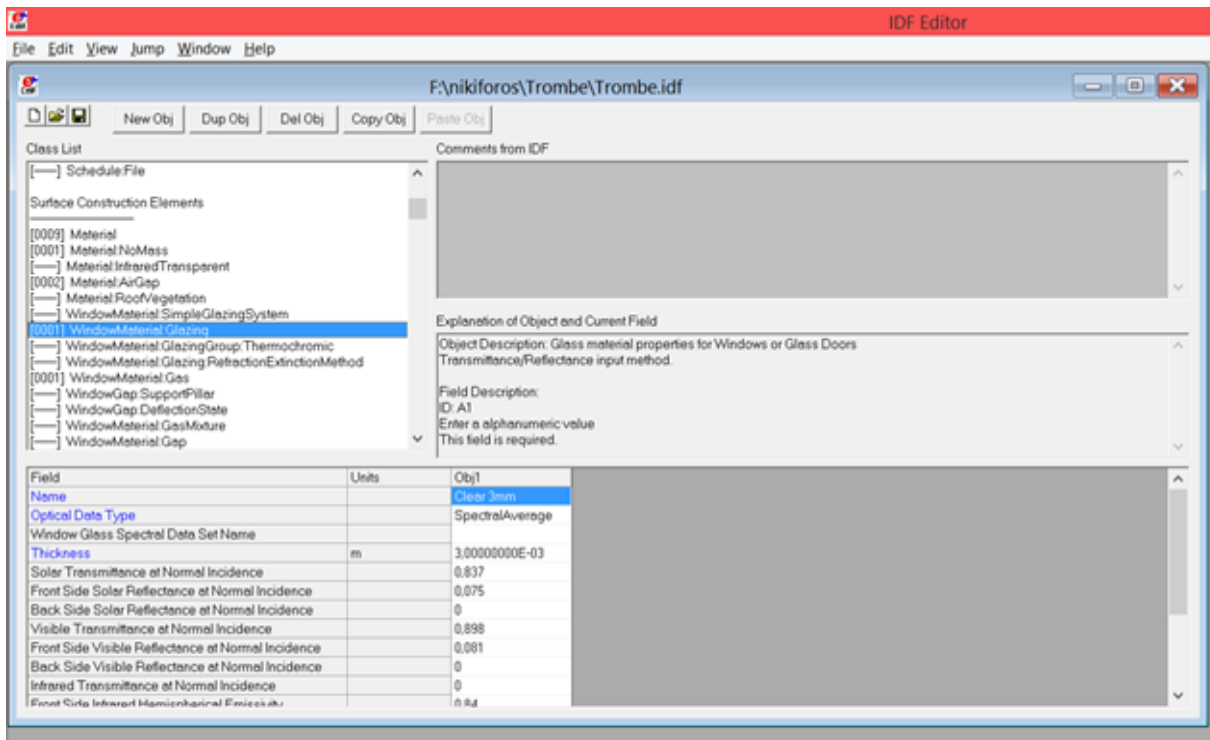
Υλικά/Χαρακτηριστικά	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα (W/mK)	Πυκνότητα (kg/m ³)	Ειδική Θερμοχωρητικότητα (J/kgK)
Οπλισμένο σκυρόδεμα (armed concrete)	0,2	2,5	2400	1000
Ασβεστοτσιμεντοκονίαμα (Lime and Cement Mortar)	0,02	0,87	1800	1000
Τσιμεντοκονίαμα (Cement Mortar)	0,02	1,4	2000	1100
Πλινθοδομή (Brick)	0,15	0,51	1500	1000
Διογκωμένη πολυστερίνη (Expanded Polystyrene)	0,03	0,035	23	1450
Ξύλο (wood)	0,01	0,13	500	1600
Κεραμικά πλακίδια δαπέδου (ceramic floor tiles)	0,005	1,84	2000	840
Σκυρόδεμα (concrete)	0,2	2	2400	1000
Ηλιο-απορροφητικό υλικό (solar absorber)	0,002	392,61	8906,26	470

Πίνακας 6. Υλικά Κατασκευής Δομικών Στοιχείων και Βασικές Θερμοφυσικές Ιδιότητες



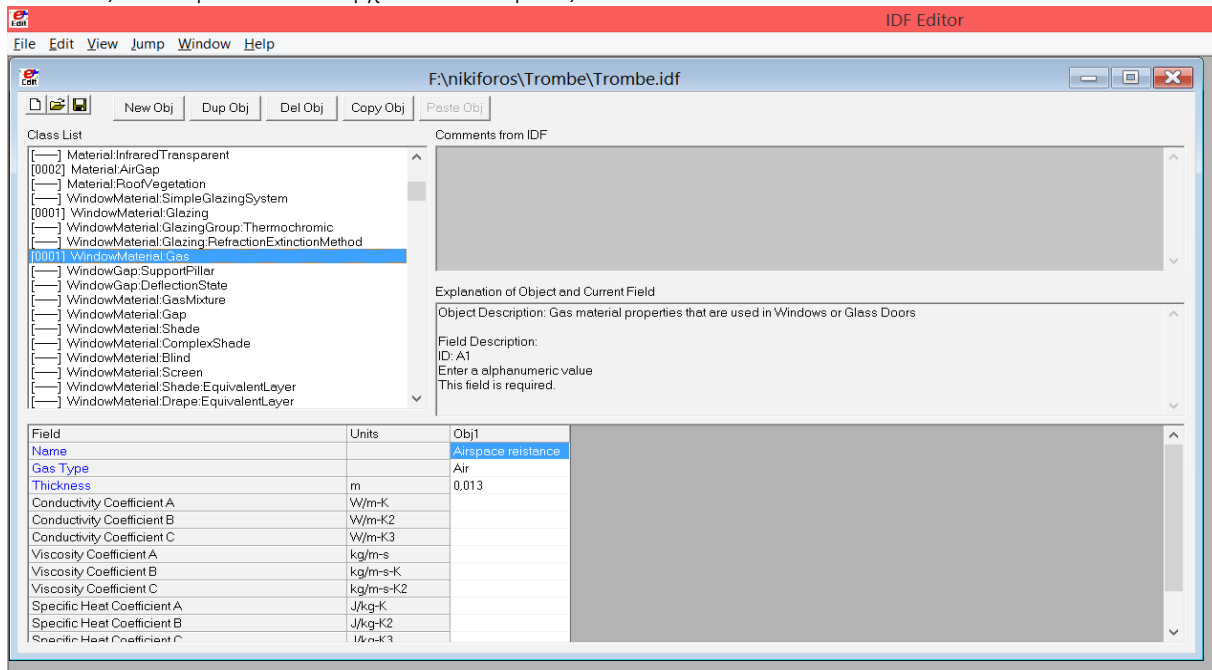
Εικόνα 60. Υλικά Κατασκευής (Material)

- Στο πεδίο WindowMaterial: Glazing εισάγεται το είδος του γυαλιού που χρησιμοποιείται στα υαλοστάσια-παράθυρα, μαζί με κάποιες ιδιότητες του. Το αντικείμενο που έχουμε εισάγει είναι ένα καθαρό γυαλί 3 χιλιοστών με τις υπόλοιπες παραμέτρους, Default από το πρόγραμμα.



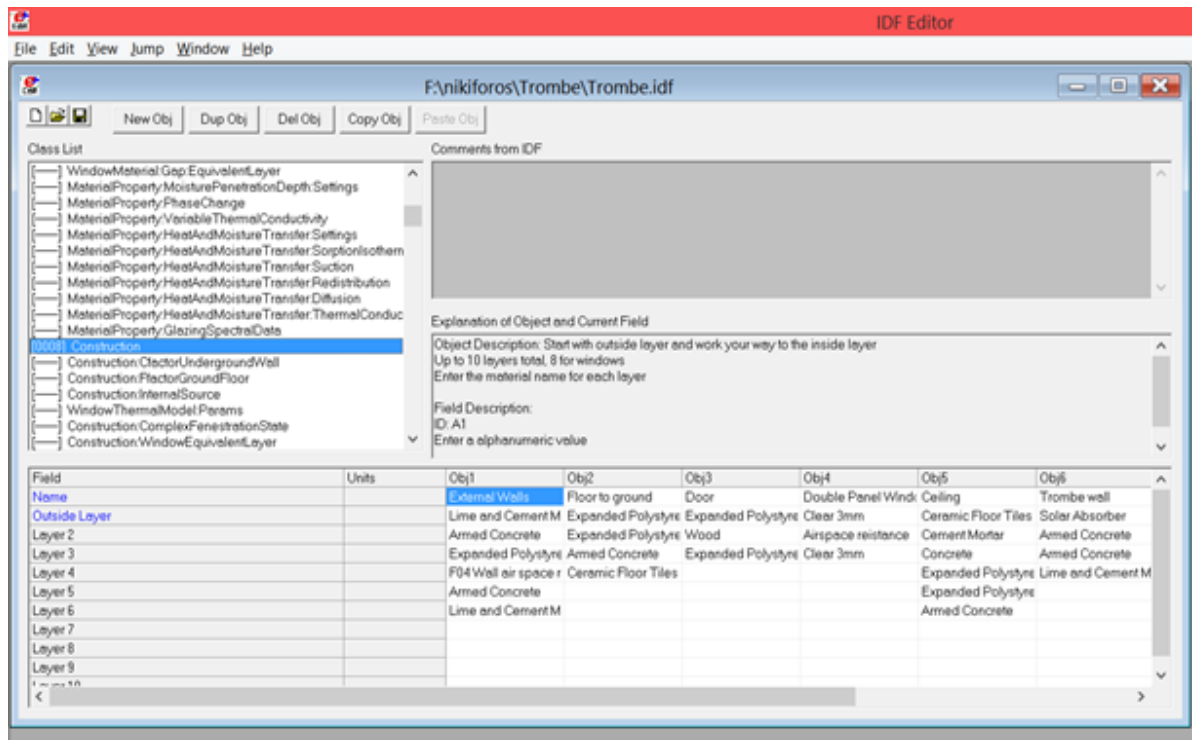
Εικόνα 61. Ιδιότητες Υλικού Κατασκευής Παραθύρου

- Στο πεδίο WindowMaterial: Gas δηλώνεται το είδος του αερίου που υπάρχει στο κενό μεταξύ 2 layers γυαλιού.



Εικόνα 62. Είδος Αερίου Στο Διάκενο Γυαλοστασίου

- Το πεδίο Construction πρόκειται για πολύ βασικό αντικείμενο, καθώς εδώ δηλώνεται ο τρόπος με τον οποίο είναι κατασκευασμένα τα δομικά στοιχεία του κτιρίου. Δηλώνονται οι στρώσεις (layers) από το εξωτερικό στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων, με βάση τα υλικά που έχουμε εισάγει στο προηγούμενο πεδίο, το Material.

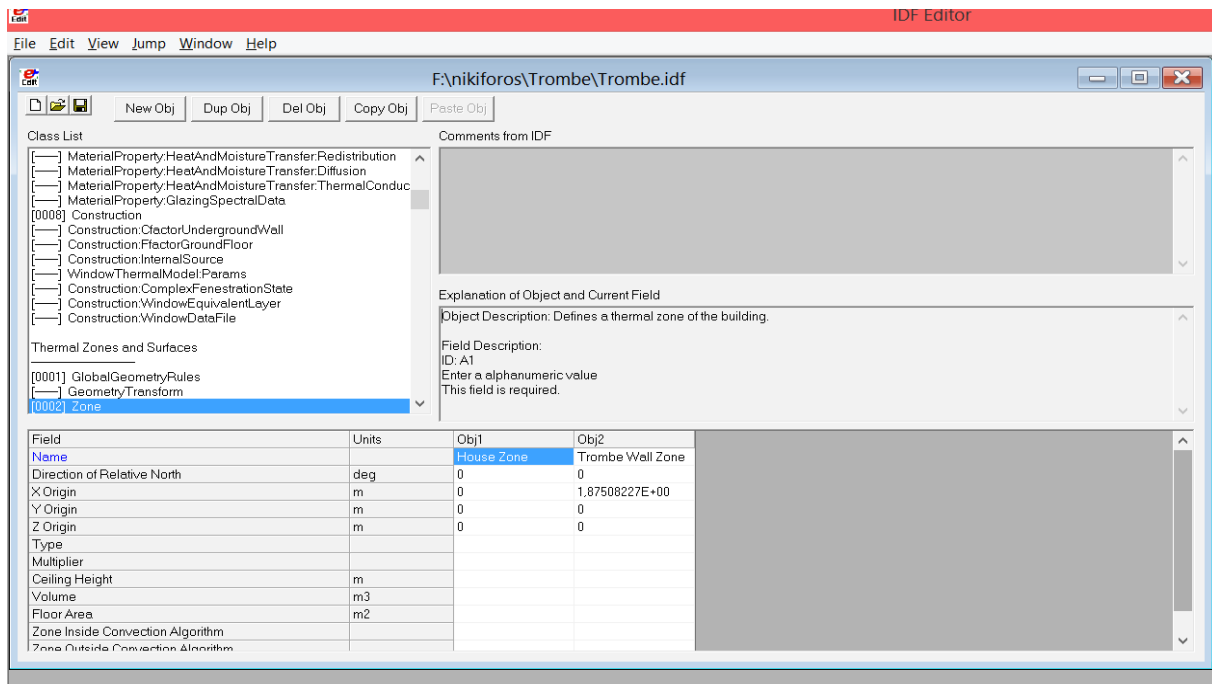


Εικόνα 63. Κατασκευή Δομικών Στοιχείων (Construction)

Thermal Zones And Surfaces

- Στο πεδίο Zone δηλώνονται τα ονόματα των θερμικών ζωνών με κάποια χαρακτηριστικά τους,

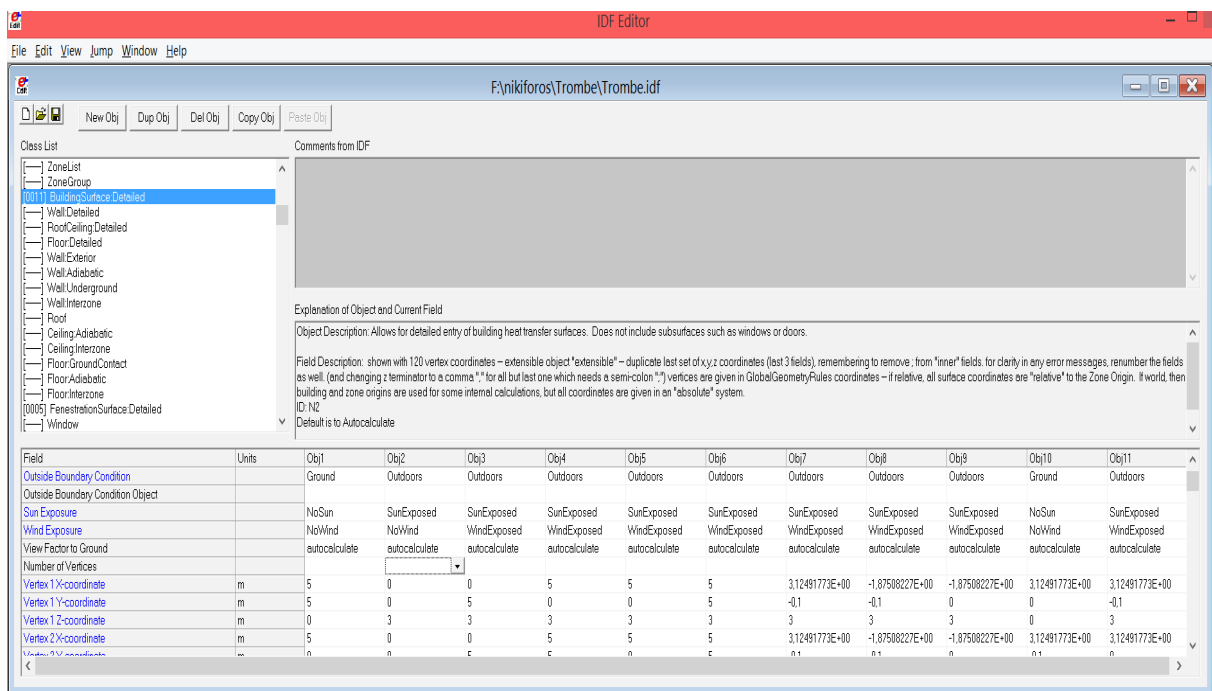
όπως οι συντεταγμένες του κέντρου της θερμικής ζώνης, όπως εισάγεται από το Sketch-up.



Εικόνα 64. Θερμικές Ζώνες και Συντεταγμένες (Thermal Zones)

- Στο πεδίο BuildingSurface:Detailed καταγράφονται τα ονόματα των επιφανειών που έχουν σχεδιαστεί στο SketchUp. Αναφέρονται ιδιότητες όπως το είδος της επιφάνειας (τοιχος,

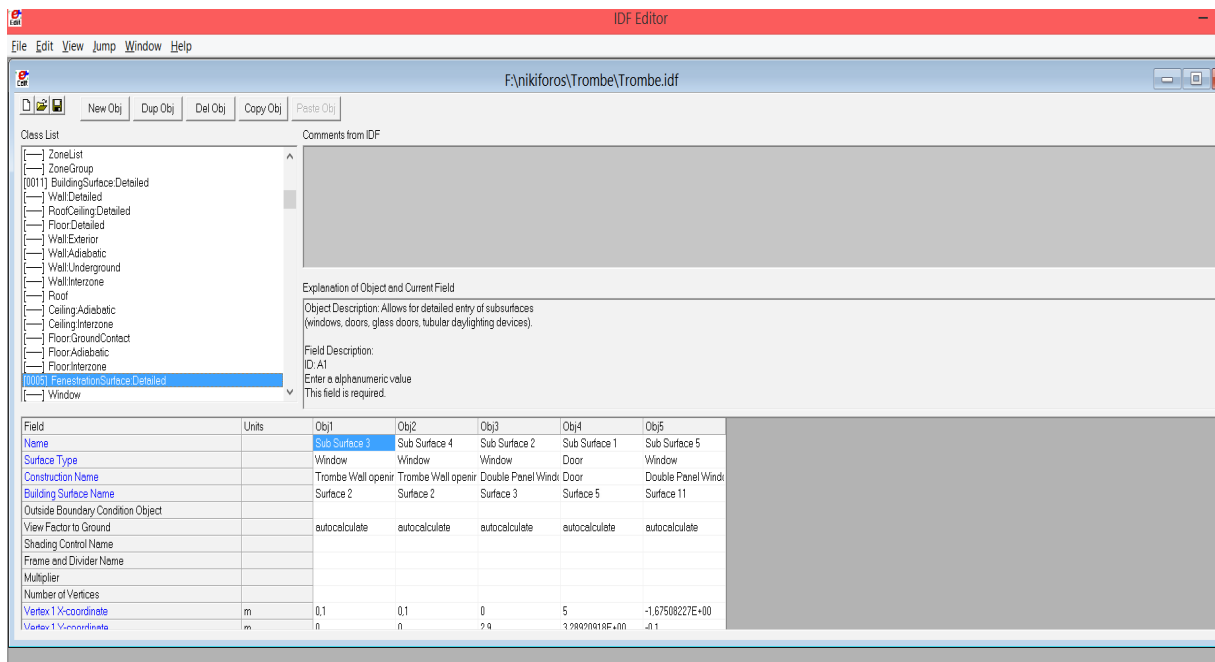
πάτωμα, ταβάνι), η έκθεση των επιφανειών σε ήλιο-άνεμο, οι συντεταγμένες της κάθε επιφάνειας.



Εικόνα 65. Ορισμός Επιφανειών (Building Surfaces)

- Στο πεδίο FenestrationSurface:Detailed, αντίστοιχα με το από πάνω πεδίο, εδώ δηλώνονται τα χαρακτηριστικά των υπό-επιφανειών όπως

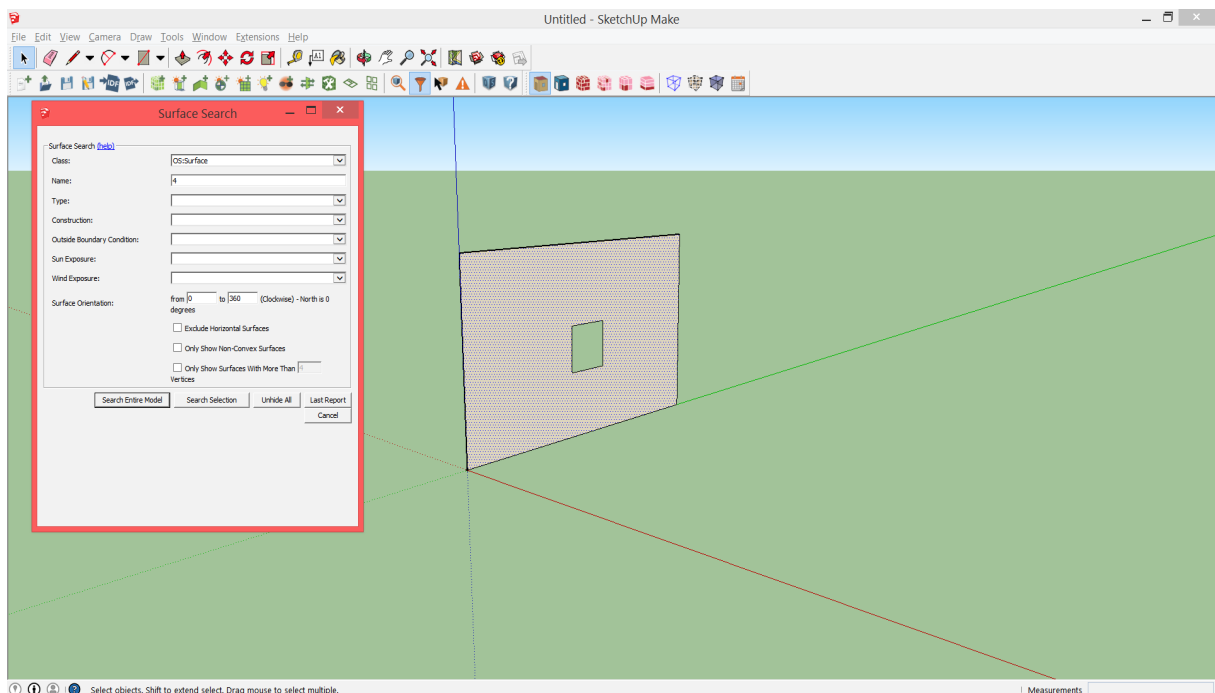
πόρτες, παράθυρα κλπ καθώς και σε ποια επιφάνεια βρίσκονται πάνω.



Εικόνα 66. Ορισμός Υπο-επιφανειών (Fenestration Surfaces)

Για τα δυο παραπάνω πεδία είναι χρήσιμο να έχουμε ανοιχτό και το Sketch up, έτσι ώστε μέσω του εργαλείου Surface Search να μπορούμε να γνωρίζουμε την αντιστοιχηση των σχεδιασμένων

επιφανειών με τα ονόματα στο Energy Plus. Για παράδειγμα η επιφάνεια 4 (surface 4) είναι δυτική πλευρά του κτιρίου.

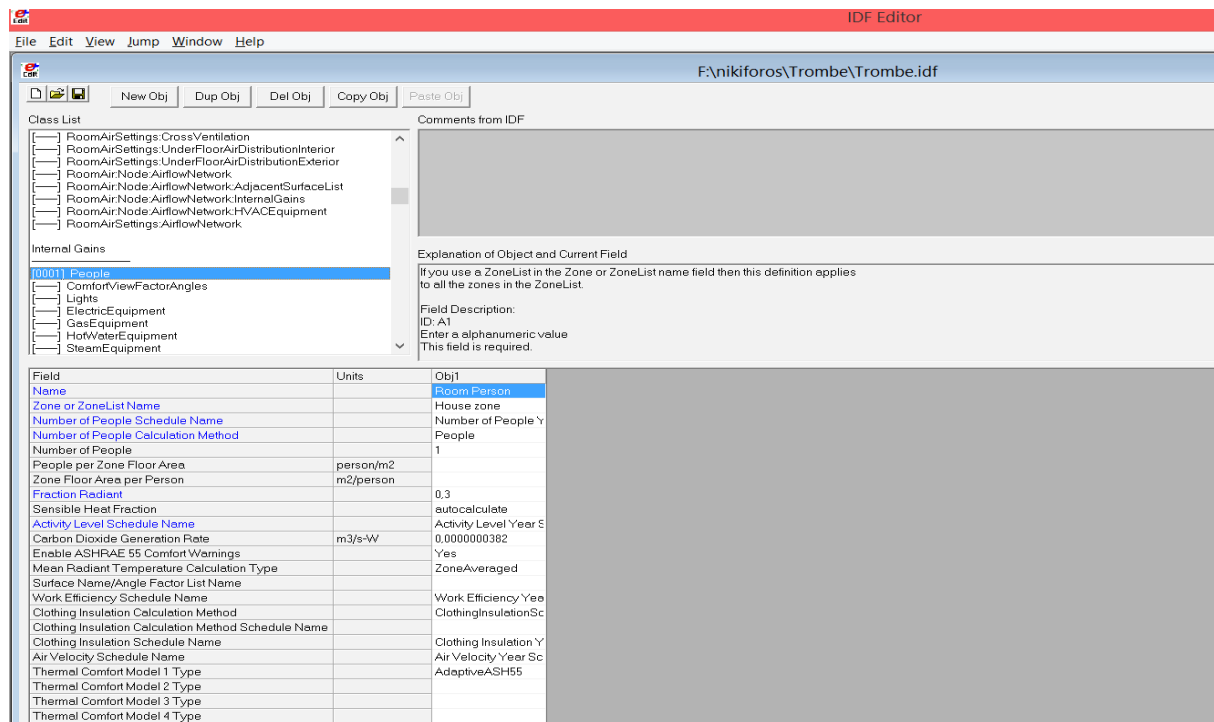


Εικόνα 67. Εύρεση Επιφάνειας (Surface Search)

Internal Gains

Στο συγκεκριμένο class εισάγονται τα θερμικά κέρδη που μπορεί να προέρχονται από ανθρώπους, φώτα, οικιακές συσκευές κλπ.

- Στο πεδίο People εισάγεται ένα αντικείμενο που περιγράφει τα θερμικά κέρδη από την παρουσία ενός ατόμου στο κτίριο.



Εικόνα 68. Παράμετροι Θερμικής Άνεσης Χρήστη

Όπως φαίνεται, έχουν εισαχθεί τα προγράμματα Number of People Year Schedule, Activity Level Year schedule κλπ, καθώς και ένα μοντέλο θερμικής άνεσης από τα προεπιλεγμένα, το ADAPTIVEASH55.

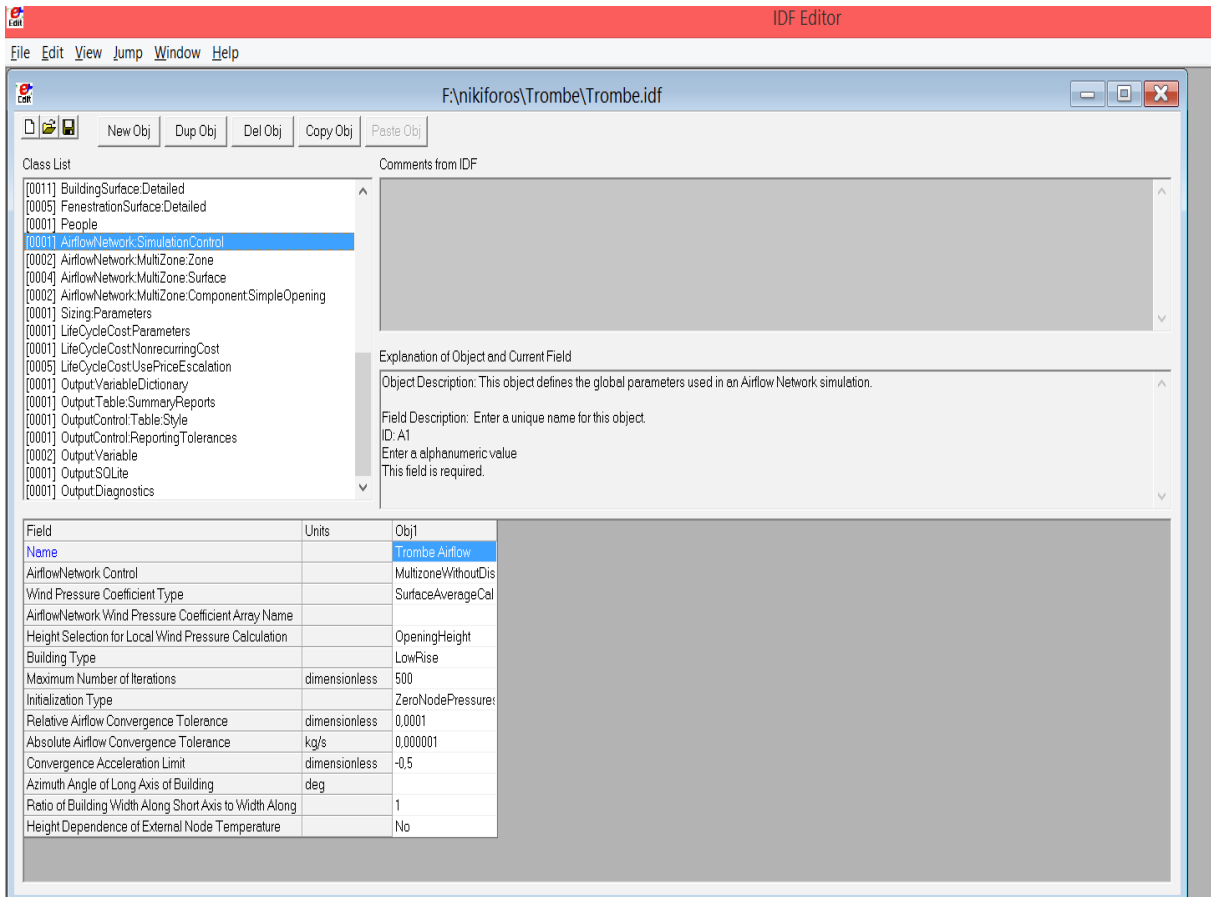
Natural Ventilation and Duct Leakage

Το συγκεκριμένο class δίνει τη δυνατότητα προσομοίωσης της ροής του αέρα σε ένα χώρο είτε μέσω φυσικού αερισμού είτε μέσω των συστημάτων. Στην περίπτωση μας, μας ενδιαφέρει ο φυσικός αερισμός από το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων καθώς και παραθύρων-πορτών.

- Στο πεδίο AirflowNetwork:SimulationControl επιλέγονται οι παράμετροι προσομοίωσης του δικτύου αερισμού. Τα πεδία που συμπληρώθηκαν είναι τα εξής.

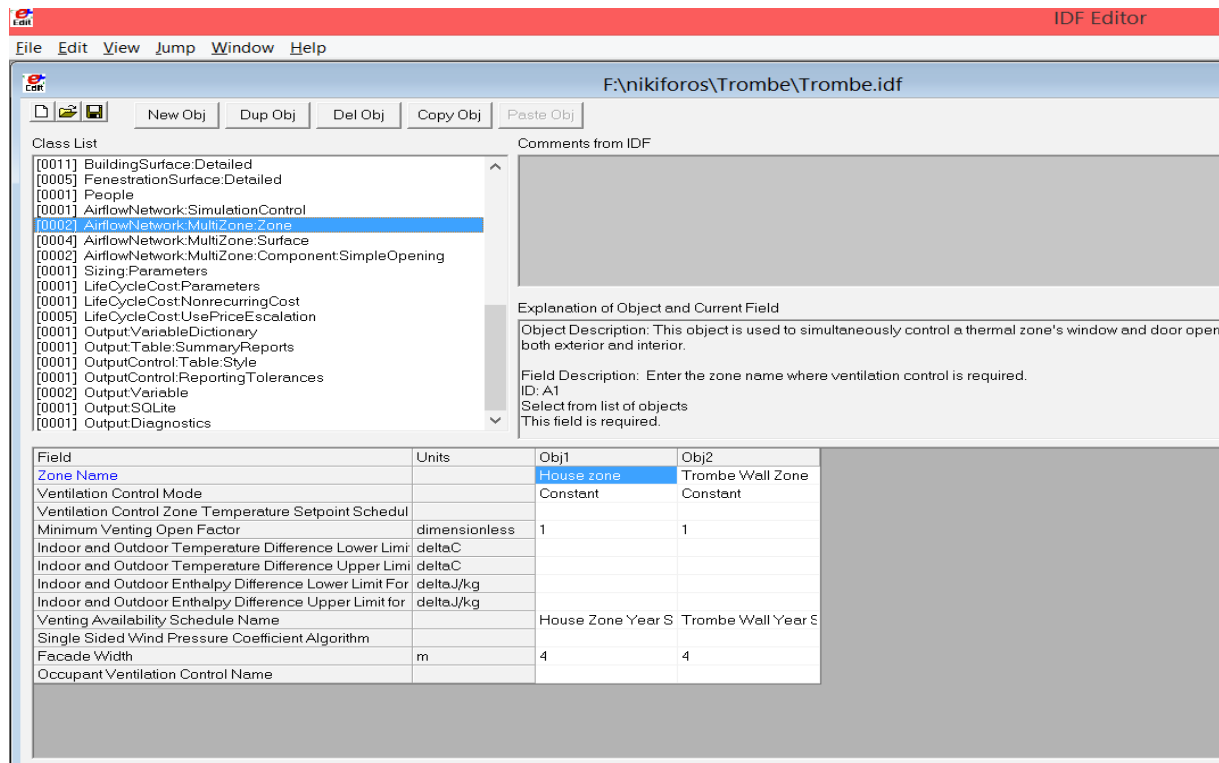
1. Name: Trombe Airflow
2. Airflow Network Control: MultizoneWithout-Distribution καθώς το μοντέλο μας δεν περιέχει σύστημα διανομής αέρα.

3. Wind Pressure Coefficient type: SurfaceAverage-Calculation πρόκειται για την default επιλογή του προγράμματος για τον υπολογισμό των συντελεστών ανέμου.
4. Building Type: LowRise. Κτίρια των οποίων το ύψος είναι μικρότερο από το τριπλάσιο του μισού του πλάτους και το τριπλάσιο του μισού του μήκους.
5. Maximum Number of Iterations: 500 μέγιστος αριθμός επαναλήψεων, default από το πρόγραμμα.
6. Initialization Type: ZeroNodePressures, default.
7. Relative Airflow Convergence Tolerance: 0,0001 default
8. Absolute Airflow Convergence Tolerance: 0,00001 default
9. Convergence Acceleration Limit: 0,5 default
10. Height Dependence of External Node Temperature: No



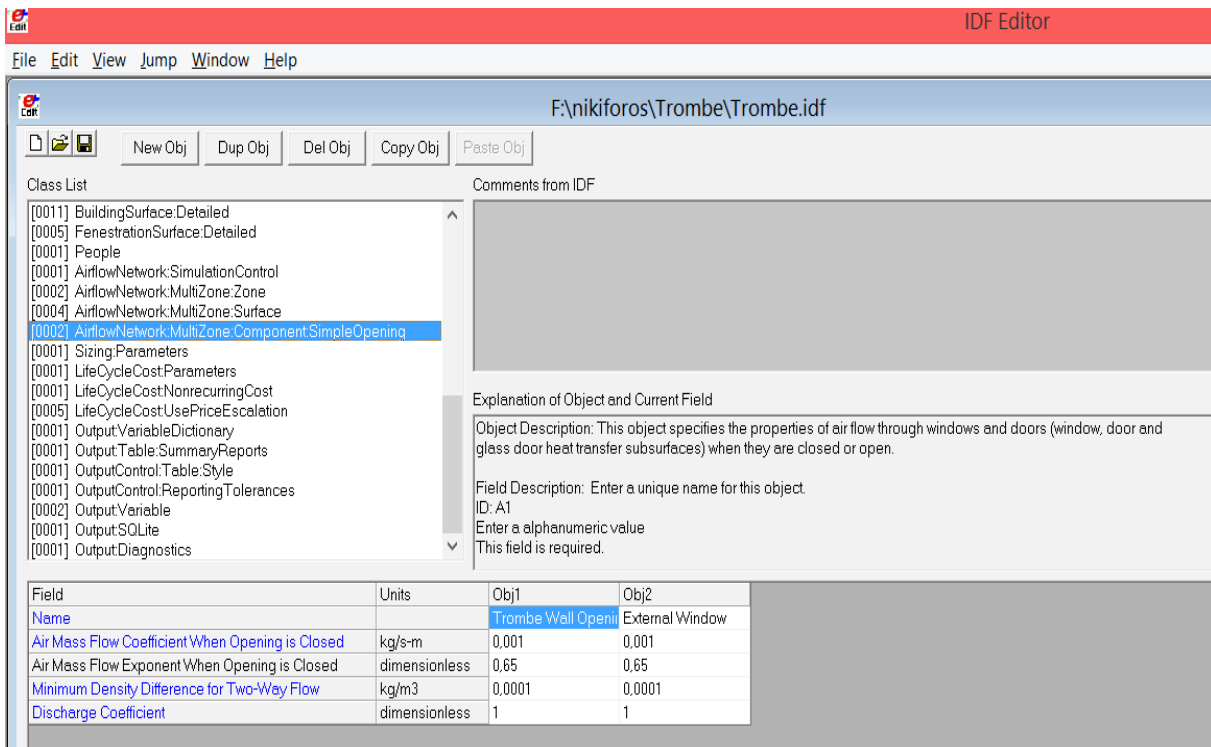
Εικόνα 69. Παράμετροι Προσομώσεως Δικτύου Αερισμού

- Το πεδίο AirflowNetwork:Multizone:Zone χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του φυσικού αερισμού διαμέσω εσωτερικών και εξωτερικών ανοιγμάτων σε μια θερμική ζώνη.
1. Δηλώνονται οι θερμικές ζώνες με ονόματα House Zone και Trombe Wall Zone.
 2. Ventilation Control Mode: Constant θέλουμε ένα σταθερό χρονολογικό πρόγραμμα
 3. Minimum Venting Opening Factor: 1 δηλώνει ότι ολόκληρη η επιφάνεια παραμένει ανοιχτή κατά τη διάρκεια του αερισμού
 4. Venting Availability Schedule Name: House Zone Year Schedule- Trombe Wall Year Schedule δηλώνονται τα προηγουμένως ορισμένα προγράμματα τα οποία θα ρυθμίζουν το άνοιγμα-κλείσιμο των θυρίδων.



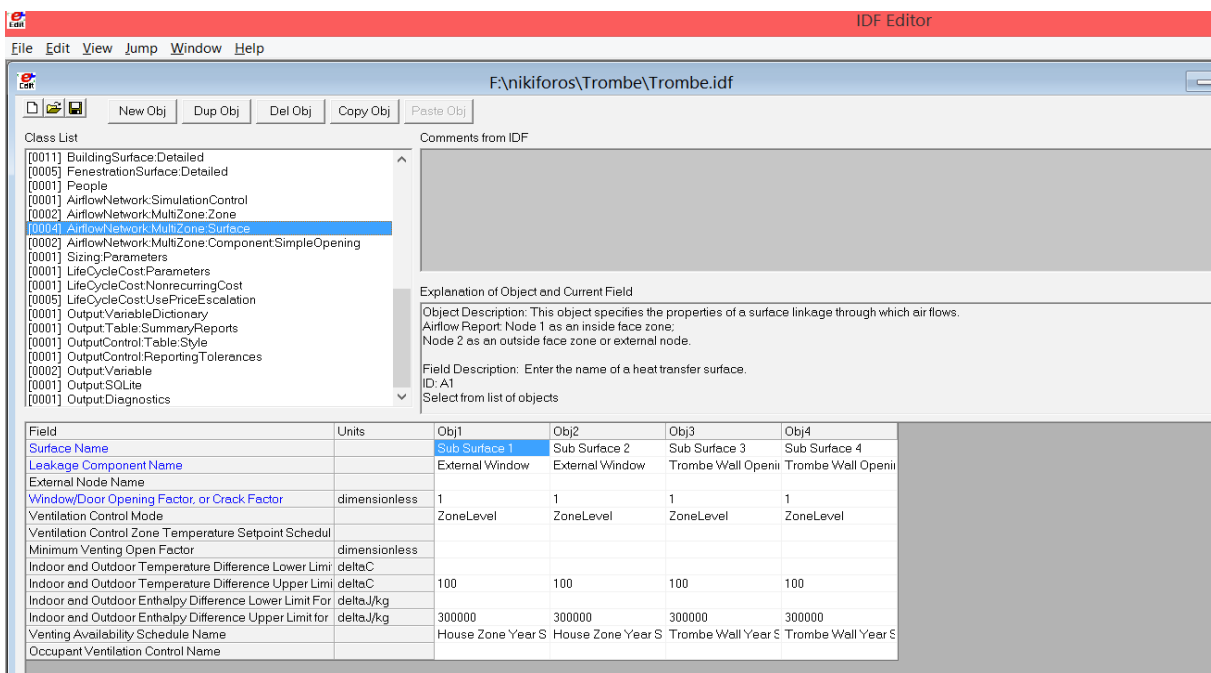
Εικόνα 70. Έλεγχος Ανοιγμάτων Παραθύρων Θερμικής Ζώνης

- Στο πεδίο AirflowNetwork:Multizone:-Component:SimpleOpening ορίστηκαν τα είδη των ανοιγμάτων, μέσω των οποίων θα πραγματοποιηθεί ο φυσικός αερισμός του χώρου.
- Οι τιμές είναι οι default του προγράμματος, οι ίδιες που χρησιμοποιούνται σε αρκετά example files του Energy Plus.



Εικόνα 71. Καθορισμός Ειδών Ανοιγμάτων

- Τέλος στο πεδίο AirflowNetwork:Multizone:Surface εισάγονται οι υπό-επιφάνειες (subsurfaces) που αντιστοιχούν σε παράθυρα-πόρτες κλπ, μέσω των οποίων θα γίνει ο αερισμός. Το πρόγραμμα απαιτεί για κάθε θερμική ζώνη, τουλάχιστον 2 επιφάνειες για γίνει η προσομοίωση του συστήματος φυσικού αερισμού. Παρακάτω φαίνεται και η αντιστοίχιση των εν λόγω υπό-επιφανειών με τα προγράμματα του Schedule:-Compact που εισήχθησαν παραπάνω.



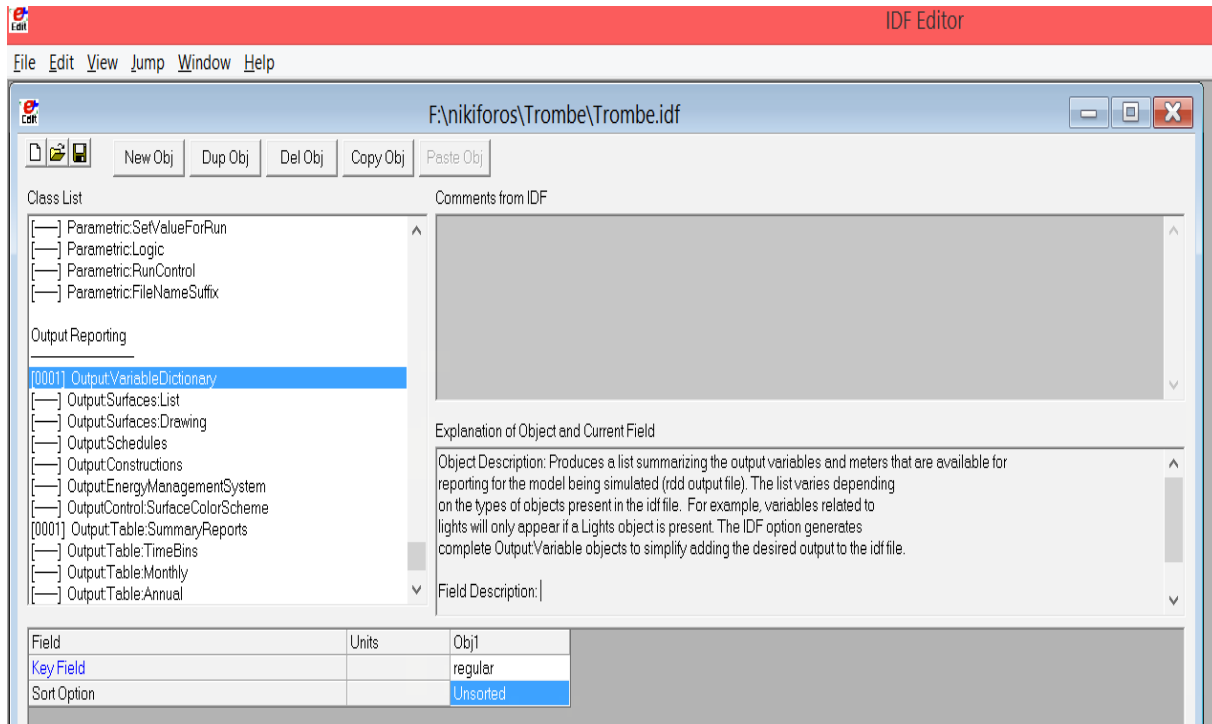
Εικόνα 72. Αντιστοίχιση Υπο-Επιφανειών Αερισμού και Ιδιότητες

Output Reporting

Πρόκειται για το τελευταίο class, στο οποίο ουσιαστικά καθορίζεται το είδος των μεταβλητών και ο τρόπος που θα εξάγονται σαν αποτελέσματα μετά το πέρας της προσομοίωσης. Πολύ βασικό να αναφέρουμε είναι ότι το Energy Plus έχει ένα είδος καταλόγου-λεξικού (Variable Dictionary) το οποίο

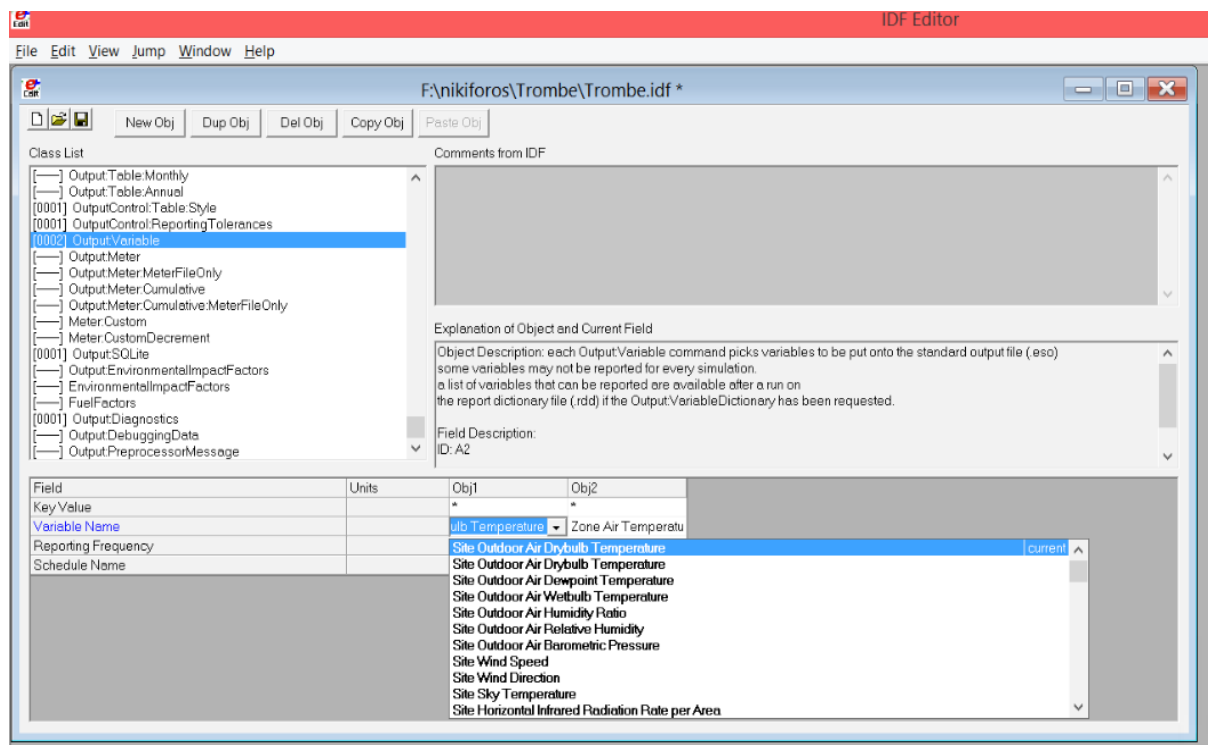
περιέχει ένα σύνολο μεγεθών όπως θερμοκρασία, ακτινοβολία, ταχύτητα αέρα κλπ που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν εξαγόμενες μεταβλητές εάν επιλεγούν.

Αρχικά η επιλογή γίνεται μέσω του πεδίου Output:-VariableDictionary



Εικόνα 73. Λεξικό Μεταβλητών (Variable Dictionary)

Στη συνέχεια μέσω του πεδίου Output:Variable επιλέγονται οι μεταβλητές που θέλουμε να εξαχθούν σαν αποτελέσματα :



Εικόνα 74 . Επιλογή Μεταβλητών Εξόδου

4

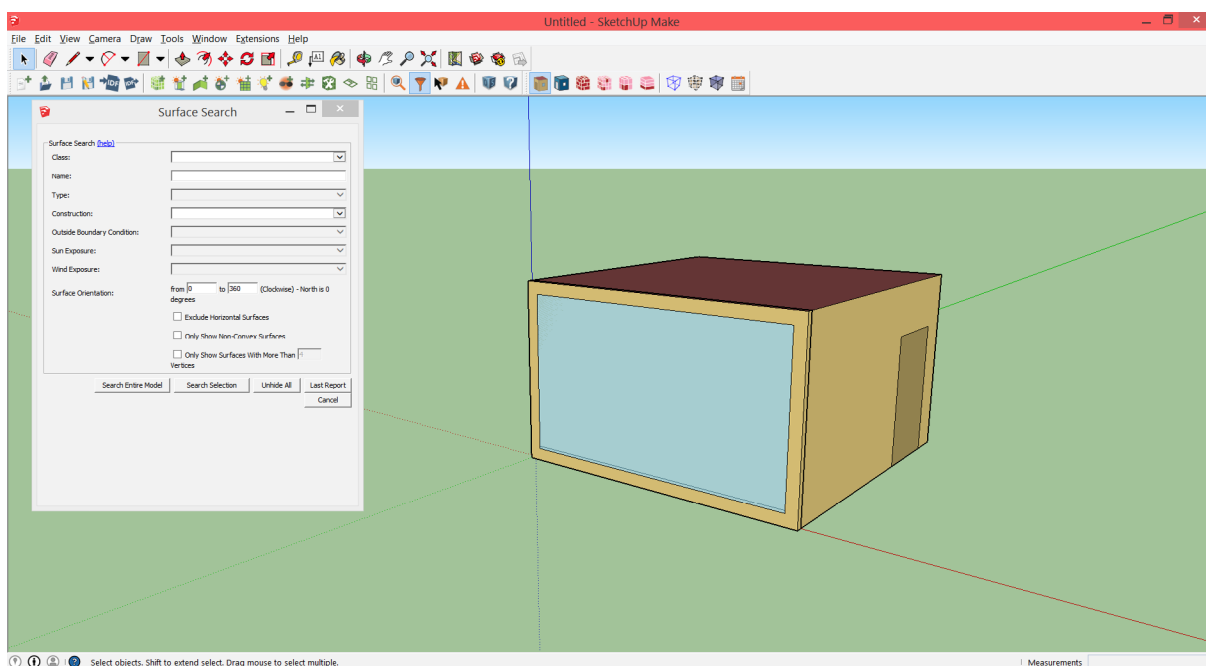
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ
ΣΕΝΑΡΙΩΝ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

4.1

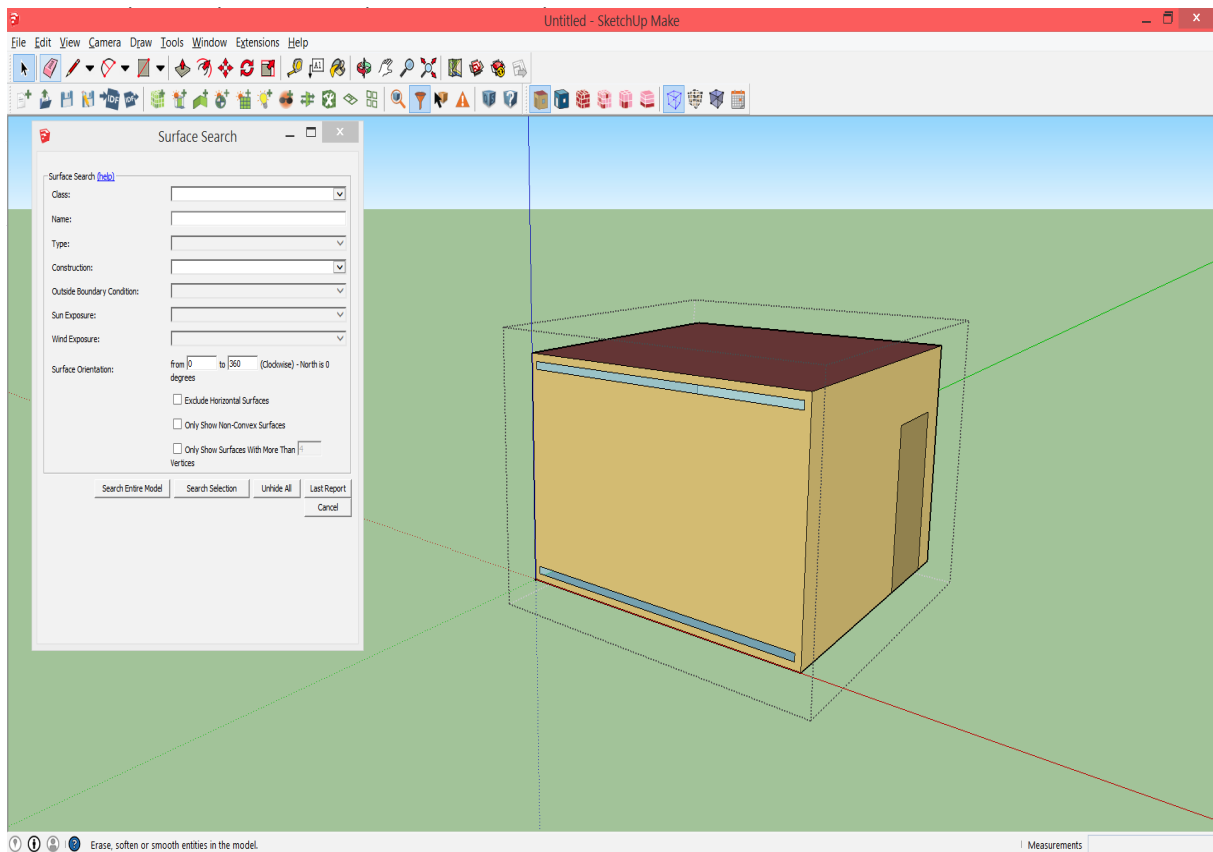
ΣΕΝΑΡΙΟ 1

Στο 1ο σενάριο έχει σχεδιαστεί ένας τυπικός τοίχος Trombe με τα χαρακτηριστικά που έχουν σχολιαστεί παραπάνω καθώς και με τον προγραμματισμό των θυρίδων στο Energy Plus. Πρόκειται για ένα μοντέλο πλάτους 5m, μήκους 5m και ύψους 3m. Στην ανατολική πλευρά του μοντέλου σχεδιάστηκε μία πόρτα με διαστάσεις 1,24x2,17m. Στην δυτική

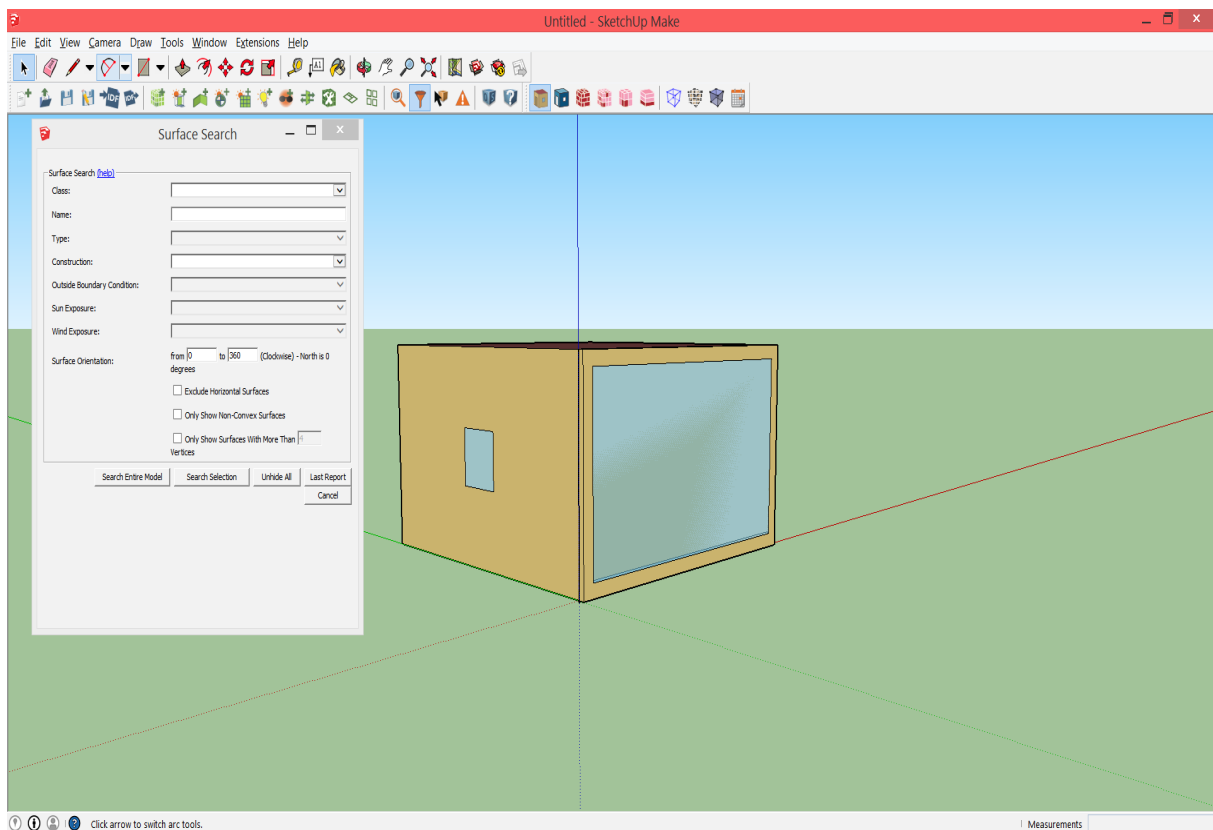
πλευρά αντίστοιχα σχεδιάστηκε ένα παράθυρο στο κέντρο του τοίχου με διαστάσεις 0,8x0,8m. Το σύστημα του τοίχου, περιλαμβάνει τον νότιο τοίχο με τις θυρίδες εξαερισμού με διαστάσεις 4,8x0,1m. Το διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου είναι 0,1m. Το πλαίσιο του υαλοστασίου είναι 0,2m. Παρακάτω φαίνεται ο σχεδιασμός τους :



Εικόνα 75. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 1ου Σεναρίου (α)



Εικόνα 76. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 1ου Σεναρίου (β)



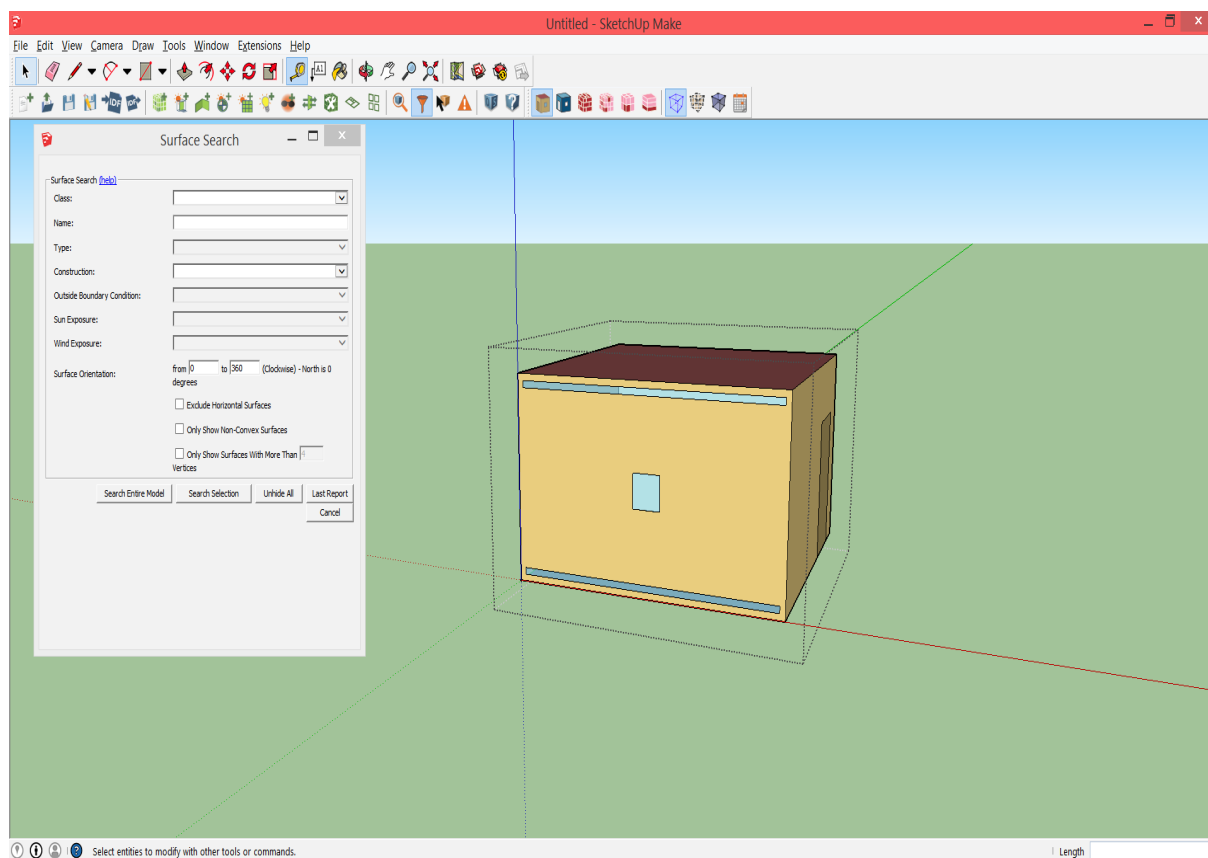
Εικόνα 77. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 1ου Σεναρίου (γ)

4.2

ΣΕΝΑΡΙΟ 2

Στο 2ο σενάριο έχουμε προσθέσει στον σχεδιασμό του σπιτιού ένα νότιο άνοιγμα-παράθυρο πάνω στον τοίχο Trombe. Το νότιο αυτό άνοιγμα, βρίσκεται στο κέντρο του τοίχου με διαστάσεις 0,5m x 0,5m και παραμένει κλειστό καθ' όλη τη λειτουργία του τοίχου. Η αρχική σκέψη πάνω στη συγκεκριμένη μετατροπή ήταν να προστεθεί και το αισθητικό

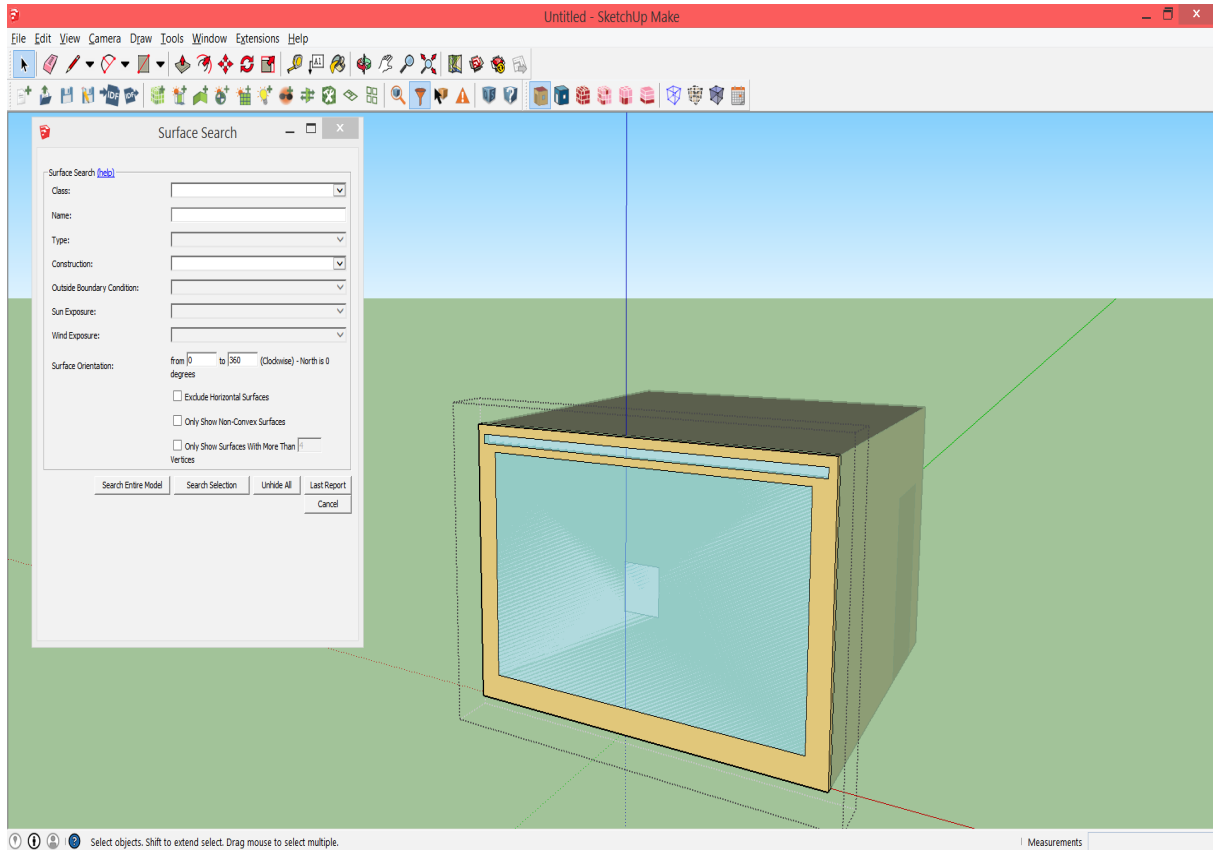
στοιχείο στον σχεδιασμό του τοίχου, έτσι ώστε να εισέρχεται επιπλέον φως στον χώρο πίσω από τον τοίχο. Επιπρόσθετα με το συγκεκριμένο παράθυρο εισέρχεται μεγαλύτερο μέρος ηλιακής ακτινοβολίας για παραπάνω θέρμανση του εσωτερικού χώρου.



Εικόνα 78. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 2ου Σεναρίου (α)

Στο συγκεκριμένο σενάριο, όπως φαίνεται και από το παρακάτω print screen έχει διαιρεθεί το υαλοστάσιο που βρίσκεται μπροστά από τον τοίχο, σε μία μεγάλη επιφάνεια υαλοστασίου και μια μικρή με διαστάσεις 0,1m x 4,8m. Η μικρή επιφάνεια έχει σκοπό να

απομακρύνει τον θερμό αέρα που βρίσκεται στο διάκενο, κατά τη θερινή περίοδο λειτουργίας.

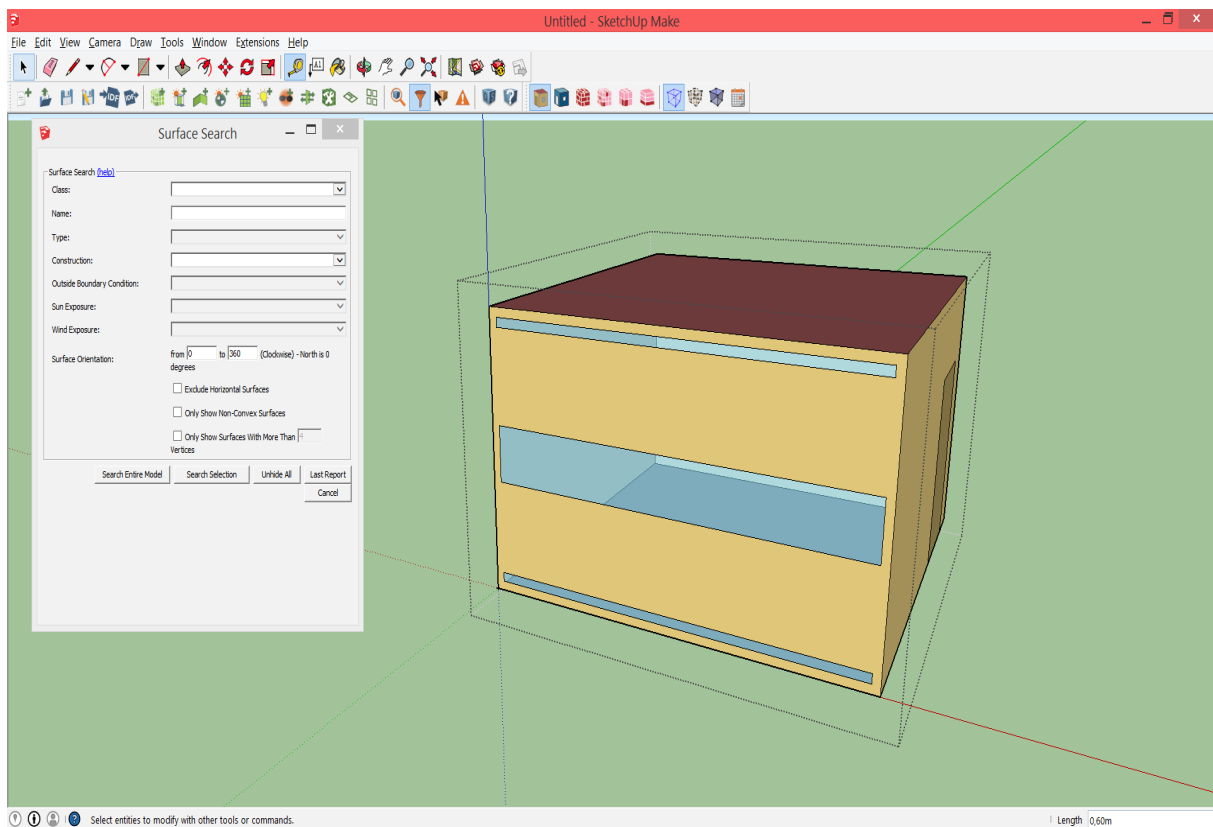


Εικόνα 79. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 2ου Σεναρίου (β)

4.3

ΣΕΝΑΡΙΟ 3

Στο 3ο σενάριο ουσιαστικά επεκτείναμε την ιδέα του σεναρίου 2. Έτσι σχεδιάσαμε πάνω στον τοίχο Trombe ένα αρκετά μεγαλύτερο παράθυρο με διαστάσεις 0,6m x 4,8m.



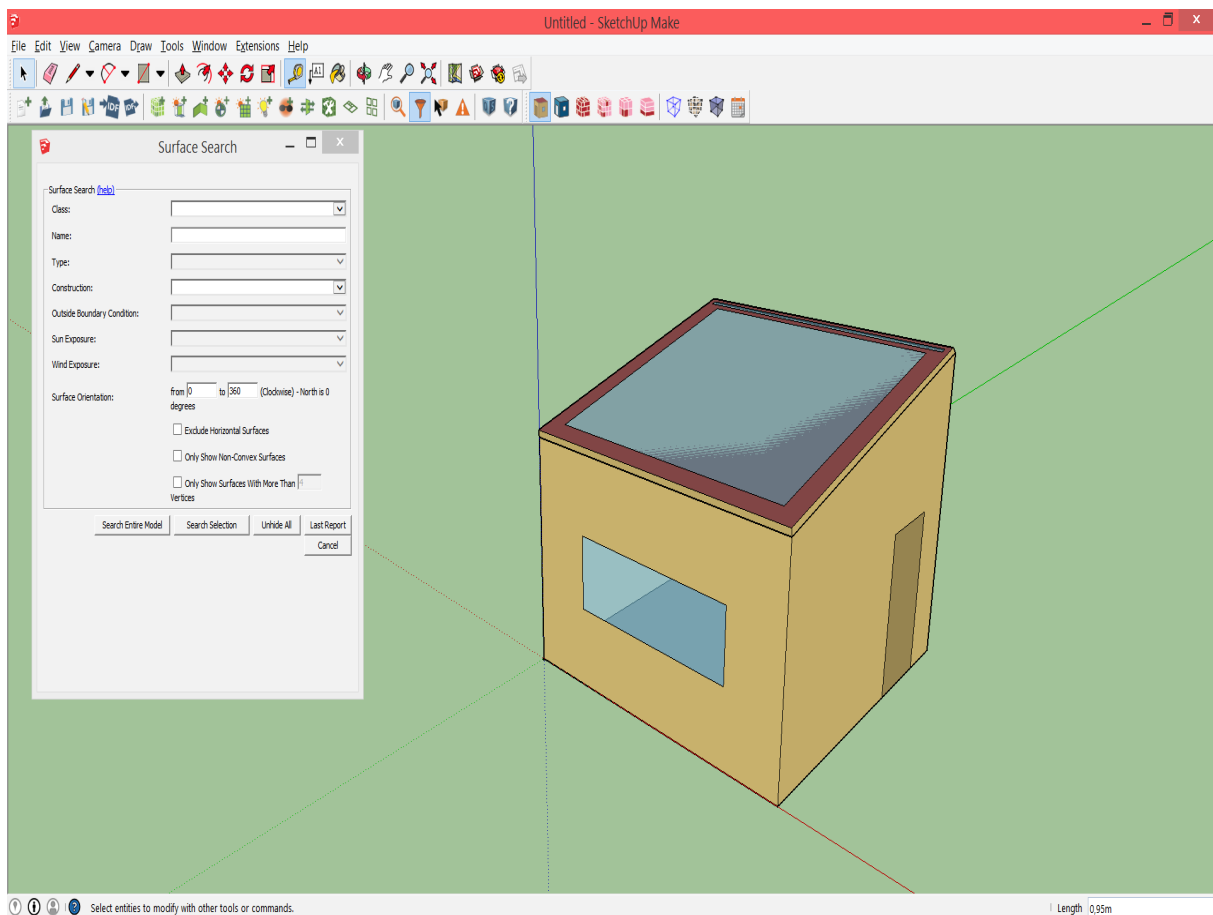
Εικόνα 80. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 3ου Σεναρίου

4.4

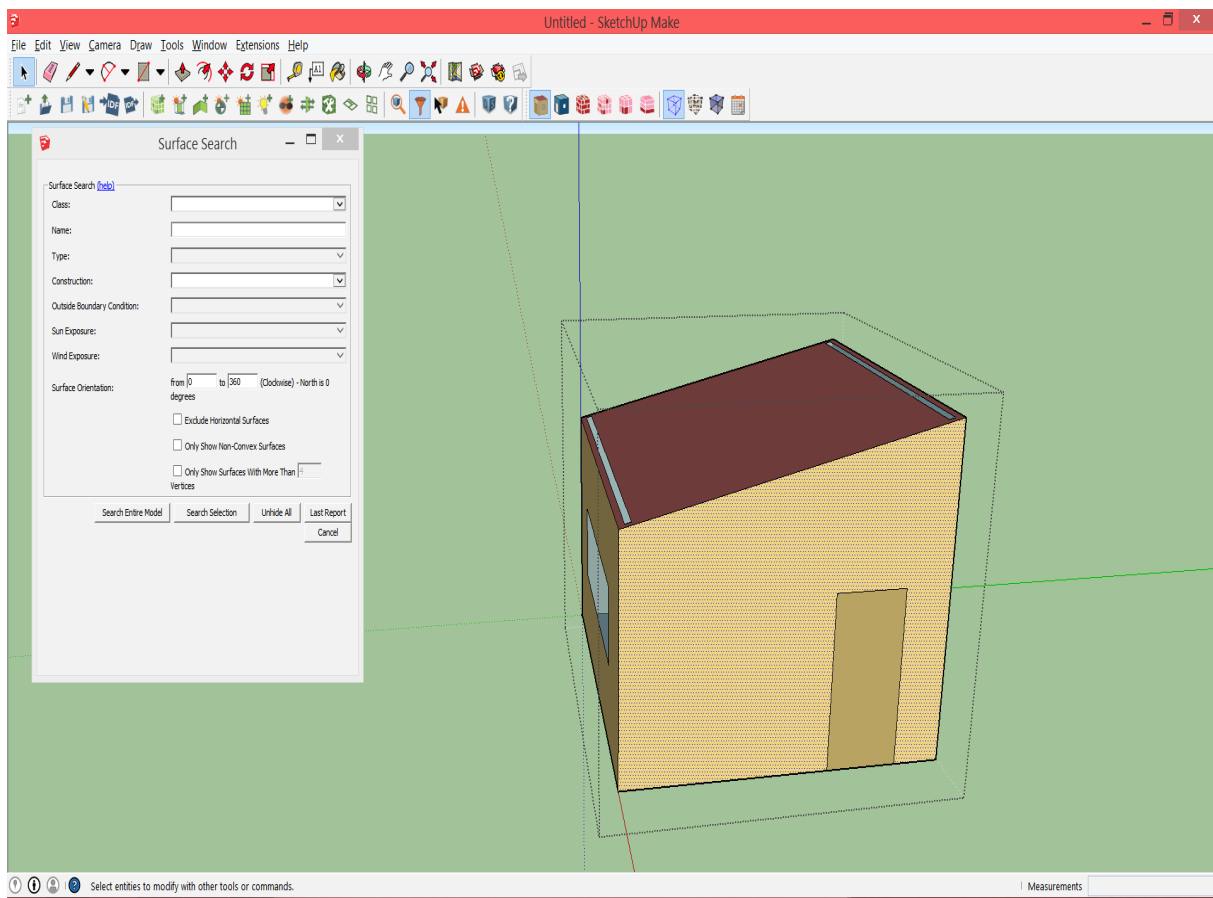
ΣΕΝΑΡΙΟ 4

Στο σενάριο 4 έγινε μια τελείως διαφορετική προσέγγιση του τοίχου Trombe. Η τοποθέτηση έγινε στην οροφή με κλίση. Η σκέψη που έγινε ήταν ότι με αυτόν τον τρόπο θα μπορούσε να επωφεληθεί από τις ακτίνες του ηλίου για μεγαλύτερο μέρος της ημέρας. Παρ' όλα αυτά ο σχεδιασμός του τοίχου παραμένει

ίδιος με το σενάριο 1, δηλαδή ίδιο μέγεθος θυρίδων, υαλοστασίου, τοίχου θερμικής αποθήκευσης και διακένου. Στον εν λόγω σχεδιασμό, έχει προστεθεί και ένα παράθυρο στον νότο, με διαστάσεις 0,95m x 2,95m.



Εικόνα 81. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 4ου Σεναρίου (α)



Εικόνα 82. Σχεδιασμός Τοίχου Trombe 4ου Σεναρίου (β)

5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

5

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΕΝΑΡΙΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

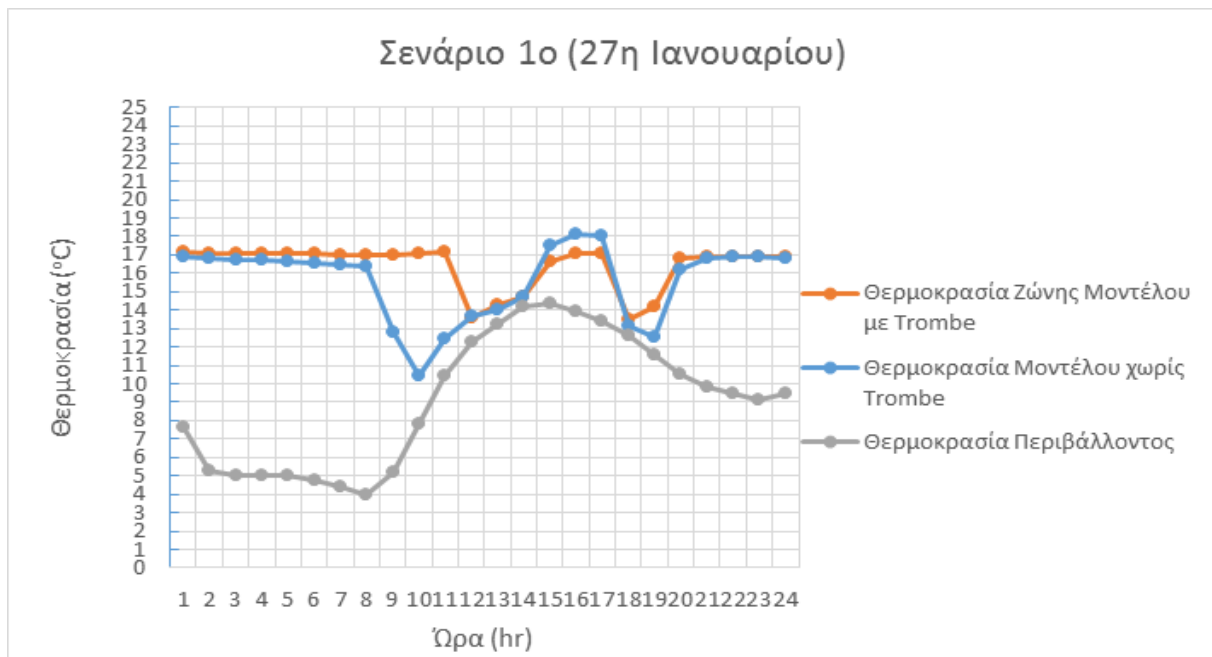
Αρχικά έγιναν προσομοιώσεις για κάθε σενάριο για τις ημέρες 27η Ιανουαρίου και 12η Ιουλίου. Αυτές οι 2 μέρες παρουσίασαν μεγάλη διακύμανση θερμοκρασίας και αποτελούν ουσιαστικά μια αρκετά κρύα μέρα της χειμερινής περιόδου και μια αντίστοιχα ζεστή της θερινής περιόδου.

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης προσομοίωσης

είναι ωριαία και αφορούν τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος γύρω από το μοντέλο για την περιοχή που έχουμε εισάγει (Αθήνα), την θερμοκρασία αέρα της ζώνης μέσα στο κτίριο καθώς και τη θερμοκρασία που επικρατεί στο διάκενο μεταξύ τοίχου Trombe και υαλοστασίου.

Σενάριο 1ο

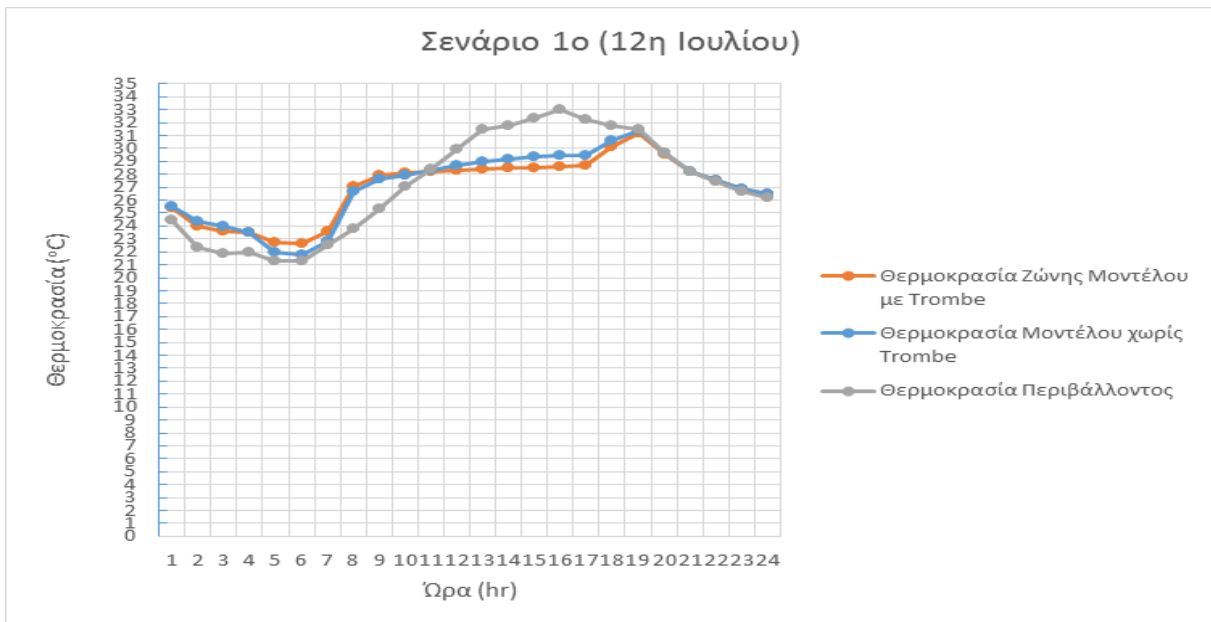
Αποτελέσματα 27ης Ιανουαρίου :



Γράφημα 1. Κατανομή θερμοκρασίας 27 Ιανουαρίου 1ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 16,38 °C,
διακένου 31,08 °C (με μέγιστη 52,70 °C).

Αποτελέσματα 12ης Ιουλίου :

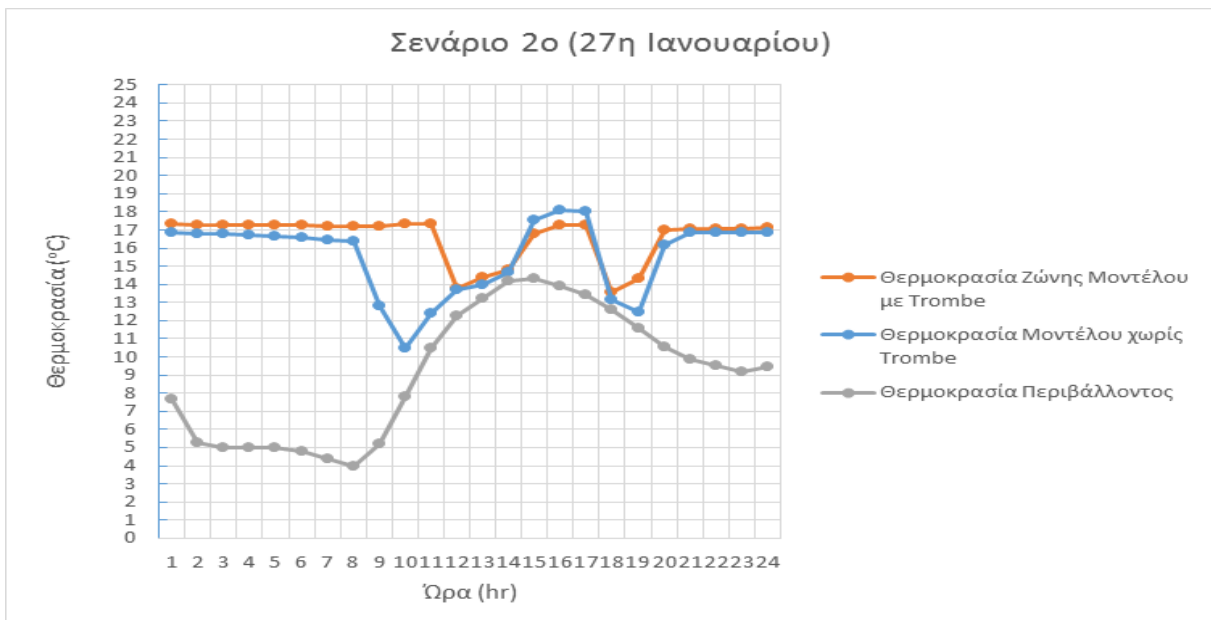


Γράφημα 2. Κατανομή θερμοκρασίας 12ης Ιουλίου 1ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 26,99 °C,
διακένου 36,28 °C (με μέγιστη 55,10 °C).

Σενάριο 2ο

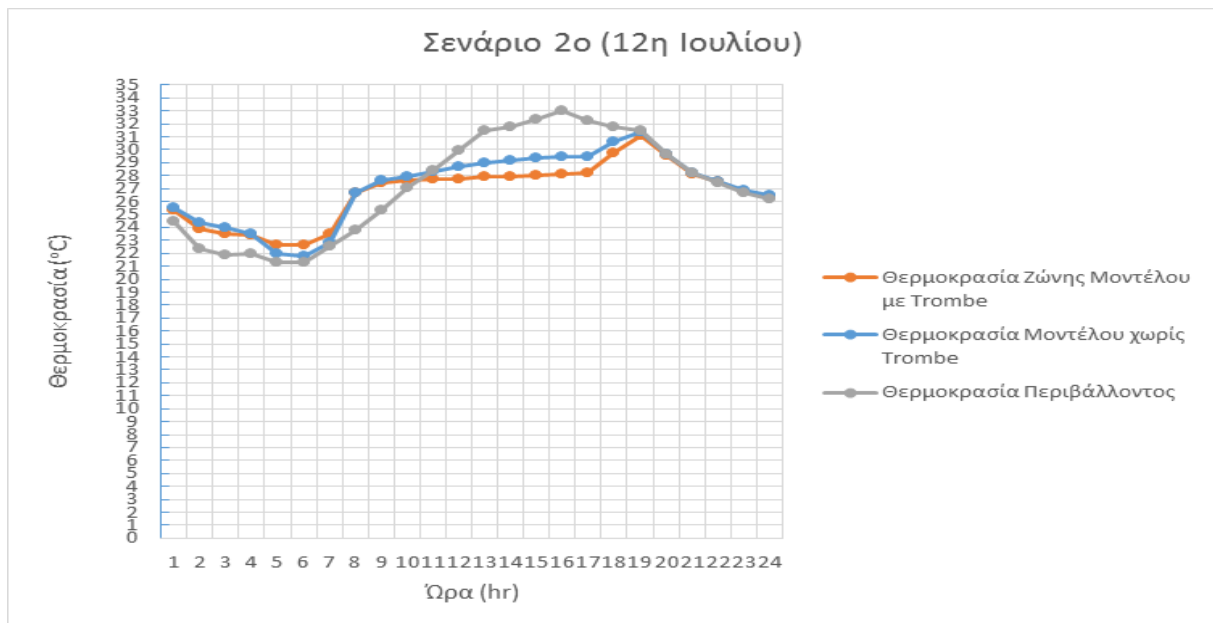
Αποτελέσματα 27ης Ιανουαρίου :



Γράφημα 3. Κατανομή θερμοκρασίας 27 Ιανουαρίου 2ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 16,56 °C,
διακένου 29,39 °C (με μέγιστη 50,21 °C).

Αποτελέσματα 12ης Ιουλίου:

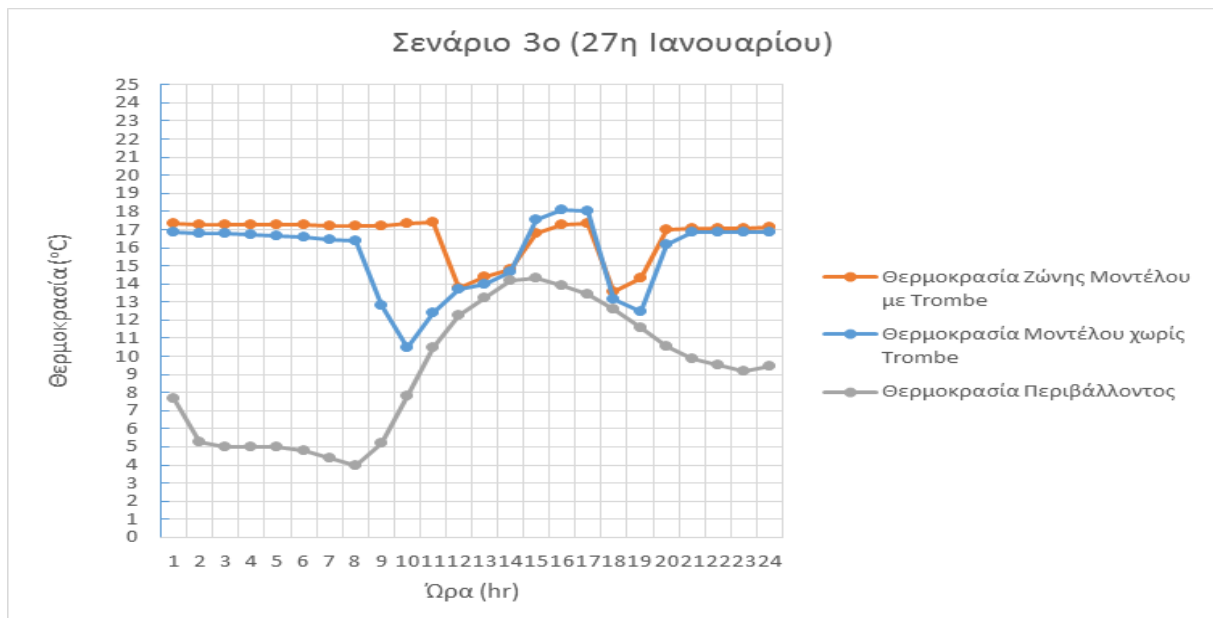


Γράφημα 4. Κατανομή θερμοκρασίας 12ης Ιουλίου 2ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 26,74 °C,
διακένου 28,87 °C (με μέγιστη 34,94 °C).

Σενάριο 3ο

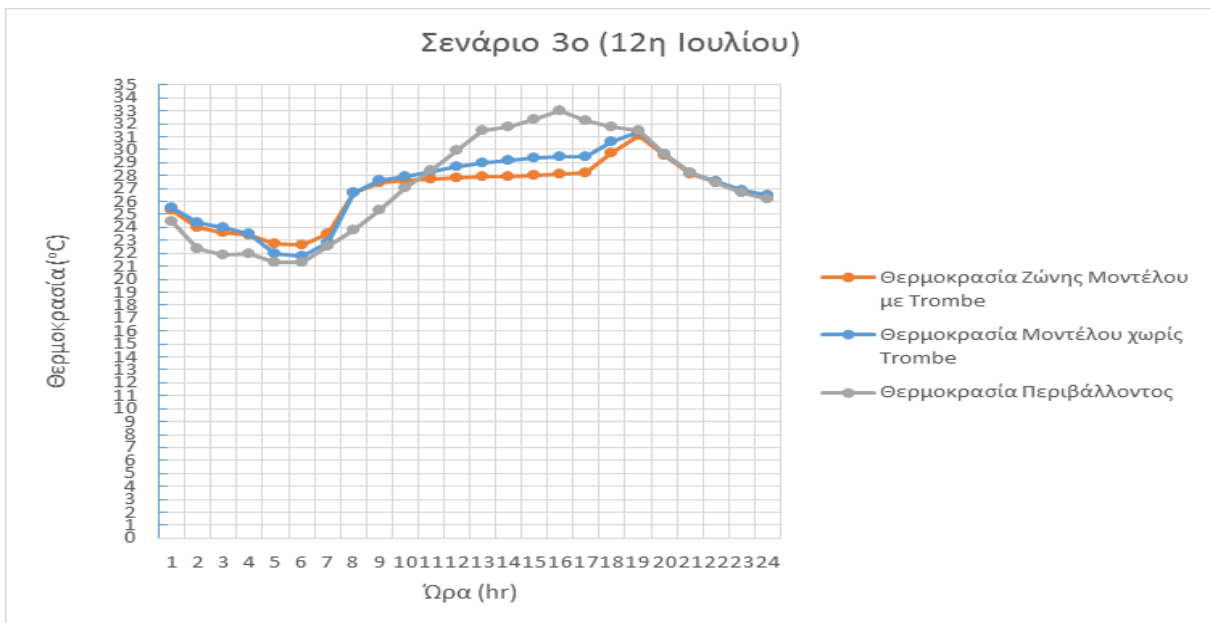
Αποτελέσματα 27ης Ιανουαρίου:



Γράφημα 5. Κατανομή θερμοκρασίας 27 Ιανουαρίου 3ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 16,56 °C,
διακένου 31,54 °C (με μέγιστη 55,80 °C).

Αποτελέσματα 12ης Ιουλίου :

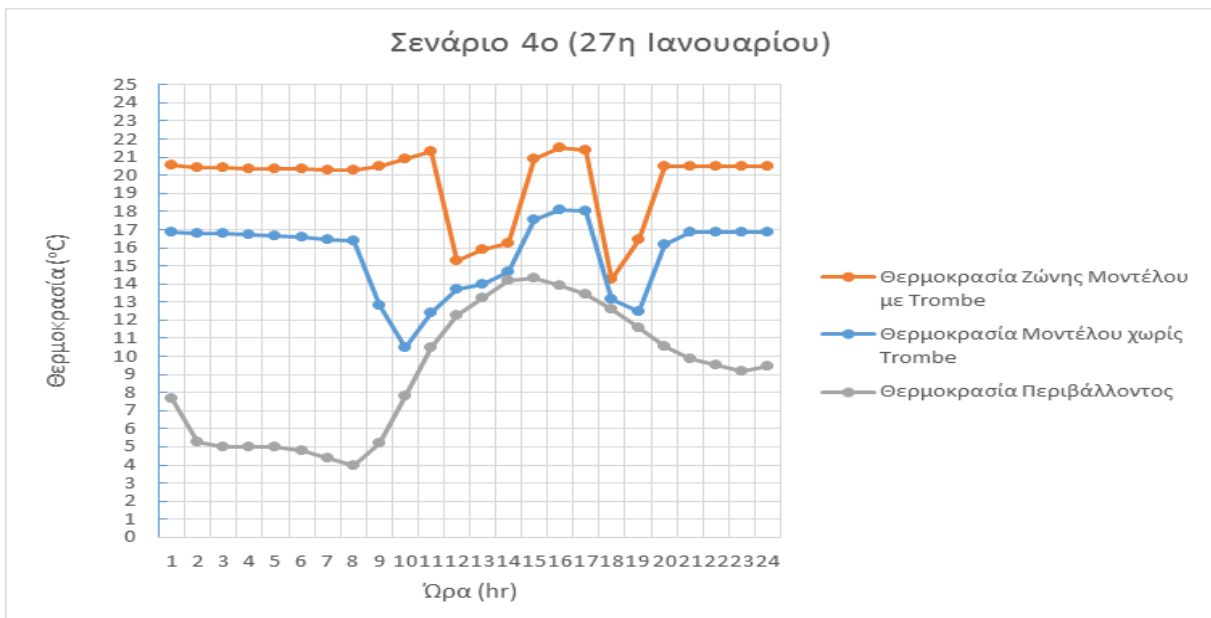


Γράφημα 6. Κατανομή θερμοκρασίας 12ης Ιουλίου 3ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 26,75 °C,
διακένου 29,13 °C (με μέγιστη 35,52 °C).

Σενάριο 4ο

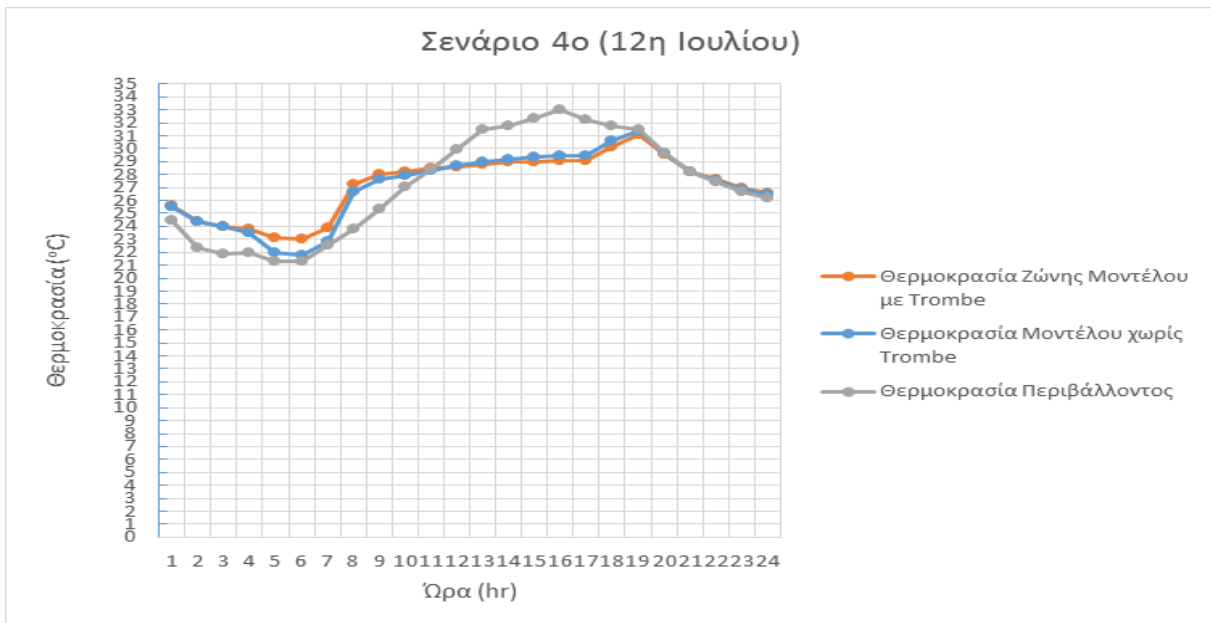
Αποτελέσματα 27ης Ιανουαρίου :



Γράφημα 7. Κατανομή θερμοκρασίας 27 Ιανουαρίου 4ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 19,59 °C,
διακένου 18,17 °C (με μέγιστη 22,78 °C).

Αποτελέσματα 12ης Ιουλίου :



Γράφημα 8. Κατανομή θερμοκρασίας 12ης Ιουλίου 2ου Σεναρίου

Μέση ημερήσια θερμοκρασία : ζώνης 27,22 °C, διακένου 37,38 °C (με μέγιστη 45,01 °C).

Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 1,3,5 που αφορούν τα σενάρια 1,2,3 για την χειμερινή μέρα της 27ης Ιανουαρίου οι σχεδιασμοί των τοίχων Trombe καταφέρνουν να διατηρούν μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία, υψηλότερη από το αντίστοιχο μοντέλο χωρίς Trombe. Το σενάριο 4 βέβαια διαφοροποιείται αφού αυξάνει την εσωτερική θερμοκρασία κατά

3 βαθμούς σε σχέση με τα άλλα σενάρια και κατά 4 σε σχέση με το απλό μοντέλο χωρίς Trombe. Οι διακυμάνσεις της τάξης των 3-4 °C, οφείλονται στο πρόγραμμα του φυσικού αερισμού που έχει σχεδιαστεί για να υπάρχει μια σχετική ανανέωση του αέρα και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

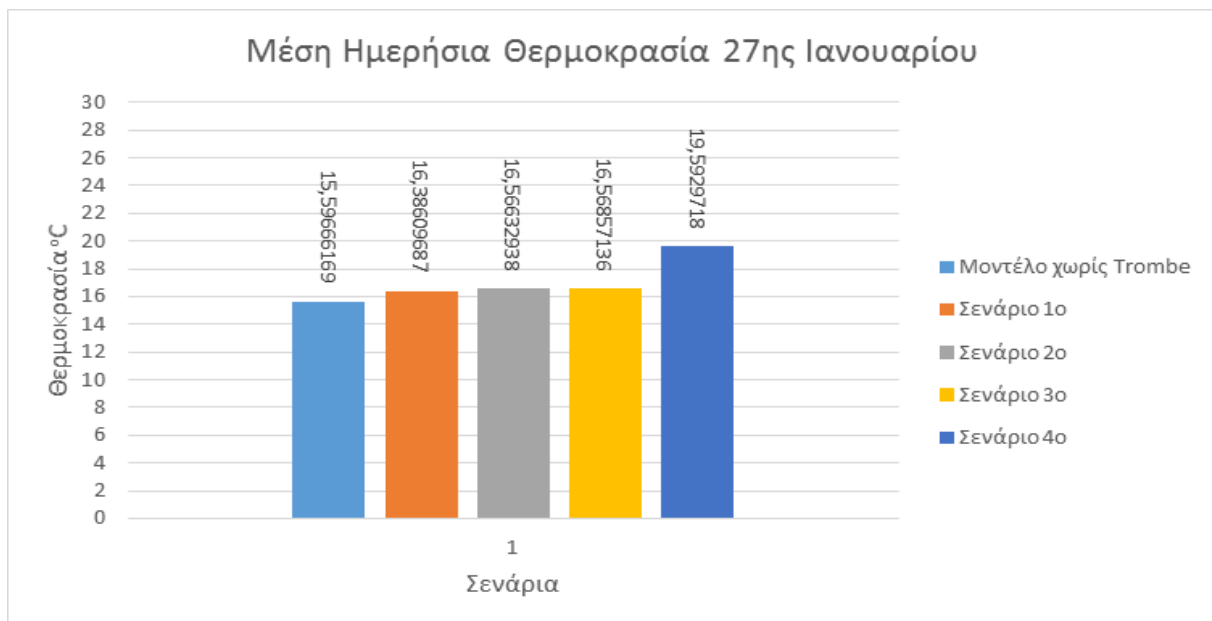
terpolate: Yes/No (ref: Schedule:Day:Interval) – optional, if not used will be "No"
 ntil: <Time> (ref: Schedule:Day:Interval)
 numeric value>
 ords "Through","For","Interpolate","Until" must be included.

Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Number of People Y	Activity Level Year S	Work Efficiency Year S	Clothing Insulation Y	Air Velocity Year Sc	Trombe Wall Year S	House Zone Year S
Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber
Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 3/31	Through: 3/31
For: Alldays	For: Alldays	For: Alldays	For: Alldays	For: Alldays	For: Alldays	For: Alldays
Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 07:00	Until: 11:00
1	108	0	.57	.137	0	0
					Until: 17:30	Until: 14:00
					1	1
					Until: 24:00	Until: 17:00
					0	0
					Through: 9/30	Until: 18:30
					For: Alldays	1
					Until: 07:00	Until: 24:00
					1	0
					Until: 17:30	Through: 9/30
					0	For: Alldays
					Until: 24:00	Until: 07:00
					1	1
					Through: 12/31	Until: 17:30
					For: Alldays	0
					Until: 07:00	Until: 24:00
					0	1
					Until: 17:30	Through: 12/31
					1	For: Alldays
					Until: 24:00	Until: 11:00
					0	0

Εικόνα 83. Προγραμματισμός φυσικού αερισμού

Αντίστοιχα κατά την θερινή μέρα της 12ης Ιουλίου, φαίνεται από τα διαγράμματα ότι η εσωτερική θερμοκρασία πλησιάζει πιο πολύ την θερμοκρασία του περιβάλλοντος χωρίς όμως να παρατηρούνται φαινόμενα υπερθέρμανσης. Κατά τις μεσημβρινές ώρες που οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες τα μοντέλα βρίσκονται περίπου 3-4 °C πιο κάτω. Στα παραπάνω διαγράμματα έγινε μια συνοπτική παρουσίαση της ωριαίας διακύμανσης της θερμοκρασίας για τις ημέρες 27η Ιανουαρίου και 12η Ιουλίου για την θερμική ζώνη της κατοικίας και

του διακένου στον τοίχο Trombe για τα 4 σενάρια. Λόγω όμως του ότι σε κάποια διαγράμματα υπάρχει πολύ μικρή διαφορά θα γίνει μια αξιολόγηση των συγκεκριμένων αποτελεσμάτων, μέσω της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας. Τα εν λόγω αποτελέσματα, θα συγκριθούν με τα αντίστοιχα ενός μοντέλου με ακριβώς ίδιο σχεδιασμό, αλλά χωρίς τοίχο Trombe. Παρακάτω θα γίνει παρουσίαση και των θερμοκρασιών στο διάκενο που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

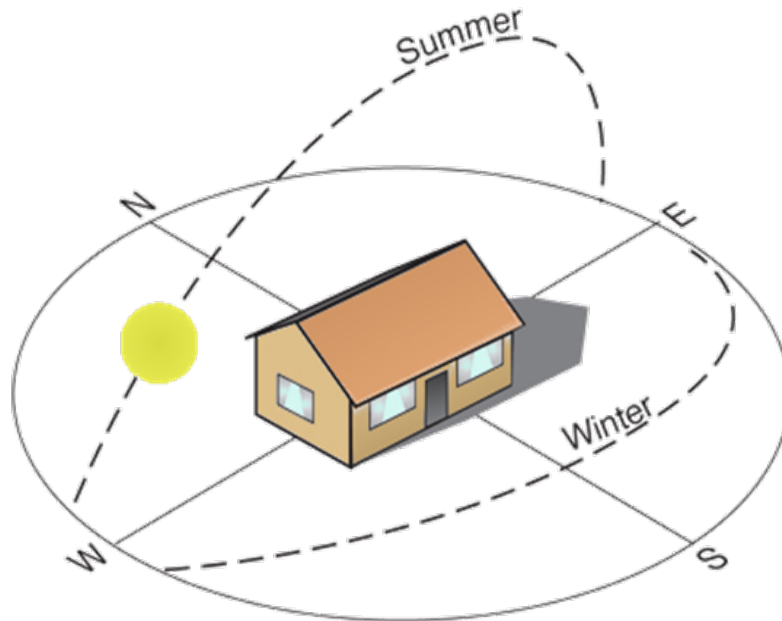


Γράφημα 9. Σύγκριση μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών 27ης Ιανουαρίου

Όπως φαίνεται από το παραπάνω γράφημα, οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες των Σεναρίων 1,2,3 έχουν πολύ μικρές αποκλίσεις της τάξης των 0,2 °C. Συγκριτικά με το μοντέλο χωρίς τοίχο Trombe παρατηρείται μια λίγο μεγαλύτερη διαφορά της τάξης των 0,8 °C. Ο τοίχος Trombe καταφέρνει την συγκεκριμένη ημέρα να αποδώσει περισσότερη θερμότητα στο εσωτερικό του μοντέλου από ένα απλό μοντέλο με κλασσική τοιχοποιία (όλα αυτά σε ένα μοντέλο το οποίο θερμαίνεται καθαρά παθητικά στην διάρκεια του χειμώνα.) Παρ' όλα αυτά το Σενάριο 4 είναι αυτό που ξεχωρίζει. Με μια διαφορά της τάξης των 3 βαθμών πάνω περίπου, σε σχέση με τα άλλα σενάρια, προσδίδει στο εσωτερικό αισθητά περισσότερη θερμότητα. Ουσιαστικά, στην

συγκεκριμένη περίπτωση, ο τοίχος Trombe λειτουργεί σαν ένας ηλιακός συλλέκτης ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

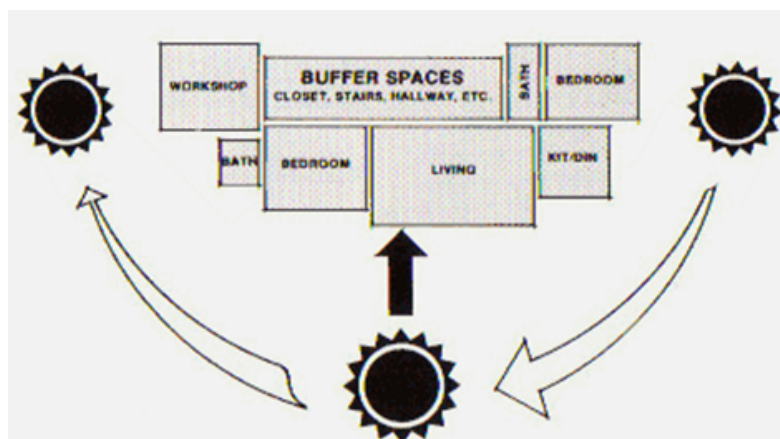
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το ηλιακό μονοπάτι, κατά τη διάρκεια του χειμώνα και του καλοκαιριού :



Εικόνα 84. Ηλιακό Μονοπάτι

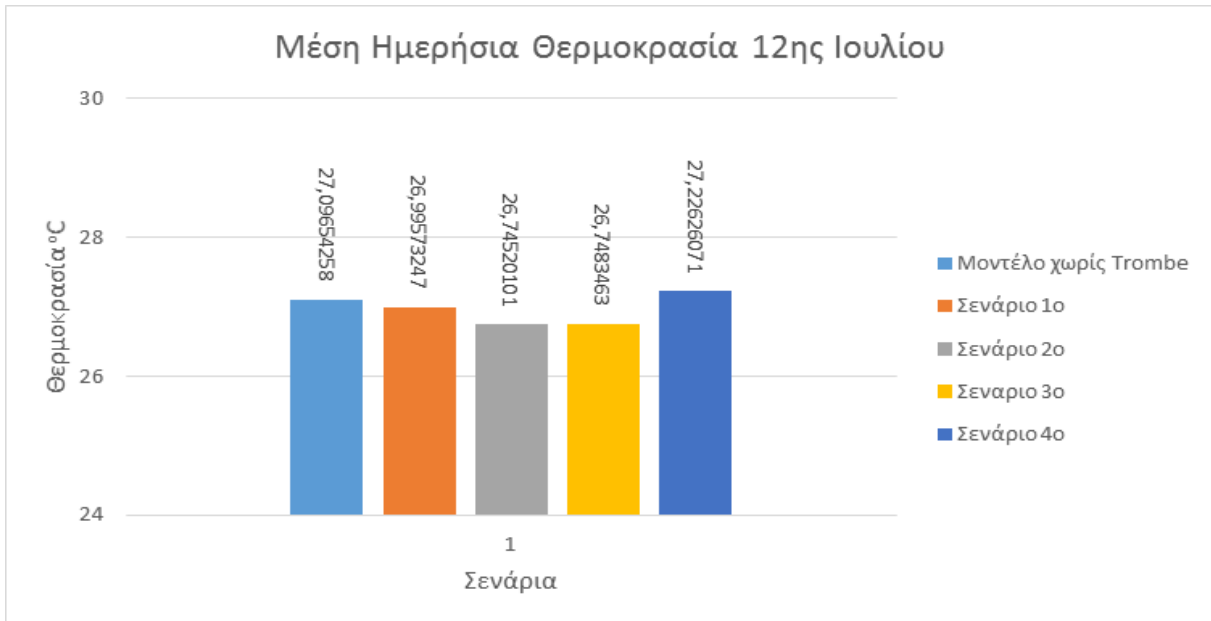
Όπως φαίνεται από την εικόνα, η κεκλιμένη οροφή δέχεται εξίσου αποτελεσματικά τις ακτίνες του ηλίου κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με την νότια τοιχοποιία. Επιπλέον επιτρέπει τον σχεδιασμό ενός επιπλέον ανοίγματος στον νότιο τοίχο, όπως ένα μεγάλο παράθυρο ή μια τζαμαρία. Με αυτόν τρόπο περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία και φως εισέρχονται στον χώρο. Ο σχεδιασμός μιας κατοικίας, πολλές φορές επιβάλλει την κατασκευή των χώρων που

χρησιμοποιούνται πιο συχνά, στην νότια πλευρά. Έτσι το καθιστικό, η κουζίνα και κάποιο υπνοδωμάτιο είναι αυτά που χρειάζονται περισσότερο φως και θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα.



Εικόνα 85. Προσανατολισμός Χώρων Κατοικίας [24]

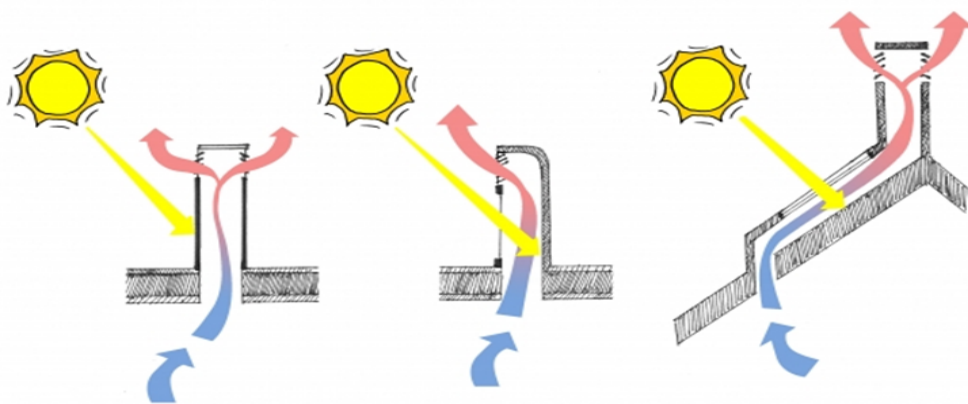
Παρακάτω δίνεται το γράφημα με τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για την 12η Ιουλίου :



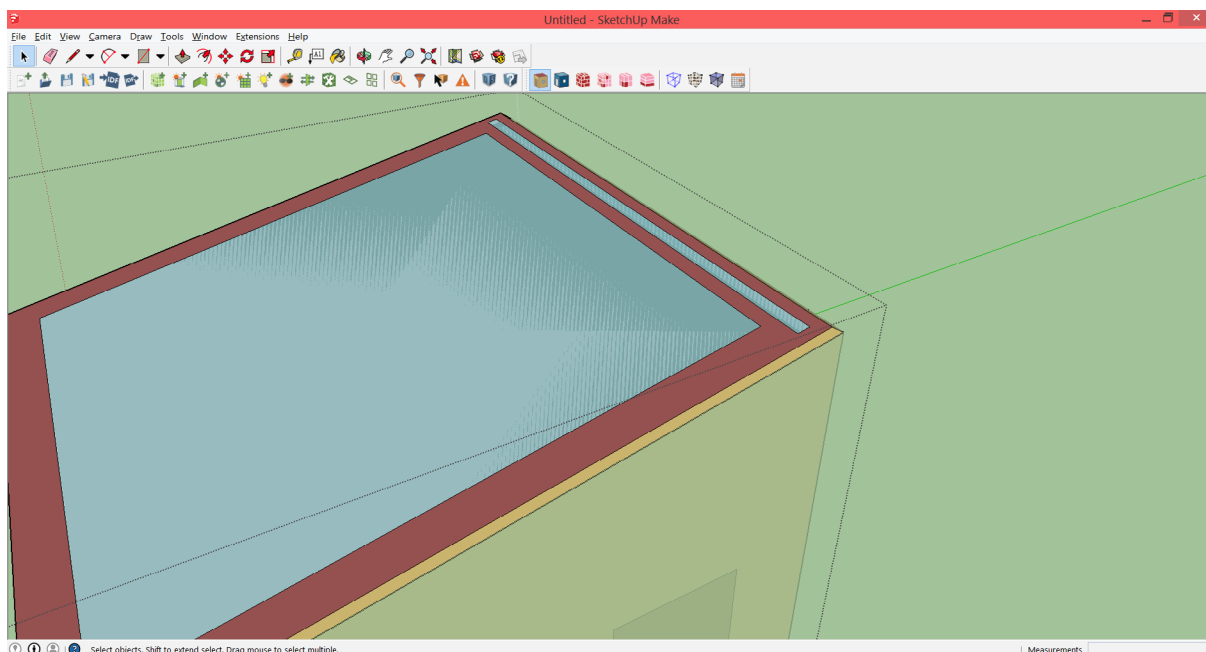
Γράφημα 10. Σύγκριση μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών 12ης Ιουλίου

Αντίστοιχα με τα αποτελέσματα της χειμερινής περιόδου, έτσι και στην θερινή, τα Σενάρια 1,2,3 έχουν σχεδόν την ίδια μέση ημερήσια θερμοκρασία κατά την 12η Ιουλίου, ενώ το 4ο Σενάριο έχει 0,4 °C υψηλότερη θερμοκρασία. Αυτό ήταν αναμενόμενο καθώς όπως φαίνεται και στο ηλιακό μονοπάτι στην εικόνα 83, κατά την διάρκεια του θέρους ο τοίχος- οροφή Trombe δέχεται για πολύ μεγάλο κομμάτι της ημέρας, κάθετα τις ακτίνες του ηλίου.

Παρ' όλα αυτά, κάποιος θα περίμενε να εμφανιστεί φαινόμενο υπερθέρμανσης. Αυτό δεν συμβαίνει καθώς το σύστημα του τοίχου- οροφής Trombe λειτουργεί σαν ένα είδος ηλιακής καμινάδας. Μέσω της θυρίδας που έχει σχεδιαστεί στο υψηλότερο κομμάτι της οροφής, ο θερμός αέρας που μπορεί να συσσωρεύεται στο διάκενο και να δημιουργεί φαινόμενα υπερθέρμανσης, απομακρύνεται στο περιβάλλον.



Εικόνα 86. Διάφορα Συστήματα ηλιακής καμινάδας [25]



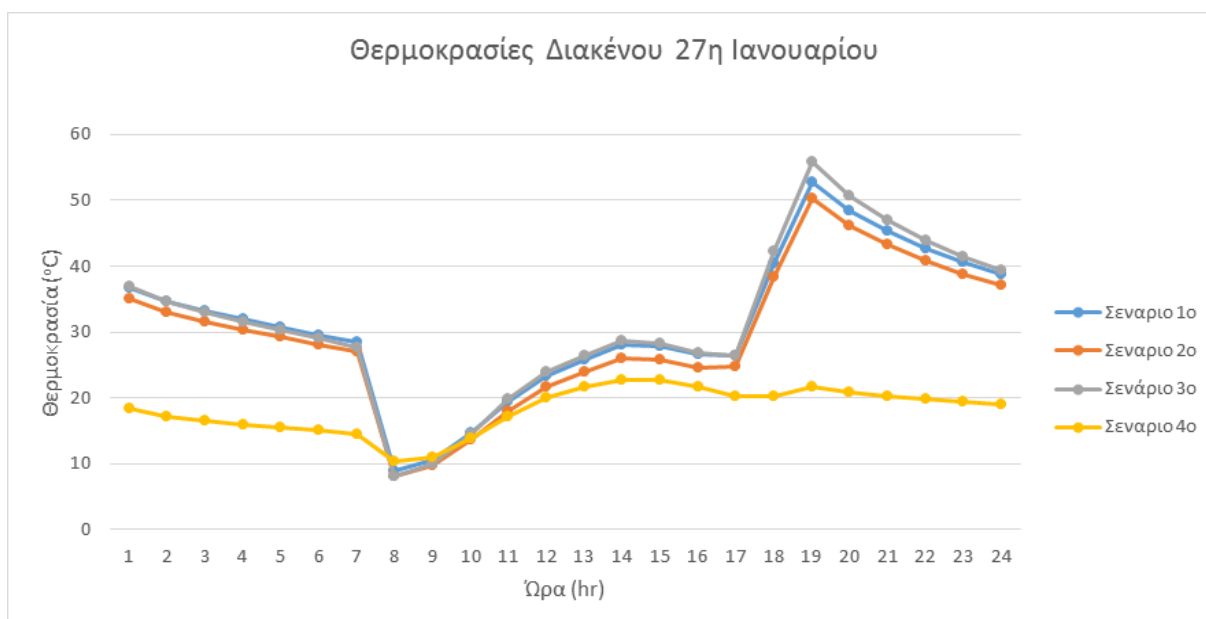
Εικόνα 87. Θυρίδα εξαιρισμού τοίχου-οροφής Trombe

Ένα ακόμα θετικό στοιχείο του εν λόγω σχεδιασμού είναι η δυνατότητα της αποβολής του θερμού στρώματος αέρα που συγκεντρώνεται κοντά στην οροφή. Λόγω της υψηλής του πυκνότητας, ο θερμός αέρας είναι πιο ελαφρύς και τείνει να κινείται προς τα πάνω.

Από τη στιγμή που η κεκλιμένη οροφή δεν σκιάζεται με κάποιον τρόπο, το σύστημα λειτουργεί επαρκώς,

προσφέροντας ομοιόμορφη θερμική κάλυψη στον χώρο από κάτω του.

Επίσης κρίνεται χρήσιμο, να παρουσιάσουμε τις θερμοκρασιακές συνθήκες που επικρατούν στο διάκενο, μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου Trombe. Κατανομή θερμοκρασίας στο διάκενο κατά την 27η Ιανουαρίου :

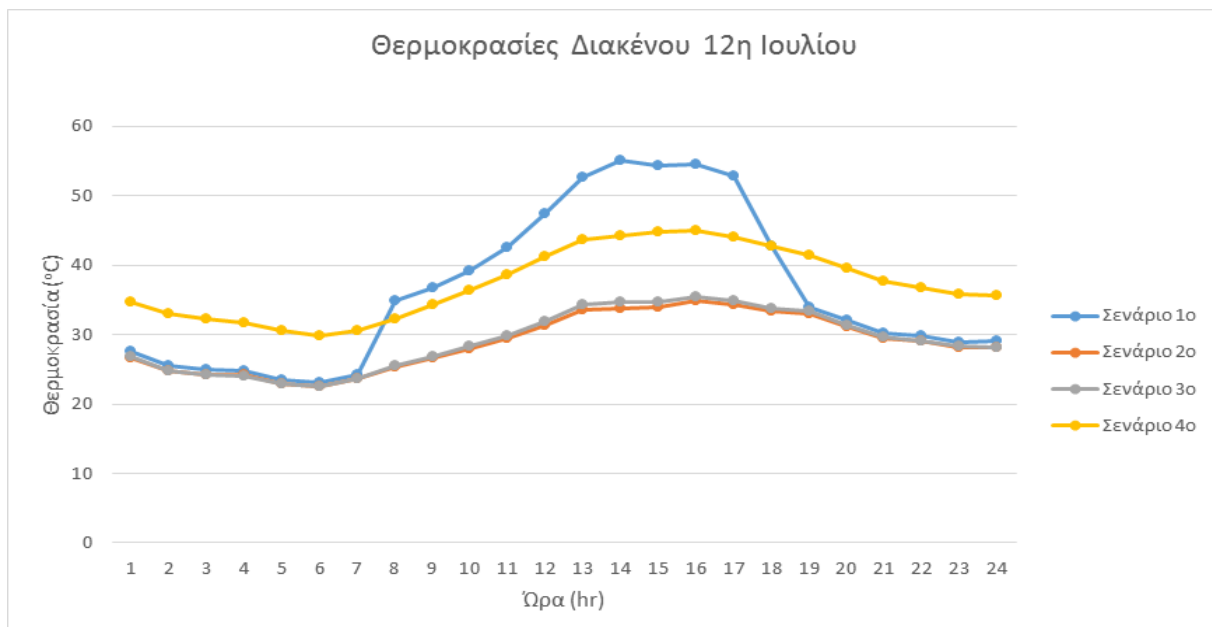


Γράφημα 11. Κατανομή θερμοκρασίας διακένου 27ης Ιανουαρίου

Όπως φαίνεται από τη διάγραμμα κατά τη διάρκεια της 27ης Ιανουαρίου τα 3 πρώτα Σενάρια παρουσιάζουν παρόμοια κατανομή. Από τα μεσάνυχτα μέχρι και τις 7 το πρωί, η θερμοκρασία έχει μια ελαφρώς πτωτική πορεία, κινούμενη σε ένα θερμοκρασιακό εύρος 27-38 °C, θερμοκρασίες που δεν ενέχουν κίνδυνο για διάβρωση των υλικών. Έπειτα στις 7:00, ανοίγουν και όπως είναι αναμενόμενο η θερμοκρασία πέφτει απότομα και με ένα σταθερό ρυθμό αυξάνεται. Ο ήλιος προσπίπτει στο γυαλί, θερμαίνει τον αέρα του διακένου και με βάση το φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού που εξηγήσαμε στην εισαγωγή, αυτός ο θερμός αέρα περνάει στον εσωτερικό χώρο. Στις 17:30, οι θυρίδες κλείνουν και όπως είναι φυσικό, η θερμοκρασία του διακένου αυξάνεται

απότομα φτάνοντας ένα μέγιστο στους 52-55 °C. Παρ' όλα αυτά ένα καλά μονωμένο υαλοστάσιο μπορεί να αντέξει μέχρι και 200 °C. Το σενάριο 4 παρουσιάζει μια πιο ομαλή διακύμανση κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αυτή να κυμαίνεται, από 10-23 °C, με αντίστοιχη χρονική πορεία με αυτή των άλλων 3 σεναρίων. Το θετικό που παρουσιάζει το 4ο σενάριο είναι έχει μικρές αυξομειώσεις θερμοκρασιών. Με αυτόν τον τρόπο, η συστολή και διαστολή των υλικών που περιβάλλουν το διάκενο είναι μικρή και συνεπώς και η φθορά τους αντίστοιχα μικρή.

Κατανομή θερμοκρασίας στο διάκενο κατά της 12η Ιουλίου:



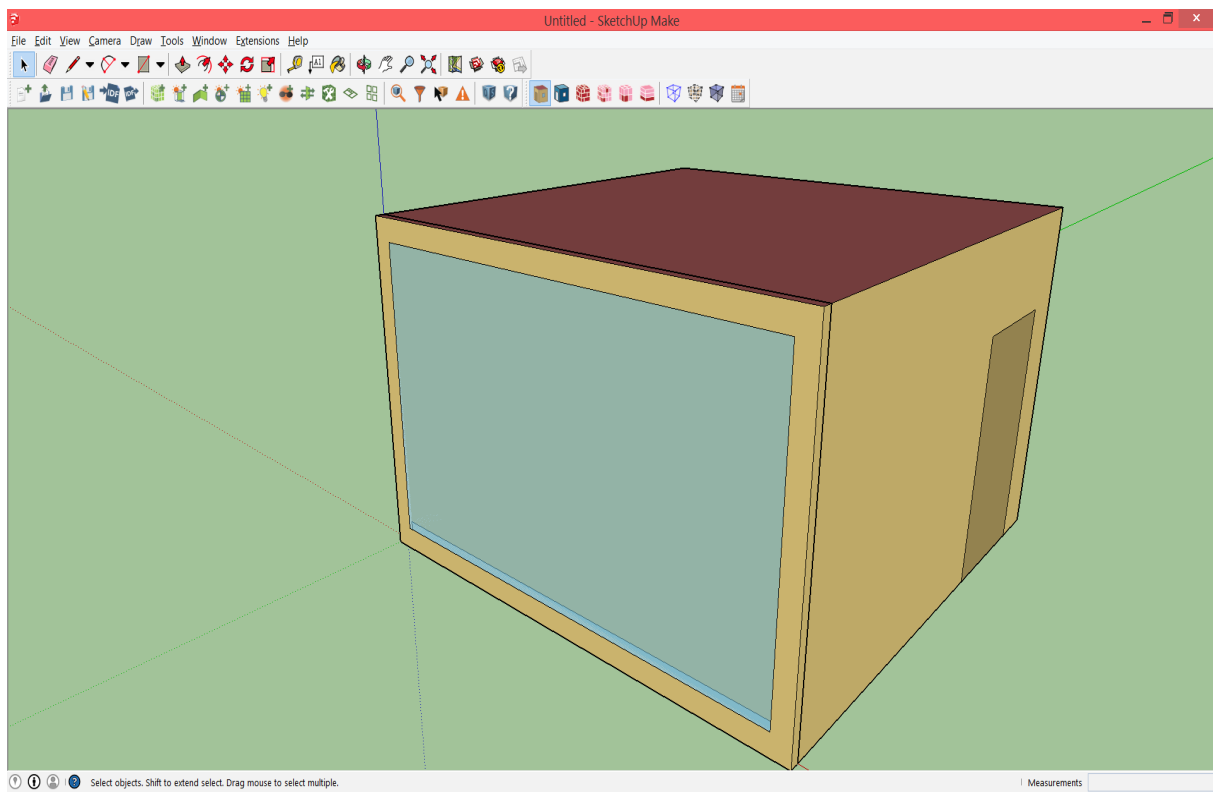
Γράφημα 12. Κατανομή θερμοκρασίας διακένου 12ης Ιουλίου

Στο συγκεκριμένο διάγραμμα που παρουσιάζει τις θερμοκρασίες κατά την 12η Ιουλίου, παρατηρούμε ότι τα Σενάρια 2,3 με τον παρόμοιο σχεδιασμό έχουν σχεδόν την ίδια κατανομή θερμοκρασίας. Επίσης το Σενάριο 4 έχει την ίδια καμπύλη με τα Σενάρια 2,3 αλλά περίπου 6-7 βαθμούς παραπάνω. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς το Σενάριο 4, με τον σχεδιασμό τοίχου- οροφής Trombe, όπως εξηγήσαμε και παραπάνω βρίσκεται εκτεθειμένο στην ηλιακή ακτινοβολία για ένα πολύ μεγάλο κομμάτι της ημέρας, χωρίς κάποιο σκίαστρο ή έστω την σκίαση από την

προεξοχή της οροφής, κατά την θερινή περίοδο. Οι θυρίδες εξαερισμού που έχουν σχεδιαστεί και φαίνονται στην εικόνα 86 είναι αυτές που βοηθούν στην αποσυμφόρηση του θερμού αέρα του διακένου και την αποφυγή υπερθέρμανσης.

Το Σενάριο 1 είναι αυτό που παρουσιάζει σημαντική απόκλιση από τα υπόλοιπα 3. Από τα μεσάνυχτα μέχρι και τις 07:00 το διάγραμμα είναι το ίδιο. Μετά τις 07:00 όμως η θερμοκρασία παρουσιάζει ανοδική πορεία μέχρι τη μέγιστη των 55 °C. Είναι λογικό να υποθέσουμε ότι αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας

διακένου, οφείλεται στο γεγονός ότι το μοντέλο του 1ου Σεναρίου δεν περιλαμβάνει θυρίδα εξαερισμού στο εξωτερικό υαλοστάσιο όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 88. Σενάριο 1ο Απουσία εξωτερικής θυρίδας εξαερισμού

Η απουσία λοιπόν της θυρίδας είναι αυτή που προκαλεί την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας στο διάκενο, χωρίς αυτό βέβαια να σημαίνει την ύπαρξη κινδύνου για τα υλικά και το ενδεχόμενο υπερθέρμανσης.

Σε αυτό το σημείο φαίνεται η αναγκαιότητα ύπαρξης θυρίδων εξαερισμού στον τοίχο και ειδικά μια θυρίδα πάνω στο υαλοστάσιο για την απομάκρυνση του θερμού αέρα του διακένου και την ανανέωση του με καινούργιο αέρα περιβάλλοντος.

Στη συνέχεια θα γίνει μία σύγκριση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών ζώνης για όλο το έτος με τις συνθήκες θερμικής άνεσης. Η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί είναι η εξής :

Θα χρησιμοποιήσουμε την εξίσωση της ASHRAE για την βέλτιστη θερμοκρασία θερμικής άνεσης:

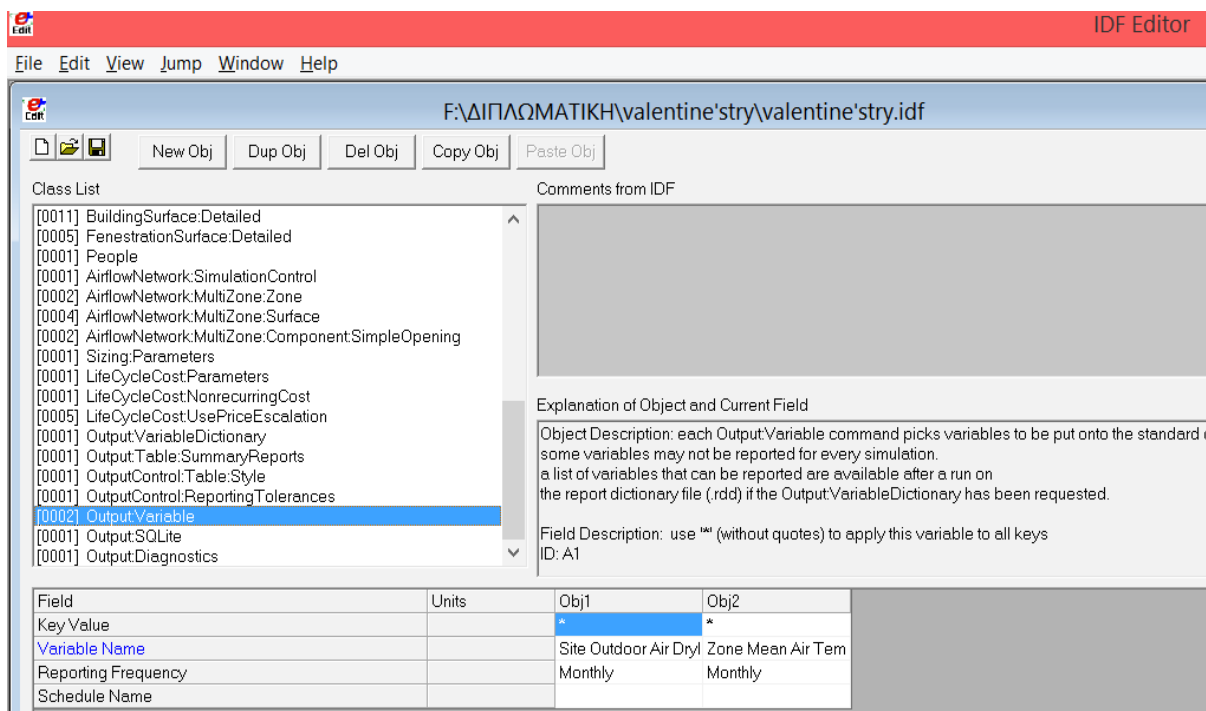
$$T_{comf} = 0.31 \times T_{a,out} + 17.8 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Όπου αντικαθιστούμε την $T_{a,out}$ με τη μέση θερμοκρασία ξηρού βολβού περιβάλλοντος και

προκύπτει η βέλτιστη θερμοκρασία θερμικής άνεσης T_{comf} .

Στη συνέχεια, επιλέγουμε επίπεδο αποδοχής 80% η όποια υποδεικνύει ένα θερμοκρασιακό εύρος $\pm 7^\circ\text{C}$ γύρω από την θερμοκρασία T_{comf} . Αυτό συνεπάγεται την χάραξη 2 διαγραμμάτων μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας θερμικής άνεσης για τα όποια ισχύει $\max = T_{comf} + 3.5^\circ\text{C}$ και $\min = T_{comf} - 3.5^\circ\text{C}$. Τέλος θα προσθέσουμε στο διάγραμμα τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κάθε Σεναρίου και θα γίνει μια αξιολόγηση του κατά πόσο αυτές οι θερμοκρασίες βρίσκονται μέσα στα όρια των θερμικών αυτών ζωνών.

Η διαφορά στο Energy Plus είναι ότι επιλέγουμε στο Class Output:Variable την εξαγωγή αποτελεσμάτων σαν μέσες μηνιαίες τιμές.

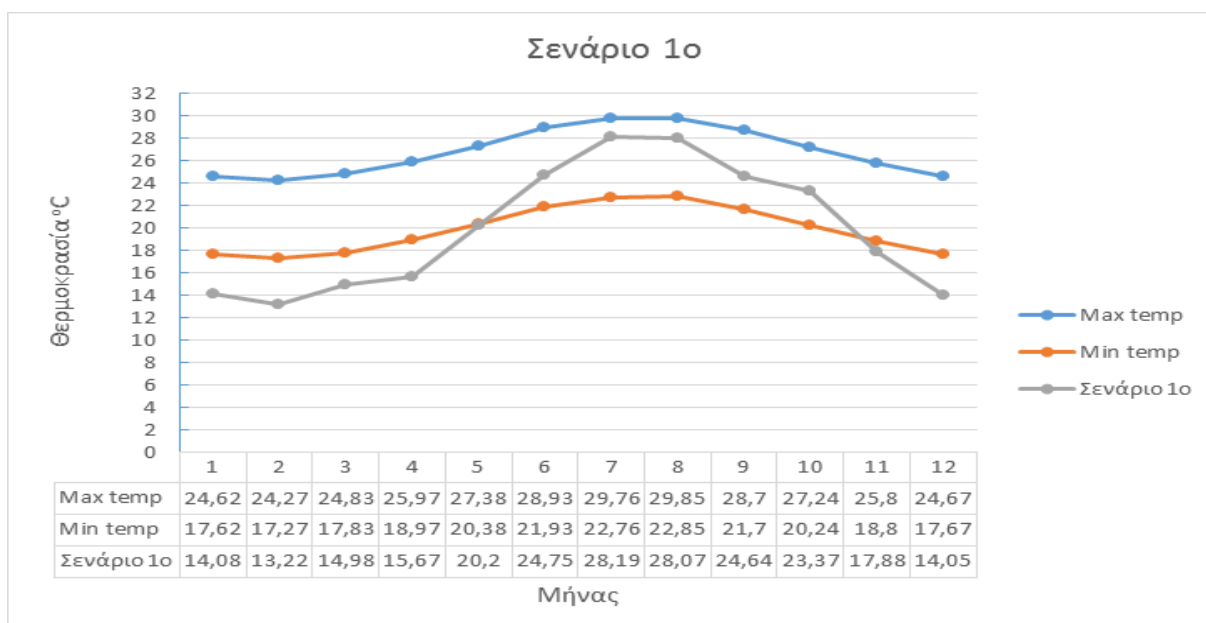


Εικόνα 89. Επιλογή μηνιαίων αποτελεσμάτων idf editor

Στα παρακάτω 4 Διαγράμματα φαίνονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες για κάθε Σενάριο και ο συσχετισμός τους με το εύρος θερμικής άνεσης που

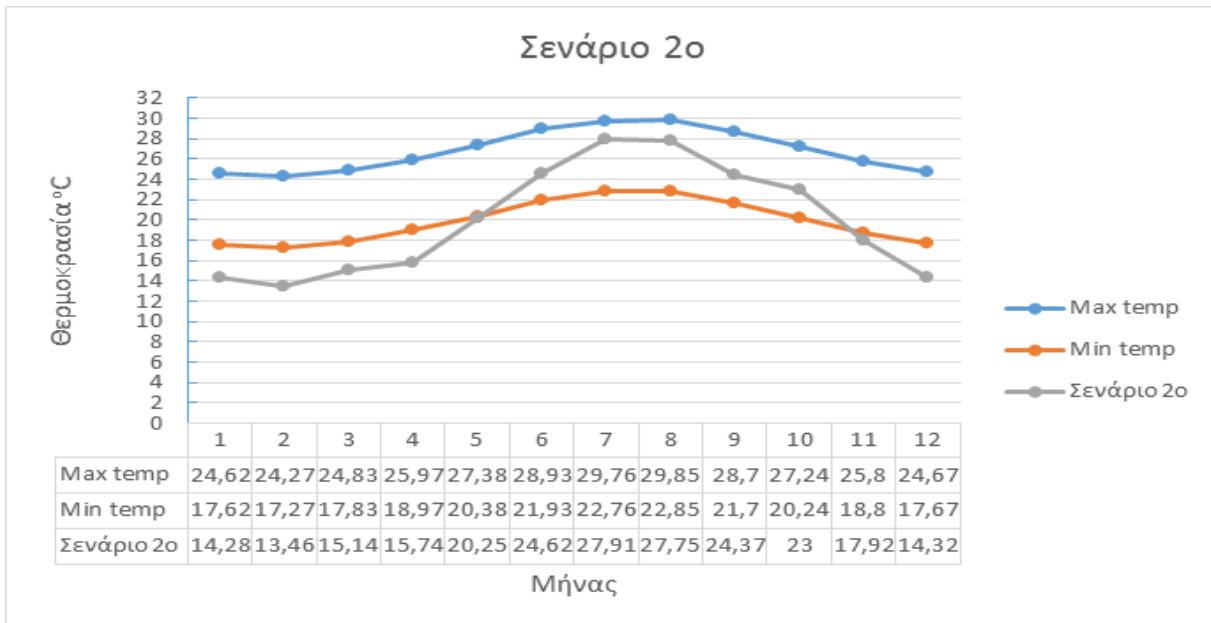
αναφέρθηκε παραπάνω :

Διάγραμμα 1ο :



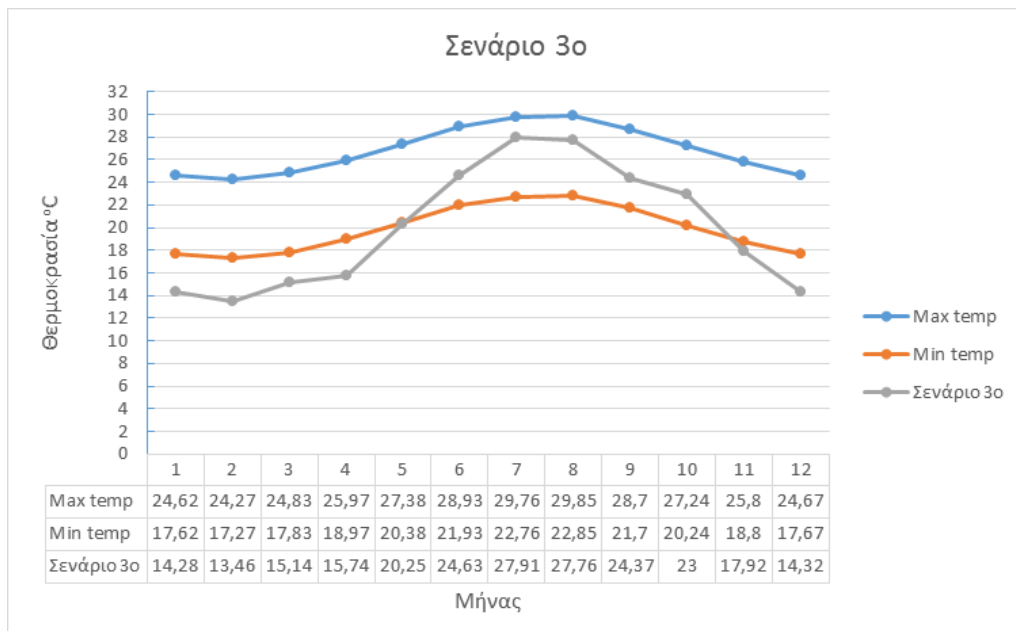
Γράφημα 13. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες 1ου Σεναρίου

Διάγραμμα 2ο :



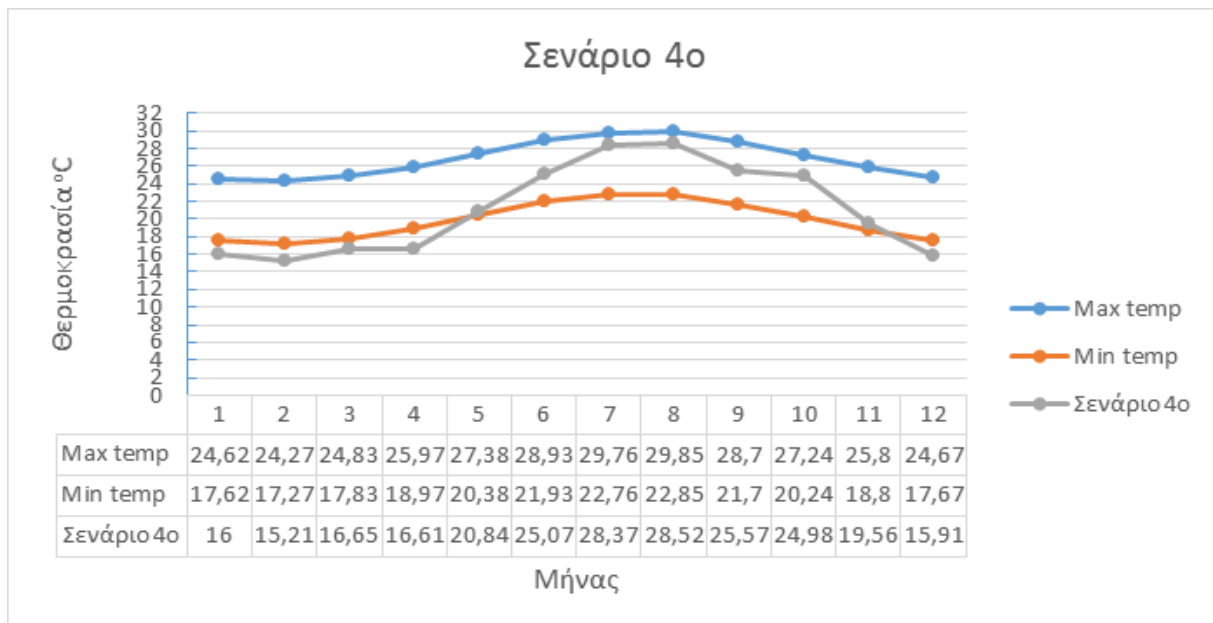
Γράφημα 14. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες 2ου Σεναρίου

Διάγραμμα 3ο :



Γράφημα 15. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες 3ου Σεναρίου

Διάγραμμα 4ο :



Γράφημα 16. Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες 4ου Σεναρίου

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από τα παραπάνω διαγράμματα είναι τα εξής: Αρχικά τα διαγράμματα των Σεναρίων 2,3 είναι τα ίδια με τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες τους. Το Σενάριο 1 επίσης έχει πολύ μικρή διαφορά με τα 2,3 της τάξης των 0,3 °C. Το αποτέλεσμα βέβαια για τα 3 πρώτα σενάρια παραμένει το ίδιο. Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτιος, Απρίλης, Δεκέμβρης βρίσκονται εκτός ορίων θερμικής άνεσης με περίπου 3 °C χαμηλότερη μέση θερμοκρασία από την ελάχιστη αντίστοιχη θερμική άνεσης. Οι μήνες Μάιος και Νοέμβριος, βρίσκονται πολύ οριακά εκτός, γεγονός που δεν κρίνεται ανησυχητικό καθώς οι συνθήκες σχετικής υγρασίας που θα εξετάσουμε παρακάτω, μπορεί να συμβάλλουν στο αίσθημα άνεσης του ανθρώπου. Παρ' όλα αυτά, τα αποτελέσματα του Σεναρίου 4 παρουσιάζουν ενδιαφέρον και είναι αρκετά υποσχόμενα. Οι μήνες Μάιος, Ιούνιος, Ιούλιος,

Αύγουστος, Σεπτέμβρης, Οκτώβρης, Νοέμβρης βρίσκονται μέσα στα όρια της θερμικής άνεσης. Οι υπόλοιποι 5 μήνες, είναι οριακά εκτός με 1-2 °C διαφορά. Αυτό αποτελεί σίγουρα θετική εξέλιξη σε σχέση με τα προηγούμενα Σενάρια καθώς με αυτόν τον τρόπο 3 παραπάνω μήνες κρύου βρίσκονται πιο κοντά στην θερμική άνεση με τη χρήση μόνο του παθητικού συστήματος τοίχου-οροφής Trombe.

Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος :
των μηνών για κάθε σενάριο, καθώς και του

Μήνας	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος °C	Σενάριο 1ο	Σενάριο 2ο	Σενάριο 3ο	Σενάριο 4ο
January	10,700948	14,082758	14,284029	14,284992	16,003502
February	9,5820796	13,222288	13,460945	13,461348	15,207839
March	11,386313	14,979103	15,138915	15,139286	16,646178
April	15,055618	15,668494	15,73692	15,740543	16,607527
May	19,605884	20,202832	20,250538	20,254615	20,83559
June	24,607711	24,753617	24,621986	24,62503	25,074826
July	27,297168	28,188902	27,908232	27,912763	28,374891
August	27,58963	28,070576	27,752435	27,75617	28,524578
September	23,88005	24,64494	24,366667	24,3705	25,573599
October	19,152783	23,36674	22,996641	22,997411	24,975093
November	14,508922	17,877343	17,922923	17,923225	19,563819
December	10,863849	14,049319	14,322476	14,323054	15,914216

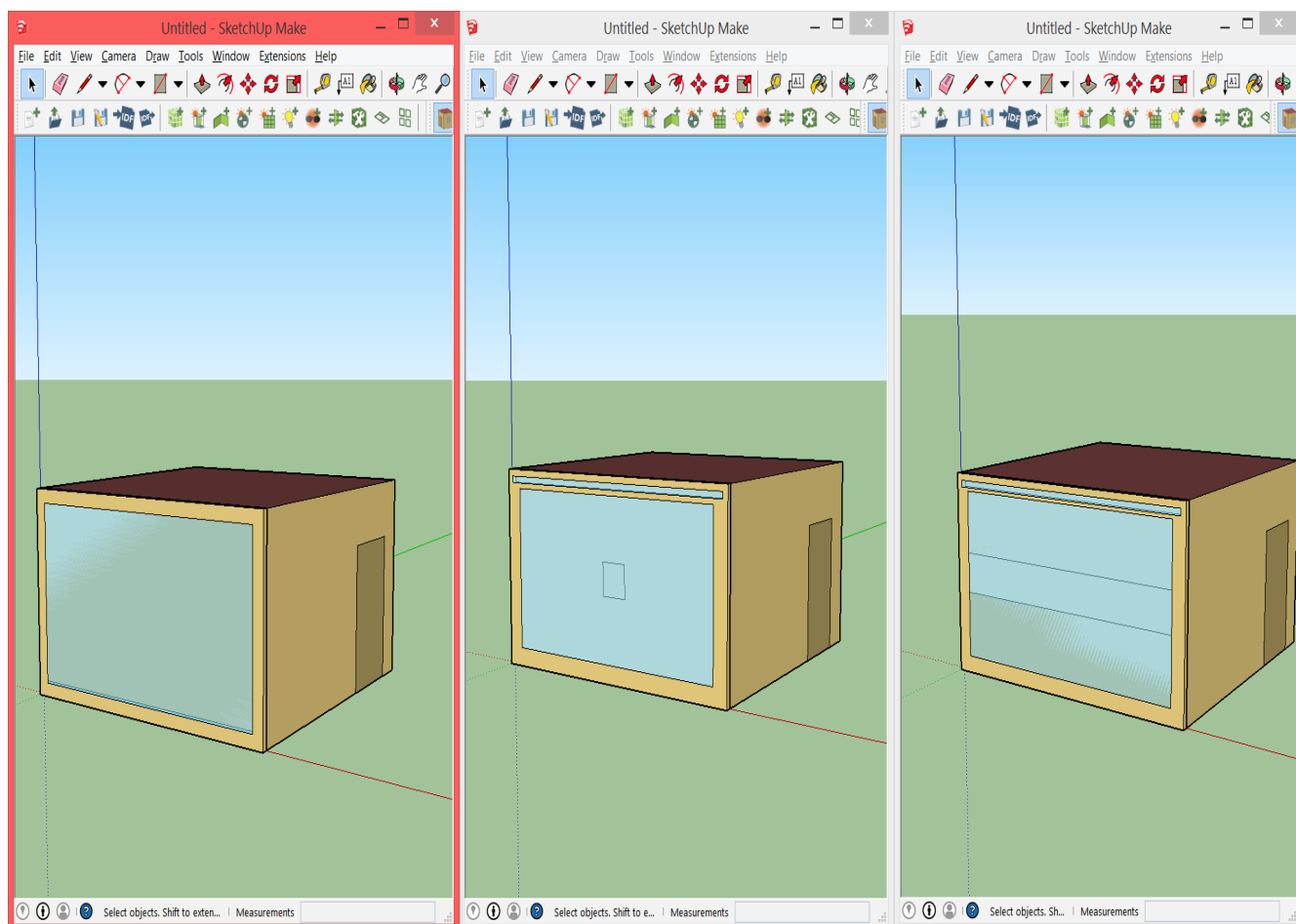
Πίνακας 7. Μέσες Μηνιαίες Θερμοκρασίες

Από την παραπάνω αναλυτική παρουσίαση των θερμοκρασιών, είναι ξεκάθαρο ότι η μερική αύξηση του εμβαδού, του υαλοστασίου πάνω στον τοίχο Trombe δεν επέφερε κάποια σημαντική βελτίωση στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η ύπαρξη του βέβαια αύξησε την θερμοκρασία κατά 0.4 °C σε σχέση με τον απλό τοίχο Trombe.

Επίσης είναι αισθητή η αύξηση της θερμοκρασίας κατά τους μήνες που επικρατεί περισσότερο κρύο. Δεκέμβρης, Ιανουάριος, Φεβρουάριος, Μάρτης έχουν μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες που βρίσκονται

γύρω στους 10 °C. Τα σενάρια 1,2,3 έχουν για αυτούς τους μήνες, εσωτερική μέση μηνιαία θερμοκρασία στους 14,2 °C και το σενάριο 4 κοντά στους 6 °C. Τα μοντέλα λοιπόν μέσω του παθητικού τους χαρακτήρα ανεβάζουν την εξωτερική θερμοκρασία, από 4-6 °C.

Μία παράθεση των 3 πρώτων σεναρίων :



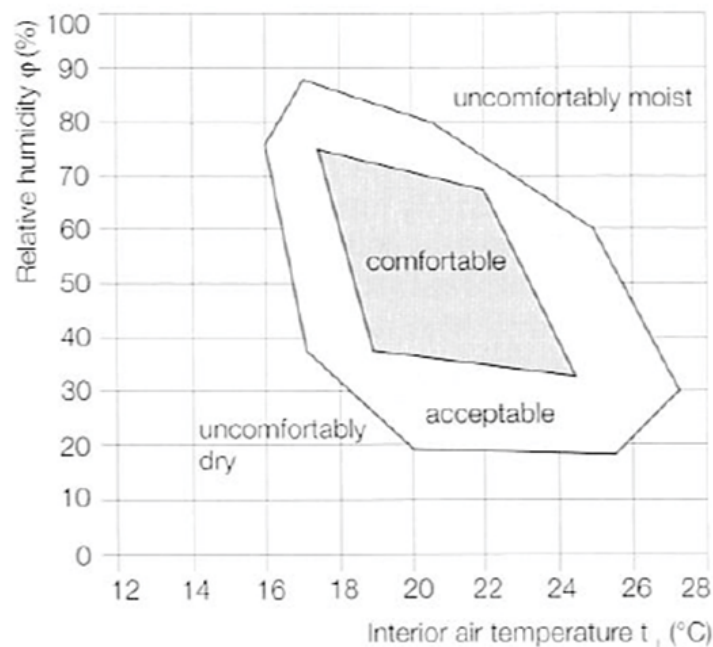
Εικόνα 90. Παράθεση των Σεναρίων 1,2,3

Τέλος θα γίνει μια αξιολόγηση της σχετικής υγρασίας που επικρατεί στο εσωτερικό του μοντέλου καθώς και αυτός είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης.

Το μέγεθος της σχετικής υγρασίας του αέρα, δείχνει το ποσοστό υδρατμών που υπάρχει στον αέρα. Η σχετική υγρασία εξαρτάται όπως είναι φυσικό και από την θερμοκρασία του αέρα. Όταν το επίπεδο σχετικής υγρασίας υπερβεί το ποσό του 80%, η αναπνοή γίνεται όλο και πιο δύσκολη καθώς ελάχιστη υγρασία προσδίδεται στο περιβάλλον μέσω του εκπνεόμενου αέρα. Αντίθετα, πολύ ξηρός αέρας με ποσοστό κάτω του 40% οδηγεί σε υψηλά επίπεδα σκόνης και

ηλεκτροστατικής εκφόρτισης από συνθετικά υλικά. Με αυτόν τον τρόπο, στεγνώνουν οι βλεννώδεις μεμβράνες του οργανισμού, και ο άνθρωπος είναι ευάλωτος σε μολυσματικές ασθένειες.

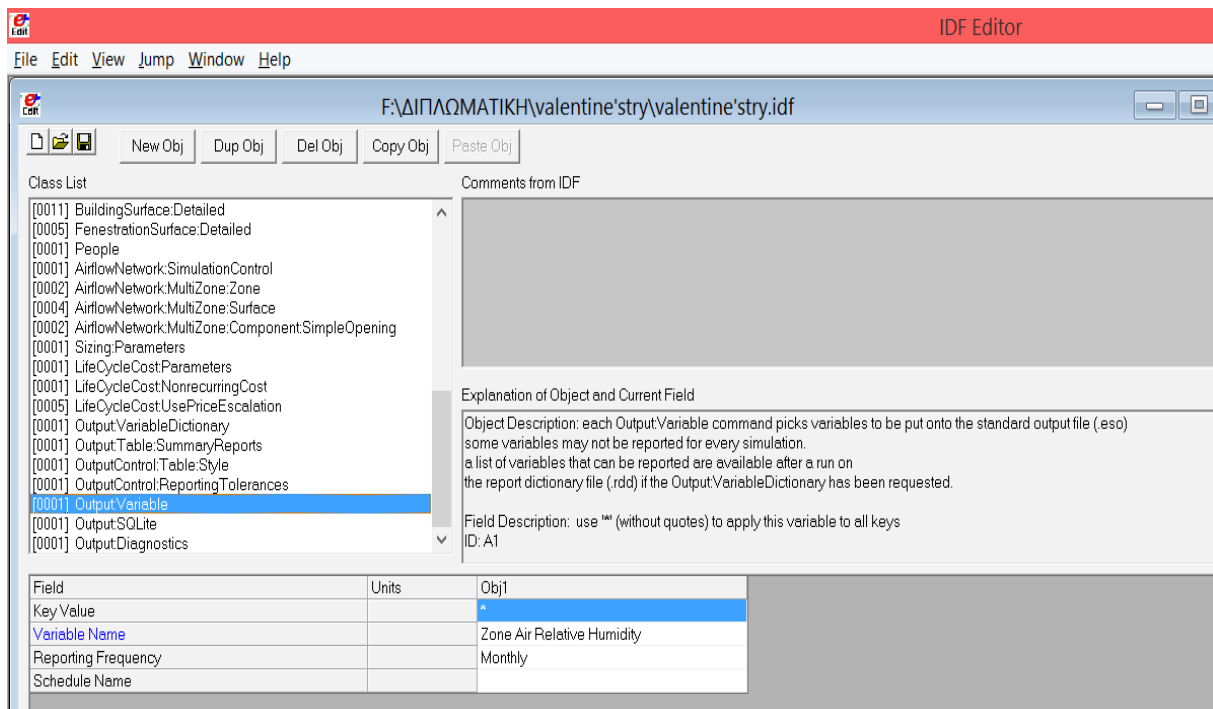
Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται τα αποδεκτά και μη όρια σχετικής υγρασίας σε συσχετισμό με την θερμοκρασία του αέρα :



Γράφημα 17. Χάρτης άνεσης-σχετικής υγρασίας [26]

Το Energy Plus εξάγει αποτελέσματα σχετικής υγρασίας όταν στο πεδίο output: variable επιλέξουμε

την μεταβλητή zone air relative humidity.



Εικόνα 91. Επιλογή εξαγόμενης μεταβλητής : Σχετική Υγρασία Αέρα

Τα αποτελέσματα της σχετικής υγρασίας φαίνονται στους παρακάτω πίνακες όπου παρουσιάζεται η εσωτερική θερμοκρασία του αέρα και το ποσοστό υγρασίας για κάθε μήνα, όπως αυτά προέκυψαν

από την προσομοίωση του Energy Plus, καθώς και ο χαρακτηρισμός κάθε μήνα με βάση το Γράφημα 17 :

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα ζώνης °C	Σχετική Υγρασία (%)	Χαρακτηρισμός
January	14,082758	59,39516214	dry
February	13,222288	57,6909966	dry
March	14,979103	58,05580481	dry
April	15,668494	60,6504708	dry
May	20,202832	63,37532373	comfortable
June	24,753617	55,35186392	acceptable
July	28,188902	52,44030339	moist
August	28,070576	56,33281125	moist
September	24,64494	59,44950937	acceptable
October	23,36674	63,80045912	acceptable
November	17,877343	67,516919	comfortable
December	14,049319	61,16128195	dry

Πίνακας 8. Σχετική υγρασία και χαρακτηρισμός 1ου Σεναρίου

Όπως είναι λογικό οι θερινοί μήνες παρουσιάζουν μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας. Αυτό συμβαίνει επειδή ο θερμός αέρας συγκρατεί μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας απ' ότι ο κρύος. Αυτός είναι ο

λόγος που το καλοκαίρι αισθανόμαστε ο αέρας να είναι κολλώδης και είναι πιθανές οι περιπτώσεις δύσπνοιας.

Μήνας	Θερμοκρασία ζώνης °C	Σχετική Υγρασία (%)	Χαρακτηρισμός
January	14,284029	58,97502729	dry
February	13,460945	57,17899801	dry
March	15,138915	57,72496173	dry
April	15,73692	60,4536553	dry
May	20,250538	63,22776849	comfortable
June	24,621986	55,67234827	acceptable
July	27,908232	53,10815907	moist
August	27,752435	57,13512232	moist
September	24,366667	60,18191476	acceptable
October	22,996641	64,66258652	acceptable
November	17,922923	67,40773875	comfortable
December	14,322476	60,55928714	dry

Πίνακας 9. Σχετική υγρασία και χαρακτηρισμός 2ου Σεναρίου

Μήνας	Θερμοκρασία ζώνης °C	Σχετική Υγρασία (%)	Χαρακτηρισμός
January	14,284992	58,97266058	dry
February	13,461348	57,17746993	dry
March	15,139286	57,72381323	dry
April	15,740543	60,4425715	dry
May	20,254615	63,21616307	comfortable
June	24,62503	55,66504265	acceptable
July	27,912763	53,10089611	moist
August	27,75617	57,12688399	moist
September	24,3705	60,17338678	acceptable
October	22,997411	64,65337804	acceptable
November	17,923225	67,40269429	comfortable
December	14,323054	60,55612134	dry

Πίνακας 10. Σχετική υγρασία και χαρακτηρισμός 3ου Σεναρίου

Η σχετική υγρασία των σεναρίων 1,2,3 παρουσιάζει απόκλιση από τη ζώνης θερμικής άνεσης με 4 μόνο μήνες να βρίσκονται στην περιοχή αποδεκτής-άνετης κατάσταση. Η κατάσταση αυτή μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι επικρατούν σχετικά χαμηλές εσωτερικές θερμοκρασίες κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο, Μάρτιο, Απρίλη, Δεκέμβρη οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 13,5-15,2 °C. Είναι

εύκολο να διαπιστωθεί από το γράφημα 17 ότι εάν αυτές οι θερμοκρασίες βρίσκονταν περίπου 3-4 °C πιο πάνω τότε με το αντίστοιχο επίπεδο υγρασίας θα είχε επιτευχθεί η κατάσταση θερμικής άνεσης.

Μήνας	Θερμοκρασία ζώνης °C	Σχετική Υγρασία	Χαρακτηρισμός
January	16,003502	57,31195912	dry
February	15,207839	55,78348717	dry
March	16,646178	56,79701498	acceptable
April	16,607527	58,7008836	acceptable
May	20,83559	62,47629863	comfortable
June	25,074826	55,53101051	acceptable
July	28,374891	53,47606849	moist
August	28,524578	56,46517096	moist
September	25,573599	58,26852381	acceptable
October	24,975093	61,74526468	acceptable
November	19,563819	67,20338755	comfortable
December	15,914216	59,97162839	dry

Πίνακας 11. Σχετική υγρασία και χαρακτηρισμός 4ου Σεναρίου

Το σενάριο 4 καταφέρνει αυτό που αναφέρθηκε παραπάνω για τα σενάρια 1,2,3. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του μοντέλου (της τάξης των 16,7-18,8 °C συγκριτικά με τους αντίστοιχους μήνες των σεναρίων 1,2,3) εντάσσουν 2 περισσότερους μήνες στην περιοχή της αποδεκτής κατάστασης του γραφήματος 17. Στη συγκεκριμένη περίπτωση του Σεναρίου 4 βέβαια, παρουσιάζονται υψηλότερα ποσοστά σχετική υγρασίας, χωρίς όμως αυτά να κρίνονται επικίνδυνα υψηλά προς δυσφορία των ατόμων μέσα στον χώρο. Αυτό βέβαια είναι ένα πρόβλημα που επιλύεται με απλά μέσα χωρίς να χρειαστεί να γίνει κάποια επέμβαση στα δομικά στοιχεία ή το σύστημα τοίχου-οροφής Trombe.

Προτεινόμενες λύσεις θα μπορούσαν να είναι οι εξής :

Τον χειμώνα

- Χρήση ενός κινητού υγραντήρα δωματίου
- Προσθήκη οικιακών φυτών σε χώρους που παρουσιάζουν έλλειψη υγρασίας
- Τοποθέτηση δοχείων νερού κοντά στα συστήματα θέρμανσης
- Εγκατάσταση υγραντήρα με χρήση σε όλη την οικία
- Εγκατάσταση ειδικών θερμοστατών με αισθητήρες υγρασίας

Το καλοκαίρι

- Χρήση αφυγραντήρων
- Εγκατάσταση ανεμιστήρων εξάτμισης
- Χρήση αποξηραντικών (πρόκειται για χημικά, υγρά ή στερεά, τα οποία απορροφούν υγρασία από το αέρα)

Σύνοψη αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας τα παραπάνω αποτελέσματα και σχόλια :

Το 1ο σενάριο, το οποίο ουσιαστικά αποτελεί, τον κλασικό σχεδιασμό ενός τοίχου Trombe παρουσιάζει μια αρκετά βελτιωμένη θερμική συμπεριφορά σε σχέση με ένα απλό μοντέλο με μόνωση. Η κατανομή της θερμοκρασίας του αέρα μέσα στον χώρο κατά την χειμερινή μέρα (27η Ιανουαρίου) δεν έχει μεγάλες μεταβολές, με μια μέση ημερήσια θερμοκρασία στους 16,38 °C. Αντίστοιχα την θερινή ημέρα (12η Ιουλίου) αποφεύγεται το φαινόμενο υπερθέρμανσης με τη χρήση των προγραμμάτων εξαερισμού. Μέση ημερήσια θερμοκρασία στους 26,9 °C. Όσον αφορά τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες, όπως σχολιάστηκε και παραπάνω, το Σενάριο 1 έχει 5 μήνες μέσα στα όρια θερμικής άνεσης και άλλους 2 πολύ κοντά. Παρ' όλα αυτά οι μήνες που παραμένουν έξω είναι οι Δεκέμβριος- Απρίλιο, γεγονός που σημαίνει ότι ενώ το σύστημα καταφέρνει να θερμάνει τον χώρο, δεν μπορεί να σταθεί μόνο του σε μια κατοικία. Τέλος η σχετική υγρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του μοντέλου κινείται σε πολύ καλά επίπεδα (52-63%). Σε συνδυασμό με τη μερική χρήση ενός ενεργητικού συστήματος θέρμανσης-ψύξης, οι συνθήκες θερμικής άνεσης θα ήταν πολύ εύκολο να επιτευχθούν για όλη τη διάρκεια του έτους και με αρκετή εξοικονόμηση ενέργειας από την ήδη σημαντική συμβολή του παθητικού συστήματος τοίχου Trombe.

Τα σενάρια 2,3 δεν έχουν μεγάλη απόκλιση από το Σενάριο 1. Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για την 27η Ιανουαρίου βρίσκονται περίπου 0,2 °C πάνω από την αντίστοιχη του σεναρίου 1. Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες για την 12η Ιουλίου είναι αντίστοιχα 0,2 °C χαμηλότερα από την αντίστοιχη του Σεναρίου 1. Το ίδιο συμβαίνει και με τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες. Οι αντίστοιχοι μήνες βρίσκονται εκτός θερμικής άνεσης. Η σχετική υγρασία παρ' ότι ελαφρώς χαμηλότερη (1-2%) κινείται στα ίδια επίπεδα. Συνεπώς τα συμπεράσματα του Σεναρίου 1 για τα αποτελέσματα των θερμοκρασιών και της υγρασίας ισχύουν και στα Σενάρια 2,3. Βέβαια στην

προκειμένη περίπτωση έχουμε μια αισθητική και πρακτική διαφορά. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 85, αλλά είναι και ευρέως γνωστό, ένας τοίχος Trombe τοποθετείται σε ένα χώρο της κατοικίας ο οποίος έχει υψηλά ποσοστά χρήσης και κινητικότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Τέτοιοι χώροι είναι το καθιστικό, η κουζίνα και κάποιο υπνοδωμάτιο. Στην εικόνα 90 γίνεται μια παράθεση των 3 πρώτων Σεναρίων. Τα θετικά στοιχεία που παρουσιάζει ο σχεδιασμός 2 και περισσότερο ο σχεδιασμός 3 σε σχέση με το Σενάριο 1 είναι ότι επιτρέπουν στον νότιο τοίχο να έχει ένα άνοιγμα παρέχοντας επιπλέον φως στο δωμάτιο παράλληλα με τα θερμικά πλεονεκτήματα του τοίχου Trombe. Ο κλασικός σχεδιασμός του συστήματος Trombe, περιλαμβάνει έναν "τυφλό" τοίχο, ο οποίος παρ' ότι στον νότο δεν επιτρέπει την διείσδυση ηλιακής ακτινοβολίας στον εσωτερικό χώρο. Με το σχεδιασμό των Σεναρίων 2,3 επιλύεται το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Το Σενάριο 4 διαφοροποιείται από άποψη σχεδιασμού και αποτελεσμάτων. Η τοποθέτηση του τοίχου Trombe στην οροφή υπό κλίση συνεισφέρει στην ηλίαση για μεγάλο μέρος της ημέρας για όλες τις εποχές του χρόνου. Παράλληλα επιτρέπει την κατασκευή μεγάλου υαλοστασίου στον νότιο τοίχο για περαιτέρω θέρμανσης μέσω ηλιακής ακτινοβολίας αλλά την εισχώρηση περισσότερου φωτός όπως αναφέρθηκε και παραπάνω. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία στις 27 Ιανουαρίου βρίσκεται 3 οC περίπου πάνω από τις αντίστοιχες των Σεναρίων 1,2,3. Η μέση ημερήσια για την 12η Ιουλίου είναι στους 27,2 °C δηλαδή 0,3 υψηλότερα από τα Σενάρια 2,3. Στις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες το Σενάριο 4 παρουσιάζει μια αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας κατά τους χειμερινούς μήνες σε σχέση με τα άλλα 3 Σενάρια της τάξης των 2 °C. Το σύστημα τοίχου- οροφής λοιπόν θερμαίνει πιο ικανοποιητικά τον χώρο, χωρίς να παρουσιάζει φαινόμενα υπερθέρμανσης. Το Σενάριο 4 εντάσσει και 2 παραπάνω μήνες στα όρια θερμικής άνεσης καθώς και οι υπόλοιποι 5 βρίσκονται πολύ κοντά στα όρια. Οι ανάγκες για χρήση κάποιου

ενεργητικού συστήματος μειώνονται αισθητά αφού η θερμοκρασία πλησιάζει την θερμική άνεση. Η σχετική υγρασία που επικρατεί στο εσωτερικό του μοντέλου είναι ελάχιστα χαμηλότερη κάποιους μήνες της τάξης του 2-4% και σε συνδυασμό με τις υψηλότερες θερμοκρασίες που επικρατούν, έχουμε 2 παραπάνω μήνες στη ζώνη άνεσης.

Είναι ασφαλές να θεωρήσουμε ότι το Σενάριο 4 αποτελεί το βέλτιστο από τα 4 αυτά Σενάρια και μοντέλα που σχεδιάστηκαν. Απ' όλες τις απόψεις καταφέρνει να πλησιάζει όλους τους μήνες του χρόνου σε ιδανικές συνθήκες θερμικής άνεσης, να μειώνει τις ανάγκες σε επιπρόσθετα συστήματα ψύξης ή θέρμανσης. Επιπλέον παρουσιάζει έναν σχεδιασμό παθητικού συστήματος, ο οποίος είναι και λειτουργικός αλλά και ευχάριστος στους χρήστες-κατοίκους με τη διείσδυση επαρκούς ηλιακής ακτινοβολίας για τον φυσικό φωτισμό του χώρου.

Πηγές

- [1] Ανδρεαδάκη Ελένη, Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Περιβάλλον και Βιοσιμότητα
- [2] Passive Solar Building Design, Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar_building_design)
- [3] Passive Solar Home Design <http://energy.gov/energysaver/passive-solar-home-design>
- [4] Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων (pdf του μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτιρίων-Τζιβανίδης Χ.)
- [5] Passive Solar Systems (University of Southern California) http://www.usc.edu/dept-00/dept/architecture/mbs/tools/thermal/controls_pasmain.html
- [6] Φυσικός Αερισμός ΚΑΠΕ (http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm)
- [7] Trombe Wall Wikipedia https://en.wikipedia.org/wiki/Trombe_wall
- [8] Alex Wilson, Thermal Storage Wall Design, 1979 New Mexico Solar Energy Association
- [9] Passive Solar House Design Using a Two-Story Trombe Wall, Douglas Kelbaugh <http://www.motherearthnews.com/green-homes/passive-solar-house-design-zmaz77zlan.aspx?PagelD=1>
- [10] Kaiman Lee, Encyclopedia of Energy-Efficient Building Design: 391 Practical Studies, Environmental Design and Research Center, 1977
- [11] The Sunburst Passive Solar House, (<http://www.motherearthnews.com/green-homes/passive-solar-house-zmaz79jzfzraw.aspx>)
- [12] P. Torcellini and S. Pless, Trombe Walls in Low-Energy Buildings: Practical Experiences, NREL (to be presented at the World Renewable Energy Congress VIII and Expo Denver, Colorado, August 29- September 3 2004)
- [13] EnergyPlus Energy Simulation Software by The U.S Department of Energy (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>)
- [14] EnergyPlus Engineering Reference, 2014
- [15] G. S. Brager and R. de Dear, Climate, Comfort and Natural Ventilation: A new adaptive comfort standard for ASHRAE Standard 55, Center for the Built Environment, 2001.
- [16] EnergyPlus Weather Data, (<https://energyplus.net/weather>)
- [17] Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης, ΚΑΠΕ http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_passive.htm
- [18] Indirect Solar Gain System <http://www.scuolacaccia.it/attivita/clil2/webquest/resources/consumerenergycenter/www.consumerenergycenter.org/home/construction/solardesign/indirect.html>
- [19] Thermal Mass http://energyeducation.ca/encyclopedia/Thermal_mass
- [20] Trombe Wall and Attached Sunspace <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/trombe-wall-and-attached-sunspace>
- [21] Climate Sensible Buildings, Murdoch University <http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/house/>
- [22] Windows and Overhangs in Solar Home

Design <http://www.solar-for-energy.com/windows-and-overhangs.html>

[23] Solar Wall <http://www.builditsolar.com/Projects/SpaceHeating/SolarWall/SolarWall.htm>

[24] Building orientation for optimum energy <https://www.nachi.org/building-orientation-optimum-energy.htm?loadbetadesign=0>

[25] Stack Ventilation and Bernoulli's Principle <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/stack-ventilation-and-bernoullis-principle>

[26] Factors of Comfort, Environmental Design in University Curricula and Architectural Training in Europe <https://www.educate-sustainability.eu/kb/content/factors-comfort>