



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ ΚΑΙ  
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΙΧΟΥ ΤΡΟΜΒΕ ΣΕ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ**

**ΓΟΥΛΑΣ ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΣ**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης**

**Αθήνα, Ιούνιος 2022**

# Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει σκοπό να διερευνήσει την επίδραση της εφαρμογής του τοίχου Trombe σε ένα χώρο και ένα κτίριο. Η επίδραση αυτή αναλύεται σε επίπεδο θερμοκρασίας χώρου και σε επίπεδο ενεργειακών κερδών. Αναλύονται διάφορες παράμετροι που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την απόδοση της εφαρμογής Trombe σε ένα πιο απλό σκηνικό ώστε να γίνει ευκολότερα κατανοητή αυτή τους επιρροή. Εν συνεχεία όμως οι παράμετροι αυτοί χρησιμοποιούνται σε μια πιο μεγάλης κλίμακας εφαρμογή που θα μπορούσε να βρεθεί και στην πραγματικότητα.

Αρχικά παρουσιάζονται κάποια γενικά στοιχεία για τα παθητικά ηλιακά συστήματα και ειδικότερα για την παθητική θέρμανση καταλήγοντας σε μια σύντομη παρουσίαση των κατηγοριών της με βάση το ηλιακό κέρδος. Ακριβώς μετά γίνεται μια αναφορά στην πρώτη προσπάθεια μεταφοράς της εφαρμογής τοίχου Trombe σε πραγματικό σπίτι από τον ομώνυμο Γάλλο μηχανικό και τον αρχιτέκτονα Jacques Michel και παρουσιάζονται συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Δίνονται ακόμα και μερικά παραδείγματα επόμενων προσπαθειών για κατασκευή κτιρίων με την προσθήκη τοίχου Trombe και τα ενεργειακά οφέλη αυτών των προσπαθειών.

Εν συνεχεία αρχίζει η περαιτέρω ανάλυση του τοίχου Trombe μέσω ενός απλού μοντέλου ενός δωματίου που ο γράφων σχεδίασε με το λογισμικό SketchUp και επεξεργάστηκε με τα λογισμικά OpenStudio και EnergyPlus. Γίνεται αναλυτική και βήμα-βήμα παρουσίαση του τρόπου με τον οποίο έγινε η επεξεργασία με τα παραπάνω προγράμματα για να κατασκευαστούν τρεις περιπτώσεις για το δωμάτιο. Αυτές οι περιπτώσεις είναι αυτή του απλού δωματίου χωρίς τοίχο Trombe, αυτή του παθητικού τοίχου Trombe χωρίς επιπλέον ροή από το διάκενο προς το δωμάτιο και αυτή του ενεργητικού τοίχου Trombe με την επιπλέον ροή αέρα από το διάκενο στο δωμάτιο. Αφού γίνει σύγκριση των τριών αυτών περιπτώσεων προτείνονται κάποια εναλλακτικά χαρακτηριστικά του δωματίου, άσχετα με τον τοίχο Trombe, που θα μπορούσαν να βελτιώσουν τις συνθήκες μέσα στο δωμάτιο ενώ ύστερα γίνεται και παραμετρική τους ανάλυση.

Επειτα παρουσιάζεται ένα κανονικό διαμέρισμα στο οποίο προστίθεται ένας τοίχος Trombe και μελετάται η απόδοση του αρχικά θερμοκρασιακά και με όρους θερμικής άνεσης-συμπεριλαμβάνοντας και την υγρασία. Τονίζεται ότι οι εναλλακτικές των χαρακτηριστικών του κτιρίου που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, πλέον χρησιμοποιούνται χωρίς κάποια παραμετρική ανάλυση. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η δυναμική που αναπτύσσεται με την προσθήκη ενός συστήματος κλιματισμού σε αυτό το κεφάλαιο, όσον αφορά την ενεργειακή σύγκριση του διαμερίσματος με και χωρίς τοίχο Trombe. Αυτό συμβαίνει γιατί στο προηγούμενο κεφάλαιο δεν υπάρχει κανένα σύστημα κλιματισμού και άρα δεν μπορεί να γίνει λόγος για ενεργειακή κατανάλωση εκεί. Τελικά ο σκοπός που υπάρχει σε αυτό το κεφάλαιο είναι η εξέταση της προσθήκης της εφαρμογής Trombe σε ένα τυπικό αστικό διαμέρισμα, χωρίς να γίνεται προσπάθεια για την επίτευξη κάποιου άσογου ενεργειακά κτιρίου.

Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που βγήκαν από κάθε κεφάλαιο. Μεγαλύτερο βάρος δίνεται στην ενεργειακή σύγκριση του διαμερίσματος με και χωρίς τοίχο Trombe για να διαπιστωθεί αν και κατά πόσον είναι συμφέρουσα ενεργειακά μια επιλογή προσθήκης ενός τέτοιου τοίχου θερμικής αποθήκευσης στο συγκεκριμένο κτίριο. Γίνεται επίσης και μια σύγκριση της ποσοστιαίας εξοικονόμησης ενέργειας του συγκεκριμένου διαμερίσματος με τα παραδείγματα πραγματικών προσπαθειών Trombe που παρουσιάστηκαν στην εισαγωγή, καθώς και μια παρουσίαση για την οικονομική εξοικονόμηση που μπορεί να συντελεστεί, μόνο, στο εξεταζόμενο διαμέρισμα. Στο κομμάτι των δύο πρώτων κεφαλαίων τώρα, παρουσιάζεται μια πιο απλή εκδοχή των συμπερασμάτων που ήδη έχουν προαναφερθεί στα αντίστοιχα κεφάλαια. Υπάρχει δηλαδή αναφορά και σχόλιο στους στόχους του απλού δωματίου, αλλά και γενικότερα πάνω στην έννοια της εφαρμογής του τοίχου Trombe.

## *Ευχαριστίες*

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές ευχαριστίες μου καταρχάς στους γονείς μου που μου έδωσαν την δυνατότητα και τα εφόδια να σπουδάσω και με στήριξαν καθ'όλη την διάρκεια των σπουδών μου, αλλά και της ζωής μου γενικότερα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης τον επιβλέπων καθηγητή μου Χρήστο Τζιβανίδη για την μεγάλη υποστήριξη στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας, αλλά και για την κατανόηση που έδειξε για κάποιες χρονικές καθυστερήσεις που υπήρξαν από μέρους μου κατά την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω ειδικά την μητέρα μου που με βοήθησε στην ορθογραφική, γραμματική και συντακτική επιμέλεια όλων των κεφαλαίων της εργασίας.

## Κατάλογος περιεχομένων

<u>Πρόλογος.....</u>	<u>2</u>
<u>Ευχαριστίες.....</u>	<u>3</u>
<u>1. Εισαγωγή.....</u>	<u>12</u>
1.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.....	13
Παθητική θέρμανση .....	14
Α) Άμεσο ηλιακό κέρδος.....	14
Β) Θερμική συμπεριφορά θερμοκηπίου .....	16
Γ) Έμμεσο ηλιακό κέρδος .....	17
1.2 Τοίχος Trombe.....	19
Τεχνικά χαρακτηριστικά τοίχου Trombe.....	20
Ιστορική Αναδρομή και Παραδείγματα εφαρμογής Trombe.....	22
Σπίτι στο Montmedy της Γαλλίας.....	22
Κτίριο Kelbaugh.....	22
Κτίριο στην Odeillo με χρήση αποσυνδεδεμένων τοίχων Trombe.....	24
Σπίτι των Vaye-Nicolas.....	25
Ολοκλήρωση ιστορικής αναδρομής μέχρι το σήμερα.....	26
1.3 Σκοποί της εργασίας.....	27
<u>2.Απλό Δωμάτιο και η επίδραση της Παθητικής και Ενεργητικής Λειτουργίας του τοίχου Trombe σε αυτό.....</u>	<u>28</u>
2.1 Σχεδίαση απλού μοντέλου μέσω SketchUp.....	29
2.2 Επεξεργασία απλού μοντέλου μέσω OpenStudio.....	35
Καρτέλα Site.....	35
Καρτέλα Schedules.....	37
Καρτέλα Constructions.....	39
Καρτέλα Loads.....	42
Καρτέλα Space Types .....	43
Καρτέλα Spaces.....	43
2.3 Σχεδίαση μοντέλου παθητικού τοίχου Trombe μέσω SketchUp.....	45
2.4 Επεξεργασία μοντέλου παθητικού τοίχου Trombe μέσω OpenStudio.....	49
Ομάδα κατασκευών Διακένου.....	49
Παρουσίαση Καρτελών του EnergyPlus.....	51
2.5 Επεξεργασία μοντέλου ενεργητικού τοίχου Trombe.....	56
2.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Απλού Μοντέλου Παθητικού/Ενεργητικού Trombe.....	61
Συνθήκες θερμοκρασίας.....	61
Συνθήκες Υγρασίας.....	65
Θερμοκρασία Εσωτερικών και Εξωτερικών επιφανειών .....	67
2.7 Προτάσεις βελτίωσης των εφαρμογών Trombe.....	68
Παροχή Όγκου Αέρα Ανεμιστήρα.....	68
Προγράμματα Λειτουργίας Ανεμιστήρα Trombe.....	69
Επιφάνεια Παραθύρων Δωματίου-Επιπλέον Παράθυρα.....	71
Τεχνητή Σκίαση Επιφανειών.....	73
Ανοιγόμενο Παράθυρο.....	82
2.8 Παρουσίαση ενισχυμένου μοντέλου και ανανεωμένων αποτελεσμάτων.....	85
Προσθήκη Παραθύρου.....	86
Προσθήκη Υποστέγου.....	87
Αλλαγή προγράμματος λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe.....	87
Συνθήκες Θερμοκρασίας/Υγρασίας και άνεσης κατά ASHRAE .....	88
Σύγκριση όλων των μοντέλων.....	89



<u>3. Επίδραση της εφαρμογής Trombe σε ένα τυπικό διαμέρισμα.....</u>	<u>93</u>
3.1 Παρουσίαση Διαμερίσματος.....	94
3.2 Επεξεργασία μοντέλου διαμερίσματος μέσω OpenStudio και EnergyPlus.....	100
Προγράμματα αριθμού ατόμων σε κάθε δωμάτιο.....	101
Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων.....	103
Προγράμματα φωτισμού δωματίων.....	105
Προγράμματα λειτουργίας Ηλεκτρικών Συσκευών.....	108
Δήλωση Υλικών/Κατασκευών και Ομαδοποίηση Κατασκευών.....	110
Δήλωση Φορτίων.....	114
Αντιστοίχιση Χώρων, Τύπων Χώρων και Θερμικών Ζωνών .....	116
Θερμικές Ζώνες και Σχεδίαση Κλιματιστικού.....	118
Μικρές αλλαγές για την μοντελοποίηση και του διακένου Trombe.....	120
Παρουσίαση αρχικών καρτελών στο EnergyPlus.....	121
Παρουσίαση Θερμοστατών.....	122
Μοντελοποίηση Παραθύρων/Μπαλκονοπορτών και Εσωτερικών Πορτών.....	123
Αλλαγές στο EnergyPlus μετά την προσθήκη του διακένου Trombe.....	125
Βασικό Υπόστεγο του υαλοπίνακα Trombe.....	128
3.3 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων.....	129
<u>4. Συμπεράσματα.....</u>	<u>136</u>
4.1 Ενεργειακά αποτελέσματα για το διαμέρισμα.....	137
Σύγκριση με πραγματικά εφαρμοσμένα παραδείγματα.....	139
Εξοικονόμηση χρημάτων στο διαμέρισμα.....	140
4.2 Συμπεράσματα για το απλό μοντέλο και τις παραλλαγές του.....	140
4.3 Γενικότερα συμπεράσματα .....	141
Βιβλιογραφία .....	142

## Κατάλογος εικόνων

1Εικόνα 1.1.1: Πρωτόγονο ιστορικό παράδειγμα βιοκλιματικού σχεδιασμού.....	13
2Εικόνα 1.1.2: Τρεις κατηγορίες συστημάτων παθητικής θέρμανσης .....	14
3Εικόνα 1.1.3: Παράδειγμα συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους .....	16
4Εικόνα 1.1.4: Παράδειγμα συστήματος θερμοκηπίου.....	17
5Εικόνα 1.1.5: Παράδειγμα συστήματος έμμεσου ηλιακού κέρδους.....	18
6Εικόνα 1.2.1: Το πρώτο σπίτι με εφαρμογή τοίχου Trombe στην γαλλική πόλη Odeillo.....	19

7	Εικόνα 1.2.2: Σκαρίφημα κάτοψης σπιτιού Trombe στην Odeillo.....	20
8	Εικόνα 1.2.3: Ανάλυση εφαρμογής τοίχου Trombe .....	21
9	Εικόνα 1.2.4: Σκαρίφημα εξήγησης χειμερινής και θερινής λειτουργίας τοίχου Trombe στο σπίτι της Odeillo.....	21
10	Εικόνα 1.2.5: Σκαρίφημα τοίχων Trombe του κτιρίου Kelbaugh.....	22
11	Εικόνα 1.2.6: Γενική άποψη νότια πλευράς κτιρίου Kelbaugh.....	23
12	Εικόνα 1.2.7: Σχέδιο κάτοψης του κτιρίου με πιο περίπλοκες εφαρμογές τοίχων Trombe.....	24
13	Εικόνα 1.2.8: Γενική άποψη ηλιακού σπιτιού με πιο περίπλοκες εφαρμογές Trombe .....	25
14	Εικόνα 1.2.9: Σχέδιο κάτοψης κτιρίου των Vaye-Nicolas με σημείωση για χώρους θερμοκηπίων και τοίχων Trombe .....	25
15	Εικόνα 1.2.10: Γενική άποψη κτιρίου των Vaye-Nicolas από τον νότο .....	26
16	Εικόνα 2.1.1: Αρχική οθόνη SketchUp.....	29
17	Εικόνα 2.1.2: Παρουσίαση εργαλείων του OpenStudio plugin στο SketchUp.....	30
18	Εικόνα 2.1.3: Παρουσίαση εργαλείου Rectangle στο SketchUp .....	30
19	Εικόνα 2.1.4: Έναρξη σχεδίασης τετραγωνικού πατώματος απλού δωματίου.....	31
20	Εικόνα 2.1.5: Χρήση του εργαλείου Create Spaces from Diagram για την δημιουργία του χώρου του δωματίου.....	31
21	Εικόνα 2.1.6: Παρουσίαση χώρου του απλού δωματίου χωρίς επιπλέον πόρτες και παράθυρα...	32
22	Εικόνα 2.1.7: Παρουσίαση του εργαλείου OS Inspector και δήλωση πρώτης υποεπιφάνειας ως πόρτα.....	33
23	Εικόνα 2.1.8: Δήλωση της δεύτερης υποεπιφάνειας ως μη ανοιγόμενο παράθυρο.....	33
24	Εικόνα 2.1.9: Δήλωση τύπου χώρου,θερμικής ζώνης και ορόφου μέσω του εργαλείου Set Attributes for Selected Spaces.....	34
25	Εικόνα 2.2.1: Παρουσίαση εργαλείου Save Open Studio Model As για την αποθήκευση αρχείου τύπου .osm.....	35
26	Εικόνα 2.2.2: Site του Energy Plus από το οποίο κατεβαίνει το αρχείο καιρού για την Αθήνα...	36
27	Εικόνα 2.2.3: Εισαγωγή αρχείου καιρού .epw στο OpenStudio.....	36
28	Εικόνα 2.2.4: Πίνακας 2.4 (ASHRAE 2013, Table 1, p. 18.4.):Πίνακας ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της αντίστοιχης ενεργειακής τους κατανάλωσης.....	37
29	Εικόνα 2.2.5: Προγράμματα αριθμού ατόμων στο δωμάτιο,δραστηριότητας ατόμου,λειτουργίας laptop.....	38
30	Εικόνα 2.2.6: Γενική παρουσίαση καρτέλας προγραμμάτων στο OpenStudio.....	38
31	Εικόνα 2.2.7: Ομάδα προγραμμάτων του χώρου του δωματίου.....	39
32	Εικόνα 2.2.8: Χρησιμοποιηθέντα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους.....	39
33	Εικόνα 2.2.9: Χρησιμοποιηθέντα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους.....	40
34	Εικόνα 2.2.10: Χρησιμοποιηθέντα υλικά υαλοπινάκων.....	40
35	Εικόνα 2.2.11: Χρησιμοποιηθείσες κατασκευές και η σύσταση τους.....	41
36	Εικόνα 2.2.12: Ομάδες κατασκευών όπως καταλήγουν να συνθέτουν το κτίριο.....	42
37	Εικόνα 2.2.13: Ορισμός φορτίων ατόμων,φωτισμού και laptop.....	42
38	Εικόνα 2.2.14: Αντιστοίχιση φορτίων στην καρτέλα τύπων χώρου.....	43
39	Εικόνα 2.2.15: Αντιστοίχιση τύπου χώρου,ορόφου και θερμικής ζώνης και επαλήθευση σωστής επιλογής κατασκευών επιφανειών/υποεπιφανειών.....	44
40	Εικόνα 2.3.1: Σχεδίαση επιπλέον χώρου διακένου μπροστά από το δωμάτιο,ξανά μέσω SketchUp.....	45
41	Εικόνα 2.3.2: Παρουσίαση χώρων δωματίου-διακένου χωρίς επιπλέον πόρτες και παράθυρα....	45
42	Εικόνα 2.3.3: Προσθήκη κυρίου υαλοπίνακα στην νότια πλευρά του κτιρίου μέσω εργαλείου Offset.....	46
43	Εικόνα 2.3.4: Παρουσίαση εργαλείων Render by Boundary Condition,Hide Rest of Model και ένωση κοινών επιφανειών με το εργαλείο Surface Matching.....	47
44	Εικόνα 2.3.5: Παρουσίαση επιθυμητής κατάστασης της κοινής επιφάνειας δωματίου	

διακένου,δηλαδή του τοίχου Trombe.....	48
45Εικόνα 2.3.6: Τελική μορφή παθητικού μοντέλου.....	48
46Εικόνα 2.4.1: Ομάδες κατασκευών όπως καταλήγουν να συνθέτουν τον χώρο του διακένου.....	49
47Εικόνα 2.4.2: Αντιστοίχιση ορόφου,τύπου χώρων και θερμικών ζωνών στην καρτέλα των χώρων του κτιρίου.....	50
48Εικόνα 2.4.3: Παρουσίαση τρόπου εξαγωγής σε αρχείο .idf ,συμβατό με το Energy Plus.....	51
49Εικόνα 2.4.4: Συμπλήρωση καρτέλας SimulationControl για έλεγχο παραμέτρων προσομοίωσης.....	52
50Εικόνα 2.4.5: Συμπλήρωση καρτέλας Building με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και της περιοχής του.....	52
51Εικόνα 2.4.6: Συμπλήρωση καρτέλας ShadowCalculation με τις παραμέτρους σκίασης του κτιρίου.....	53
52Εικόνα 2.4.7: Συμπλήρωση καρτελών ConversionAlgorithm Outside/Inside με τις default επιλογές.....	53
53Εικόνα 2.4.8: Συμπλήρωση καρτελών HeatBalanceAlgorithm και Timestep με τις default επιλογές.....	54
54Εικόνα 2.4.9: Συμπλήρωση καρτελών GlobalGeometryRules και SizingParameters με τις default επιλογές.....	54
55:Εικόνα 4.10:Συμπλήρωση καρτέλας OutputVariables με τις επιθυμητές μεταβλητές εξόδου,δηλαδή την σχετική υγρασία/θερμοκρασία θερμικών ζωνών και επιφανειών του κτιρίου...	55
56Εικόνα 2.5.1: Σκαρίφημα του συστήματος ανακύκλωσης αέρα από το διάκενο προς το δωμάτιο.....	56
57Εικόνα 2.5.2: Δήλωση χαρακτηριστικών τερματικού αγωγού και ζώνης αναφοράς στα οποία καταλήγει το σύστημα ανακύκλωσης αέρα,στις καρτέλες AirTerminal και ZoneHVAC.....	57
58Εικόνα 2.5.3: Δήλωση χαρακτηριστικών τερματικού αγωγού και ζώνης αναφοράς στα οποία καταλήγει το σύστημα ανακύκλωσης αέρα,στις καρτέλες AirTerminal και ZoneHVAC.....	57
59Εικόνα 2.5.4: Διαστασιολόγηση ανεμιστήρα σταθερού όγκου και δήλωση κόμβων κύκλου αέρα στις καρτέλες Fan:ConstantVolume και AirLoopHVAC.....	58
60Εικόνα 2.5.5: Δήλωση χαρακτηριστικών της πορείας προς το δωμάτιο(διαχωριστής,ζώνη αεραγωγών) στις καρτέλες AirLoopHVACLSplitter,Supply Plenum και Supply Path.....	59
61Εικόνα 2.5.6: Δήλωση χαρακτηριστικών της πορείας από το δωμάτιο(μείκτης) στις καρτέλες AirLoop:Mixer και Return Path.....	60
62Εικόνα 2.5.7: Δήλωση κόμβων και κλάδων του κύκλου αέρα στις καρτέλες Branches και Nodes.....	60
63Εικόνα 2.6.1:Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος.....	61
64Εικόνα 2.6.2: Σύγκριση θερμοκρασιών διακένου παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος.....	62
65Εικόνα 2.6.3: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για θερινή περίοδο.....	63
66Εικόνα 2.6.4: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για χειμερινή περίοδο.....	63
67Εικόνα 2.6.5: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για χειμερινή περίοδο.....	64
68Εικόνα 2.6.6: Τονισμός της περιόδου λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe και επίδρασης της στην θερμοκρασία μιας χειμερινής μέρας.....	65
69Εικόνα 2.6.7: Σύγκριση σχετικής υγρασίας δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος.....	65
70Εικόνα 2.6.8: Αντιπαράβολή σχετικής υγρασίας στο διάκενο σε ενεργητικό και παθητικό μοντέλο και συσχέτιση της με την χρονική διάρκεια μια χειμερινής ημέρας.....	66

71	Εικόνα 2.6.9: Σύγκριση θερμοκρασιών εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας τοίχου Trombe για απλό/παθητικό/ενεργητικό μοντέλο και για όλο το έτος.....	67
72	Εικόνα 2.7.1: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές παροχές όγκου ανεμιστήρα κάποιες χειμερινές μέρες.....	68
73	Εικόνα 2.7.2: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικά προγράμματα λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe κάποιες χειμερινές μέρες.....	70
74	Εικόνα 2.7.3: Παρουσίαση αλλαγής και προσθήκης επιπλέον παραθύρων στο SketchUp.....	71
75	Εικόνα 2.7.4: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές επιφάνειες παραθύρων κάποιες θερινές μέρες.....	72
76	Εικόνα 2.7.5: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές επιφάνειες παραθύρων κάποιες χειμερινές μέρες.....	72
77	Εικόνα 2.7.6: Σκαρίφημα παρουσίασης γωνίας πρόσπτωσης,μήκους υποστέγου και μήκους σκιάς στον υαλοπίνακα.....	73
78	Εικόνα 2.7.8: Σκιάσεις ,συναρτήσσει μήνα του έτους ,στον υαλοπίνακα με υπόστεγα μήκους 0,5 και 0,79m.....	75
79	Εικόνα 2.7.9: Σκιάσεις ,συναρτήσσει μήνα του έτους ,στον υαλοπίνακα με υπόστεγα μήκους 1 και 2,16m.....	76
80	Εικόνα 2.7.10: Παρουσίαση εργαλείου New Shading Surface Group στο SketchUp για δημιουργία σκιάστρου.....	77
81	Εικόνα 2.7.11: Παρουσίαση σκιάστρου στην νότια πλευρά του κτιρίου.....	77
82	Εικόνα 2.7.12: Κατασκευή υλικού υποστέγου και αντιστοιχίση του και του αντίστοιχου προγράμματος στην καρτέλα σκίασης στο OpenStudio.....	78
83	Εικόνα 2.7.13: Δήλωση χαρακτηριστικών υποστέγου στο EnergyPlus στις καρτέλες ShadingBuilding:Detailed και ShadingProperty:Reflectance.....	78
84	Εικόνα 2.7.14: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Ιούνιο.....	79
85	Εικόνα 2.7.15: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Ιούλιο.....	79
86	Εικόνα 2.7.16: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Αύγουστο.....	80
87	Εικόνα 2.7.17: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Σεπτέμβριο.....	80
88	Εικόνα 2.7.18: Σύγκριση θερμοκρασιών/σχετικής υγρασίας δωματίου για διάφορα υπόστεγα τυχαίες μέρες χειμερινής περιόδου.....	81
89	Εικόνα 2.7.19: Δήλωση χαρακτηριστικών ανοιγόμενου παραθύρου στην καρτέλα ZoneVentillation:WindandStackOpenArea.....	82
90	Εικόνα 2.7.20: Πρόγραμμα ανοίγματος και ποσοστού ανοιγόμενης επιφάνειας του παραθύρου του δωματίου.....	83
91	Εικόνα 2.7.21: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας δωματίου για διαφορετικά ποσοστά ανοιγόμενης επιφάνειας τον χειμώνα.....	84
92	Εικόνα 2.7.22: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας δωματίου για διαφορετικά ποσοστά ανοιγόμενης επιφάνειας το καλοκαίρι.....	85
93	Εικόνα 2.8.1: Πρόγραμμα επιφάνειας παραθύρου για χειμερινή και θερινή περίοδο.....	86
94	Εικόνα 2.8.2: Ειδικό πρόγραμμα επιφάνειας παραθύρου για αποφυγή χαμηλών θερμοκρασιών.....	87
95	Εικόνα 2.8.3: Παρουσίαση γενικής εικόνας ενισχυμένου μοντέλου μέσω διαγράμματος θερμοκρασίας υγρασίας για όλο το έτος.....	88
96	Εικόνα 2.8.4: Ωρες που δεν επιτεύχθηκε θερμική άνεση στο δωμάτιο του ενισχυμένου μοντέλου κατά ASHRAE.....	89
97	Εικόνα 2.8.5: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια	

τυπική χειμερινή μέρα.....	89
98Εικόνα 2.8.6: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια συγκεκριμένη θερινή περίοδο.....	90
99Εικόνα 2.8.7: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια συγκεκριμένη χειμερινή περίοδο.....	91
100 Εικόνα 3.1.1: Γενική άποψη του διαμερίσματος.....	94
101 Εικόνα 3.1.2:Σκαρίφημα Κάτοψης Διαμερίσματος.....	95
102 Εικόνα 3.1.3:Παρουσίαση όλων των πλευρών του διαμερίσματος και διαστασιολόγηση παραθύρων και πορτών.....	96
103 Εικόνα 3.1.4:Διαστάσεις και θέσεις εσωτερικών πορτών.....	97
104Εικόνα 3.1.5:Ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη και εξωτερικές επιφάνειες διαμερίσματος..	98
105Εικόνα 3.1.6:Ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη και εσωτερικές επιφάνειες σαλονιού και χάλ.....	98
106Εικόνα 3.1.7: Γενική άποψη του διαμερίσματος μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe.....	99
107Εικόνα 3.1.8: Σύγκριση νότιων επιφανειών σαλονιού και υπνοδωματίου σε ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη πριν και μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe.....	99
108Εικόνα 3.1.9: Σύγκριση εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του χώρου του διακένου Trombe σε ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη.....	99
109Εικόνα 3.2.1: Εισαγωγή αρχείου μερών σχεδίασης ,τύπου .ddy στην καρτέλα site του OpenStudio .....	100
110Εικόνα 3.2.2: Πρόγραμμα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Μπάνιο .....	101
111Εικόνα 3.2.3: Προγράμματα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Παιδικό δωμάτιο και στην Κουζίνα .....	102
112Εικόνα 3.2.4: Προγράμματα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Σαλόνι και στην Βασική Κρεβατοκάμαρα.....	103
113Εικόνα 3.2.5: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στο Παιδικό δωμάτιο και στο Μπάνιο .....	104
114Εικόνα 3.2.6: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στο Σαλόνι και στην Βασική Κρεβατοκάμαρα.....	104
115Εικόνα 3.2.7: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στην Κουζίνα.....	105
116Εικόνα 3.2.8: Προγράμματα φωτισμού στο Μπάνιο και στο Χώλ.....	106
117Εικόνα 3.2.9: Προγράμματα φωτισμού στην Κουζίνα και στο Παιδικό δωμάτιο.....	107
118Εικόνα 3.2.10: Προγράμματα φωτισμού στην Βασική κρεβατοκάμαρα και στο Σαλόνι.....	107
119Εικόνα 3.2.11: Προγράμματα συσκευών στην Βασική κρεβατοκάμαρα,στην Κουζίνα και στο Σαλόνι.....	108
120Εικόνα 3.2.12: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Μπάνιο.....	109
121Εικόνα 3.2.13: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Χώλ,το Παιδικό δωμάτιο και η Κουζίνα.....	109
122Εικόνα 3.2.14: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Σαλόνι και την Βασική Κρεβατοκάμαρα.....	110
123Εικόνα 3.2.15: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους.....	111
124Εικόνα 3.2.16: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους.....	111
125Εικόνα 3.2.17: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους.....	112
126Εικόνα 3.2.18: Χρησιμοποιηθέντες κατασκευές του διαμερίσματος και η σύσταση τους.....	112
127Εικόνα 3.2.19: Ομαδοποίηση κατασκευών για το διαμέρισμα.....	113
128Εικόνα 3.2.20: Δήλωση φορτίων που επιφέρουν τα άτομα στο διαμέρισμα.....	114
129Εικόνα 3.2.21: Δήλωση φορτίων φωτισμού κάθε δωματίου του διαμερίσματος.....	115

130Εικόνα 3.2.22: Δήλωση φορτίων κάθε ηλεκτρικής συσκευής που λειτουργεί στο διαμέρισμα.....	115
131Εικόνα 3.2.23: Δήλωση φορτίων κάθε ηλεκτρικής συσκευής που λειτουργεί στο διαμέρισμα.....	116
132Εικόνα 3.2.24: Αντιστοίχιση ομαδοποίησης κατασκευών και ομάδων προγραμμάτων στην καρτέλα των τύπων χώρου.....	116
133Εικόνα 3.2.25: Αντιστοίχιση φορτίων σε κάθε δωμάτιο μέσω των τύπων χώρου.....	117
134Εικόνα 3.2.26: Αντιστοίχιση φορτίων σε κάθε δωμάτιο μέσω των τύπων χώρου.....	117
135Εικόνα 3.2.27: Αντιστοίχιση τύπων χώρου και θερμικών ζωνών σε κάθε χώρο.....	118
136Εικόνα 3.2.28: Προγράμματα και κατασκευές υποστέγων.....	118
137Εικόνα 3.2.29: Κύκλος αέρα που προσομοιάζει τυπικό κλιματιστικό με εξωτερική μονάδα....	119
138Εικόνα 3.2.30: Διαστασιολογήσεις που αλλάζουν στην δήλωση των χαρακτηριστικών του κλιματιστικού.....	119
139Εικόνα 3.2.31: Αντιστοίχιση θερμικών ζωνών με τα συστήματα κλιματισμού και τους θερμοστάτες τους.....	120
140Εικόνα 3.2.32: Χώρος,θερμική ζώνη διακένου και αλλαγή κατασκευής στους νότιους τοίχους του διαμερίσματος .....	121
141Εικόνα 3.2.33: Αλλαγές σε καρτέλες Παραμέτρων Προσομοίωσης.....	121
142Εικόνα 3.2.34: Αλλαγές σε καρτέλες Παραμέτρων Προσομοίωσης.....	122
143Εικόνα 3.2.35: Αλλαγές σε καρτέλες Παραμέτρων Προσομοίωσης.....	122
144Εικόνα 3.2.36: Προγράμματα θερμοστατών και ποσοστά επιθυμητής υγρασίας.....	123
145Εικόνα 3.2.37: Ανοιγόμενα παράθυρα και μπαλκονόπορτες του διαμερίσματος.....	123
146Εικόνα 3.2.38: Προγράμματα ανοίγματος παραθύρων και μπαλκονοπορτών του διαμερίσματος.....	124
147Εικόνα 3.2.39: Μοντελοποίηση εσωτερικών πορτών για ροή αέρα εντός του διαμερίσματος.....	124
148Εικόνα 3.2.40: Μεταβλητές εξόδου της προσομοίωσης του διαμερίσματος.....	125
149Εικόνα 3.2.41: Καρτέλες AirTerminal:SingleDuct:Uncontrolled και Fan:ConstantVolume....	126
150Εικόνα 3.2.42: Καρτέλες ZoneHVAC:EquipmentList και ZoneHVAC:EquipmentConnections.....	126
151Εικόνα 3.2.43: AirLoopHVAC και AirLoopHVAC:ZoneSplitter.....	127
152Εικόνα 3.2.44: AirLoopHVAC:SupplyPath και AirLoopHVAC:ZoneMixer.....	127
153Εικόνα 3.2.45: AirLoopHVAC:ReturnPath και Branch.....	128
154Εικόνα 3.2.46: Πρόγραμμα λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe την θερινή και χειμερινή περίοδο.....	128
155Εικόνα 3.2.47: Σκίαση στον υαλοπίνακα Trombe από το υπόστεγο του διαμερίσματος.....	129
156Εικόνα 3.3.1: Θερμοκρασία και υγρασία Μπάνιου για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	130
157Εικόνα 3.3.2: Θερμοκρασία και υγρασία Χώλ για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	130
158Εικόνα 3.3.3: Θερμοκρασία και υγρασία Κουζίνας για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	131
159Εικόνα 3.3.4: Θερμοκρασία και υγρασία Παιδικού Δωματίου για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	131
160Εικόνα 3.3.5: Θερμοκρασία και υγρασία Σαλονιού για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	132
161Εικόνα 3.3.6: Θερμοκρασία και υγρασία Βασικής Κρεβατοκάμαρας για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe.....	132
162Εικόνα 3.3.7: Θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες σε όλα τα δωμάτια,τρεις καλοκαιρινές μέρες για μοντέλο με τοίχο Trombe.....	133

163	Εικόνα 3.3.8: Σύγκριση σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε περιόδους με μεγάλα ποσοστά υγρασίας.....	134
164	Εικόνα 3.3.9: Σύγκριση ωρών που δεν ικανοποιούνται συνθήκες άνεσης ανάμεσα στα δύο μοντέλα, με ή χωρίς Trombe.....	135
165	Εικόνα 4.1.1: Σύγκριση καταναλισκόμενης ενέργειας ανάμεσα στα δύο μοντέλα, με ή χωρίς Trombe.....	137
166	Εικόνα 4.1.2: Ανάλυση καταναλισκόμενης ενέργειας στο μοντέλο με τοίχο Trombe.....	138
167	Εικόνα 4.1.3: Ανάλυση καταναλισκόμενης ενέργειας στο μοντέλο χωρίς τοίχο Trombe.....	138

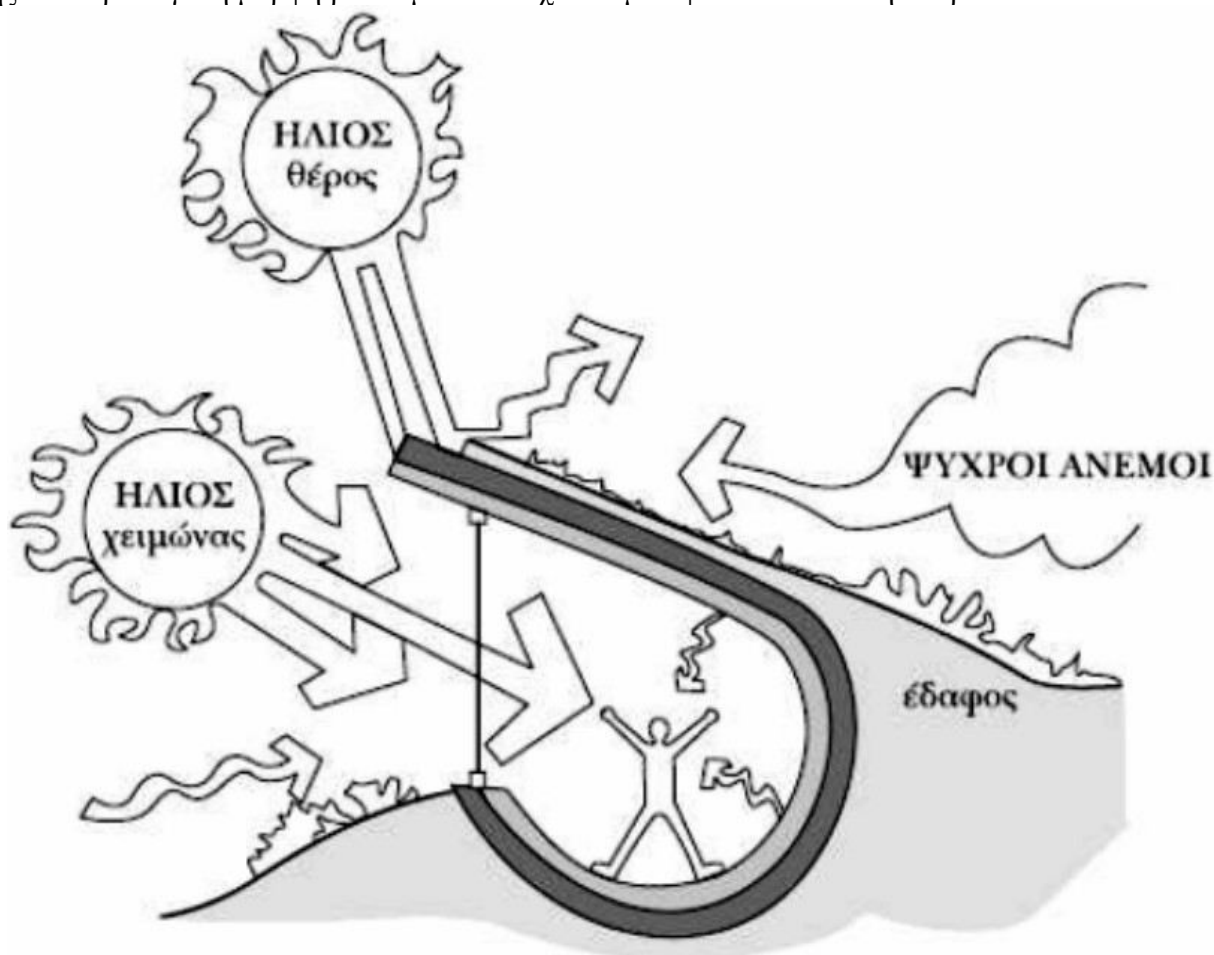
## ***1. Εισαγωγή***



## 1.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά συστήματα είναι συστήματα που εκμεταλλεύονται το φυσικό περιβάλλον ενός κτιρίου, ώστε να συνεισφέρουν στον κλιματισμό του. Αυτό δεν σημαίνει πάντα και την αντικατάσταση όλων των τμημάτων του εξοπλισμού κλιματισμού, αλλά ίσως την μείωση της κατανάλωσης του όποιου καυσίμου χρησιμοποιείται για την θέρμανση ή ψύξη ενός κτιρίου.

Κατ' αρχάς, εξετάζοντας ιστορικά το θέμα του βιοκλιματικού σχεδιασμού κτιρίων, γίνεται γνωστό ότι από την αρχαιότητα οι άνθρωποι προσαρμόζαν την κατασκευή της κατοικίας τους στις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στην περιοχή που ζούσαν. Μια σπηλιά με τον κατάλληλο προσανατολισμό παραδείγματος χάριν, μπορεί να προσφέρει μόνωση από τον άνεμο ή την βροχή ενώ παράλληλα επιτρέπει στον ήλιο να ζεσταίνει με τις ακτίδες του το εσωτερικό της. Μια πρωτόγονη μορφή βιοκλιματικού σχεδιασμού φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 1.1.1: Πρωτόγονο ιστορικό παράδειγμα βιοκλιματικού σχεδιασμού

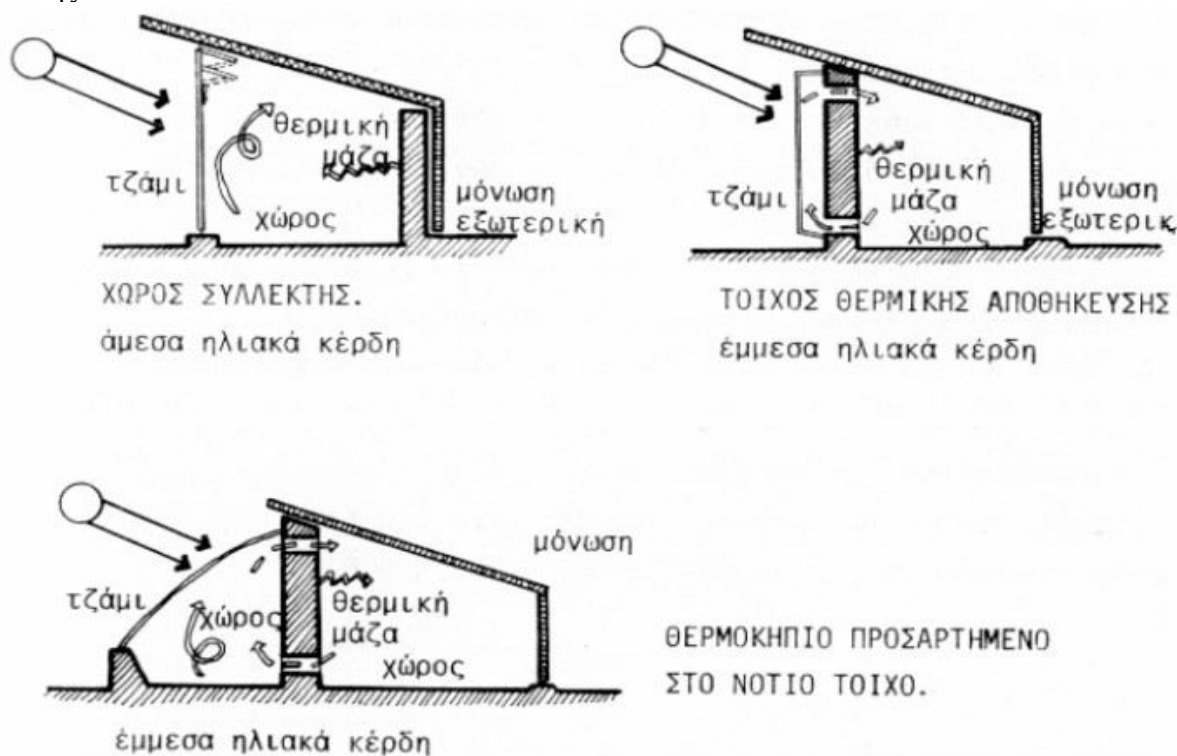
Εν συνεχεία οι άνθρωποι άρχισαν να χρησιμοποιούν σοφότερα τα υλικά με τα οποία κατασκεύαζαν τα κτίρια τους, ως μέσα αποθήκευσης θερμότητας, τα παράθυρα των κατοικιών τους, ως μέσο διάδοσης της ακτινοβολίας του ηλίου στο εσωτερικό της κατοικίας και την χρήση επιπλέον χώρων και κατασκευών, ως μέσων προστασίας από την ακτινοβολία ή και την θερμότητα άλλων χώρων.

Φτάνοντας στο σήμερα υπάρχουν κτίρια που πετυχαίνουν ικανοποιητικές συνθήκες θερμικής άνεσης, απλά κι μόνο χρησιμοποιώντας τις αρχές της παθητικής θέρμανσης ή ψύξης και του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Πολύ σημαντική αρχή είναι εν γένει ο κατάλληλος προσανατολισμός ενός κτιρίου. Ο προσανατολισμός μια πλευράς του κτιρίου προς τον νότο παραδείγματος χάρι, επιτρέπει την συνεχή έκθεση αυτής της πλευράς στην ηλιακή ακτινοβολία καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Μια άλλη αρχή είναι αυτή της αποθήκευσης θερμότητας με την χρήση των

κατάλληλων υλικών. Βαριά υλικά όπως η πέτρα, το μπετόν και τα τούβλα μπορούν να εκτίθενται στον ήλιο αποθηκεύοντας την θερμότητα που μεταδίδεται από την ακτινοβολία, για να την μεταδώσουν αρκετά αργότερα. Αυτή η ιδιότητα των υλικών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση των χώρων ενός κτιρίου. Παρακάτω θα παρουσιαστούν μερικές από τις στρατηγικές και μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την παθητική θέρμανση των κτιρίων βιοκλιματικού σχεδιασμού.

## Παθητική θέρμανση

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες συστημάτων παθητικής θέρμανσης ενός κτιρίου. Πρώτη αυτή του άμεσου ηλιακού κέρδους, ακολουθεί αυτή του έμμεσου κέρδους και τέλος αυτή της προσάρτησης θερμοκηπίου. Ουσιαστικά οι πρώτες δύο αφορούν περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά, αλλά τοποθετημένα με διαφορετική σειρά, ενώ η τρίτη κατηγορία προσθέτει και τον επιπλέον χώρο του θερμοκηπίου μπροστά από το κυρίως κτίριο. Η κάθε κατηγορία βέβαια χρήζει και επιπλέον ανάλυσης.



2Εικόνα 1.1.2: Τρεις κατηγορίες συστημάτων παθητικής θέρμανσης

### Α) Άμεσο ηλιακό κέρδος

Σε αυτή την κατηγορία απαιτούνται τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

-Μεγάλη επιφάνεια προσανατολισμένη προς την μεσημβρία-στο βόρειο ημισφαίριο σημαίνει προσανατολισμός προς τον νότο-επικαλυμμένη στο μέγιστο δυνατό ποσοστό με υαλοπίνακα διπλού τζαμιού.

-Μεγάλη θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου και σε απόσταση από την μεγάλη γυάλινη επιφάνεια, η οποία μάζα πρέπει να δέχεται απευθείας τις ακτίνες του ήλιου που περνούν μέσα από

τον υαλοπίνακα.

-Προσανατολισμός των χώρων του κτιρίου προς την μεσημβρία,ώστε να εκμεταλλεύονται όλοι οι χώροι του κτιρίου το παθητικό σύστημα θέρμανσης.

-Θερμική προστασία του εξωτερικού κελύφους του κτιρίου,μέσω ισχυρής μόνωσης.Απαραίτητη κρίνεται αυτή η μόνωση,ώστε να μην διαφεύγει η θερμότητα που προσφέρει ο ήλιος στο κτίριο.

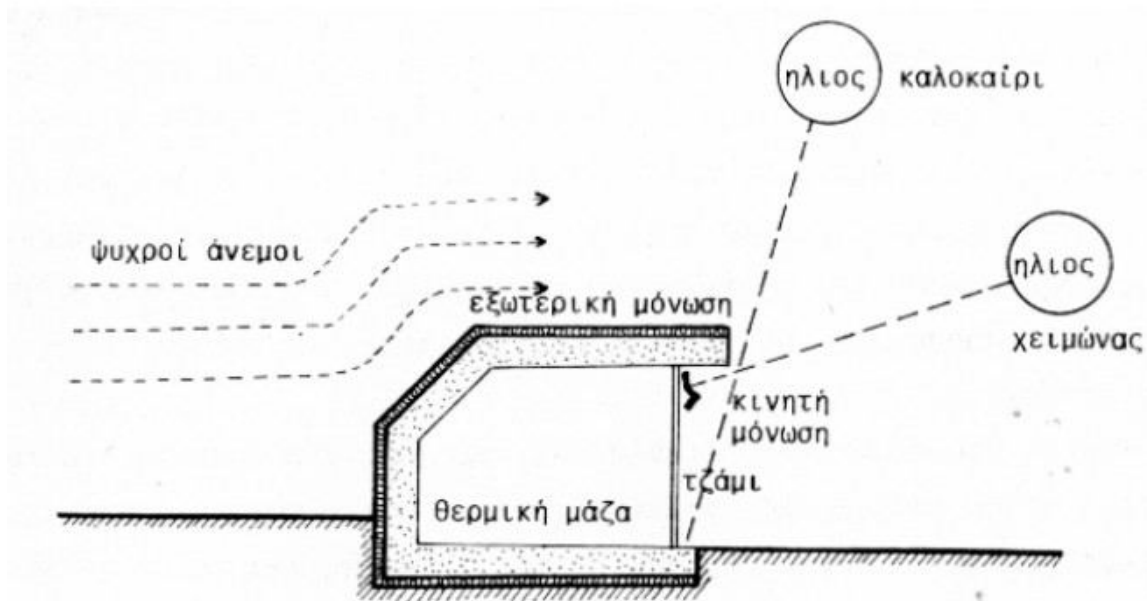
Έχει ξεκινήσει λοιπόν να διαγράφεται ένα περίγραμμα για την εξήγηση της λειτουργίας του συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους.Ουσιαστικά το κτίριο λειτουργεί σαν ένας συλλέκτης θερμότητας,με την θερμότητα του ήλιου να δεσμεύεται από τους χώρους του κτιρίου.Το μέγεθος της επιφάνειας του υαλοπίνακα παίζει σημαντικό ρόλο,καθώς όσο μεγαλύτερο είναι τόσο πιο μεγάλο είναι το ποσό ακτινοβολίας που μπορεί να εισέρθει στους χώρους του κτιρίου.Σημειώνεται βέβαια ότι ακριβώς επειδή την θερινή περίοδο δεν είναι επιθυμητή η είσοδος της ηλιακής ακτινοβολίας στο κτίριο,πρέπει να υπάρχει ένα υπόστεγο πάνω από τον υαλοπίνακα του κτιρίου ώστε να μειωθεί η εισερχόμενη ακτινοβολία.Αυτό το υπόστεγο βέβαια πρέπει να επιτρέπει την διέλευση ακτινοβολίας κατά την χειμερινή περίοδο,γιατί τότε είναι επιθυμητή.Επομένως καλό θα είναι η επιφάνεια του υαλοπίνακα να είναι κάθετη,ώστε το καλοκαίρι που ο ήλιος είναι πιο «ψηλά» στον ουρανό και η γωνία πρόσπτωσης μεγαλώνει η ακτινοβολία να εμποδίζεται από το υπόστεγο.Συνεκδοχικά, την χειμερινή περίοδο που η γωνία πρόσπτωσης μικραίνει και ο ήλιος είναι πιο «χαμηλά» στον ουρανό,οι ακτίνες του περνούν απευθείας μέσα στο κτίριο αποφεύγοντας το υπόστεγο.

Εφόσον η ακτινοβολία περνάει στο εσωτερικό του κτιρίου,αποθηκεύεται στα υλικά μέρη των χώρων και τους θερμαίνει μέσω της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα υλικά.Αυτό όμως θα μπορούσε να ισχύει και σε οποιοδήποτε κτίριο,ακόμα και χωρίς σχεδιασμό παθητικής θέρμανσης.Η ειδοποιός διαφορά εδώ έγκειται στην μεγάλη θερμική μάζα που τοποθετείται σε κάποια απόσταση από τον υαλοπίνακα και σε θέση να δέχεται απρόσκοπτα τις ακτίνες του ηλίου.Κατά την διάρκεια της ημέρας λοιπόν οι χώροι θερμαίνονται απευθείας από την ακτινοβολία του ηλίου,ενώ η μεγάλη θερμική μάζα αποθηκεύει θερμότητα για αρκετή ώρα χωρίς να την εκπέμπει.Κατά την διάρκεια της νύχτας λοιπόν και ενώ ο ήλιος έχει δύσει και δεν μπορεί να προσφέρει πλέον θερμότητα,η θερμική μάζα αρχίζει να εκπέμπει θερμότητα αναπληρώνοντας όποιο κενό άφησε ο ήλιος.Συνήθως η θερμική μάζα παίρνει την μορφή εσωτερικού τοίχου και αποτελείται από βαριά υλικά όπως μπετόν ή διπλά τούβλα.Τα υλικά αυτά έχουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα,που σημαίνει ότι για να ανέβει ένα κιλό του συγκεκριμένου υλικού έναν θερμοκρασιακό βαθμό,χρειάζεται αρκετή ηλιακή ισχύς.Το πάχος του συγκεκριμένου τοίχου είναι μεγαλύτερο από αυτό των άλλων εσωτερικών τοίχων,κάτι που επίσης παίζει ρόλο διότι αυξάνει την θερμική αντίσταση ενός στοιχείου-συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της χρονικής υστέρησης μεταξύ της αρχικής έκθεσης του τοίχου στην ηλιακή ακτινοβολία και στην αρχή εκπομπής ακτινοβολίας του τοίχου.Υπάρχει και ακόμα μια χρήση του τοίχου αυτού,η οποία είναι η εξομάλυνση της εσωτερικής θερμοκρασίας ανεξάρτητα από τις πιθανές ακραίες εξωτερικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.Η χρονική υστέρηση που επιβάλλει ο τοίχος είναι αυτή που επιτρέπει την θερμότητα που εκπέμπεται μέσω ακτινοβολίας να ζεστάνει το κτίριο παρ'ότι στο εξωτερικό περιβάλλον η θερμοκρασία είναι χαμηλή ή και δεν υπάρχει επαρκής ακτινοβολία.Συμπερασματικά ο αέρας που ζεσταίνεται από την θερμότητα,είτε του ηλίου ή αυτή της θερμικής μάζας, αρχίζει να κινείται μέσα στον χώρο δημιουργώντας μια φυσική κυκλοφορία καθιστώντας το κτίριο έναν φυσικό ηλιακό συλλέκτη.

Γίνεται λοιπόν κατανοητό,ότι για να λειτουργήσει η παθητική θέρμανση σε αρκετούς χώρους ενός κτιρίου πρέπει ο προσανατολισμός τους να είναι προς το νότο-κάνοντας λόγω για την Ελλάδα.Αυτό σημαίνει ότι χώροι που έχουν ενδιαφέρον θερμικής άνεσης,πρέπει να έχουν μεγάλους και σωστά προσανατολισμένους υαλοπίνακες και να έχουν μια σωστά διαστασιολογημένη θερμική μάζα.

Η σημασία της μόνωσης είναι αρκετά μεγάλη όπως είναι προφανές.Αυτό γιατί αφενός το κτίριο

προστατεύεται, στο βαθμό του δυνατού, από ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές και αφετέρου για να διατηρείται η εσωτερική θερμοκρασία που δημιουργείται λόγω της ανακύκλωσης θερμού-ψυχρού αέρα μέσω της θερμικής μάζας.



3Εικόνα 1.1.3: Παράδειγμα συστήματος άμεσου ηλιακού κέρδους

## B) Θερμική συμπεριφορά θερμοκηπίου

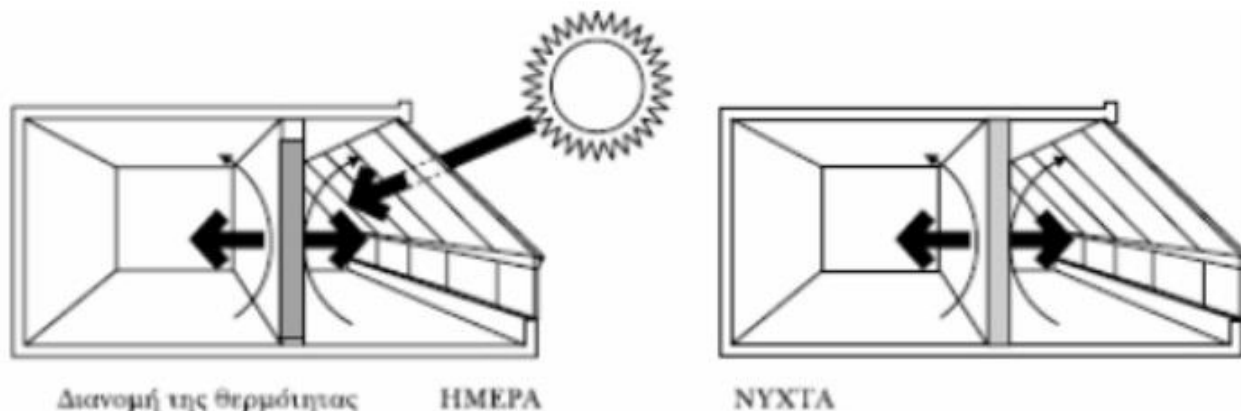
Εδώ η κύρια διαφορά είναι η προσθήκη ενός χώρου θερμοκηπίου μπροστά από την νότια πλευρά-εφόσον πρόκειται για βόρειο ημισφαίριο-που θα είναι αρκετά μεγάλος ώστε να μπορεί κάποιος να καθίσει μέσα σε αυτόν. Ο υαλοπίνακας πλέον δεν είναι πάνω στον τοίχο του κτιρίου, αλλά περικλείει το θερμοκήπιο το οποίο έχει μεγάλη, διάφανη επιφάνεια, κατακόρυφη και κεκλυμένη, που θα επιτρέπει την διέλευση της ακτινοβολίας μέσα στον χώρο του θερμοκηπίου προς αύξηση της θερμοκρασίας του χώρου, αλλά και τροφοδοσίας των φυτών με ακτινοβολία. Επίσης υπάρχει μετακίνηση του τοίχου θερμικής αποθήκευσης από την προηγούμενη θέση του μέσα στο κτίριο, στην νέα του θέση που είναι να χωρίζει το εσωτερικό του κτιρίου με τον χώρο του θερμοκηπίου.

Η ακτινοβολία που δεν απορροφάται από τα υλικά και τα φυτά του θερμοκηπίου, αποθηκεύεται από την θερμική μάζα του τοίχου ώστε να την εκπέμψει αυτός αργότερα στο εσωτερικό του κτιρίου. Το θερμοκήπιο εξομαλύνει τις ακραίες εξωτερικές μεταβολές της θερμοκρασίας, καθώς απορροφά αρκετά μεγάλο κομμάτι της ακτινοβολίας. Μειώνει επίσης τις απώλειες του κτιρίου την χειμερινή περίοδο, κατά την οποία το θερμοκήπιο μπορεί να λειτουργήσει και σαν βεράντα για τους κατοίκους, ενώ το καλοκαίρι απορροφά την περίσσεια ηλιακής ακτινοβολίας στην οποία πιθανόν εκτίθεται το κτήριο.

Την χειμερινή περίοδο και κατά την διάρκεια της ημέρας περιγράφηκε ακριβώς τι γίνεται προηγουμένως, με την θέρμανση τοίχου, θερμοκηπίου και συνεκδοχικά κτιρίου από την ηλιακή ακτινοβολία. Την νύχτα τώρα, επειδή το θερμοκήπιο αποτελείται σε μεγάλο ποσοστό από γυάλινες επιφάνειες υπάρχουν μεγάλες θερμικές απώλειες και η θερμοκρασία πέφτει κατά πολύ. Κάτι που αξίζει να σημειωθεί είναι και η μεγάλη αύξηση της υγρασίας λόγω της αναπνοής των φυτών. Αυτή η διαδικασία παράγει υδρατμούς, οι οποίοι πάνω στα παράθυρα υγροποιούνται λόγω της ψύξης του

τζαμιού. Αυτή η εξαέρωση των υδρατμών ψύχει και άλλο το θερμοκήπιο αφού απελευθερώνεται και η λανθάνουσα θερμότητα των υδρατμών.

Την θερινή περίοδο ακολουθείται η ίδια διαδρομή, απλά υπάρχει υπερθέρμανση την ημέρα και ψύξη που όμως δεν ρίχνει αρκετά την θερμοκρασία μέσα στο θερμοκήπιο, την νύχτα. Η υπερθέρμανση αυτή οδηγεί και σε αυξήσεις στην εσωτερική θερμοκρασία του κτιρίου και θα πρέπει να ελεγχθεί με κάποιο προστατευτικό υπόστεγο.



Εικόνα 1.1.4: Παράδειγμα συστήματος θερμοκηπίου

### Γ) Έμμεσο ηλιακό κέρδος

Προηγουμένως παρουσιάστηκε το σύστημα άμεσου κέρδους, με το συμπέρασμα ότι το κτίριο ουσιαστικά λειτουργεί τότε ως μεγάλος συλλέκτης ακτινοβολίας. Στην περίπτωση των εφαρμογών έμμεσου ηλιακού κέρδους οι χώροι των κτιρίων δεν χρησιμοποιούνται ως συλλέκτες. Πλέον η θερμική μάζα είναι απαραίτητα τοίχος, ο οποίος ονομάζεται τοίχος θερμικής αποθήκευσης. Μετακινείται, εν αντιθέσει με το σύστημα άμεσου κέρδους, στην μεσημβρινή πλευρά του κτιρίου και στην θέση της μεγάλης υαλόφρακτης επιφάνειας. Αυτή η επιφάνεια δεν απορρίπτεται, τοποθετείται ακριβώς έξω από τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης και σε απόσταση 10 με 15cm από αυτόν. Έτσι λοιπόν η αναλογία με τον συλλέκτη υπάρχει και εδώ, απλά ο συλλέκτης μετατοπίζεται από τους χώρους του κτιρίου στον νέο χώρο του διακένου που σχηματίζεται μεταξύ τοίχου θερμικής αποθήκευσης και μεσημβρινού υαλοπίνακα. Ο τοίχος άλλωστε είναι αρκετά παχύς και από βαριά υλικά όπως έχει ήδη ειπωθεί, αλλά και βαμμένος επίσης με μαύρο χρώμα στο εξωτερικό του, ώστε να απορροφά όσο γίνεται παραπάνω ακτινοβολία.

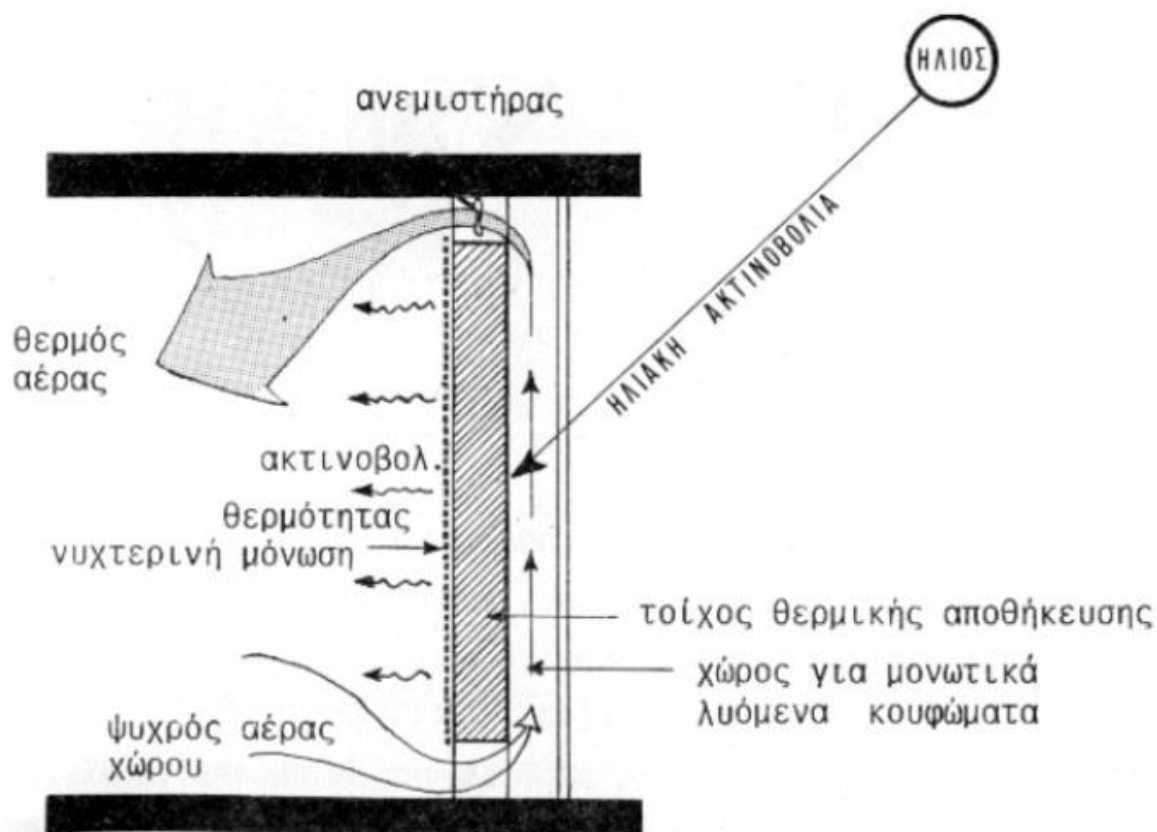
Ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης απορροφά ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας και εκπέμπει στο εσωτερικό του κτιρίου κατά την διάρκεια της νύκτας. Η θερμότητα μεταδίδεται μέσω κυρίως συναγωγής και ακτινοβολίας καθώς ο τοίχος πιάνει μεγάλες θερμοκρασίες και άρα εκπέμπει στο πιο ψυχρό δωμάτιο. Όμως επίσης η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου θερμαίνεται αρκετά- με χρονική υστέρηση- λόγω της ακτινοβολίας που δέχεται ο τοίχος και αρχίζει η μετάδοση μέσω συναγωγής με τον αέρα των χώρων του κτιρίου.

Όλος ο έλεγχος της θερμοκρασίας του κτιρίου, όσον αφορά τα παθητικά συστήματα, γίνεται από αυτόν τον τοίχο θερμικής αποθήκευσης. Ακριβώς για αυτό παίζει πολύ σημαντικό ρόλο το πάχος και το υλικό του τοίχου, καθώς αυτά ορίζουν την χρονική υστέρηση με την οποία μεταφέρεται η θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτή μπορεί να φτάσει έως και τις δέκα ώρες με τον τοίχο να φτάνει τα 40cm, ενώ με χρονική υστέρηση έξι έως οκτώ ωρών μπορεί να εξασφαλισθεί η θέρμανση κατά την διάρκεια της νύκτας.

Υπάρχει βέβαια και μια ακόμη λειτουργία που μπορεί να συμβάλει στην θέρμανση του κτιρίου. Αυτή είναι η εκμετάλλευση του αέρα που υπάρχει στο διάκενο μεταξύ υαλοπίνακα και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Αυτός ο αέρας θερμαίνεται λόγω της ακτινοβολίας του ήλιου και

λόγω συναγωγής με την σκούρα πλευρά του τοίχου και αρχίζει μια φυσική ανακύκλωση μέσα στον χώρο του διακένου. Ανοίγουν λοιπόν δύο ανοίγματα, ένα στο κάτω μέρος του τοίχου και ένα στο πάνω, ώστε να επιτρέπουν να αρχίσει μια ανακύκλωση του αέρα που συμπεριλαμβάνει και τον αέρα του κτιρίου. Ο ψυχρότερος αέρας του κτιρίου εισέρχεται στον χώρο του διακένου από το κάτω άνοιγμα και θερμαινόμενος ανέρχεται μέχρι το πάνω άνοιγμα καθώς εισέρχεται πάλι στο χώρο του κτιρίου πλέον αρκετά θερμότερος. Αυτή η λειτουργία εκμεταλλεύεται ακόμα περισσότερο την ακτινοβολία του ήλιου, ενισχύει την συναγωγή και προσθέτει στην ακτινοβολία του τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Σημειώνεται ότι υπάρχει και η περίπτωση της ενίσχυσης της φυσικής αυτής ανακύκλωσης του αέρα με την προσθήκη ενός ανεμιστήρα στο ένα από τα δύο ανοίγματα.

Η ανακυκλοφορία αυτή, που περιγράφηκε μέχρι τώρα, αποδίδει βασικό ρόλο στην ηλιακή ακτινοβολία και άρα αρχίζει αφού ο ήλιος έχει ανατείλει γιατί ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης πρέπει να θερμανθεί πρώτα ώστε να αρχίσει και η συναγωγή. Η κυκλοφορία φτάνει στον ανώτατο ρυθμό μεταφοράς όγκου και τον διατηρεί ακόμα και αν υπάρξουν κάποιες θερμοκρασιακές ανακατατάξεις στο εσωτερικό του κτιρίου. Αυτό, και με την βοήθεια της χρονικής υστέρησης, της επιτρέπει να παραμείνει αποδοτική για περίπου δύο με τρεις ώρες μετά την δύση του ηλίου.



Εικόνα 1.1.5: Παράδειγμα συστήματος έμμεσου ηλιακού κέρδους

Σημειώνεται ότι αν ο χώρος του διακένου μεγαλώσει, υπάρχει η πιθανότητα να χαθεί η σταθερότητα της φυσικής ροής του αέρα από το διάκενο στο εσωτερικό του κτιρίου. Θα χρειαζόταν τότε σίγουρα κάποιος ανεμιστήρας, αλλά όσο μεγαλύτερος γίνεται ο χώρος του διακένου τόσο δυσκολότερο είναι να μοντελοποιηθεί η ροή. Θα παρατηρούσε επίσης κανείς ότι το σύστημα παθητικής θέρμανσης με την προσθήκη θερμοκηπίου είναι στην ουσία μια υποκατηγορία των συστημάτων έμμεσου ηλιακού κέρδους με το θερμοκήπιο να παίζει τον ρόλο ενός διευρυμένου διακένου. Γίνεται ξανά πρόδηλο το γεγονός ότι στα συστήματα έμμεσου κέρδους ο χώρος δεν παίζει

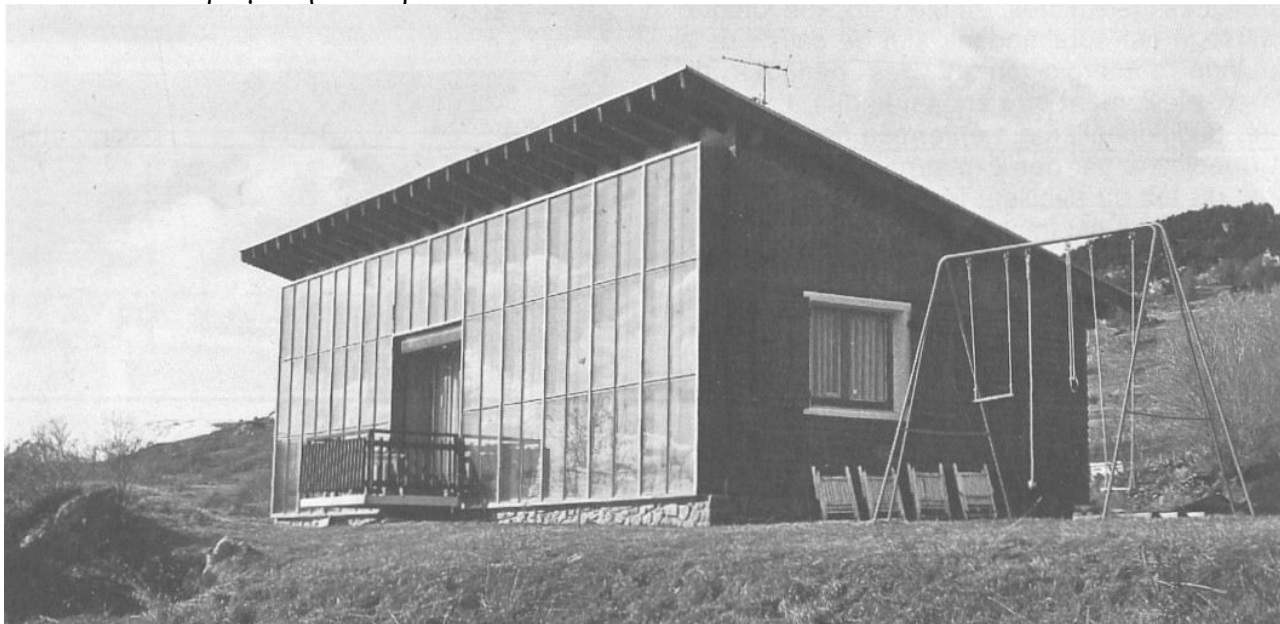
τον ρόλο του ηλιακού συλλέκτη ο ίδιος, αλλά τοποθετείται μπροστά στον χώρο ενδιαφέροντος ένας χώρος που παίζει αυτός τον ρόλο του συλλέκτη, με τον χώρο να κερδίζει έμμεσα θερμότητα μέσω του τοίχου θερμικής αποθήκευσης.

Αυτή η εργασία όπως προδίδει και ο τίτλος της, θα ασχοληθεί με την έννοια του τοίχου Trombe. Ο τοίχος αυτός ανήκει στην κατηγορία των συστημάτων έμμεσου ηλιακού κέρδους, αλλά υπάρχει πιθανότητα να προσφέρει και ψύξη. Παρακάτω θα παρουσιαστεί πιο αναλυτικά η εφαρμογή του τοίχου Trombe τόσο μέσα από μια ιστορική αναδρομή όσο και αναλύοντας πρακτικά την χρήση του.

## **1.2 Τοίχος Trombe**

Ο τοίχος Trombe αποτελεί μια εφαρμογή παθητικού συστήματος έμμεσου ηλιακού κέρδους, που λειτουργεί όπως ακριβώς περιγράφηκε πριν όσον αφορά την θέρμανση ενός χώρου, αλλά σε αυτήν την περίπτωση υπάρχει και η δυνατότητα της ψύξης. Πριν γίνει όμως περεταίρω ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών του τοίχου Trombe θα γίνει μια μικρή ιστορική αναδρομή, ώστε να δοθούν στοιχεία για το ποιοί άνθρωποι συνέβαλλαν στην ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής. Τέλος θα δοθούν κάποια παραδείγματα εφαρμογής του τοίχου Trombe σε πραγματικά κτίρια.

Ο Felix Trombe (1906-1985) ήταν ένας Γάλλος μηχανικός, ο οποίος ασχολούνταν αρκετά με θέματα σχεδιασμού παθητικών κτιρίων και γενικότερα με εφαρμογές που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία. Ο Trombe άρχισε να ασχολείται με τον σχεδιασμό του ομώνυμου τοίχου την δεκαετία του 50', όποτε και πατένταρε την ιδέα του. Οι έρευνες έγιναν στο Centre National de la Recherche Scientifique. Δεν είχε υλοποιήσει την δοκιμή σε πραγματικό σπίτι όμως μέχρι το 1967. Τότε και με την βοήθεια του αρχιτέκτονα Jacques Michel ανέπτυξε το πρώτο σπίτι με την προσθήκη τοίχου Trombe στην νότια πλευρά του, στην πόλη Odeillo που βρίσκεται στην Γαλλία- κοντά στα σύνορα με την Ανδόρα.

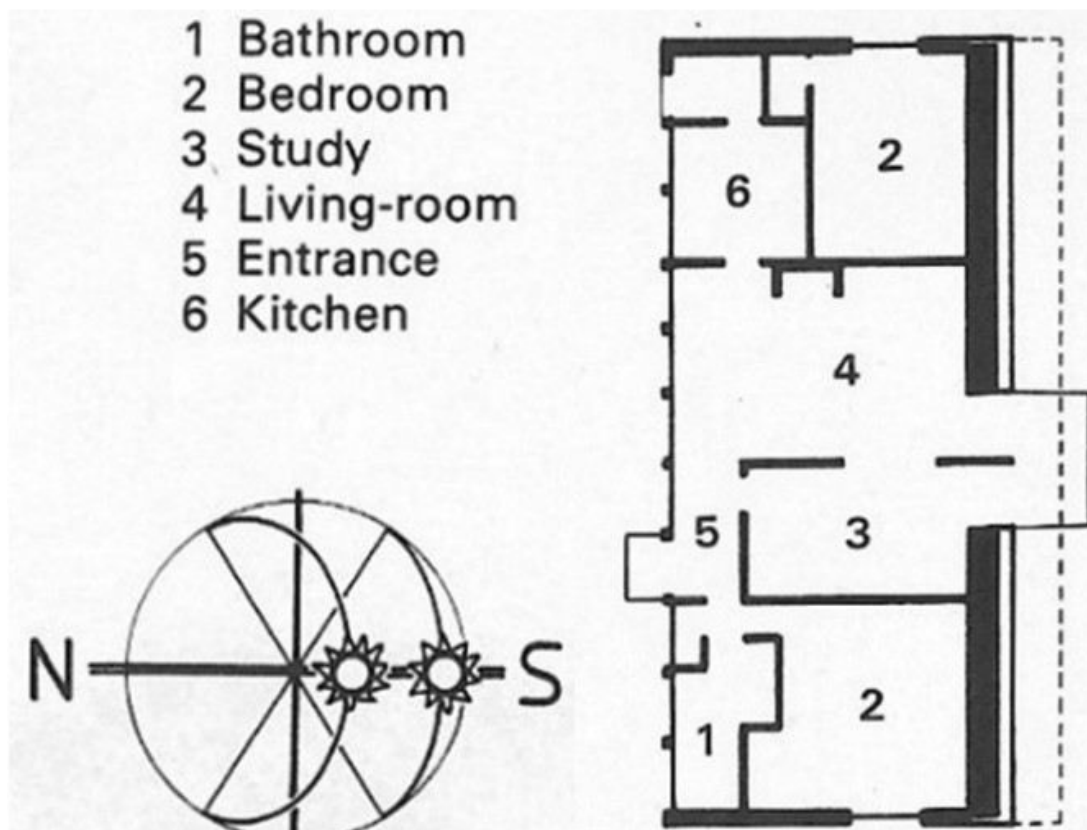


*Εικόνα 1.2.1: Το πρώτο σπίτι με εφαρμογή τοίχου Trombe στην γαλλική πόλη Odeillo*

Παραπάνω φαίνεται το προκείμενο σπίτι και συγκεκριμένα η νότια πλευρά του, η οποία είναι καλυμμένη από υαλοπίνακες. Όμως παρατηρείται και κάτι άλλο που δεν έχει αναφερθεί μέχρι στιγμής σε κάποια από τις θεωρητικές εισαγωγές του τοίχου Trombe. Ο αρχιτέκτονας εδώ προσθέσε και ένα μπαλκόνι στην νότια πλευρά του κτιρίου. Αυτή είναι και μια πρώτη ματιά στην εμπειρία των κατοίκων που ζούν μέσα σε τέτοια κτίρια. Η νότια πλευρά προσφέρει φωτισμό και ορατότητα σε όλο το φυσικό πεδίο μπροστά από το κτίριο και θα ήταν ευχάριστο για τους κατοίκους να

υπάρχει πρόσβαση εκεί.

Αυτό το κτίριο δεν έχει μόνο ένα δωμάτιο, αλλά έξι. Το σχέδιο του κτιρίου δείχνει ότι υπάρχει ξεκάθαρος προσανατολισμός των περισσότερων δωματίων προς των νότο έτσι ώστε να εκμεταλευτούν τον τοίχο Trombe όσο το δυνατόν περισσότερα δωμάτια. Το παρακάτω σχέδιο αποκαλύπτει ότι τέσσερα δωμάτια ενδιαφέροντος εκμεταλλεύονται την εφαρμογή Trombe, οι δύο κρεβατοκάμαρες το σαλόνι και το γραφείο. Αυτά τα δωμάτια είναι δωμάτια με συχνή ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα και για αυτό είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει επαρκής θέρμανση εκεί.



7Εικόνα 1.2.2: Σκαρίφημα κάτοψης σπιτιού Trombe στην Odeillo

### Τεχνικά χαρακτηριστικά τοίχου Trombe

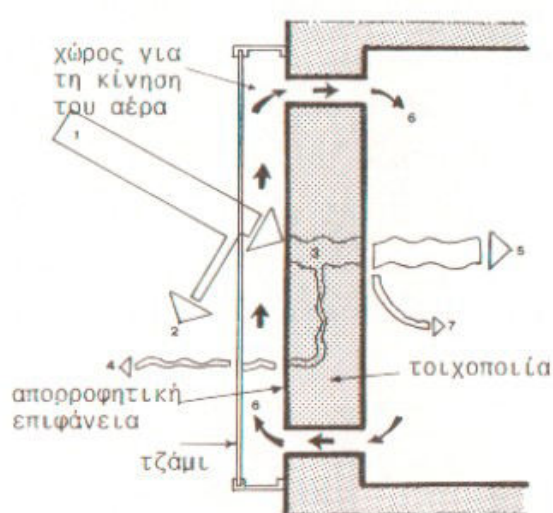
Όσον αφορά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τοίχου Trombe τώρα πρέπει να αναφερθεί ότι ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης είναι από σκυρόδεμα και έχει πάχος 30-40cm. Είναι βαμμένος με σκούρο χρώμα στην εξωτερική του πλευρά ώστε να απορροφά όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία. Στα 10cm μακριά από την σκούρα εξωτερική επιφάνεια του τοίχου υπάρχει ο υαλοπίνακας, μάλιστα γίνεται λόγος για μονό υαλοπίνακα, για να δημιουργηθεί το διάκενο που είχε προαναφερθεί, το οποίο είναι γεμάτο με αέρα. Αυτός ο αέρας όταν θερμαίνεται αρχίζει μια φυσική ανακύκλωση και άρα πρέπει να υπάρξουν θυρίδες στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου, ώστε ο ψυχρότερος αέρας του κτιρίου να περνάει μέσα στο διάκενο και αφού θερμανθεί να ξαναπερνάει στους χώρους του κτιρίου. Η διαφορά με όσα ήδη έχουν περιγραφεί είναι ότι πλέον υπάρχει η δυνατότητα και για προσθήκη μιας θυρίδας στο ανώτερο μέρος του υαλοπίνακα. Η χρήση της θα αναλυθεί σε λίγο.

Κατά την διάρκεια του χειμώνα ο τοίχος θερμαίνεται από τις ακτίνες του ήλιου και άρα αρχίζει να αποθηκεύει ενέργεια, την οποία θα εκπέμπει με χρονική υστέρηση κάποιων ωρών στο εσωτερικό του κτιρίου. Υπάρχει και ένα ποσοστό ακτινοβολίας το οποίο εκπέμπεται από τον τοίχο προς το



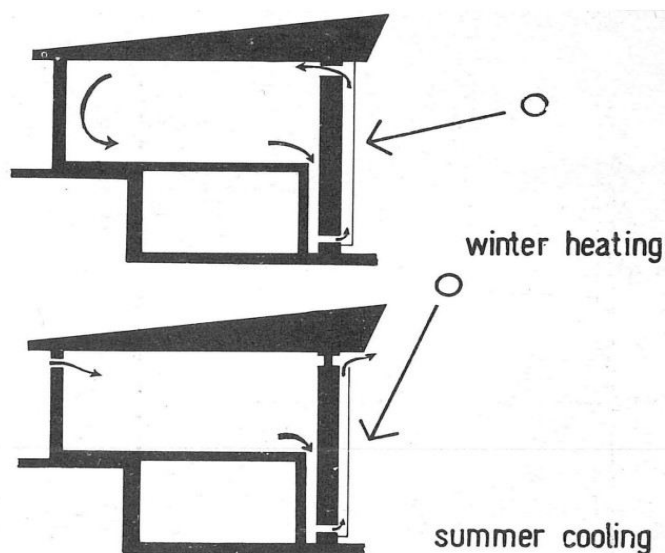
διάκενο,θερμαίνοντας περαιτέρω τον εκεί αέρα,αλλά χωρίς να αποκλείεται η πιθανότητα ένα μέρος αυτής της ακτινοβολίας να χάνεται προς το εξωτερικό περιβάλλον.Απο την στιγμή που ο ήλιος ανατέλει,για την ακρίβεια λίγες ώρες μετά,ανοίγουν και οι δύο θυρίδες και αρχίζει η κυκλοφορία του θερμού αέρα προς τους χώρους του κτιρίου,συνεπικουρώντας την θέρμανση μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής από πλευράς τοίχου Trombe.Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι λίγες ώρες μετά την δύση του ηλίου,όποτε και κλείνουν οι θυρίδες αφήνοντας την θέρμανση των χώρων μόνο στον τοίχο θερμικής αποθήκευσης.

Από την άλλη την θερινή περίοδο,με την ψύξη να είναι πλέον επιθυμητή,η πάνω θυρίδα του τοίχου κλείνει,ενώ ανοίγει η θυρίδα στο πάνω μέρος του υαλοπίνακα.Αυτό επιτρέπει στον αέρα των χώρων του κτιρίου,που πλέον δεν είναι και τόσο ψυχρός,να περνάει μέσα από το διάκενο και να θερμαίνεται ανεβαίνοντας προς τα πάνω μέχρι να συναντήσει την θυρίδα του υαλοστασίου και να διαφύγει στο περιβάλλον.Αυτό είναι το λεγόμενο φαινόμενο «καμινάδας»,που δημιουργεί μια ροή του αέρα από ένα σχετικά θερμό σημείο προς ένα ακόμα θερμότερο.Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι αυτό το φαινόμενο θα μπορούσε να ενισχυθεί με κάποιο ρεύμα αέρα,δημιουργούμενο από ένα ελεγχόμενο άνοιγμα κάποιας θυρίδας στην βόρεια πλευρά του κτιρίου.



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

8Εικόνα 1.2.3: Ανάλυση εφαρμογής τοίχου Trombe



9Εικόνα 1.2.4: Σκαρίφημα εξήγησης χειμερινής και θερινής λειτουργίας τοίχου Trombe στο σπίτι της Odeillo

## Ιστορική Αναδρομή και Παραδείγματα εφαρμογής Trombe

Αφού τελείωσε η παρουσίαση των βασικών στοιχείων του τοίχου Trombe, έτσι όπως είχαν χρησιμοποιηθεί στην αρχική εφαρμογή μπορεί να συνεχιστεί η ιστορική αναδρομή για να παρουσιαστούν και επόμενες προσπάθειες κτιρίων με τοίχο Trombe.

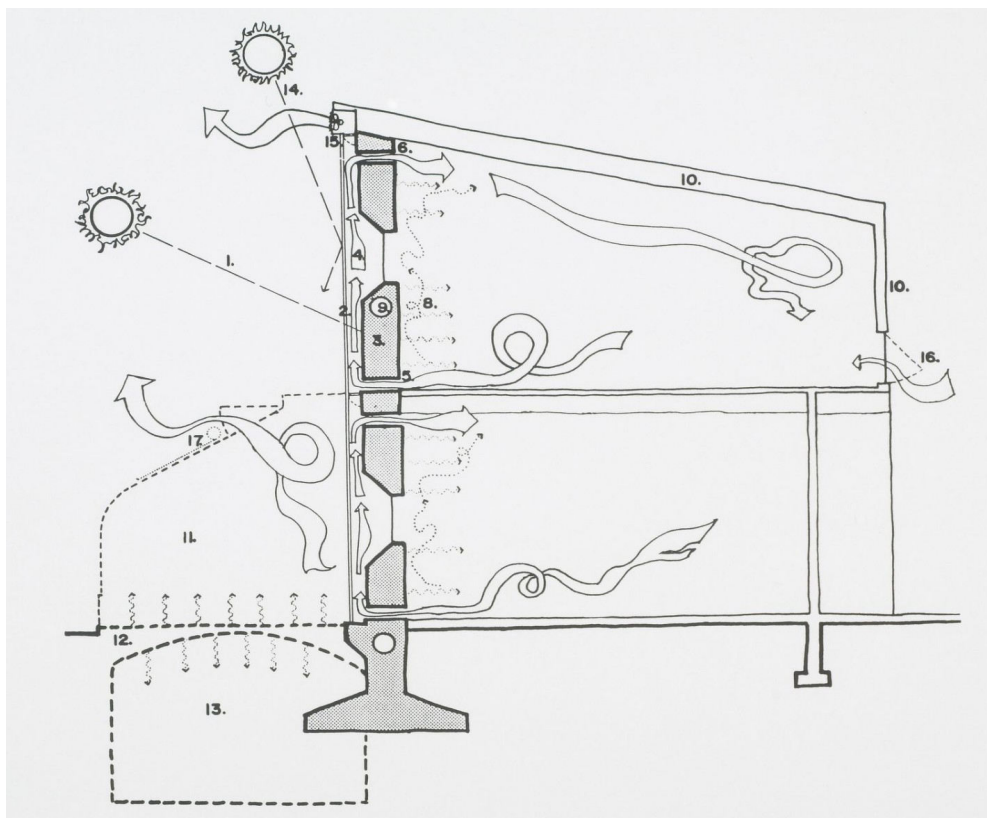
Παρότι υπήρξε πειραματισμός και άλλων μηχανικών, εκτός από τον Felix Trombe, με τα συστήματα παθητικής θέρμανσης, δεν υπήρχε τόσο ενδιαφέρον ώστε να κατασκευαστούν πολλά σπίτια με την προσθήκη αυτής της εφαρμογής. Αυτό συνέβαινε μέχρι και την δεκαετία του εβδομήντα και τις αλλεπάλληλες ενεργειακές κρίσεις, λόγω έλλειψης πετρελαίου. Η πρώτη κρίση πετρελαίου διήρκησε το διάστημα 1973-1976, ενώ η δεύτερη επήλθε το 1979. Λόγω της αύξησης της τιμής των καυσίμων και συνεκδοχικά και της ενέργειας, οι κατασκευαστές κατοικιών ψάχνουν εναλλακτικές ώστε να μειώσουν το κόστος κλιματισμού των χώρων. Αυτό τους οδηγεί να ανακαλύψουν την ιδέα της εφαρμογής Trombe και άρα αναπτύσσονται διαφορετικές ιδέες για την πρακτική μεταφορά της ιδέας σε πραγματικά σπίτια.

### Σπίτι στο Montmedy της Γαλλίας

Το πρώτο παράδειγμα χρονικά για την δεκαετία του 70' έρχεται με ένα σπίτι που χρησιμοποιεί τοίχο Trombe στο Montmedy, ξανά στην Γαλλία. Δεν υπάρχουν φωτογραφίες από το συγκεκριμένο κτίριο, αλλά πληροφορίες αναφέρουν ότι οι χώροι του απαιτούσαν 7000kWh για θέρμανση, ενώ μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe οι 5400kWh από αυτές παρέχονταν από την θέρμανση μέσω της εφαρμογής Trombe. Αυτό οδήγησε και σε μείωση του κόστους που χρειαζόταν για την θέρμανση από 750\$ σε 225\$, με τον τότε πληθωρισμό. Αυτό σημαίνει ότι η εφαρμογή Trombe πέτυχε 70% μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση, αλλά και 70% μείωση του κόστους.

### Κτίριο Kelbaugh

Επόμενο παράδειγμα είναι το κτίριο Kelbaugh στο Princeton των ΗΠΑ. Ο Douglas Kelbaugh



10Εικόνα 1.2.5: Σκαρίφημα τοίχων Trombe του κτιρίου Kelbaugh

ήταν τελειόφοιτος στο τμήμα της αρχιτεκτονικής του Πανεπιστημίου του Princeton, όταν το 1973 εμπνευσμένος από ένα ευρωπαϊκό επιστημονικό περιοδικό θέλησε να ασχοληθεί με τον σχεδιασμό παθητικών ηλιακών συστημάτων, παρότι όπως παραδεχόταν τότε δεν είχε τις απαραίτητες γνώσεις. Αποφάσισε λοιπόν να χτίσει σε ένα κομμάτι του οικοπέδου που είχε στην ιδιοκτησία του ένα διώροφο σπίτι 195 συνολικά τετραγωνικών μέτρων, στο οποίο θα εφαρμόζε και τις αρχές του τοίχου Trombe. Η διαφορά εδώ με τα προηγούμενα παραδείγματα είναι αφενός οι δύο όροφοι, κάτι που σημαίνει και δύο τοίχοι Trombe-αλλά και τέσσερις θυρίδες για δύο συστήματα ανακύκλωσης του αέρα, ένα για κάθε όροφο-ενώ υπάρχει μπροστά από ένα μικρό κομμάτι του πρώτου ορόφου και ένα μικρό θερμοκήπιο. Συνδιάζονται λοιπόν εδώ το έμμεσο σύστημα ηλιακού κέρδους του τοίχου Trombe και η παραλλαγή του, το σύστημα το θερμοκηπίου. Σημειώνεται επίσης ότι κάθε όροφος έχει από τέσσερα παράθυρα στην πλευρά του τοίχου Trombe τα οποία μάλιστα φέρνουν τα τζάμια τους σε άμεση επαφή με το ανακυκλούμενο ρεύμα αέρα του διακένου. Επίσης παραπάνω φαίνεται ότι ο Kelbaugh σχεδίασε και θυρίδα επάνω στο υαλοστάσιο Trombe, αλλά και στην βόρεια πλευρά του κτιρίου ώστε να υπάρχει και η όποια δυνατή ψύξη.

Η έκθεση που συντάχθηκε μετά την συλλογή στοιχείων τους χειμώνες του 1976 και 1977 δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων σε σχέση με το απλό κτίριο. Αυτή η έκθεση λοιπόν μιλάει για 450\$ και 360\$ εξοικονόμηση για τους χειμώνες του 76 και 77 αντίστοιχα, ενώ επισημαίνει και 3978m<sup>3</sup> και 3179m<sup>3</sup> εξοικονομημένου φυσικού αερίου για τους ίδιους χειμώνες-οι οποίοι μάλιστα είναι και αρκετά βαρείς τουλάχιστον για τα ελληνικά δεδομένα με την θερμοκρασία να κυμαίνεται στο διάστημα [-13,14]°C.



11Εικόνα 1.2.6: Γενική άποψη νότια πλευράς κτιρίου Kelbaugh

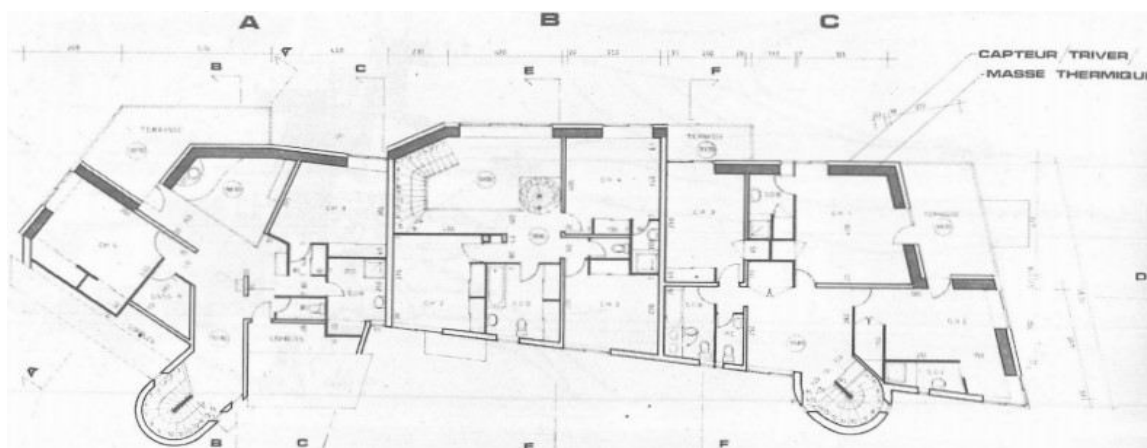
Τα επόμενα δύο παραδείγματα εφαρμογής του τοίχου Trombe σε πραγματικά κτίρια, ασχολούνται περισσότερο με κάποια ιδιαίτερα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά που δημιουργούν πιο ευχάριστες συνθήκες διαβίωσης μέσα στο εκάστοτε κτίριο. Η αλήθεια είναι ότι παρά την εξοικονόμηση στην οποία συμβάλλει ο τοίχος Trombe, αυτός ο τοίχος καταλαμβάνει πάρα πολύ μεγάλο κομμάτι της

εξωτερικής επιφάνειας του κτιρίου. Αυτό σημαίνει ότι τα παράθυρα πάνω σε αυτή την επιφάνεια δεν μπορεί να είναι λειτουργικά, γιατί αν ανοίξουν θα αλλάξουν την φυσική ανακύκλωση του αέρα. Επίσης η επιφάνεια των κλειστών αυτών παραθύρων δεν μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλη, καθώς δεν απορροφούν καθόλου ακτινοβολία και άρα δεν συμβάλλουν στην λειτουργία του τοίχου Trombe. Συμπερασματικά τα δωμάτια που βρίσκονται πίσω από τον τοίχο αυτόν, θα έχουν περιορισμένο φυσικό φωτισμό κατά την διάρκεια της ημέρας, κάτι που πιθανόν θα δυσαρεστήσει τους κατοίκους.

Ένα άλλο σημείο στο οποίο δεν επικεντρώνονται τα πιο πάνω παραδείγματα, είναι η αποκλειστική χρήση του χώρου του διακένου για τεχνικούς λόγους, αγνοώντας αισθητικές και χρηστικές ανάγκες. Οι κάτοικοι, όταν κυκλοφορούν σε ένα δωμάτιο πιθανόν να θέλουν να έχουν απρόσκοπτη θέα στο πεδίο μιας κατεύθυνσης, να βγούν σε ένα μπαλκόνι για επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον ή απλά να μην νιώθουν την κλειστοφοβία που επιβάλλει ένας τεράστιος τοίχος χωρίς κάποιο παράθυρο. Η χρήση των μπαλκονιών σε ένα απλό κτίριο με τοίχο θερμικής αποθήκευσης είναι περιορισμένη σύμφωνα με αυτά που έχουν περιγραφεί μέχρι στιγμής. Ο δε χώρος του διακένου είναι ένας επιπλέον εξωτερικός χώρος αρκετά αντιαισθητικός, που δεν μπορεί να κατοικηθεί λόγω του μικρού του πλάτους.

### Κτίριο στην Odeillo με χρήση αποσυνδεδεμένων τοίχων Trombe

Για να γίνει πιο εμπορικό λοιπόν ένα κτίριο με τοίχο Trombe, πρέπει να δοθούν κάποιες εναλλακτικές για τα προβλήματα που παρουσιάστηκαν πριν. Ο αρχιτέκτονας Jacques Michel απάντησε στους παραπάνω προβληματισμούς σχεδιάζοντας, ξανά στην πόλη Odeillo, ένα κτίριο που συνδυάζει την εφαρμογή του τοίχου Trombe με ένα αρκετά πιο εργονομικό κτίριο. Το σπίτι βέβαια αυτό είναι αρκετά μεγαλύτερο από τα προηγούμενα παραδείγματα και έχοντας περισσότερα δωμάτια, προσφέρει και μεγαλύτερη επιφάνεια για πειραματισμούς πάνω στον τοίχο Trombe. Πλέον ο τοίχος Trombe δεν είναι εννιαίος, αλλά χωρίζεται σε ένα μικρό κομμάτι για κάθε δωμάτιο που έχει μια επιφάνεια εκτεθειμένη στον νότο. Αυτό επιτρέπει στον αρχιτέκτονα να σχεδιάσει ξεχωριστά και κάποια μπαλκόνια ή ανοιγόμενα παράθυρα σε κάποια δωμάτια που έχουν ήδη έναν λειτουργικό τοίχο Trombe, χωρίς να τον επηρεάζουν καθόλου. Εκτός από αυτό τα ξεχωριστά κομμάτια του τοίχου Trombe κυρτώνουν και έτσι δίνουν την δυνατότητα για απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και νωρίς το πρωί, μετά την ανατολή, και αργά το απόγευμα, λίγο πριν την δύση. Είναι αρκετά εντυπωσιακό το γεγονός ότι ένα τέτοιο κτίριο σχεδιάζεται και χτίζεται το 1967, το ίδιο έτος δηλαδή με το πρωτότυπο μοντέλο του σπιτιού με τοίχο Trombe.



12 Εικόνα 1.2.7: Σχέδιο κάτοψης του κτιρίου με πιο περίπλοκες εφαρμογές τοίχων Trombe

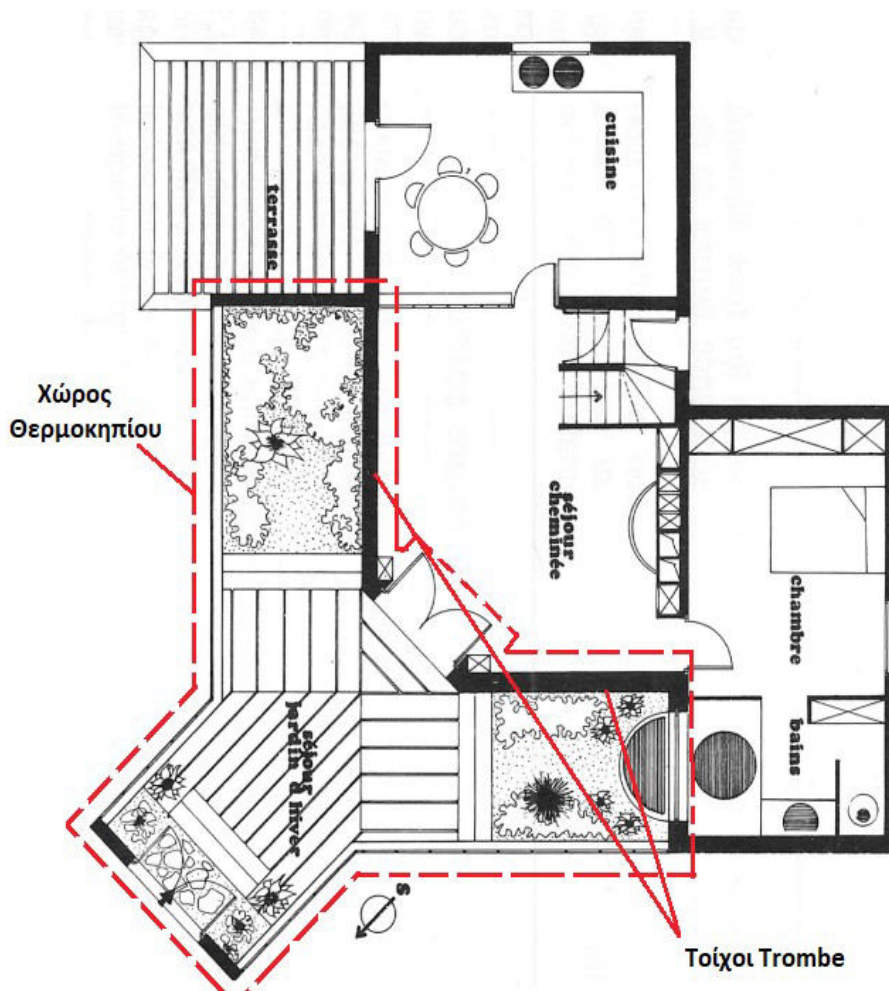




13Εικόνα 1.2.8: Γενική άποψη ηλιακού σπιτιού με πιο περίπλοκες εφαρμογές Trombe

### Σπίτι των Vaye-Nicolas

Ένα ακόμα παράδειγμα σπιτιού που προσπαθεί να συνδυάσει πιο ευαγή αρχιτεκτονικά στοιχεία



14Εικόνα 1.2.9: Σχέδιο κάτοψης κτιρίου των Vaye-Nicolas με σημείωση για χώρους θερμοκηπίων και τοίχων Trombe

με την χρησιμότητα της εφαρμογής Trombe, είναι το σπίτι στο βορειοδυτικό προάστιο του Παρισιού Argenteuil που σχεδιάστηκε από τους Γάλλους αρχιτέκτονες Marc Vaye και Frédéric Nicolas. Γίνεται λόγος για ένα διώροφο σπίτι, 130m<sup>2</sup>, το οποίο δεν έχει καμία πλευρά ακριβώς προσανατολισμένη στον νότο. Ακριβώς για αυτό, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, οι τοίχοι

με την εφαρμογή Trombe είναι νοτιοανατολικοί και νοτιοδυτικοί. Το μόνο στοιχείο του κτιρίου που είναι προσανατολισμένο καθαρά προς τον νότο, είναι ένα θερμοκήπιο 42m<sup>2</sup>, πίσω από το οποίο υπάρχουν οι τοίχοι Trombe. Επομένως σε αυτό το κτίριο ο χώρος του διακένου αποκτά μια χρησιμότητα, όντας ένας χώρος που μπορεί να κατοικηθεί προσφέροντας μάλιστα και ευχάριστη θερμή ατμόσφαιρα, όλη την χειμερινή περίοδο και στο 70% της θερινής περιόδου, αλλά και μια θέα προς την νότια πλευρά του πεδίου μπροστά από το σπίτι. Ακόμα και εδώ όμως και παρά τις όποιες προσπάθειες για αισθητική και χρηστική αναβάθμιση των χώρων μπροστά από τους τοίχους Trombe, το σαλόνι που βρίσκεται πίσω από το θερμοκήπιο έχει πολύ μεγάλες τυφλές επιφάνειες και ελάχιστο φυσικό φωτισμό. Έτσι παρότι υπάρχει 70% εξοικονόμηση ενέργειας που χρειάζεται για θέρμανση-το κτίριο υποβοηθείται από ηλιακούς συλλέκτες που βρίσκονται στον δεύτερο όροφο-και παρ'όλη την προσπάθεια με το θερμοκήπιο, υπάρχουν ξανά θέματα που μπορεί να αποθαρρύνουν το γενικό πλυθησμό από το να θέλει να κατοικήσει ένα τέτοιο σπίτι.



15Εικόνα 1.2.10: Γενική άποψη κτιρίου των Vaye-Nicolas από τον νότο

### Ολοκλήρωση ιστορικής αναδρομής μέχρι το σήμερα

Από την αρχή της δεκαετίας του ογδόντα και μετά οι τιμές των καυσίμων έπεσαν και άρα μειώθηκε και το ενδιαφέρον για εναλλακτικές μορφές θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων, αφού τα παραδοσιακά καύσιμα έγιναν πιο εύκολα διαθέσιμα. Συνεκδοχικά μειώθηκε και το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη του τοίχου Trombe που δεν κατάφερε να γίνει μια συμβατική εφαρμογή στις κατασκευές των κτιρίων. Παρ'όλα αυτά συνεχίστηκε η κατασκευή κάποιων κτιρίων με την προσθήκη της εφαρμογής Trombe, αλλά ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης με το εξωτερικό υαλοστάσιο δεν καταλάμβαναν όλη την επιφάνεια της μεσημβρινής πλευράς των κτιρίων. Έτσι και με αυτή την πιο ευέλικτη μορφή του τοίχου Trombe, μπορούν να κτίζονται και κάποια κτίρια που συνδυάζουν πολλές εφαρμογές παθητικών εφαρμογών, αλλά και εφαρμογές ενεργειακής αυτονομίας.

Σήμερα, μελετάται τοίχος θερμικής αποταμιεύσεως γυάλινος ημιδιαφανής ο οποίος αποτελείται από δύο γυάλινες εξωτερικές επιφάνειες και φέρει στο εσωτερικό του ημιδιαφανές κρύσταλλο που τον χωρίζει σε δύο διαμερίσματα. Ο τοίχος είναι γεμάτος νερό και λεπτές διαφανείς επιφάνειες εμποδίζουν τη δημιουργία ρευμάτων μεταφοράς. Η θερμότητα αποταμιεύεται κατ' ευθείαν στη

μάζα του τοίχου και ο χρόνος μεταβιβάσεώς της στην εσωτερική του επιφάνεια είναι σχετικά μικρός. Με το σύστημα αυτό ο χώρος θερμαίνεται, αλλά και φωτίζεται από το κλάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που διαχέεται.

### **1.3 Σκοποί της εργασίας**

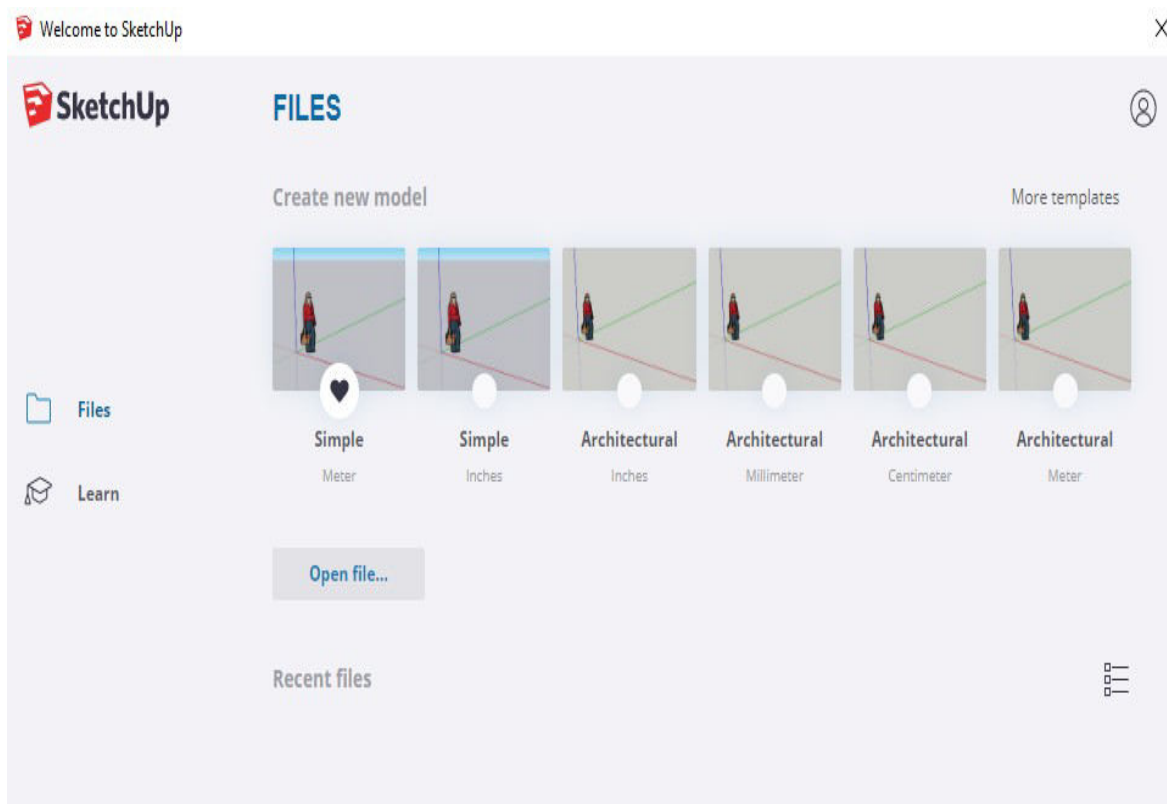
Στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα αναλυθούν οι αρχές που διέπουν τον κλασικό τοίχο Trombe. Στα επόμενα κεφάλαια αρχικά θα εξεταστεί ένα απλό δωμάτιο πριν και μετά την προσθήκη ενός τοίχου Trombe με σκοπό να διαπιστωθούν αν όντως ισχύουν οι θεωρητικές προηγούμενες δηλώσεις για την θερμοκρασιακή επίδοση που επιτυγχάνεται μέσα από αυτή την εφαρμογή. Το σημείο που πέφτει η προσοχή δηλαδή θα είναι αν ένα δωμάτιο, όντως θερμαίνεται επαρκώς τον χειμώνα με την δυνατότητα να μην υπερθερμαίνεται το καλοκαίρι. Επίσης θα εξεταστούν και οι συνθήκες που αφορούν την υγρασία, καθώς είναι αλληλένδετη με την θερμοκρασία στο κομμάτι της άνεσης που πρέπει να νιώθουν οι κάτοικοι. Εν συνεχεία θα αναλυθεί το κατά πόσο είναι εφικτό ένα τυπικό διαμέρισμα να εξοικονομήσει ενέργεια και χρήματα μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe στην νότια πλευρά του, ενώ παράλληλα διατηρούνται ικανοποιητικές συνθήκες άνεσης. Η διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων, πέραν της κλίμακας, είναι η ύπαρξη ενός συστήματος κλιματισμού στο διαμέρισμα. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο η ενεργειακή εξοικονόμηση εξετάζεται στο δεύτερο σκέλος αυτής της εργασίας.

***2.Απλό Δωμάτιο και η επίδραση της  
Παθητικής και Ενεργητικής Λειτουργίας  
του τοίχου Trombe σε αυτό***



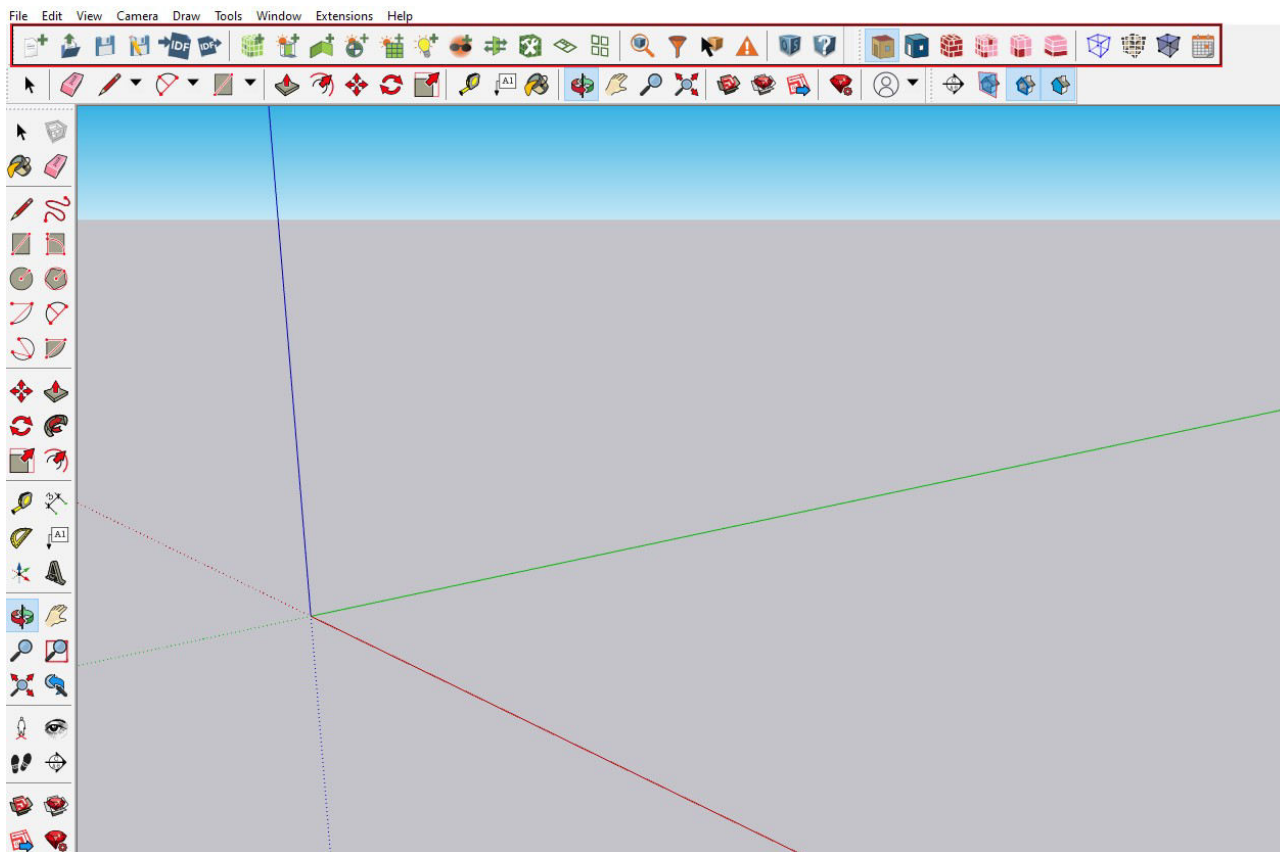
## 2.1 Σχεδίαση απλού μοντέλου μέσω SketchUp

Αρχικά έχει αποφασιστεί να σχεδιαστεί και να εξεταστεί ένα απλοϊκό μοντέλο, ώστε να γίνει κατανοητή η επενέργεια του τοίχου Trombe σε έναν χώρο χωρίς πολλούς εξωγενείς παράγοντες να τον επηρεάζουν. Παρουσιάζεται παρακάτω λοιπόν η σχεδίαση ενός δωματίου, επιφάνειας  $25\text{m}^2$  ( $5\text{m} \times 5\text{m}$ ) με την προσθήκη μόνο μιας πόρτας και ενός παραθύρου, με την βοήθεια του λογισμικού σχεδίασης SketchUp 2020. Σημειώνεται επίσης ότι επειδή θα γίνει και ενεργειακή ανάλυση του μοντέλου στην συνέχεια, θα πρέπει το μοντέλο που θα σχεδιαστεί στο SketchUp να αντιμετωπιστεί σαν ένα αρχείο τύπου .osm και όχι σαν ένα απλό αρχείο .skp. Αυτό σημαίνει ότι η μετέπειτα επεξεργασία του αρχείου θα γίνει μέσω του προγράμματος OpenStudio, κάτι βέβαιο που θα αναλυθεί περαιτέρω σε παρακάτω ενότητα της εργασίας. Η συμβατή έκδοση του OpenStudio, με το SketchUp 2020, είναι η OS 3.1.0 και μόλις αυτή εγκατασταθεί ενημερώνεται αυτόματα και το αντίστοιχο OS plugin, που επιτρέπει την επεξεργασία αρχείων .osm από το SketchUp. Παρακάτω παρουσιάζεται μέσω εικόνων η πορεία που ακολουθήθηκε για την σχεδίαση του προαναφερθέντος μοντέλου.

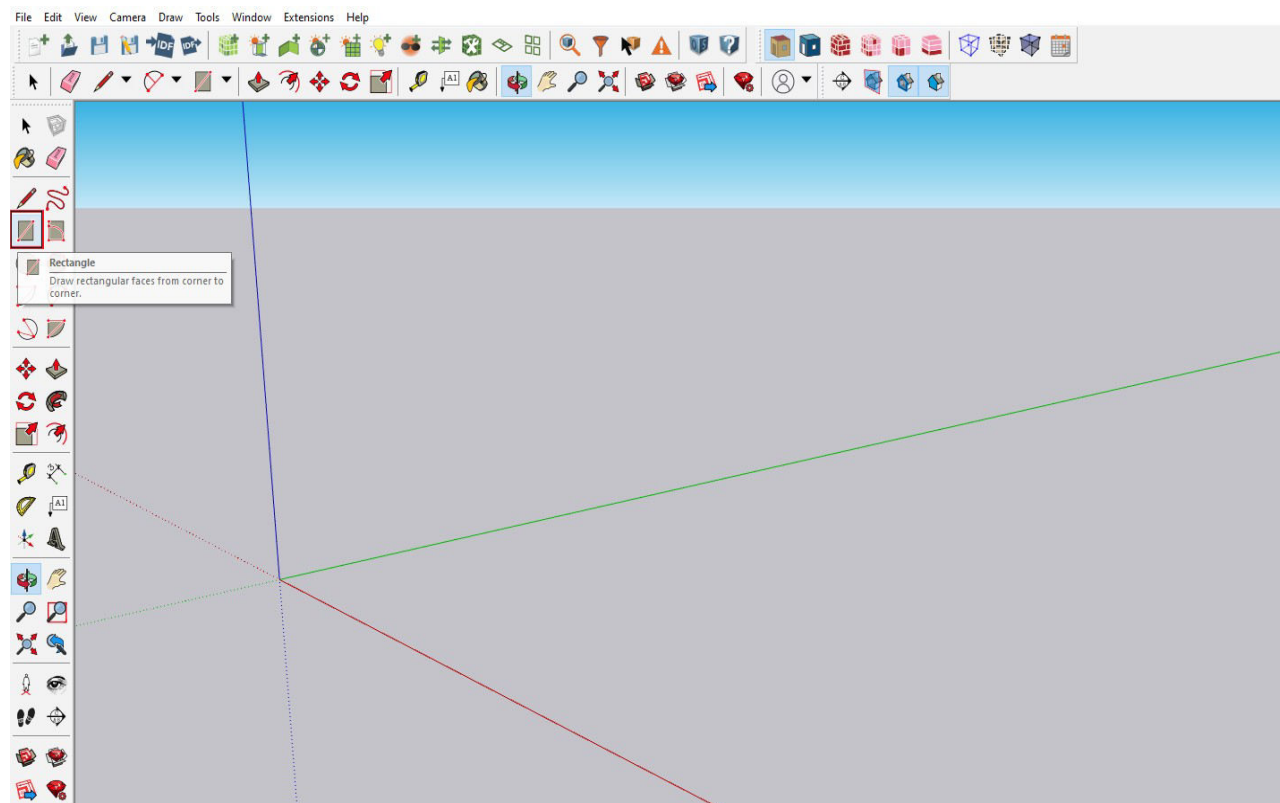


16 Εικόνα 2.1.1: Αρχική οθόνη SketchUp

Στην εικόνα 1.1 φαίνεται η αρχική οθόνη του SketchUp που ζητάει μια επιλογή για τον τύπο του αρχείου και τις μονάδες μέτρησης της απόστασης που θα χρησιμοποιηθούν. Επιλέγεται απλό αρχείο (simple) με μέτρα (meter) για μονάδα μέτρησης, όπως φαίνεται και πιο πάνω. Εν συνέχεια στην εικόνα 1.2 παρουσιάζεται η αρχική οθόνη του αρχείου .skp το οποίο θα δημιουργηθεί. Με κόκκινο πλαίσιο σημειώνονται οι επιλογές που δίνονται από το OS plugin και θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα.



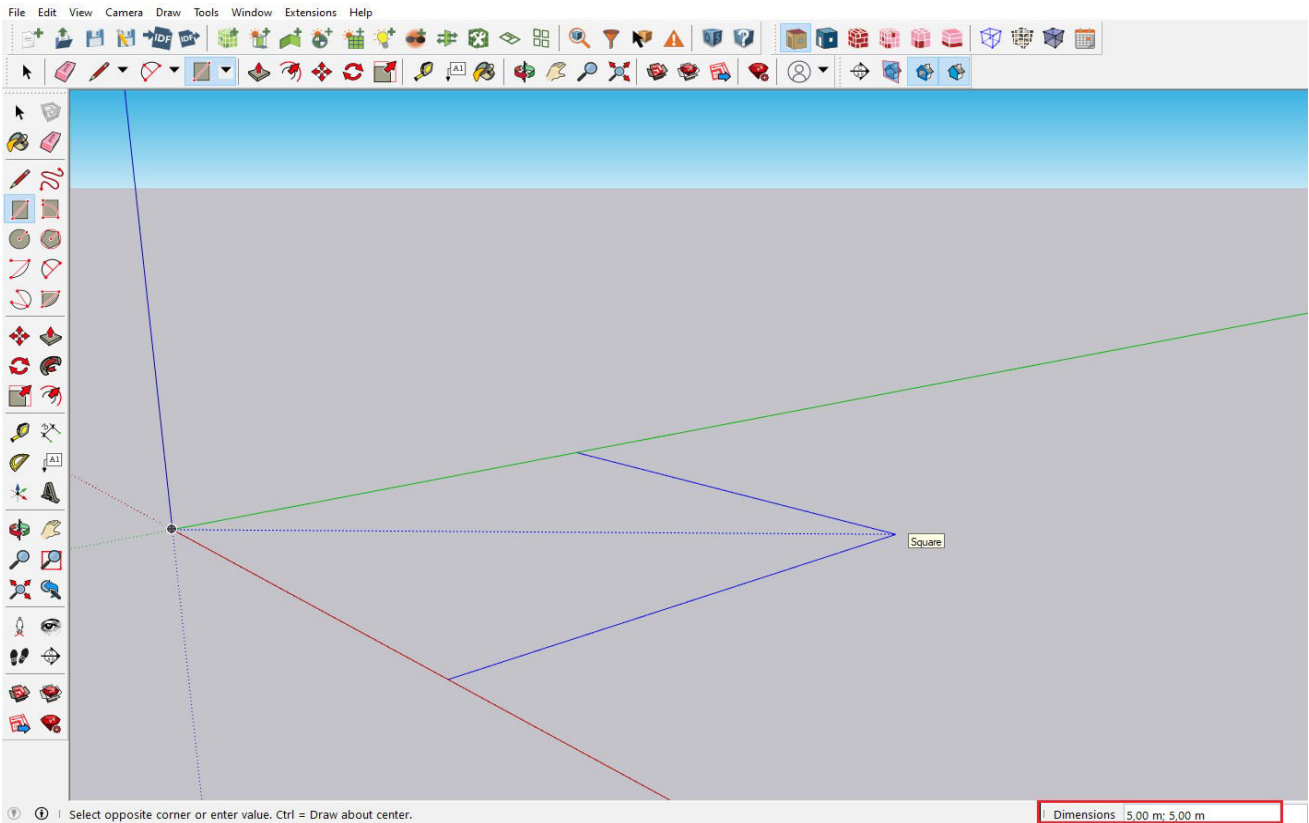
17Εικόνα 2.1.2: Παρουσίαση εργαλείων του OpenStudio plugin στο SketchUp



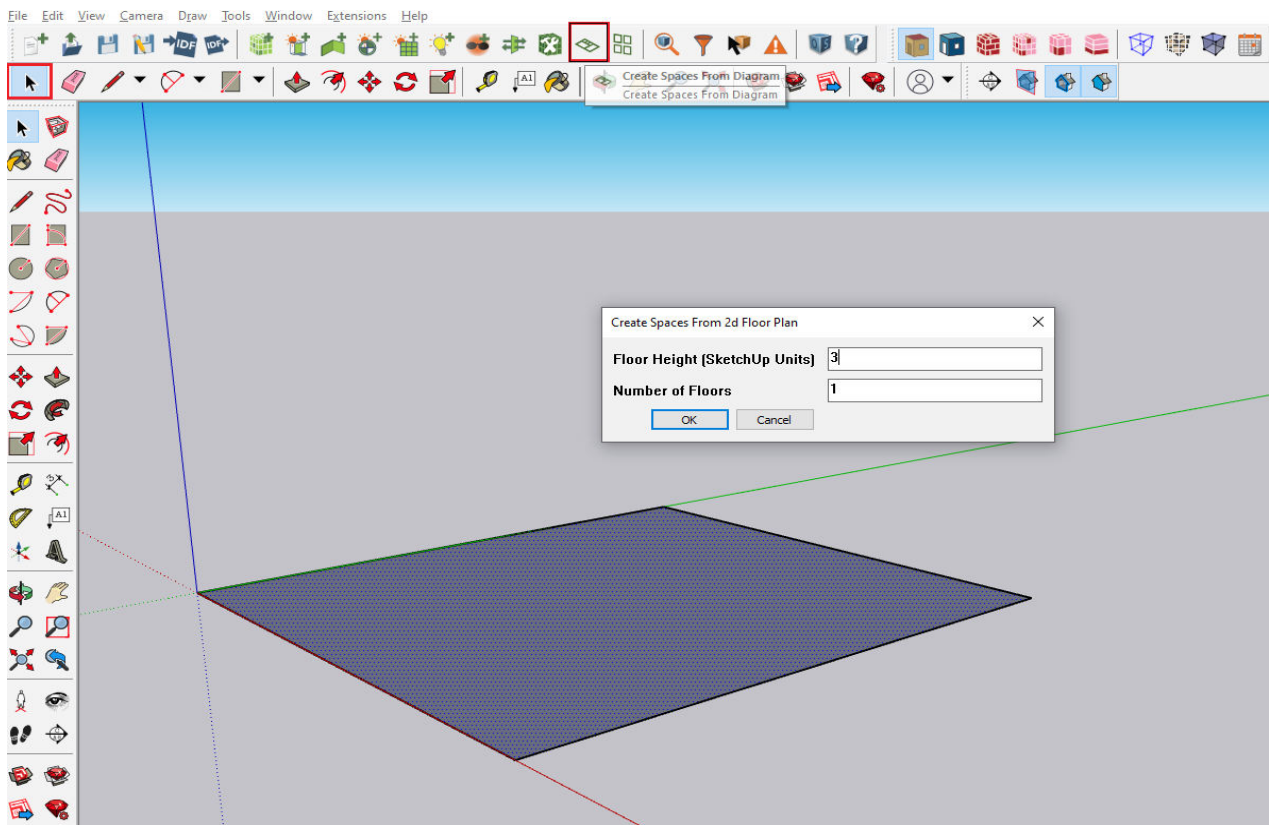
18Εικόνα 2.1.3: Παρουσίαση εργαλείου Rectangle στο SketchUp

Ξεκινώντας την σχεδίαση επιλέγεται το εργαλείο Rectangle, ώστε να σχεδιαστεί μια τετράγωνη επιφάνεια  $25\text{m}^2$  όπως φαίνεται και παρακάτω. Οι διαστάσεις φαίνονται κάτω δεξιά στην επόμενη

εικόνα, 1.4.Επίσης παρατηρείται ότι η επιφάνεια είναι ευθυγραμμισμένη με τους άξονες που υπάρχουν στο πρόγραμμα.Σημειώνεται ότι οι έντονοι πράσινος και κόκκινος άξονας αναπαριστούν την βόρεια και ανατολική κατεύθυνση αντίστοιχα.

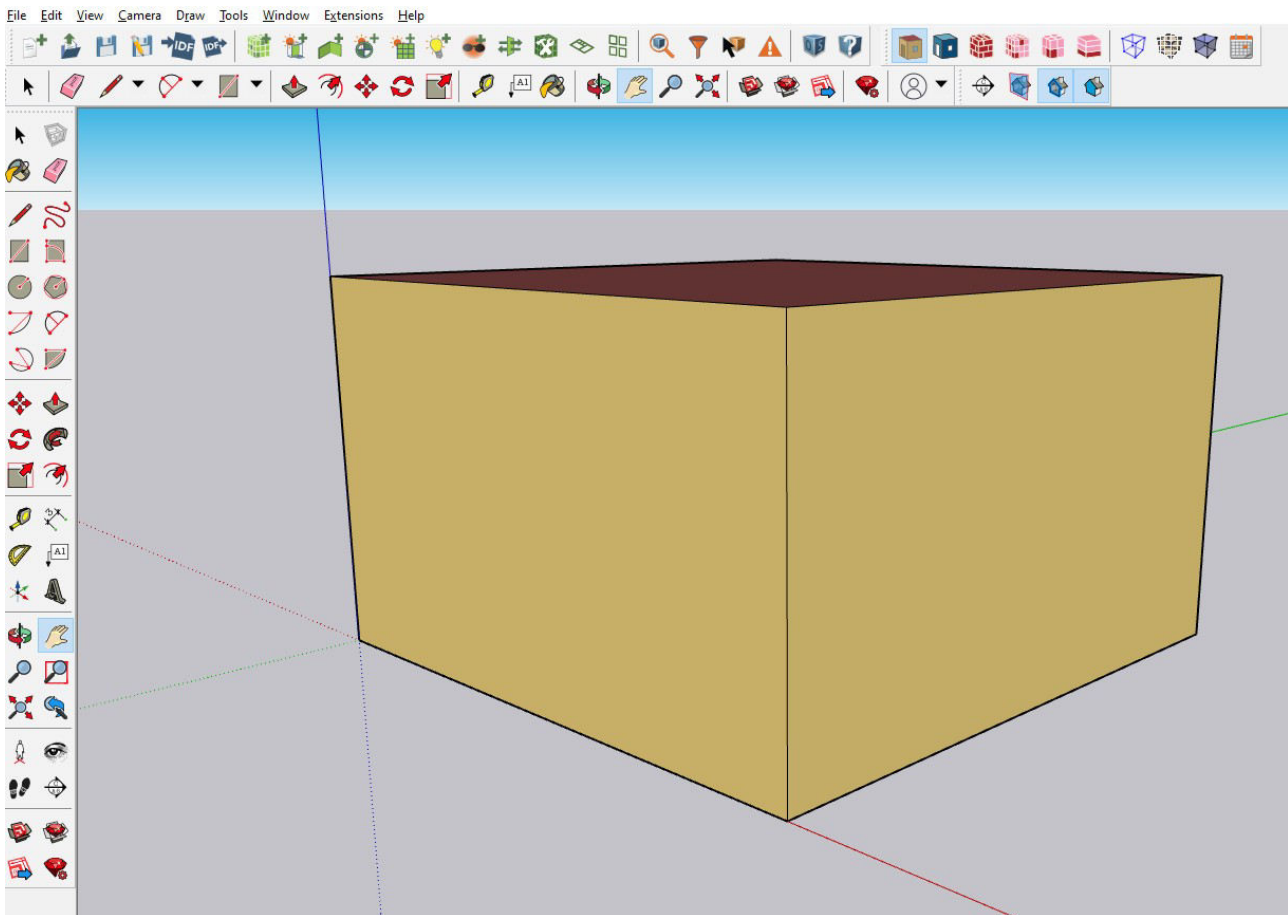


19Εικόνα 2.1.4: Έναρξη σχεδίασης τετραγωνικού πατώματος απλού δωματίου



20Εικόνα 2.1.5: Χρήση του εργαλείου Create Spaces from Diagram για την δημιουργία του χώρου του δωματίου

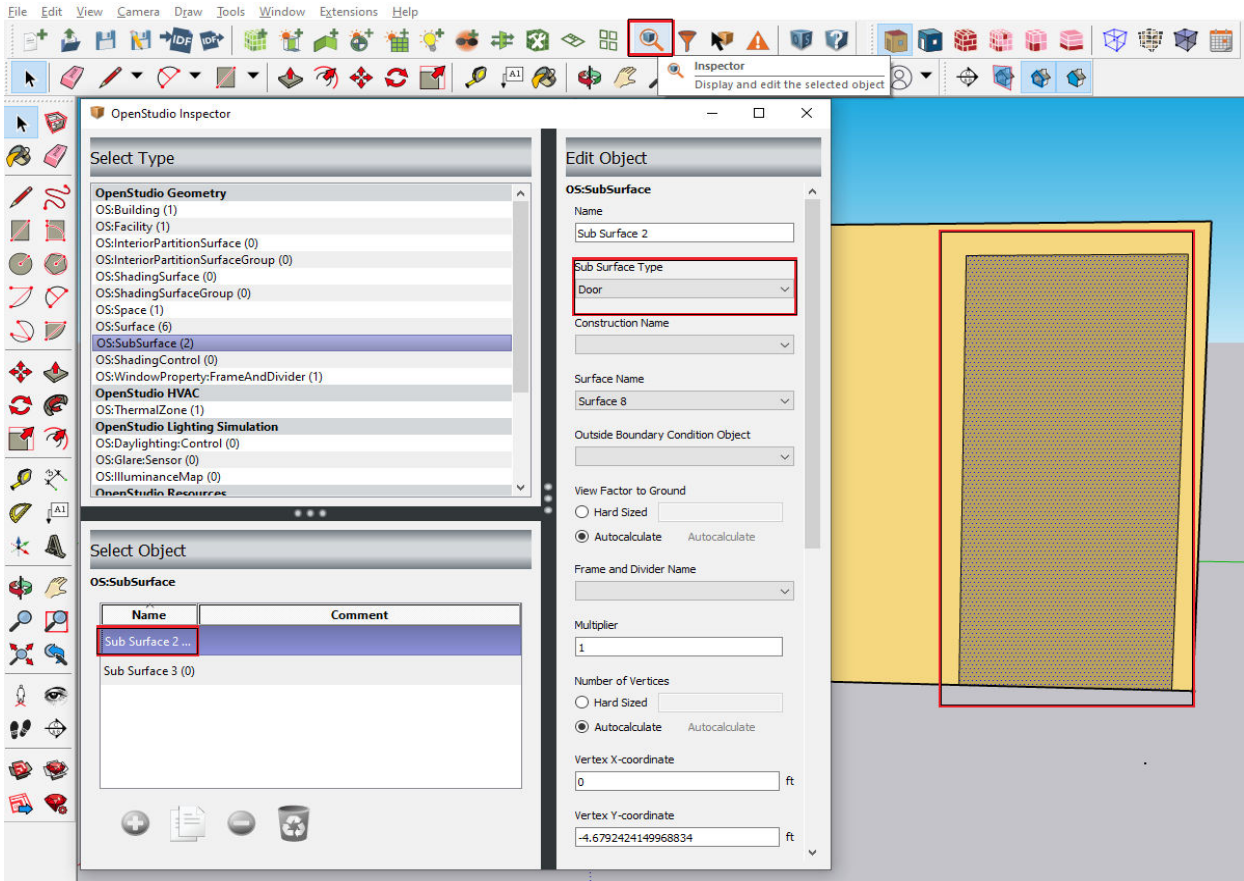
Μέχρι στιγμής,πρέπει να ειπωθεί, ότι έχει σχεδιαστεί ένα αρχείο μόνο στο φορμάτ του SketchUp.Επομένως για να γίνει η μετάβαση σε αρχείο .osm, πρέπει να επιλεγθεί ένα εργαλείο του OS plugin.Επιλέγεται το εργαλείο Create Spaces from Diagram,όπως δείχνει και η εικόνα 1.5,το οποίο επιτρέπει στον χρήστη να δημιουργήσει-βασισμένο στο μέχρι στιγμής διαδιάστατο διάγραμμα- ένα χώρο(Space όπως ονομάζεται στο OpenStudio) υψώνοντας όσους ορόφους επιλέξει ο χρήστης και με το εκάστοτε ύψος που αυτός θα διαλέξει.Γίνεται κατανοητό από την προηγούμενη εικόνα,πως το κτίριο θα έχει μόνο έναν όροφο και θα είναι ύψους τριών μέτρων.Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω,το σχεδιασμένο μοντέλο θα μοιάζει όπως αυτό στην εικόνα 1.6.Παρατηρείται επίσης ο χρωματισμός του κτιρίου(κίτρινο,μπορντώ),ο οποίος είναι χαρακτηριστικός ενός μοντέλου .osm.



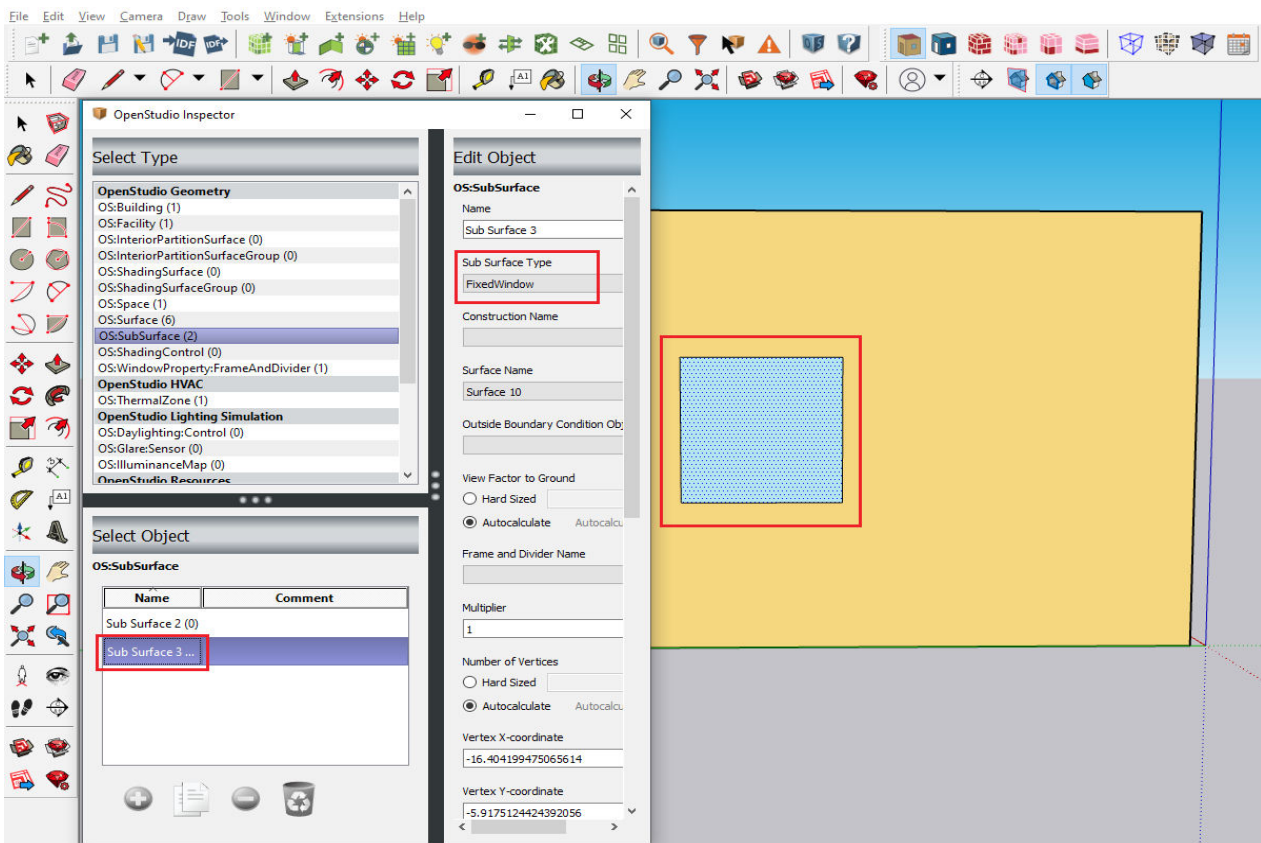
21Εικόνα 2.1.6: Παρουσίαση χώρου του απλού δωματίου χωρίς επιπλέον πόρτες και παράθυρα

Πλέον μένει μόνο να σχεδιαστούν η πόρτα και το παράθυρο του δωματίου και θα έχει σχεδόν ολοκληρωθεί η σχεδίαση του απλού μοντέλου.Έχει αποφασιστεί ότι η πόρτα(2,8mX1,3m) θα τοποθετηθεί στην ανατολική πλευρά του δωματίου,ενώ το παράθυρο(1,1X1,1) στην δυτική,καθώς η νότια πλευρά θα πρέπει να αφεθεί χωρίς κάποιο επιπλέον στοιχείο μιας και εκεί δύναται να τοποθετηθεί ο μελλοντικός τοίχος Trombe.Όπως θα φανεί και από τις επόμενες εικόνες όμως η πόρτα και το παράθυρο δεν μπορούν να δηλωθούν σαν επιφάνειες(surface) στο OpenStudio σαν τους τοίχους,το πάτωμα ή την οροφή.Αντίθετα δηλώνονται ,με το που ξεκινάει η σχεδίαση τους με το γνωστό εργαλείο Rectangle,σαν υποεπιφάνειες(subsurfaces),τις οποίες ο χρήστης πρέπει να κατατάξει στην κατάλληλη κατηγορία(fixed window-για μη ανοιγόμενο παράθυρο και door-για πόρτα).Αυτό μπορεί να γίνει μέσω του εργαλείου OpenStudio Inspector,το οποίο παρουσιάζει εποπτικά όλα τα στοιχεία που έχουν δηλωθεί στο αρχείο .osm.Σημειώνεται δε ότι αν επιλεγθεί κάποιο στοιχείο στον OpenStudio Inspector,το ίδιο σημειώνεται και στο μοντέλο με μια γραμμοσκίαση ώστε να γνωρίζει ο χρήστης πως έχει δηλωθεί το κάθε στοιχείο.





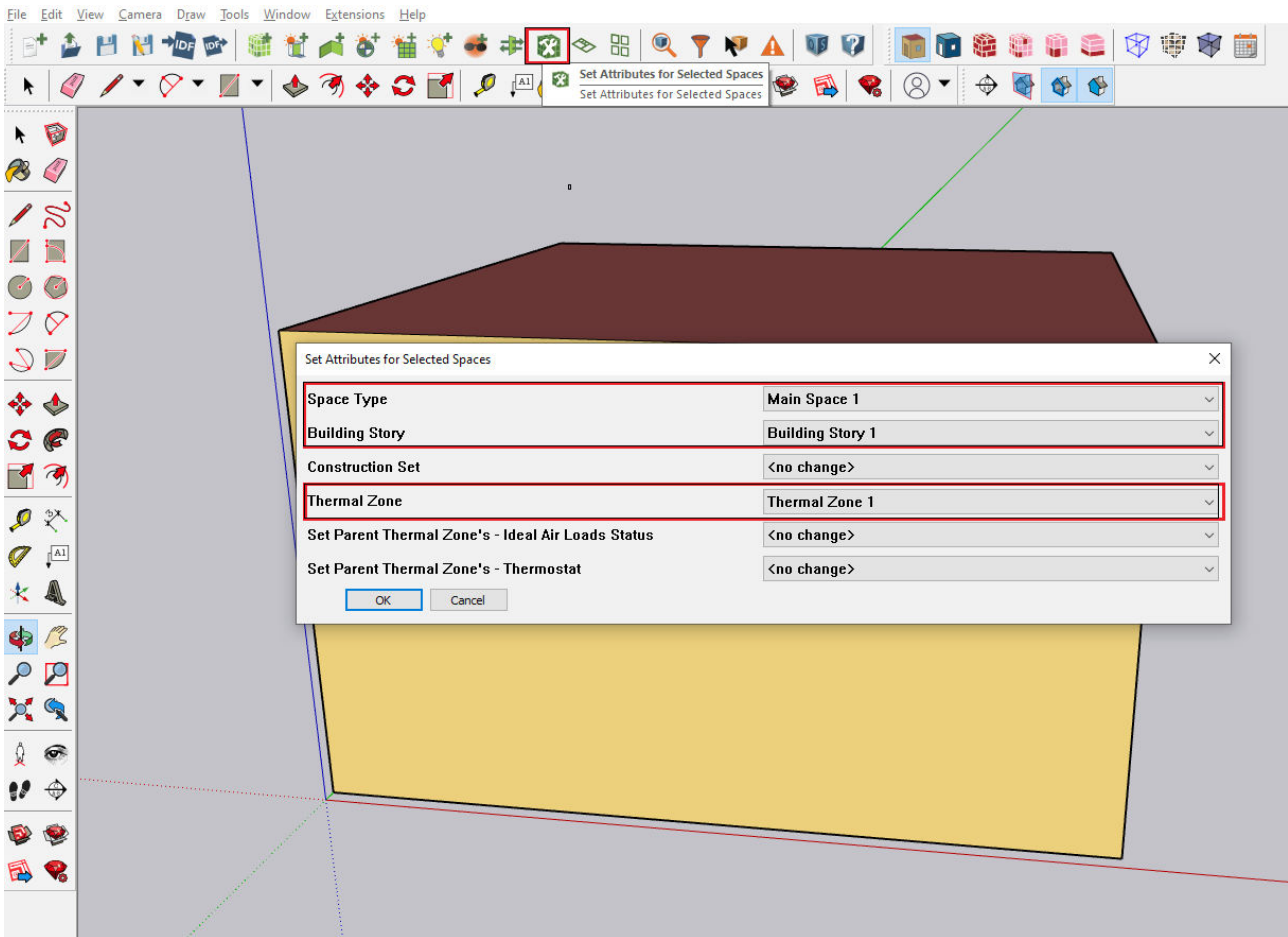
22Εικόνα 2.1.7: Παρουσίαση του εργαλείου OS Inspector και δήλωση πρώτης υποεπιφάνειας ως πόρτα



23Εικόνα 2.1.8: Δήλωση της δεύτερης υποεπιφάνειας ως μη ανοιγόμενο παράθυρο

Ολοκληρώνοντας την σχεδίαση του απλού μοντέλου θα πρέπει να διευθετηθεί το ζήτημα των χώρων, ορόφων κτιρίου και θερμικών ζωνών του μοντέλου. Είναι γνωστό ότι τα βασικά χαρακτηριστικά ενός αρχείου .osm είναι οι χώροι (spaces), οι όροφοι (building stories) και οι θερμικές ζώνες (thermal zones) που χωρίζονται αυτά. Προφανώς στην προκειμένη περίπτωση ο όροφος είναι ο εξής ένας και χωρίζεται σε έναν μόλις χώρο, ο οποίος έχει ήδη οριστεί σε προηγούμενο βήμα της διαδικασίας μέσω του εργαλείου Create Spaces from Diagram. Το μόνο που μένει είναι να οριστεί η αντίστοιχη θερμική ζώνη και ο τύπος χώρου ώστε αυτά να συνδεθούν με τους προηγούμενως ορισμένους χώρο κι όροφο. Αυτό πραγματοποιείται με το εργαλείο Set Attributes for Selected Spaces, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.9.

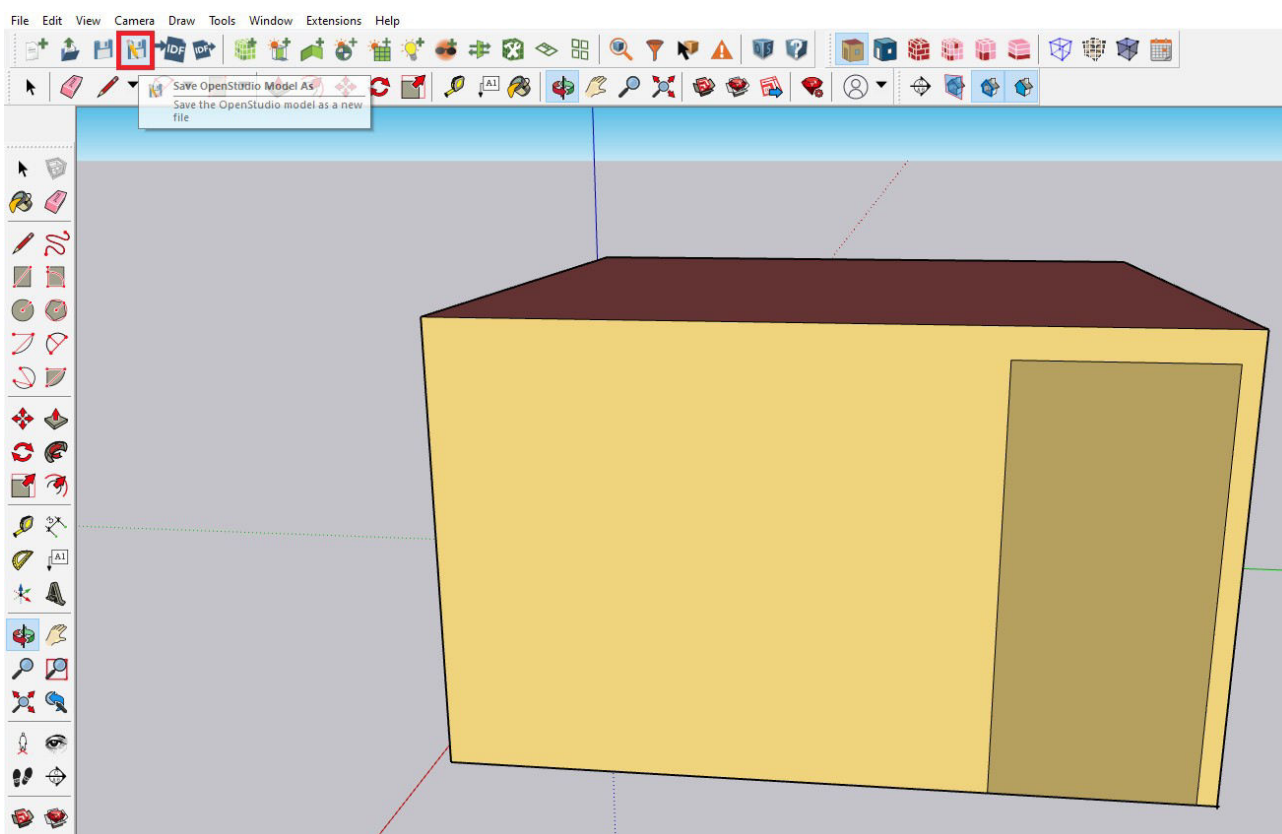
Τα ονόματα τύπου χώρου, ορόφου και θερμικής ζώνης του μοντέλου είναι αντίστοιχα τα ομώνυμα Main Space, Building Story 1 και Thermal Zone 1. Οποιοσδήποτε άλλες κατηγορίες φαίνονται παρακάτω, θα οριστούν μετέπειτα στο OpenStudio.



24 Εικόνα 2.1.9: Δήλωση τύπου χώρου, θερμικής ζώνης και ορόφου μέσω του εργαλείου Set Attributes for Selected Spaces

## 2.2 Επεξεργασία απλού μοντέλου μέσω OpenStudio

Η ανάγκη επεξεργασίας του μοντέλου με το OpenStudio προκύπτει από την ανάγκη για ενεργειακή ανάλυση,πέρα από απλή σχεδίαση.Μέσω του OpenStudio μπορεί να βρεθούν κάποια ενεργειακά και θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά των χώρων και των θερμικών ζωνών όπως η θερμοκρασία,η υγρασία ή και τα θερμικά φορτία τους.Αντίστοιχα λοιπόν προσδιορίζονται και οι ανάγκες για κλιματισμό,αερισμό και θέρμανση ενός χώρου.Βέβαια για να μπορέσει το πρόγραμμα να δώσει αυτά τα αποτελέσματα(outputs) θα πρέπει ο χρήστης να εισάγει κάποιες πληροφορίες(inputs).Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν τον αριθμό των ατόμων που υπάρχουν σε ένα χώρο,το ποιόν και το χρονικό πρόγραμμα της δραστηριότητάς τους,την σύσταση των τοίχων ή των παραθύρων ενός χώρου και αρκετές άλλες που αντιστοιχούν στις καρτέλες του προγράμματος και θα παρουσιαστούν παρακάτω.Η αρχή της ενεργειακής μελέτης γίνεται με την αποθήκευση του αρχείου .osm ως τέτοιο.



25Εικόνα 2.2.1: Παρουσίαση εργαλείου Save Open Studio Model As για την αποθήκευση αρχείου τύπου .osm

### Καρτέλα Site

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση του εργαλείου Save OpenStudio Model As και έπειτα ανοίγοντας το αρχείο .osm εμφανίζεται η αρχική καρτέλα Site.Σε αυτή την καρτέλα η προσθήκη πληροφοριών θα περιορισθεί στο αρχείο καιρού τύπου .erw.Αυτού του τύπου το αρχείο περιέχει πληροφορίες για τον καιρό μιας συγκεκριμένης περιοχής ή πόλης-όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του περιβάλλοντος,η ηλιακή ακτινοβολία και ο χρόνος που διαρκεί η κάθε μέρα ή ακόμα και η ταχύτητα του αέρα-ανά δεκάλεπτο και καθ'όλη την διάρκεια του έτους.Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται η πόλη της Αθήνας και το αρχείο που θα τοποθετηθεί στο πρόγραμμα βρίσκεται στην σελίδα του EnergyPlus,<https://energyplus.net/weather> , και περιέχει πληροφορίες για το έτος 2006.

energyplus.net/weather

EnergyPlus Downloads Documentation QuickStart Support & Training Licensing Weather

## Weather Data

Weather data for 3,034 locations are now available in EnergyPlus weather format — 1,494 locations in the USA, 80 locations in Canada, and more than 1,450 locations in 98 other countries throughout the world. The weather data are arranged by World Meteorological Organization region and Country.

### View Weather Data

Select a region below to view weather data.

- Africa (WMO Region 1)
- Asia (WMO Region 2)
- South America (WMO Region 3)
- North and Central America (WMO Region 4)
- Southwest Pacific (WMO Region 5)
- Europe (WMO Region 6)

### Search Weather Data

Keyword Search

Search

### Browse Weather Data

Click on the markers in the map below to access weather data.

26Εικόνα 2.2.2: Site του Energy Plus από το οποίο κατεβαίνει το αρχείο καιρού για την Αθήνα

File Preferences Components & Measures Help

Site Weather File & Design Days Life Cycle Costs Utility Bills

**Weather File** Change Weather File

Name: ATHENS  
 Latitude: 37.9  
 Longitude: 23.73  
 Elevation: 15  
 Time Zone: 2  
 Download weather files at [www.energyplus.net/weather](http://www.energyplus.net/weather)

**Measure Tags (Optional):**

ASHRAE Climate Zone  
 CEC Climate Zone

**Design Days** Import From DDY

**Design Days**

Date Temperature Humidity Pressure Wind Precipitation Solar

Design Day Name All Day Of Month

Select Year by:  
 Calendar Year 2000  
 First Day of Year Sunday

Daylight Savings Time:  off

Starts  
 Define by Day of The Week And Month First Sunday January

Όνομα	Ημερομηνία τροποποι...	Τύπος	Μέγεθος
GRC_Athens.167160_IWEC.epw	15/7/2021 19:42	Αρχείο EPW	1.529 KB

Όνομα αρχείου: GRC\_Athens.167160\_IWEC.epw EPW Files (\*.epw)

Ανοίγμα

27Εικόνα 2.2.3: Εισαγωγή αρχείου καιρού .epw στο OpenStudio



## Καρτέλα Schedules

Η επόμενη καρτέλα που πρέπει να συμπληρωθεί είναι αυτή των προγραμμάτων και ονομάζεται Schedules. Σε αυτή την καρτέλα συμπληρώνονται κάποια προγράμματα που έχουν να κάνουν με τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται στο δωμάτιο, την δραστηριότητα στην οποία προβαίνει αυτός ο αριθμός καθώς και την λειτουργία του φωτισμού και κάποιων ηλεκτρονικών συσκευών του δωματίου. Επιλέγεται ακριβώς λόγω της απλότητας του μοντέλου να υπάρχει πάντα, καθ'όλη την διάρκεια της κάθε μέρας του έτους, ένα και μόνο άτομο μέσα στο δωμάτιο. Επίσης και για τον ίδιο λόγο τα φώτα του δωματίου μένουν ανοικτά καθ'όλη την διάρκεια του έτους, και όπως θα φανεί παρακάτω το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται για την λειτουργία του φωτισμού είναι το ίδιο με αυτό που δηλώνει τον αριθμό των ατόμων. Σε αυτό το σημείο πρέπει να διευκρινιστεί ο τύπος των παραπάνω προγραμμάτων, που είναι κοινός και για τα δύο. Προφανώς ο αριθμός των ατόμων πρέπει να δηλωθεί στο πρόγραμμα ως κλάσμα της πληρότητας του χώρου και η λειτουργία του φωτισμού πρέπει να είναι ένας αριθμός που θα λειτουργεί σαν συντελεστής που πολλαπλασιαζόμενος με την ονομαστική ισχύ του φωτισμού θα δίνει την πραγματική ισχύ του φωτισμού που επικρατεί κάθε στιγμή μέσα στο δωμάτιο. Έχει αποφασιστεί ότι τα φώτα θα είναι πάντα ανοικτά στην ίδια ένταση, άρα θα δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα τύπου fractional (κλασματικό) με την ένδειξη 1 να επικρατεί καθ'όλη την διάρκεια της μέρας και για ένα έτος. Το ίδιο πρόγραμμα θα χρησιμοποιηθεί και για τον αριθμό ατόμων.

Η δραστηριότητα του κάθε ατόμου μέσα στο δωμάτιο μετρίεται σε W/άτομο και δηλώνεται σε ειδικό τύπο προγράμματος ονόματι ActivityLevel (επίπεδο δραστηριότητας). Για να συμπληρωθεί αυτό το πρόγραμμα πρέπει να γίνει γνωστό πόση ενέργεια καταναλώνει το ανθρώπινο σώμα κάνοντας την εκάστοτε δραστηριότητα. Για λόγους απλότητας ξανά, ορίζεται ότι το άτομο στο δωμάτιο κοιμάται από τις 23:00 έως τις 8:00, αφού ξυπνήσει τρώει καθήμενο πρωινό για περίπου μια ώρα και από τις 9:00 μέχρι τις 11:00 εργάζεται στο laptop του. Έπειτα ετοιμάζει χαλαρά το φαγητό του και τρώει, για να ξεκουραστεί μέχρι τις 19:00. Στη συνέχεια εργάζεται για μία ώρα ξανά στο laptop του και χαλαρώνει μέχρι να πέσει για ύπνο. Η ενέργεια που σπαταλάει το άτομο για τις παραπάνω δραστηριότητες είναι 97W για τον ύπνο, 130W για την ελαφριά δουλειά γραφείου, και επιλέγεται 110 για την ενδιάμεση καθιστική κατάσταση, όπως φαίνεται και στον πίνακα 2.4.

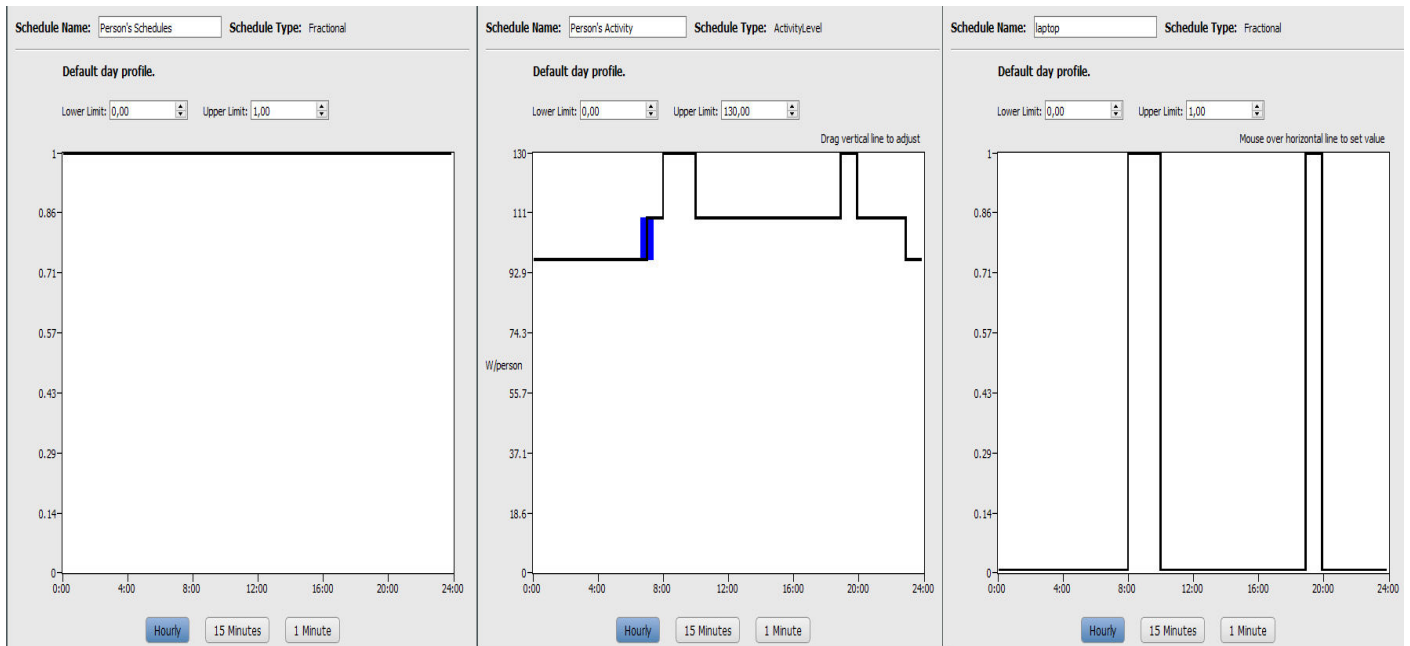
Activity	Average Power Consumption (W)
Sitting	97
Moderate office work	130
Light factory work	220
Heavy factory work	425
Exercise	586

28Εικόνα 2.2.4: Πίνακας 2.4 (ASHRAE 2013, Table 1, p. 18.4.): Πίνακας ανθρώπινων δραστηριοτήτων και της αντίστοιχης ενεργειακής τους κατανάλωσης

Ολοκληρώνοντας τα προγράμματα πρέπει να ορισθεί το πρόγραμμα λειτουργίας του laptop. Όπως περιγράφηκε παραπάνω το laptop λειτουργεί κάθε μέρα κατά τις ώρες 9:00-11:00 και 19:00-20:00. Ο τύπος του προγράμματος που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι και πάλι fractional και το laptop θα λειτουργεί πάντα με την ονομαστική του ισχύ.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται κάποιες εικόνες (2.5, 2.6) που δείχνουν τα ίδια τα ημερήσια προγράμματα και τη γενική οθόνη της καρτέλας Schedules, που παρουσιάζει ότι τα προγράμματα

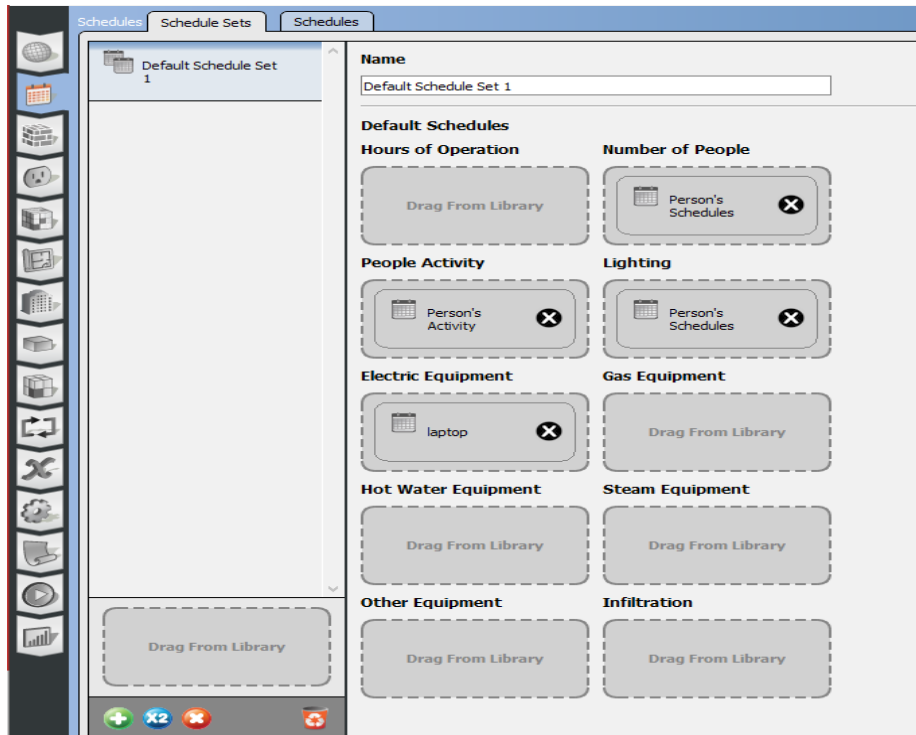
ισχύουν για όλο το έτος και δεν υπάρχουν εναλλακτικές.Εν συνεχεία η εικόνα 2.7 περιέχει την καρτέλα Schedule Sets,που περιγράφει μια ομάδα από τα παραπάνω προγράμματα που αντιστοιχεί στο δωμάτιο.



29Εικόνα 2.2.5: Προγράμματα αριθμού ατόμων στο δωμάτιο,δραστηριότητας ατόμου,λειτουργίας laptop

The screenshot shows the OpenStudio software interface. The main window is titled 'Schedule Sets' and displays the 'Person's Schedules' schedule profile graph. The right sidebar shows the 'OS:Schedule:Day' configuration panel with various settings like 'Name', 'Schedule Type Limits Name', 'Interpolate to Timestep', 'Hour', 'Minute', and 'Value Until Time'. A calendar view is visible in the background.

30Εικόνα 2.2.6: Γενική παρουσίαση καρτέλας προγραμμάτων στο OpenStudio



31 Εικόνα 2.2.7: Ομάδα προγραμμάτων του χώρου του δωματίου

## Καρτέλα Constructions

Η ακριβώς επόμενη καρτέλα που θα απασχολήσει την εργασία είναι αυτή των υλικών (materials). Τα υλικά και η σύσταση παραθύρων και τοίχων που θα χρησιμοποιηθούν βρίσκονται στο αρχείο του τοίχου Trombe που θα αναλυθεί αργότερα. Αυτό συμβαίνει γιατί, ενώ στο απλό μοντέλο δεν περιέχεται ο τοίχος Trombe, πρέπει στην συνέχεια να συγκριθεί με επόμενα μοντέλα του ίδιου ακριβώς κτιρίου με την προσθήκη όμως του τοίχου Trombe. Για τα υλικά των τοίχων προσδιορίζονται η σκληρότητα, το πάχος, η πυκνότητα, η θερμική αγωγιμότητα, ειδική θερμότητα και η απορροφητικότητα του κάθε υλικού, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

<b>Name:</b> 1/2IN Gypsum <b>Roughness:</b> Smooth <b>Thickness:</b> 0.012700 m <b>Conductivity:</b> 0.160000 W/m·K <b>Density:</b> 784.900000 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.920000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.920000	<b>Name:</b> 1IN Stucco <b>Roughness:</b> Smooth <b>Thickness:</b> 0.025300 m <b>Conductivity:</b> 0.691800 W/m·K <b>Density:</b> 1858.000000 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 837.000000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.920000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.920000	<b>Name:</b> 2 IN Insulation <b>Roughness:</b> VeryRough <b>Thickness:</b> 0.050902 m <b>Conductivity:</b> 0.043239 W/m·K <b>Density:</b> 32.036930 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.500000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.500000
<b>Name:</b> 4IN Concrete LW <b>Roughness:</b> MediumRough <b>Thickness:</b> 0.101498 m <b>Conductivity:</b> 0.380507 W/m·K <b>Density:</b> 608.701600 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.650000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.650000	<b>Name:</b> 5/8 Plaster or gyp board <b>Roughness:</b> Smooth <b>Thickness:</b> 0.015880 m <b>Conductivity:</b> 0.160159 W/m·K <b>Density:</b> 784.904700 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.920000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.920000	<b>Name:</b> 3/4 Plaster or gyp board 1 <b>Roughness:</b> Smooth <b>Thickness:</b> 0.019050 m <b>Conductivity:</b> 0.726422 W/m·K <b>Density:</b> 1601.846000 kg/m <sup>3</sup> <b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K <b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000 <b>Solar Absorptance:</b> 0.920000 <b>Visible Absorptance:</b> 0.920000

32 Εικόνα 2.2.8: Χρησιμοποιηθέντα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους

<b>Name:</b> BDN Concrete HW	<b>Name:</b> BDN Concrete LW	<b>Name:</b> Dense insulation	<b>Name:</b> sand and gravel 4in
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Roughness:</b> Rough	<b>Roughness:</b> VeryRough	<b>Roughness:</b> MediumRough
<b>Thickness:</b> 0.203300 m	<b>Thickness:</b> 0.203300 m	<b>Thickness:</b> 0.076200 m	<b>Thickness:</b> 0.101498 m
<b>Conductivity:</b> 1.729600 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 1.729600 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.043239 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 1.729577 W/m·K
<b>Density:</b> 2243.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 608.701600 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 91.305240 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 2242.585000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Specific Heat:</b> 837.000000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K
<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.650000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.650000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.500000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.600000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.650000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.650000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.500000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.600000
<b>Name:</b> SHEATHING NAIL BASE 1 / 2 IN	<b>Name:</b> solar absorber	<b>Name:</b> wood	<b>Name:</b> wood shingles
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Roughness:</b> VeryRough
<b>Thickness:</b> 0.012710 m	<b>Thickness:</b> 0.001500 m	<b>Thickness:</b> 0.010000 m	<b>Thickness:</b> 0.019050 m
<b>Conductivity:</b> 0.063475 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 392.610000 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.130000 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.114152 W/m·K
<b>Density:</b> 400.461600 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 8906.260000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 500.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 720.830800 kg/m <sup>3</sup>
<b>Specific Heat:</b> 1297.040000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 1370.000000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 1600.000000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 1255.200000 J/kg·K
<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.050000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.850000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.780000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.850000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.780000

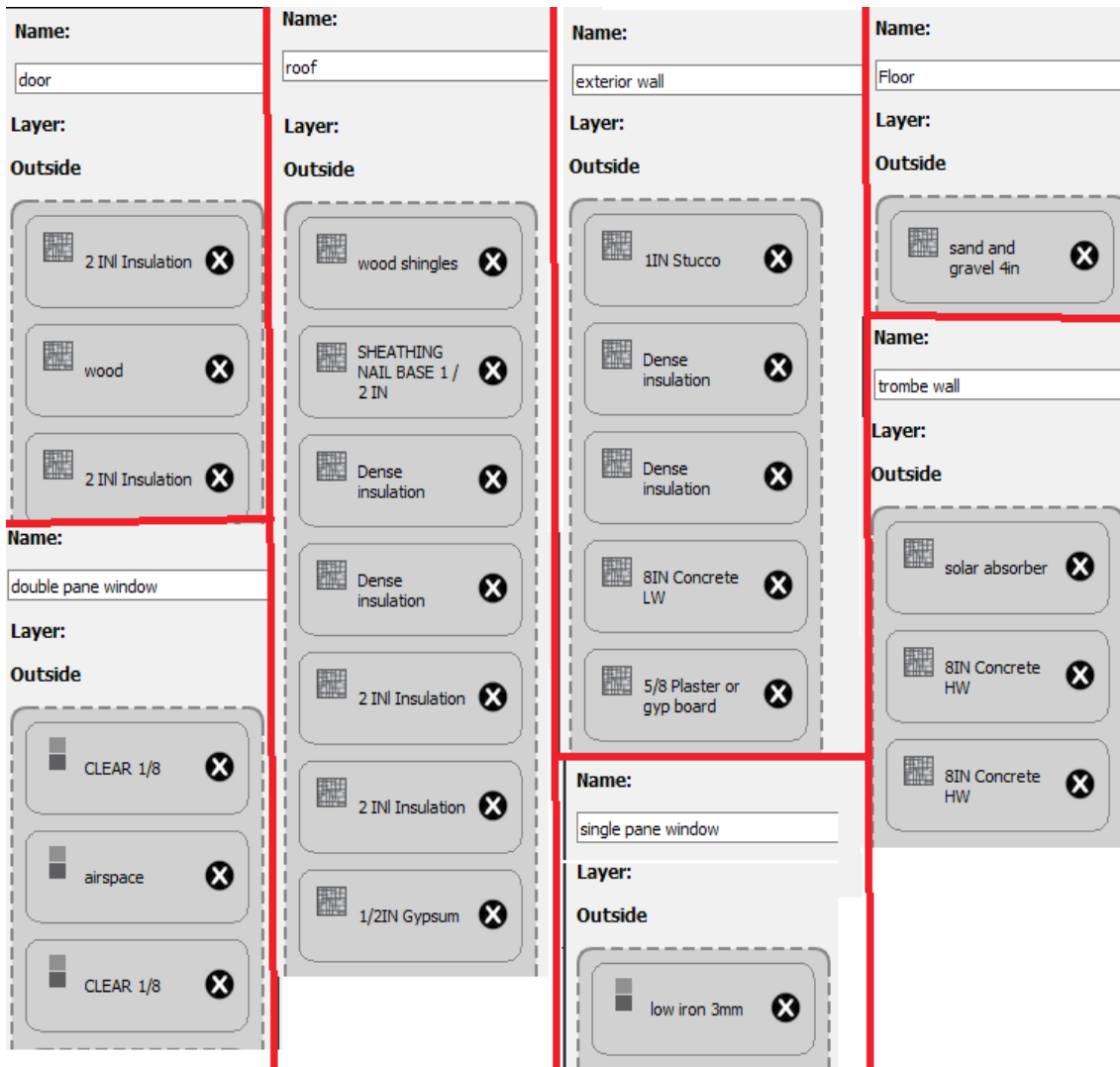
33Εικόνα 2.2.9: Χρησιμοποιηθέντα υλικά και τα χαρακτηριστικά τους

Αντίστοιχα για τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στα παράθυρα, δηλαδή τα τζάμια και το πιθανό διάκενο μεταξύ των τζαμιών, προσδιορίζονται το πάχος, η θερμική αγωγιμότητα, η ανακλαστικότητα και η διαπερατότητα του κάθε υλικού.

<b>Name:</b> CLEAR 1/8	<b>Name:</b> low iron 3mm
<b>SpectralAverage</b>	<b>SpectralAverage</b>
<b>Window Glass Spectral Data Set Name:</b>	<b>Window Glass Spectral Data Set Name:</b>
<b>Thickness:</b> 0.003000 m	<b>Thickness:</b> 0.003000 m
<b>Solar Transmittance At Normal Incidence:</b> 0.837000	<b>Solar Transmittance At Normal Incidence:</b> 0.899000
<b>Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.775000	<b>Front Side Solar Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.079000
<b>Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.775000	<b>Back Side Solar Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.079000
<b>Visible Transmittance At Normal Incidence:</b> 0.898000	<b>Visible Transmittance At Normal Incidence:</b> 0.913000
<b>Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.081000	<b>Front Side Visible Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.082000
<b>Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.081000	<b>Back Side Visible Reflectance At Normal Incidence:</b> 0.082000
<b>Infrared Transmittance at Normal Incidence:</b> 0.000000	<b>Infrared Transmittance at Normal Incidence:</b> 0.000000
<b>Front Side Infrared Hemispherical Emissivity:</b> 0.840000	<b>Front Side Infrared Hemispherical Emissivity:</b> 0.840000
<b>Back Side Infrared Hemispherical Emissivity:</b> 0.840000	<b>Back Side Infrared Hemispherical Emissivity:</b> 0.840000
<b>Conductivity:</b> 0.900000 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.900000 W/m·K
<b>Dirt Correction Factor For Solar And Visible Transmittance:</b> 1.000000	<b>Dirt Correction Factor For Solar And Visible Transmittance:</b> 1.000000
<b>Name:</b> airspace	<b>Name:</b> airspace
<b>Gas Type:</b> Air	<b>Gas Type:</b> Air
<b>Thickness:</b> 0.013000 m	<b>Thickness:</b> 0.013000 m

34Εικόνα 2.2.10: Χρησιμοποιηθέντα υλικά βαλοπινάκων

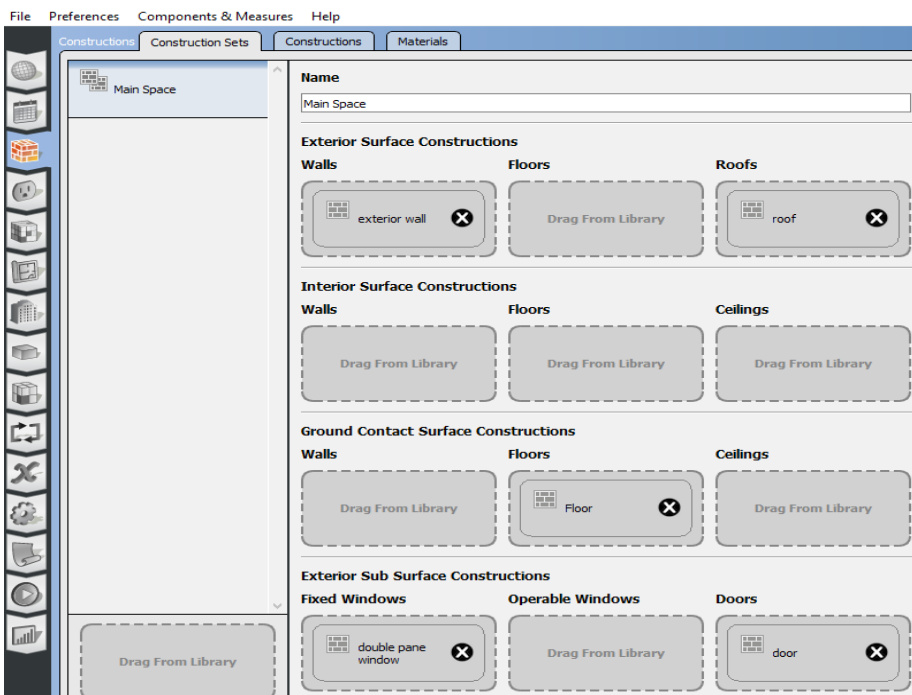
Αφού σχεδιάστηκαν τα υλικά πρέπει τώρα να τοποθετηθούν στην κατάλληλη σειρά έτσι ώστε να δημιουργήσουν τις διάφορες κατασκευές(constructions) που είναι απαραίτητες για να κατασκευαστεί το υπό εξέταση μοντέλο. Τέτοιες είναι οι εξωτερικοί τοίχοι, το πάτωμα, η οροφή, η πόρτα, το παράθυρο και επίσης ο τοίχος Trombe και ένα παράθυρο μονού στρώματος γυαλιού, τα οποία θα χρειαστούν στα επόμενα μοντέλα παρ'όλο που δεν χρησιμοποιούνται εδώ.



35Εικόνα 2.2.11: Χρησιμοποιηθείσες κατασκευές και η σύσταση τους

Τέλος ομαδοποιώντας τις κατασκευές(Construction Sets), δημιουργείται ένα σύνολο κατασκευών που θα χρησιμοποιηθούν σε όλο το μοντέλο ακριβώς όπως θα ορισθούν εδώ. Υπάρχει δηλαδή η δυνατότητα να ορισθεί ποιά ακριβώς κατασκευή, που ορίσθηκε πριν, αντιστοιχεί στα πραγματικά στοιχεία του μοντέλου.

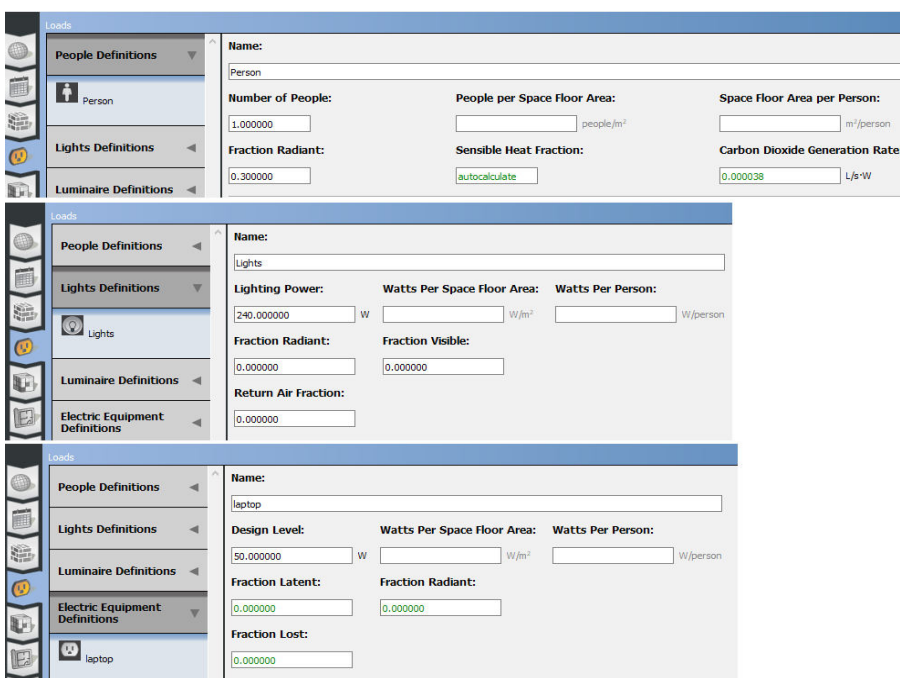




36Εικόνα 2.2.12: Ομάδες κατασκευών όπως καταλήγουν να συνθέτουν το κτίριο

## Καρτέλα Loads

Συνεχίζοντας προκύπτει η ανάγκη να οριστούν τα φορτία τα οποία δέχεται το δωμάτιο, εξαιρουμένων των ηλιακών. Τέτοια φορτία είναι η θερμότητα που εκπέμπει το άτομο που βρίσκεται μέσα στο δωμάτιο καθώς και η θερμότητα του φωτισμού και του laptop που χρησιμοποιείται. Στην καρτέλα του ατόμου αρκεί να δηλωθεί ο αριθμός του εξής ενός ατόμου στο δωμάτιο, αφού έχει ήδη δηλωθεί η δραστηριότητα του μέσα στην μέρα. Ο φωτισμός επιλέγεται να βασιστεί σε 6 απλές λάμπες 40W, δηλαδή συνολικά έχει ονομαστική ισχύ 240W και η ονομαστική ισχύ των ηλεκτρονικών συσκευών περιορίζεται σε αυτή ενός απλού laptop, άρα 50W.



37Εικόνα 2.2.13: Ορισμός φορτίων ατόμων, φωτισμού και laptop

## Καρτέλα Space Types

Μένει πλέον μόνο να αντιστοιχηθούν όλα τα παραπάνω στοιχεία στην καρτέλα με τον τύπο χώρου που θα αντιστοιχηθεί αργότερα στον πραγματικό χώρο του δωματίου. Στην εικόνα 2.14 φαίνεται ότι οι ομάδες προγραμμάτων και κατασκευών που ορίστηκαν πριν, δηλώνονται σε έναν κοινό τύπο χώρου. Στα φορτία δε του παραπάνω τύπου χώρου δηλώνονται και τα τρία προηγουμένως ορισθέντα φορτία των ατόμων, του φωτισμού και του laptop.

The top screenshot shows the 'Space Types' card with the 'General' tab selected. The table below shows the configuration for 'Main Space 1':

Space Type Name	All	Rendering Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
Main Space 1	<input type="checkbox"/>	<span style="color: green;">■</span>	Main Space	Default Schedule Set 1			

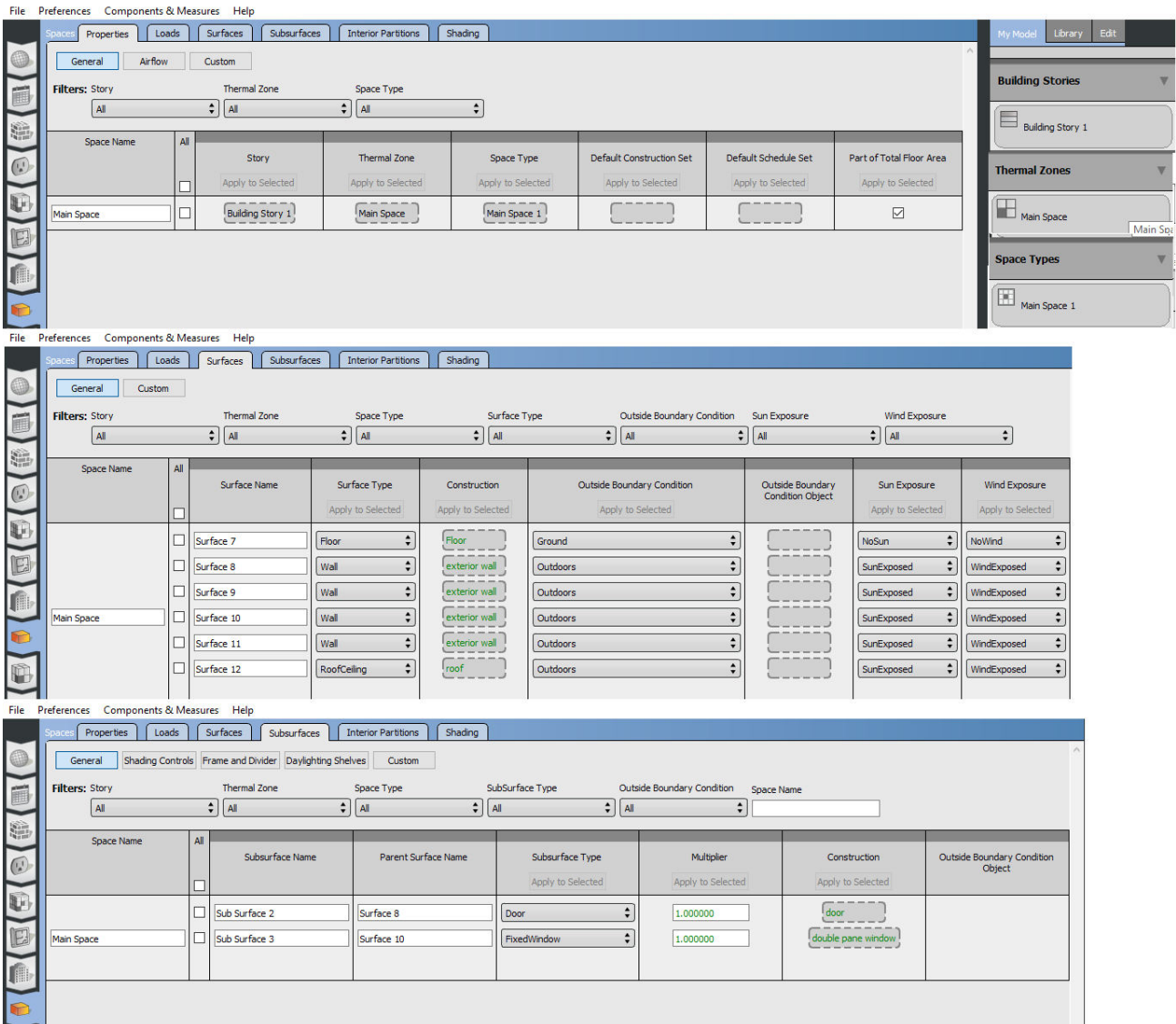
The bottom screenshot shows the 'Space Types' card with the 'Loads' tab selected. The table below shows the loads assigned to 'Main Space 1':

Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Main Space 1	<input type="checkbox"/>	People 1	1.000000	Person	Person's Schedules	Person's Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 1	1.000000	Lights	Person's Schedules	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 1	1.000000	laptop	laptop	

38 Εικόνα 2.2.14: Αντιστοίχιση φορτίων στην καρτέλα τύπων χώρου

## Καρτέλα Spaces

Φτάνοντας στο τέλος της μοντελοποίησης με το OpenStudio, ορίζεται ο χώρος του δωματίου με την αντίστοιχη δήλωση του τύπου χώρου, της θερμικής ζώνης και του μοναδικού ορόφου του κτιρίου. Έπειτα για να επαληθευτεί ότι όλα τα χαρακτηριστικά του χώρου έχουν δηλωθεί σωστά, ο χρήστης μπορεί να ελέγξει την σύσταση τοίχων και παραθύρων και την ορθή κατανομή φορτίων στις υποκαρτέλες του χώρου που ορίζουν της επιφάνειες, τις υποεπιφάνειες και τα φορτία (Surfaces, Subsurfaces και Loads). Όλα αυτά γίνονται κατανοητά κοιτάζοντας την παρακάτω εικόνα.



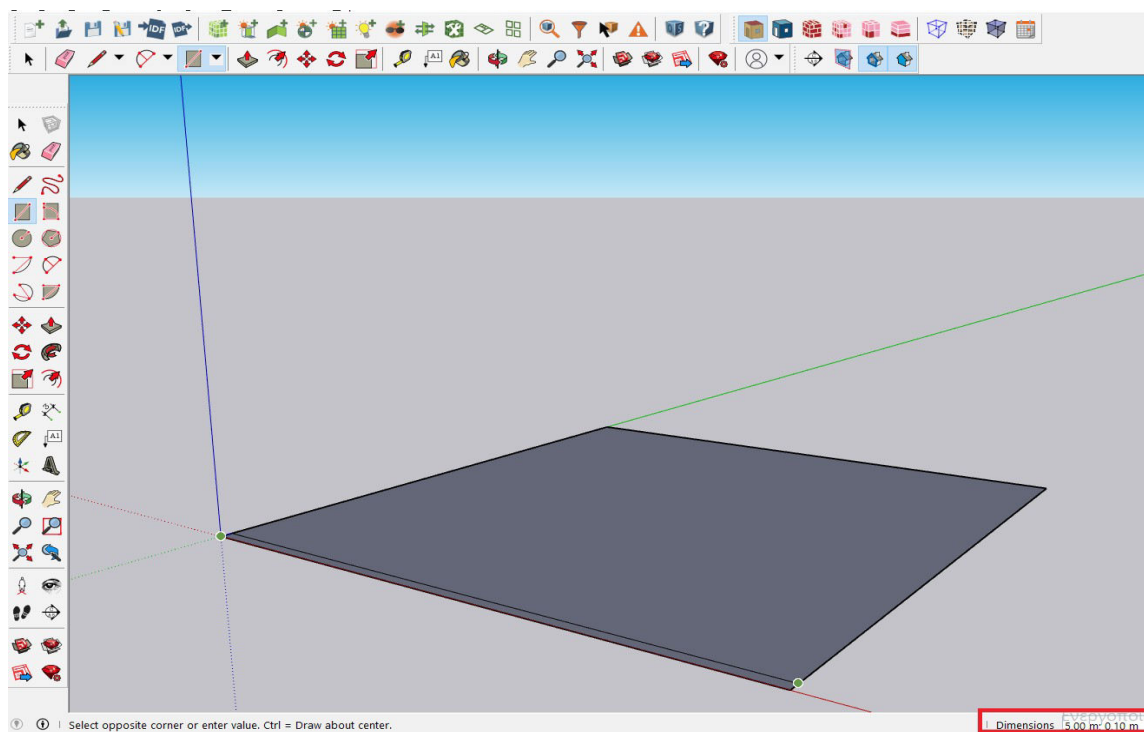
39 Εικόνα 2.2.15: Αντιστοίχιση τύπου χώρου, ορόφου και θερμικής ζώνης και επαλήθευση σωστής επιλογής κατασκευών επιφανειών/υποεπιφανειών

Σημειώνεται εδώ ότι μέχρι αυτό το σημείο όλα τα στοιχεία που περιέχονται στο απλό μοντέλο θα περιέχονται και στα επόμενα μοντέλα και άρα δεν θα επαναληφθεί η ανάλυση τους. Στα επόμενα μοντέλα θα προστεθούν ο τοίχος Trombe και ο υαλοπίνακας του, καθώς και ένας επιπλέον χώρος που θα αποτελεί το διάκενο μεταξύ τοίχου Trombe και υαλοπίνακα. Έτσι τοποθετώντας αυτόν τον χώρο μπροστά από τον νότιο τοίχο του δωματίου-ο οποίος θα αλλάξει σύσταση και από εξωτερικός θα γίνει τοίχος Trombe-, πλέον ο αέρας στο διάκενο ζεσταίνεται και βοηθά την περεταίρω θέρμανση του τοίχου Trombe. Ο τελευταίος εκπέμπει την θερμότητα που έχει αποθηκεύσει κατά την διάρκεια της ημέρας, μέσα στο δωμάτιο. Βάσει αυτής της αρχής θα σχεδιαστούν δύο ακόμα μοντέλα του ίδιου δωματίου, ένα με παθητικό τοίχο Trombe και ένα με ενεργητικό τοίχο Trombe. Στον ενεργητικό τοίχο Trombe θα σχεδιαστεί ένα σύστημα μεταφοράς του θερμού αέρα του διακένου μέσα στο δωμάτιο, εν αντιθέσει με τον παθητικό όπου δεν υπάρχει κάποιο τέτοιο σύστημα και οι δύο χώροι παραμένουν ασύνδετοι. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστεί η κατασκευή του επιπλέον χώρου μέσω SketchUp, συντομότερα από ότι πριν, και θα γίνει ενεργειακή σχεδίαση του μέσω του OpenStudio. Το σύστημα μεταφοράς του αέρα θα σχεδιαστεί στην μεθεπόμενη ενότητα. Τελικός στόχος είναι η σύγκριση και των τριών μοντέλων.

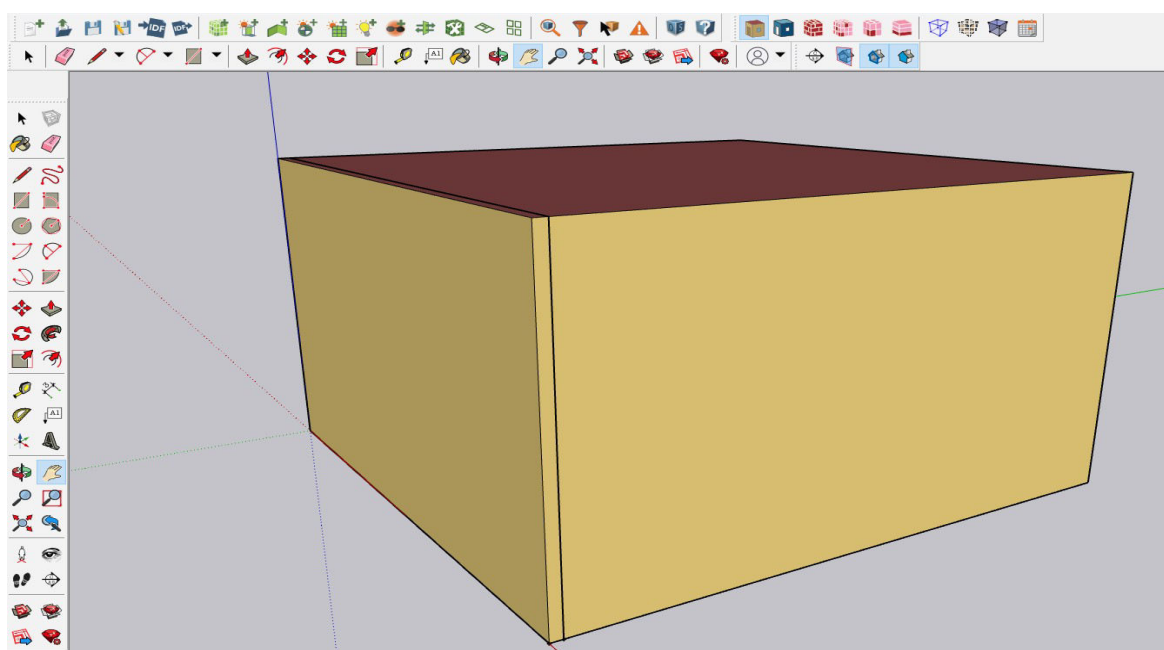


## 2.3 Σχεδίαση μοντέλου παθητικού τοίχου Trombe μέσω SketchUp

Είναι σαφές ότι το μεγαλύτερο μέρος της σχεδίασης του κτιρίου είναι το ίδιο με την προηγούμενη σχεδίαση του απλού μοντέλου. Σε αυτό το πνεύμα σχεδιάζεται αρχικά με το γνωστό εργαλείο Rectangle ένα παραλληλόγραμμο 5mX0,1m ακριβώς μπροστά στην νότια πλευρά του δωματίου. Έπειτα μέσω του εργαλείου Create Spaces from Diagram και επιλέγοντας και τα δύο σχεδιασμένα παραλληλόγραμμα, σχηματίζονται δύο χώροι ύψους 3 μέτρων. Ο ένας είναι το γνωστό δωμάτιο και ο άλλος αντιστοιχεί στο διάκενο ανάμεσα στον τοίχο Trombe και τον υαλοπίνακα στην νότια πλευρά του διακένου.

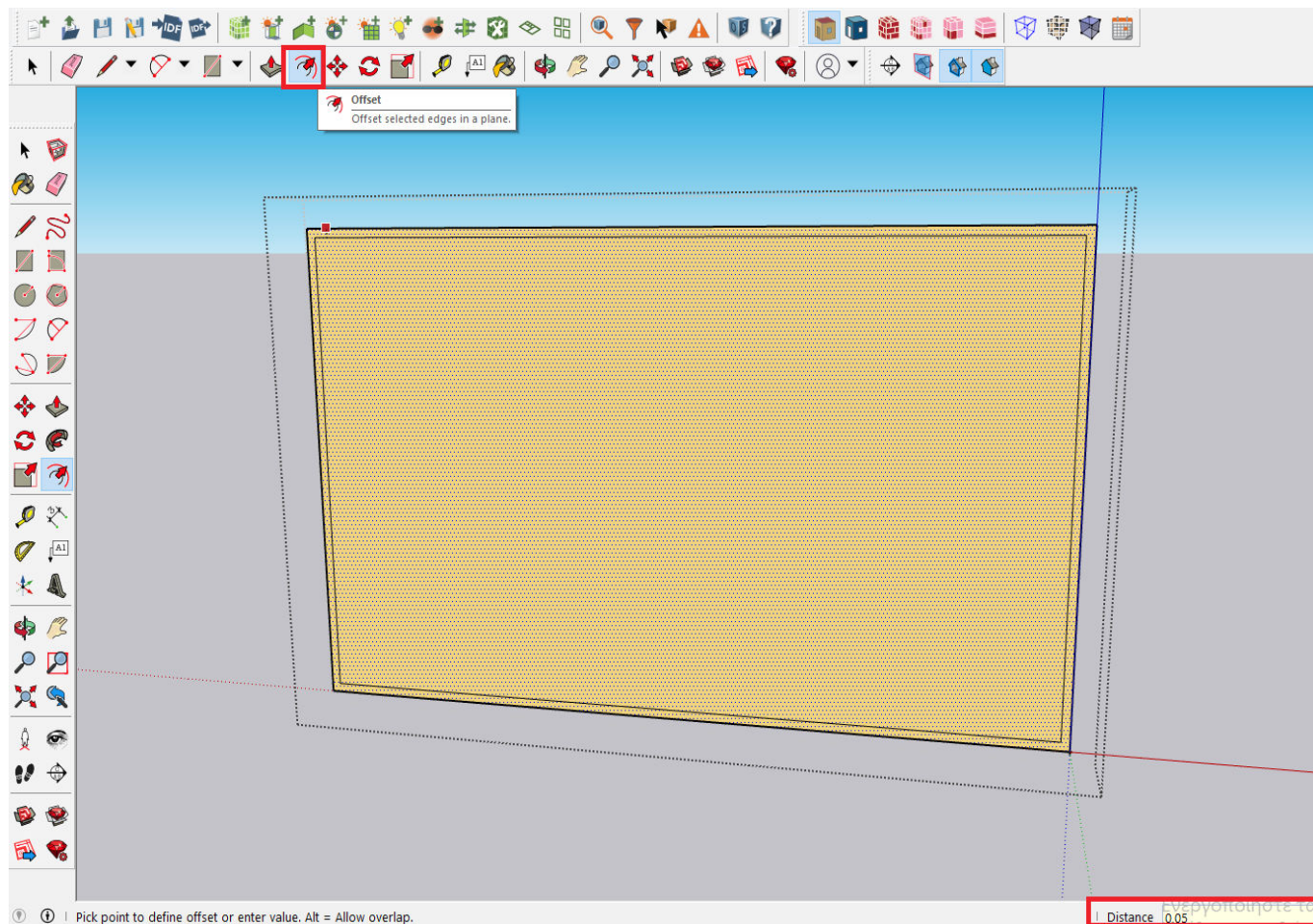


40 Εικόνα 2.3.1: Σχεδίαση επιπλέον χώρου διακένου μπροστά από το δωμάτιο, ξανά μέσω SketchUp



41 Εικόνα 2.3.2: Παρουσίαση χώρων δωματίου-διακένου χωρίς επιπλέον πόρτες και παράθυρα

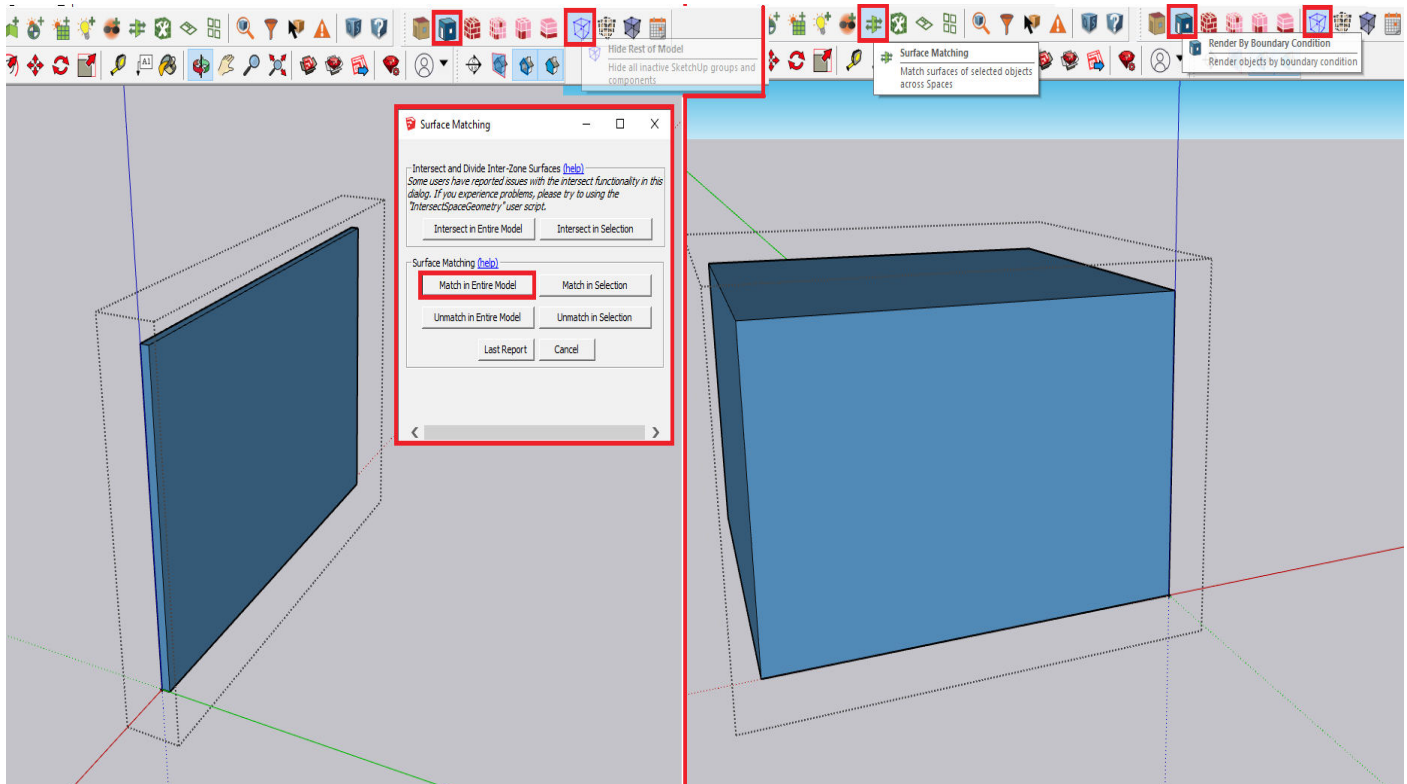
Τα παράθυρα και οι πόρτες του κυρίως δωματίου είναι ήδη γνωστό πως θα σχεδιαστούν και άρα το μόνο που μένει είναι ο μεγάλος υαλοπίνακας της νότια πλευράς που θα επιτρέψει σε κομμάτι της ακτινοβολίας του ήλιου να φτάσει απευθείας πάνω στην απορροφητική επιφάνεια του τοίχου Trombe. Αυτό πραγματοποιείται με το εργαλείο Offset, επιλέγοντας την νότια επιφάνεια του διακένου και διαστασιοποιώντας την απόσταση από κάθε άκρη της σε 0,05m. Έτσι δημιουργείται ένας υαλοπίνακας που καλύπτει το μεγαλύτερο κομμάτι του συγκεκριμένου τοίχου, όπως ακριβώς ζητείται σε εφαρμογές Trombe.



42Εικόνα 2.3.3: Προσθήκη κυρίου υαλοπίνακα στην νότια πλευρά του κυρίου μέσω εργαλείου Offset

Παρατηρείται πλέον ότι με τους δύο χώρους που σχεδιάστηκαν υπάρχουν δύο επιφάνειες αυτών που έρχονται σε επαφή, η βόρεια επιφάνεια του διακένου και η νότια επιφάνεια του δωματίου. Αυτό πρέπει να δηλωθεί γιατί το OpenStudio επισυνάπτει στις επιφάνειες κάποιες οριακές συνθήκες, όπως παραδείγματος χάρη αν μια επιφάνεια έρχεται σε επαφή με τον ήλιο, τον εξωτερικό αέρα ή το έδαφος. Όταν δημιουργείται μια επιφάνεια-που δεν επαφίεται στο έδαφος-στο SketchUp θεωρείται απευθείας ότι αυτή είναι εκτεθειμένη στον ήλιο και στον αέρα. Επίσης πρέπει να δηλωθεί ότι δεν γίνεται λόγος στην πραγματικότητα για δύο επιφάνειες δηλαδή δύο τοίχους, αλλά για μια και ότι η σύσταση της μια επιφάνειας είναι ακριβώς η αντίστροφη της άλλης. Για αυτό τον λόγο το OS plugin συμπεριλαμβάνει το εργαλείο Render by Boundary Condition, το οποίο αν επιλεγθεί επιχρωματίζει την κάθε επιφάνεια ανάλογα με την οριακή της συνθήκη. Με μπλέ παρουσιάζονται οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με τον αέρα και τον ήλιο, ενώ με κίτρινο οι επιφάνειες που έρχονται σε επαφή με το έδαφος και με πράσινο οι επιφάνειες που δεν έρχονται σε επαφή με

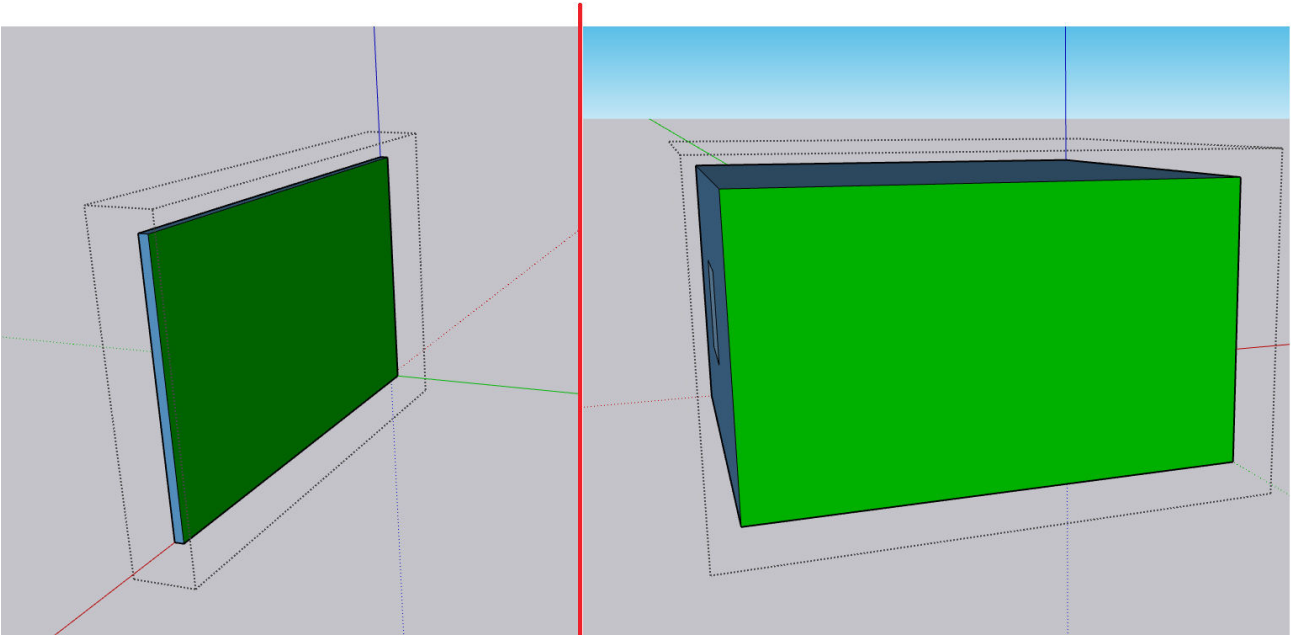
εξωτερικό αέρα, απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και έδαφος. Παρακάτω-και με την βοήθεια του εργαλείου Hide rest of the Model, που αποκρύπτει τον μη επιλεγμένο χώρο-παρουσιάζονται οι δύο προαναφερθείσες επιφάνειες που έρχονται σε επαφή. Κατά πως φαίνεται από τον χρωματισμό τους, η βόρεια επιφάνεια του διακένου και η νότια του δωματίου είναι εκτεθειμένες στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία και τον εξωτερικό αέρα. Κάτι τέτοιο προφανώς δεν ισχύει και πρέπει να διορθωθεί. Πρέπει δηλαδή να ταιριάζουν οι δύο αυτές επιφάνειες και να χρωματιστούν με πράσινο χρώμα.



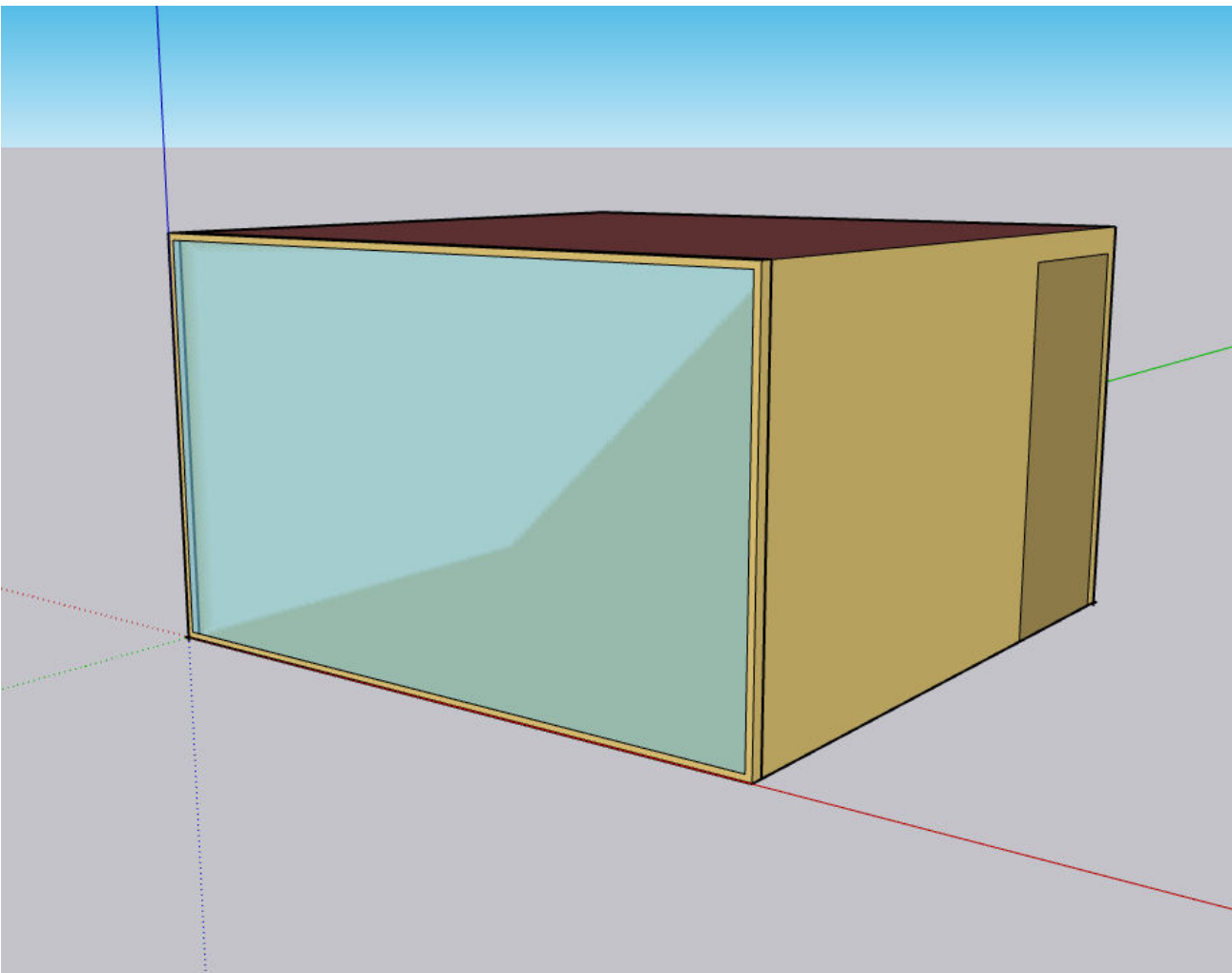
43 Εικόνα 2.3.4: Παρουσίαση εργαλείων Render by Boundary Condition, Hide Rest of Model και ένωση κοινών επιφανειών με το εργαλείο Surface Matching

Το εργαλείο Surface Matching μπορεί να λύσει αυτό το πρόβλημα, ταιριάζοντας τέτοιες προβληματικές επιφάνειες. Επιλέγοντας το ανοίγει ο πίνακας που φαίνεται στην εικόνα 3.4 και από εκεί διαλέγεται το ταιρίασμα επιφανειών σε όλο το μοντέλο. Κανονικά από αυτή την στιγμή και μετά θα πρέπει να έχει διορθωθεί το προηγούμενο πρόβλημα και οι προκείμενες επιφάνειες να έχουν πράσινο χρώμα, ώστε να δηλωθούν σωστά. Το αποτέλεσμα όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.5 είναι ικανοποιητικό και τώρα μπορεί να γίνει και το τελικό βήμα για την σχεδίαση, η πρωταρχική δήλωση χώρων, θερμικών ζωνών και ορόφων.

Ο αριθμός των ορόφων του κτιρίου δεν έχει κανένα λόγο να αλλάξει και ως εκ τούτου παραμένει ίδιος με αυτόν του απλού δωματίου. Εντούτοις οι τύποι των χώρων και οι θερμικές ζώνες που πρέπει να δηλωθούν πλέον είναι δύο. Κάποια στοιχεία με την ένδειξη Main Space (κυρίως χώρος) αντιστοιχούν στο δωμάτιο και άλλα με την ένδειξη Gap (κενό) αντιστοιχούν στον χώρο του διακένου. Όλα αυτά τα στοιχεία θα αντιστοιχηθούν στην επόμενη ενότητα μέσω του OpenStudio. Μέχρι τότε όμως η τελική μορφή που θα έχει το κτίριο θα είναι όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.



44Εικόνα 2.3.5: Παρουσίαση επιθυμητής κατάστασης της κοινής επιφάνειας δωματίου διακένου, δηλαδή του τοίχου Trombe



45Εικόνα 2.3.6: Τελική μορφή παθητικού μοντέλου

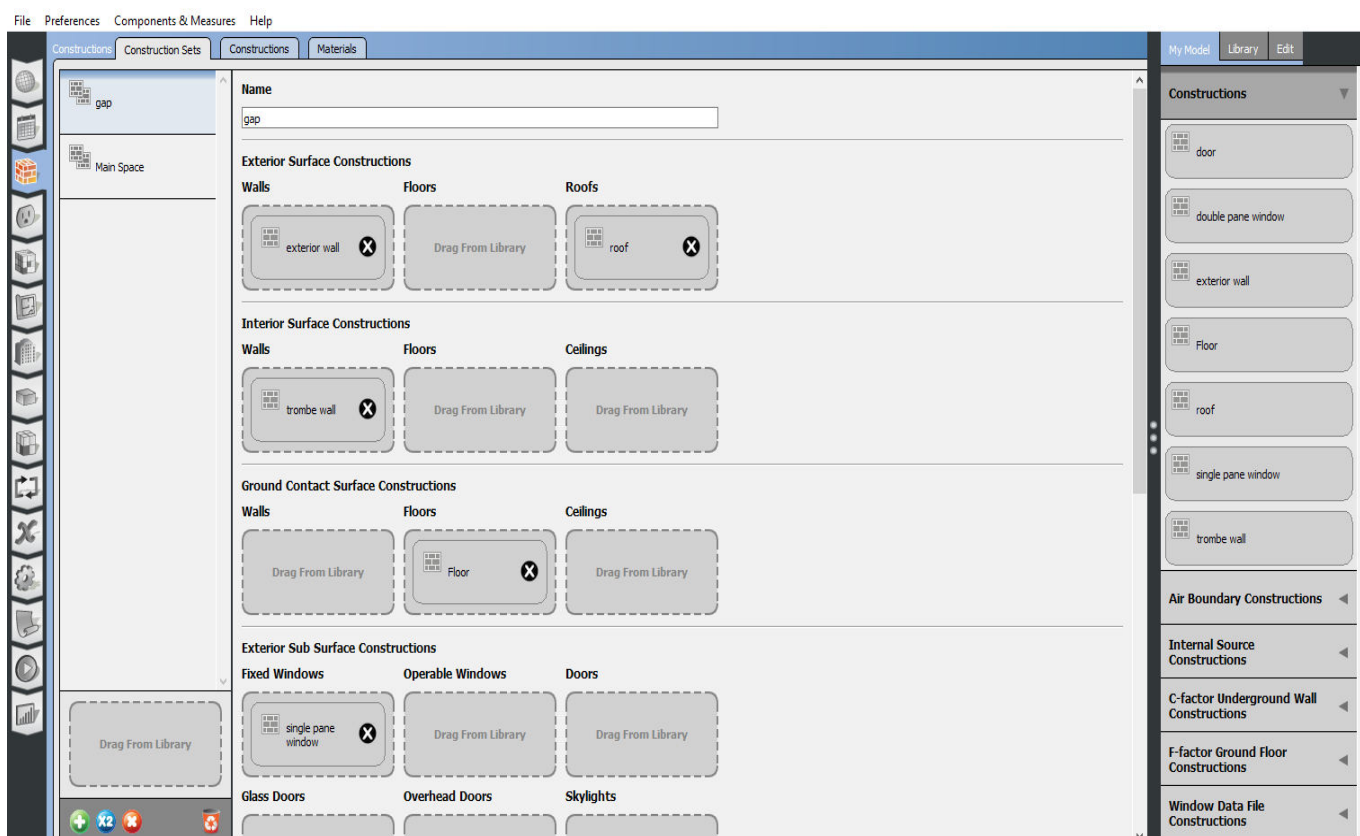


## 2.4 Επεξεργασία μοντέλου παθητικού τοίχου Trombe μέσω OpenStudio

Τα περισσότερα στοιχεία που θα δηλωθούν εδώ είναι εντελώς κοινά με αυτά που δηλώθηκαν στο απλό μοντέλο. Επομένως παραλείπονται εδώ, για να αναλυθούν οι μικρές διαφορές με το απλό μοντέλο.

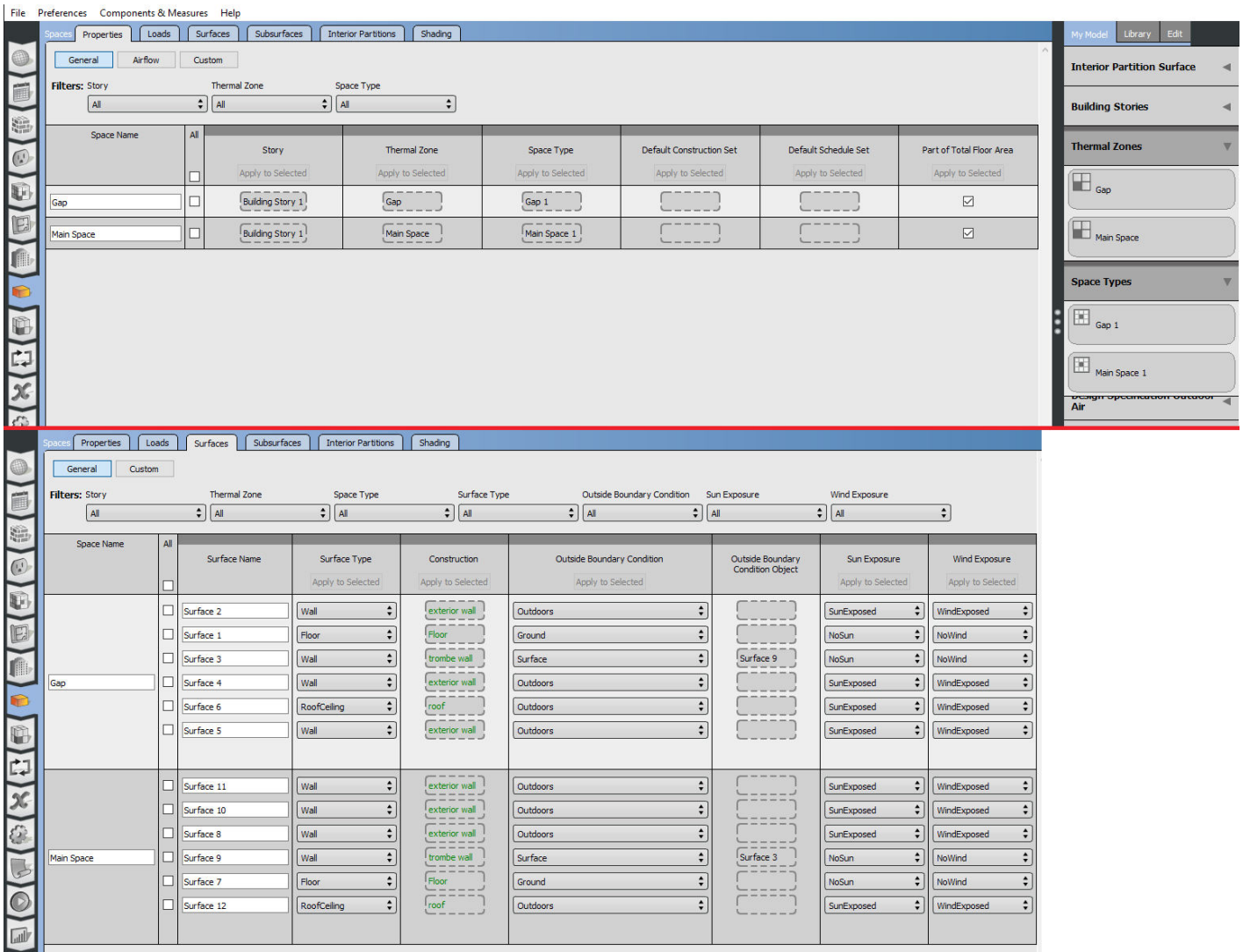
### Ομάδα κατασκευών Διακένου

Η πρώτη από αυτές έγκειται στο γεγονός ότι πρέπει να δημιουργηθεί μια ομάδα κατασκευών (Construction Sets) και για το διάκενο εκτός από αυτή του δωματίου. Η νέα αυτή ομάδα κατασκευών, ονομάζεται Gap και ενώ οι εξωτερικοί τοίχοι, η οροφή και το πάτωμα είναι ίδια με την ομάδα του κυρίως δωματίου, τα παράθυρα στις εξωτερικές επιφάνειες καθώς και οι εσωτερικοί τοίχοι αλλάζουν. Για τον υαλοπίνακα του διακένου χρησιμοποιείται ένα τζάμι μονού στρώματος, ενώ για τους εσωτερικούς τοίχους χρησιμοποιείται η κατασκευή του τοίχου Trombe.



46 Εικόνα 2.4.1: Ομάδες κατασκευών όπως καταλήγουν να συνθέτουν τον χώρο του διακένου

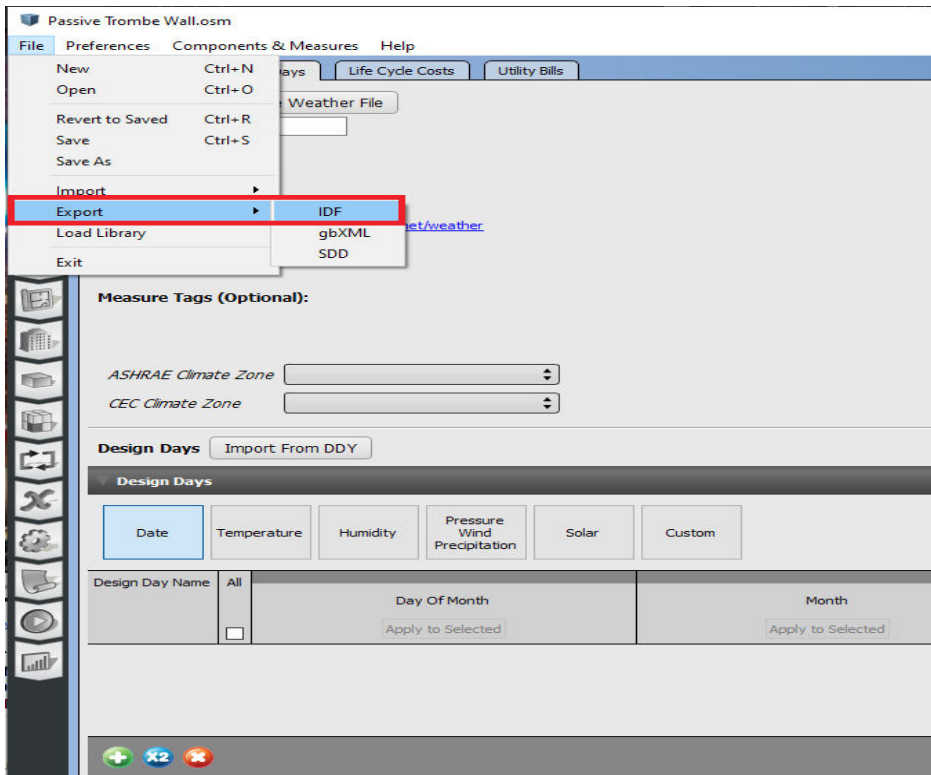
Τελικά στην καρτέλα των χώρων αντιστοιχίζονται οι προηγουμένως ορισμένοι τύποι χώρων και οι θερμικές ζώνες. Έπειτα μπαίνοντας στην υποκαρτέλα των επιφανειών για επαλήθευση, φαίνεται ότι οι επιφάνειες 3 του διακένου και 9 του δωματίου έχουν εξωτερική οριακή συνθήκη ή μία την άλλη και καμία από τις δύο δεν εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία ή εξωτερικό αέρα. Ακριβώς δηλαδή όπως είναι στην πραγματικότητα και όπως όρισε η χρήση του εργαλείου Surface Matching στην προηγούμενη ενότητα. Επίσης παρατηρείται ότι ακριβώς σε αυτές τις επιφάνειες έχει δηλωθεί η κατασκευή του Trombe. Σωστά αφού αυτός πρέπει να είναι ο τοίχος Trombe.



47Εικόνα 2.4.2: Αντιστοίχιση ορόφου, τύπου χώρων και θερμικών ζωνών στην καρτέλα των χώρων του κτιρίου

Αφού έχει τελειώσει και η σχεδίαση του μοντέλου του παθητικού τοίχου Trombe, στον οποίο ο αέρας στο διάκενο απλά ανακυκλώνεται μέσα σε αυτό και δεν έρχεται σε επαφή με τον αέρα του κυρίως δωματίου, πρέπει να ακολουθήσει το μοντέλο του ενεργητικού τοίχου Trombe. Σε αυτό το τελευταίο μοντέλο ο αέρας του διακένου διακινείται μέσα στο κυρίως δωμάτιο μέσω ενός απλού συστήματος εξαερισμού, ώστε να υποβοηθηθεί η φυσική ροή του ζεστού αέρα του διακένου προς το ψυχρότερο δωμάτιο. Όμως αυτό το σύστημα δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί με ευκολία μέσω του OpenStudio. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο επιστρατεύεται το λογισμικό EnergyPlus-έκδοση 8.9.0-με το οποίο μπορεί να εξετάσει την εξαναγκασμένη αυτή ροή αέρα με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

Λόγω αυτού του γεγονότος λοιπόν σημειώνεται εδώ ότι όλα τα μοντέλα θα τρέξουν τελικά μέσω του EnergyPlus, παρότι έχουν σχεδιαστεί από το OpenStudio. Αυτό θα γίνει για να υπάρχει μια ομοιομορφία στα αρχεία που θα συγκριθούν στο τέλος αυτού του κεφαλαίου. Τέλος παρακάτω παρουσιάζεται πως γίνεται η μετάβαση από το OpenStudio στο EnergyPlus.



48Εικόνα 2.4.3: Παρουσίαση τρόπου εξαγωγής σε αρχείο .idf, συμβατό με το Energy Plus

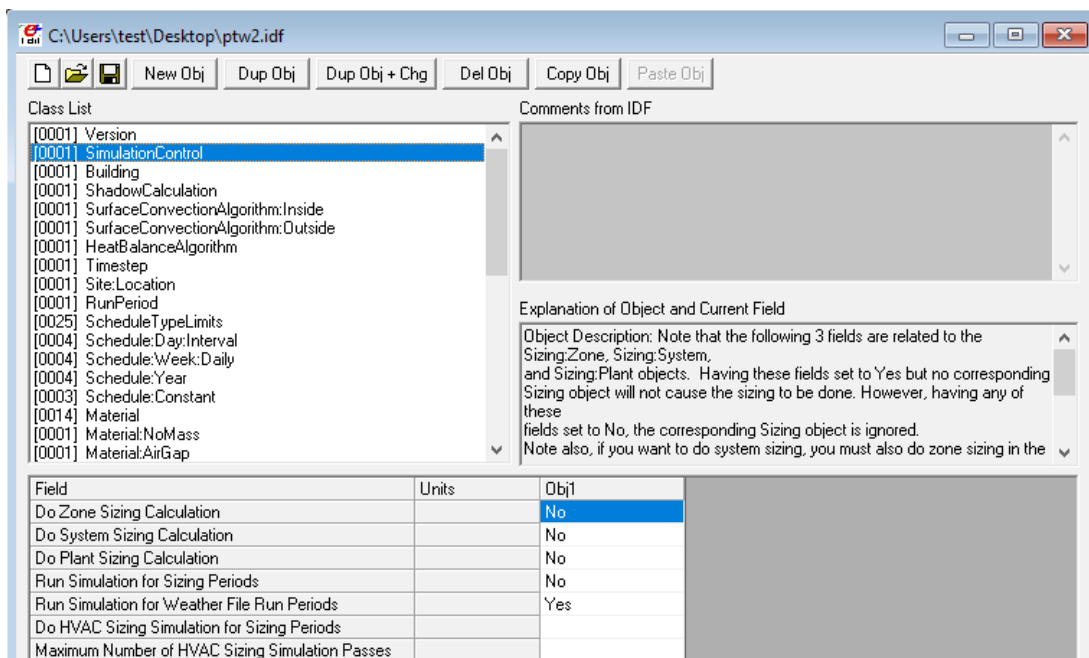
Επιλέγοντας το Export και τον τύπο αρχείου IDF, το αρχείο του OpenStudio και τύπου .osm μετατρέπεται σε αρχείο EnergyPlus. Πλέον μπορεί να παρουσιαστούν τα στοιχεία που δηλώθηκαν στο OpenStudio μέσα από το πρίσμα του EnergyPlus. Θα παρουσιαστούν βέβαια μόνο τα στοιχεία του μοντέλου του παθητικού τοίχου Trombe, καθώς το απλό μοντέλο είναι αρκετά εύκολο να γίνει κατανοητό αφού αναλυθεί ο παθητικός τοίχος.

Πέρα από τα στοιχεία που συμπληρώνονται αυτόματα από την μεταφορά στο EnergyPlus, υπάρχουν και κάποια στοιχεία που συμπληρώνονται από τον χρήστη. Για αυτή την συμπλήρωση ο χρήστης βασίζεται σε ένα πρότυπο αρχείο .idf που μπορεί να βρεθεί στον ιστότοπο

<https://bigladdersoftware.com/>, ο οποίος προσφέρει υποστηρικτικές υπηρεσίες για το EnergyPlus και OpenStudio. Ειρήσθω εν παρόδω, αυτό ακριβώς το πρότυπο αρχείο έχει δώσει και τα υλικά, καθώς και τις συστάσεις των κατασκευών του τοίχου Trombe που χρησιμοποιήθηκαν και στα προηγούμενα μοντέλα.

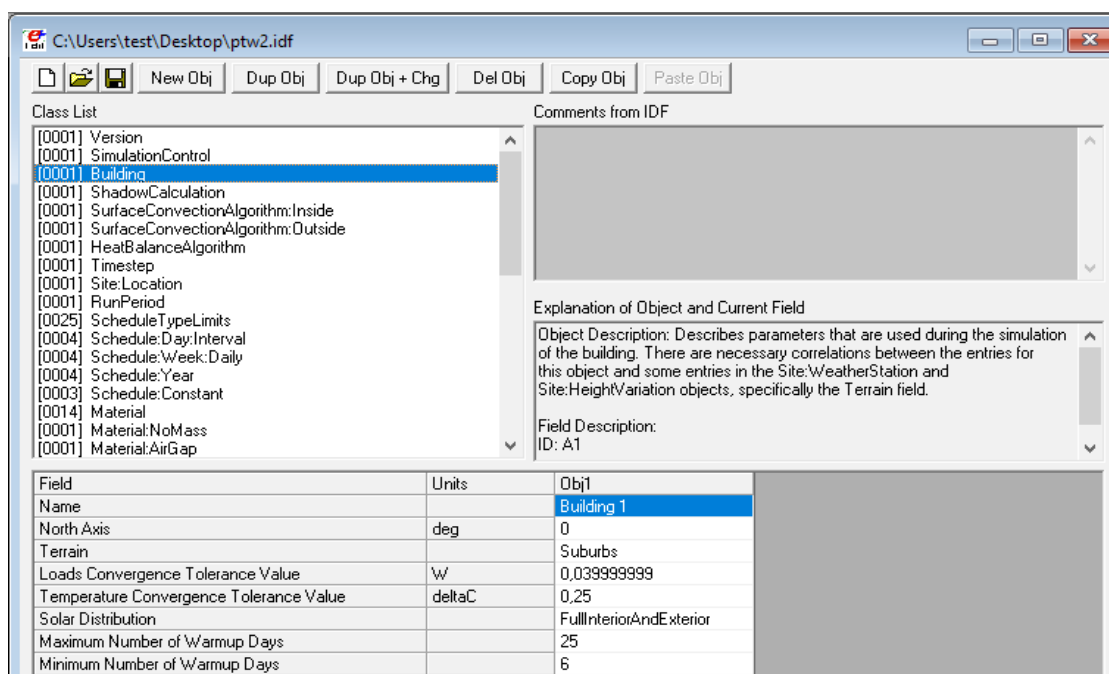
## Παρουσίαση Καρτελών του EnergyPlus

Η πρώτη κατηγορία που εξετάζεται στο EnergyPlus είναι η SimulationControl, που χρησιμοποιείται για να ελεγχθεί η όλη προσομοίωση ως προς αυτά που θα αναλυθούν πιο κάτω. Ως προς το ποιά χρονική περίοδο χρησιμοποιείται επιλέγεται Yes στην Run Simulation for Weather File Run Periods, για να αξιοποιηθεί το αρχείο καιρού που φορτώθηκε και προηγουμένως. Παρ'όλα αυτά επιλέγεται No στην καρτέλα Run Simulation for Sizing Periods, επειδή υπάρχει ενδιαφέρον σε όλη την χρονιά του καιρικού αρχείου και όχι μόνο στις DesignDay (μέρα στην οποία μπορεί να βασιστεί ο σχεδιασμός) οι οποίες είναι λίγες μέσα σε ένα ολόκληρο έτος. Στις υπόλοιπες καρτέλες επιλέγονται οι προκαθορισμένες επιλογές, για να μην δημιουργηθεί μια ιδανική κατάσταση βάσει της οποίας καθορίζονται οι θερμές ή ψυχρές ροές αέρα που εισέρχονται στους χώρους του μοντέλου.



49Εικόνα 2.4.4: Συμπλήρωση καρτέλας SimulationControl για έλεγχο παραμέτρων προσομοίωσης

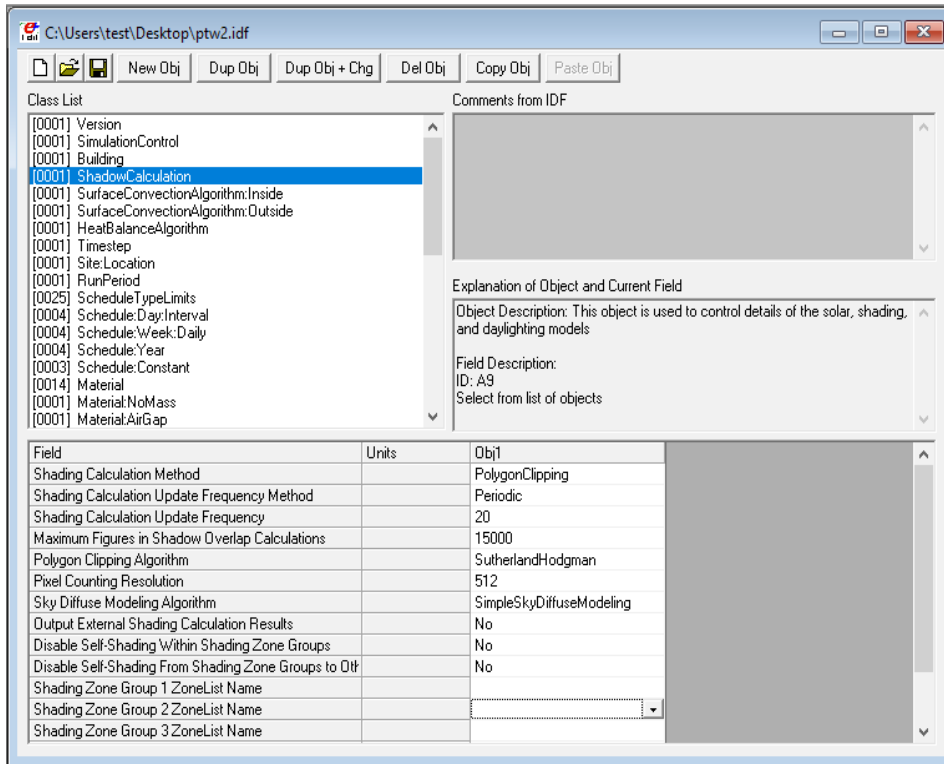
Για την κατηγορία Building συμπληρώνονται οι 0 μοίρες στην καρτέλα North Axis, επειδή το κτίριο είναι ευθυγραμμισμένο πάνω στους άξονες βορρά-νότου, και η επιλογή Suburbs(προάστια) στην καρτέλα Terrain, επειδή το κτίριο τοποθετείται κάπου στα προάστια της Αθήνας. Η καρτέλα Solar Distribution αφορά την διάχυση της ηλιακής ακτινοβολίας στους χώρους του κτιρίου και εδώ επιλέγεται το FullInteriorAndExterior, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψη πόση ακτινοβολία απορροφάται από τα τζάμια και πόση διαπερνά και διαχέεται μέσα στις θερμικές ζώνες. Αυτό γίνεται για την ακριβέστερη ενεργειακή ανάλυση ειδικά μέσα στον χώρο του διαχωριστικού το οποίο περιέχει την απορροφητική επιφάνεια του τοίχου Trombe. Οποιαδήποτε άλλη καρτέλα συμπληρώνεται βάσει του πρότυπου αρχείου.



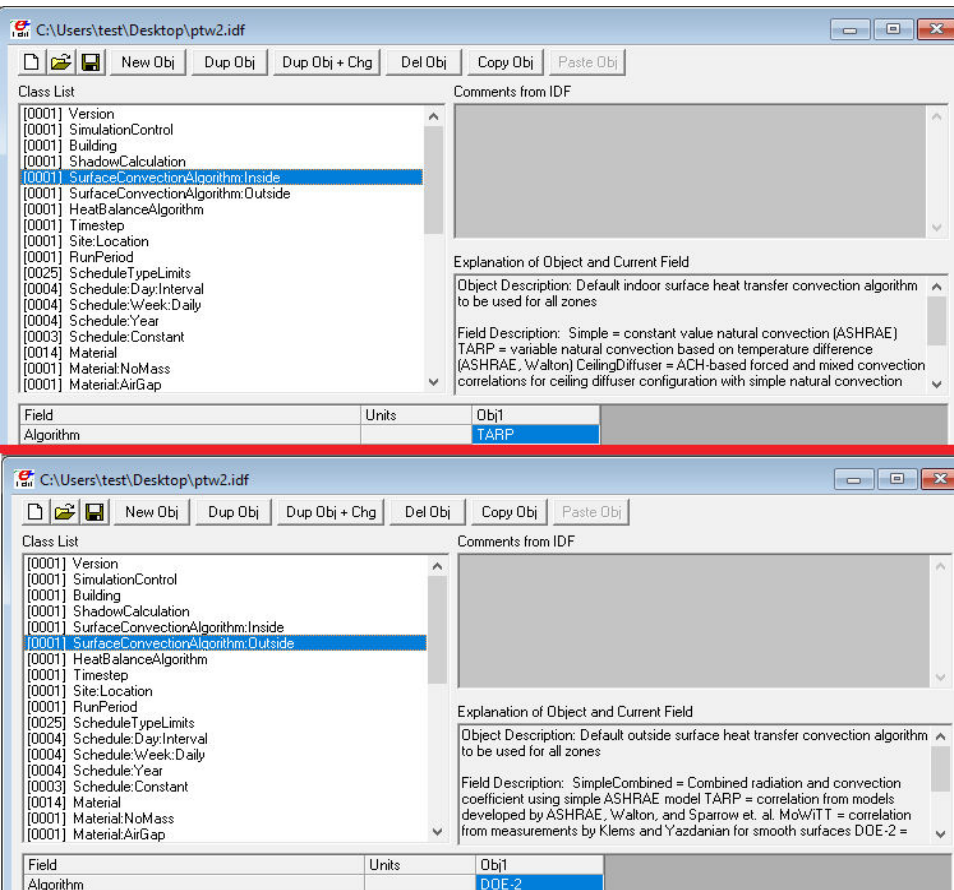
50Εικόνα 2.4.5: Συμπλήρωση καρτέλας Building με τα χαρακτηριστικά του κτιρίου και της περιοχής του



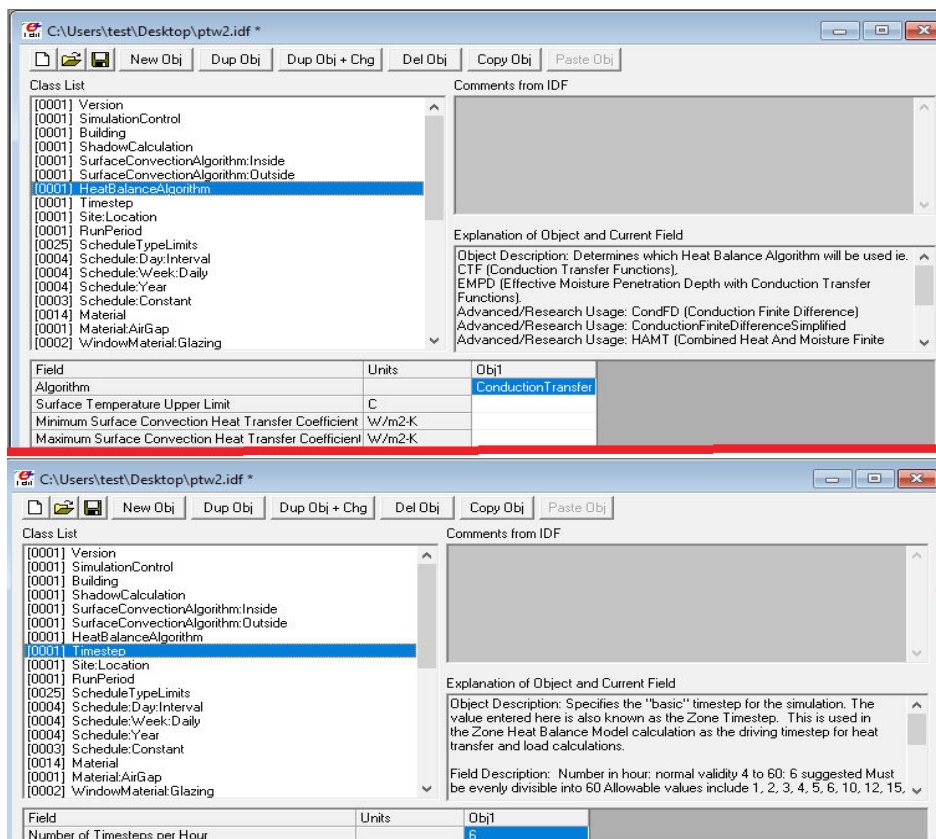
Στις επόμενες κατηγορίες συμπληρώνονται οι προκαθορισμένες επιλογές και απλά παρουσιάζονται για λόγους πληρότητας.



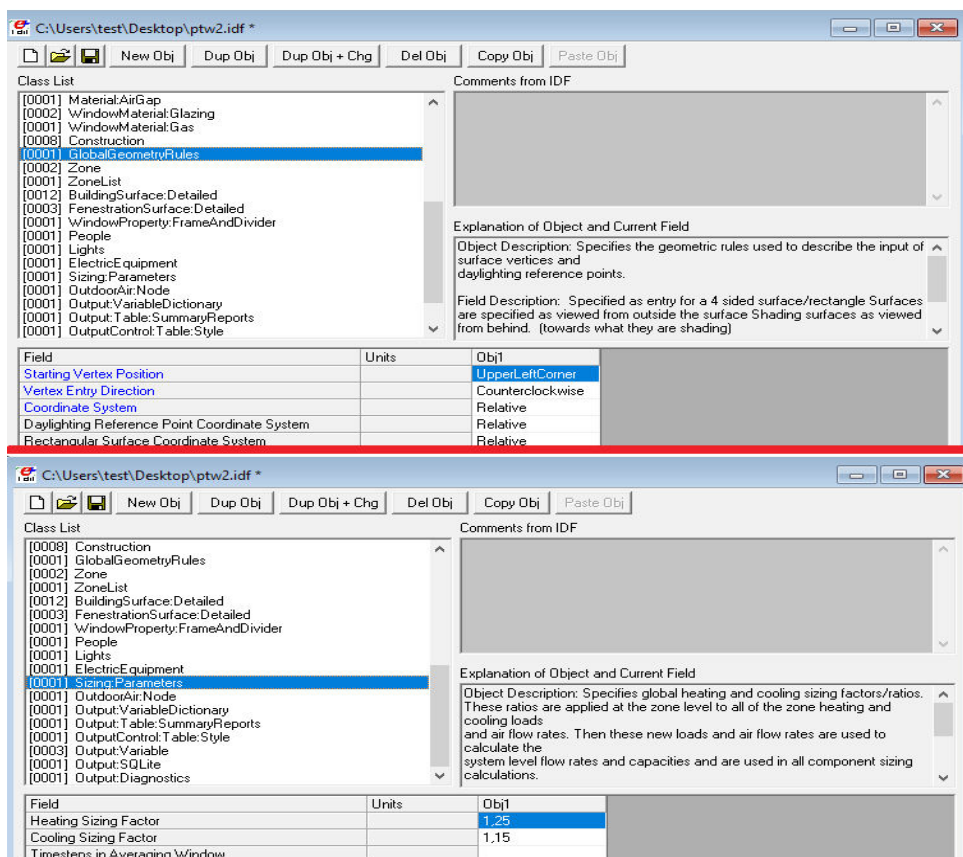
51 Εικόνα 2.4.6: Συμπλήρωση καρτέλας ShadowCalculation με τις παραμέτρους σκίασης του κτιρίου



52 Εικόνα 2.4.7: Συμπλήρωση καρτελών ConversionAlgorithm Outside/Inside με τις default επιλογές

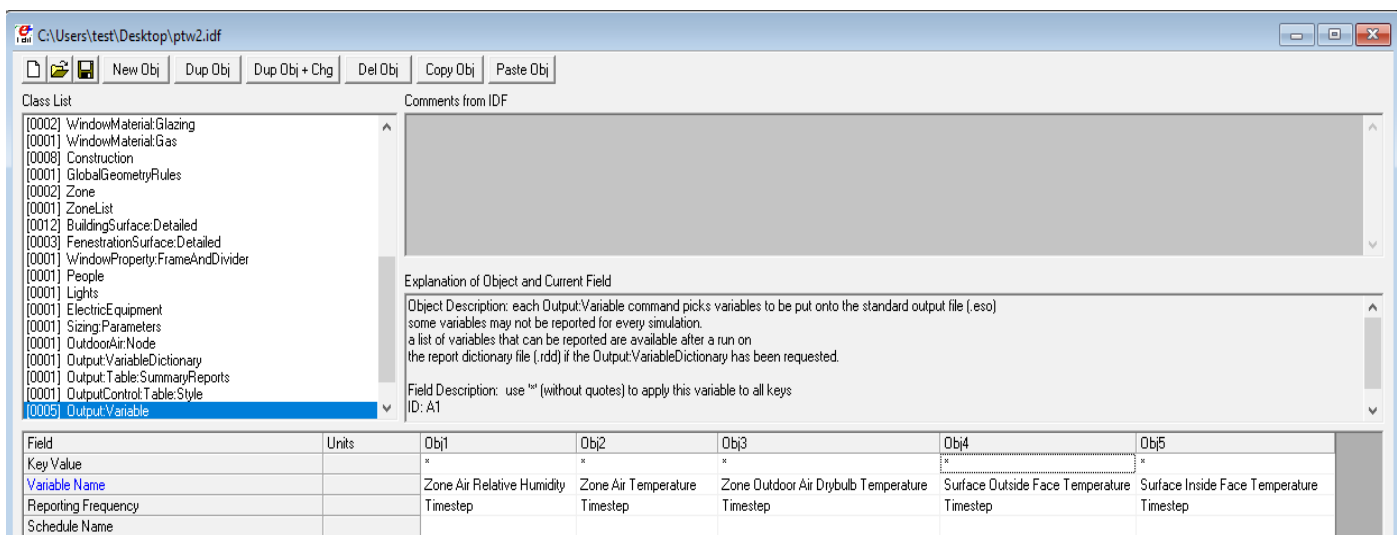


53Εικόνα 2.4.8: Συμπλήρωση καρτελών HeatBalanceAlgorithm και Timestep με τις default επιλογές



54Εικόνα 2.4.9: Συμπλήρωση καρτελών GlobalGeometryRules και SizingParameters με τις default επιλογές

Κάτι που μέχρι αυτή την στιγμή δεν έχει συζητηθεί είναι τα αποτελέσματα που θα δώσει το κάθε πρόγραμμα αφού τρέξει μια προσομοίωση. Πρέπει να γίνει ξεκάθαρο ότι τα αποτελέσματα που δίνει το OpenStudio και το EnergyPlus, είναι αρκετά παρόμοια. Υπάρχει ένα αρχείο .err με τα σφάλματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση και αν υπάρχουν πολλά σοβαρά σφάλματα η προσομοίωση τερματίζεται. Επίσης σχηματίζονται αναλυτικές αναφορές με πίνακες που παρουσιάζουν από την ενέργεια που σπαταλάται μέσα στο κτίριο, την μέση θερμοκρασία κάθε μήνα για κάθε χώρο μέχρι διάφορες πληροφορίες για τις επιφάνειες και υποεπιφάνειες του κτιρίου. Σε αυτό το σημείο βέβαια που τα μοντέλα που εξετάζονται είναι πολύ απλά και δεν περιλαμβάνουν συστήματα θέρμανσης ή ψύξης ή και ακόμα κανονική ηλεκτρική οικιακή συσκευή, δεν έχει νόημα η παρουσίαση αυτών των αναφορών από τα προγράμματα OpenStudio και EnergyPlus καθώς οι πληροφορίες για την θερμοκρασία ή την υγρασία των χώρων του κτιρίου θα δοθούν παρακάτω. Υπάρχουν τέλος και στις δύο εφαρμογές αρχεία αποτελεσμάτων .sql, τα οποία παρουσιάζουν τις επιλογές του χρήστη όσον αφορά τις εξόδους (outputs) των προγραμμάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται οι μεταβλητές που επιλέχθηκαν στην αντίστοιχη κατηγορία του EnergyPlus. Πρόκειται για την θερμοκρασία και την υγρασία κάθε θερμικής ζώνης, αλλά και την θερμοκρασία κάθε επιφάνειας που βρίσκεται στο κτίριο, εσωτερικής ή εξωτερικής. Σημειώνεται τέλος ότι βάσει αυτών των αρχείων .sql θα γίνει η πρώτη σύγκριση μεταξύ των μοντέλων που εξετάζονται.



55: Εικόνα 4.10: Συμπλήρωση καρτέλας *OutputVariables* με τις επιθυμητές μεταβλητές εξόδου, δηλαδή την σχετική υγρασία/θερμοκρασία θερμικών ζωνών και επιφανειών του κτιρίου

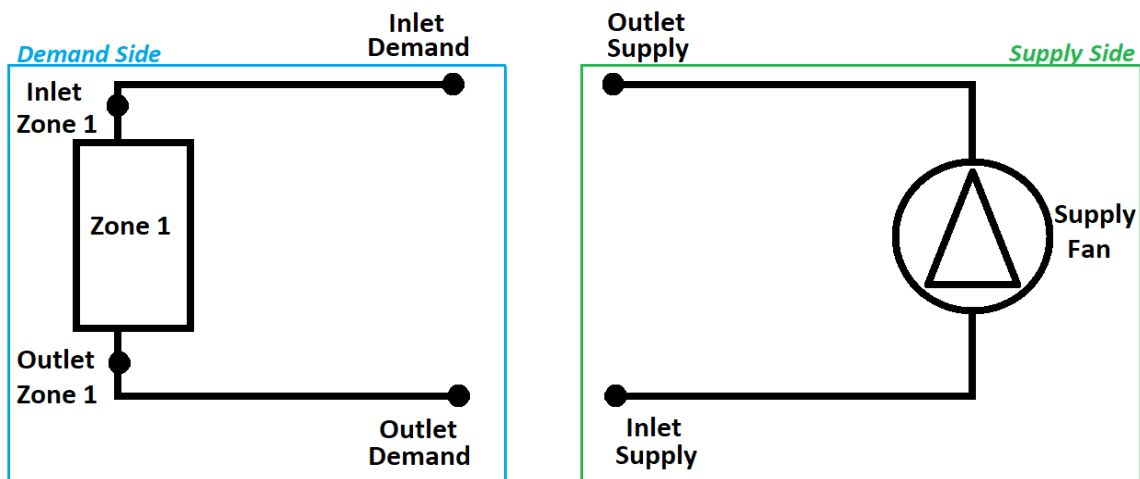
Όπως επίσης φαίνεται στην εικόνα το EnergyPlus θα πρέπει να εξετάζει τις παραπάνω ζητούμενες τιμές 6 φορές κάθε ώρα, δηλαδή ανά δεκάλεπτο, καθώς υπενθυμίζεται ότι η τιμή του χρονικού βήματος που επιλέγεται εδώ είναι 6.

Στην επόμενη ενότητα θα ακολουθήσει η ανάλυση του μοντέλου ενεργητικού τοίχου Trombe μόνο όσον αφορά το κομμάτι της σχεδίασης του συστήματος ανακύκλωσης του αέρα του διακένου. Αυτό γίνεται γιατί από σχεδιαστικής άποψης το μοντέλο ενεργητικού είναι ίδιο με αυτό που παρουσιάστηκε στην ενότητα σχεδίασης του μοντέλου παθητικού τοίχου. Επομένως θα παρουσιαστεί απευθείας στο EnergyPlus η μόνη διαφορά ενεργητικού και παθητικού μοντέλου, το σύστημα εξαναγκασμένης ροής.

## 2.5 Επεξεργασία μοντέλου ενεργητικού τοίχου Trombe

Όπως έχει ειπωθεί αρκετές φορές μέχρι στιγμής, στο μοντέλο του ενεργητικού τοίχου Trombe ο αέρας του διακένου διακινείται μέσα στον κυρίως χώρο. Αυτό γίνεται μέσω ενός κύκλου αέρα, ο οποίος με την χρήση ενός ανεμιστήρα σταθερού όγκου μετακινεί τον αέρα από τον ψυχρότερο χώρο του δωματίου στο θερμότερο διάκενο και μόλις αυτός θερμανθεί τον ξαναγυρνάει στο δωμάτιο, ώστε να το ζεστάνει.

Σε θεωρητικό επίπεδο υπάρχουν κάποιες οπές στο κάτω και στο πάνω μέρος του τοίχου Trombe, οι οποίες επιτρέπουν την προαναφερθείσα ροή του αέρα. Πρακτικά όμως και με βάση το πρότυπο αρχείου, οι συγκεκριμένες οπές δεν σχεδιάζονται στο SketchUp ώστε να αποτυπωθούν στο μοντέλο αρχιτεκτονικά. Αντίθετα το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να προστεθεί στο μοντέλο του παθητικού τοίχου Trombe ο παρακάτω κύκλος αέρα.

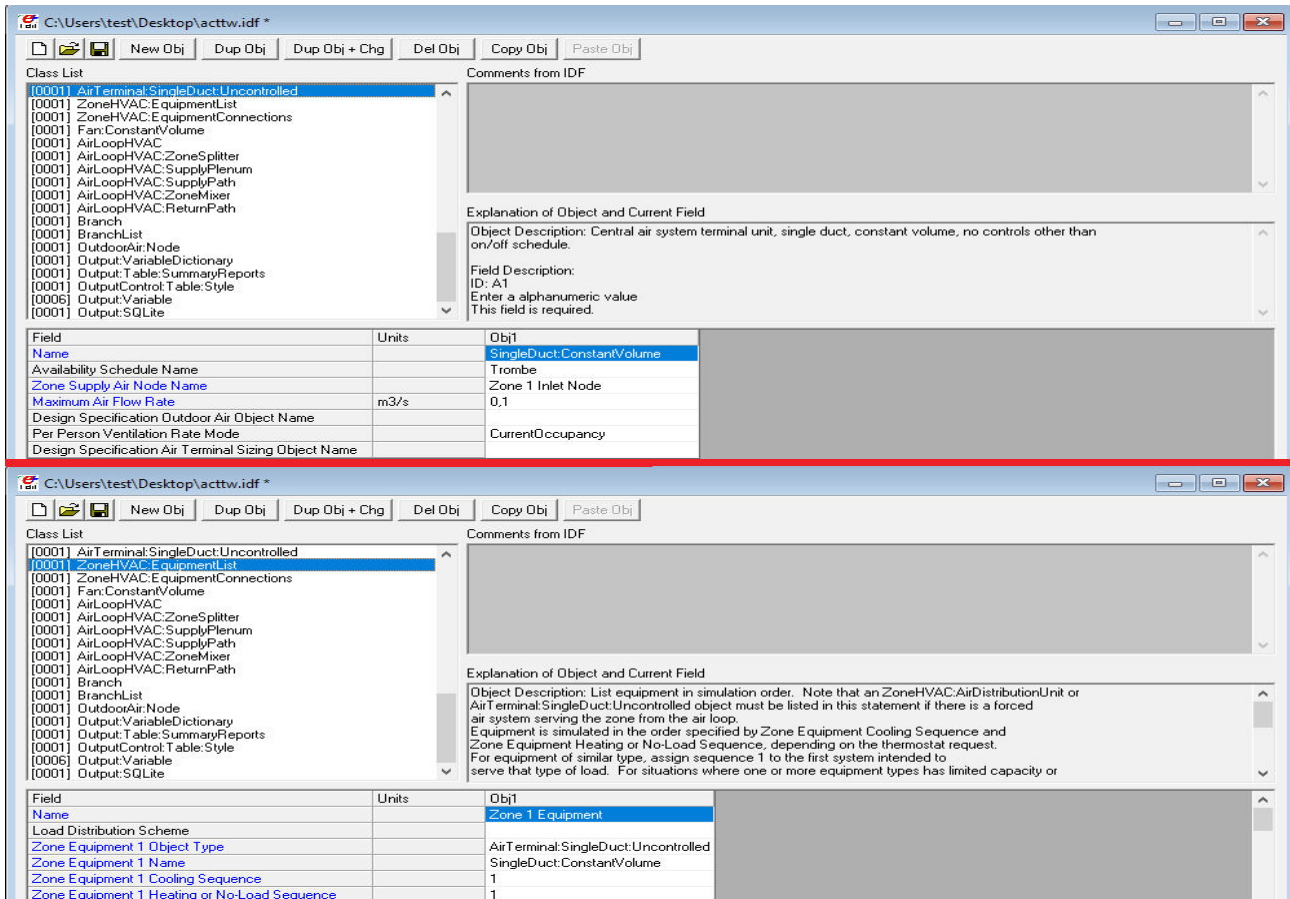


56Εικόνα 2.5.1: Σκαρίφημα του συστήματος ανακύκλωσης αέρα από το διάκενο προς το δωμάτιο

Στην παραπάνω εικόνα όπως φαίνεται από τα μπλέ και πράσινα τετράγωνα υπάρχουν δύο πλευρές για τον κύκλο αέρα. Η πρώτη, σημειώνεται με το μπλέ χρώμα, αποτυπώνει την πλευρά της ζήτησης. Σε αυτή την πλευρά σημειώνεται όποιο στοιχείο χρήζει εισαγωγής μιας επιθυμητής ροής αέρα. Στην προκειμένη περίπτωση το δωμάτιο είναι η μόνη θερμική ζώνη ενδιαφέροντος και για αυτό τον λόγο σημειώνεται μόνη της στην πλευρά της ζήτησης (Η θερμική ζώνη 1 είναι αυτή του δωματίου). Η δεύτερη, σημειώνεται με το πράσινο χρώμα, αποτυπώνει την πλευρά της προσφοράς. Προφανώς υπάρχει εκεί ο ανεμιστήρας που υποβοηθά την ροή του αέρα. Όμως παρατηρείται ότι λείπει από την πλευρά της προσφοράς, και γενικότερα από τον κύκλο, η θερμική ζώνη του διακένου. Η αλήθεια είναι ότι σε αυτόν τον κύκλο φαίνεται ότι ο αέρας του δωματίου απλά ανακυκλώνεται χωρίς να γίνεται κάποια εισαγωγή του σε άλλο χώρο. Η απουσία αυτή θα εξηγηθεί παρακάτω παράλληλα με την παρουσίαση του κτισίου του συστήματος εξαερισμού.

Οι μαύρες τελείες στην εικόνα 5.1 απεικονίζουν τους κόμβους από τους οποίους περνά κάθε φορά ο αέρας και θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω στις επεξηγηματικές εικόνες. Επίσης σημειώνεται ότι ο κύκλος είναι κλειστός και οι κόμβοι εισαγωγής και εξαγωγής προσφοράς και ζήτησης είναι ενωμένοι.

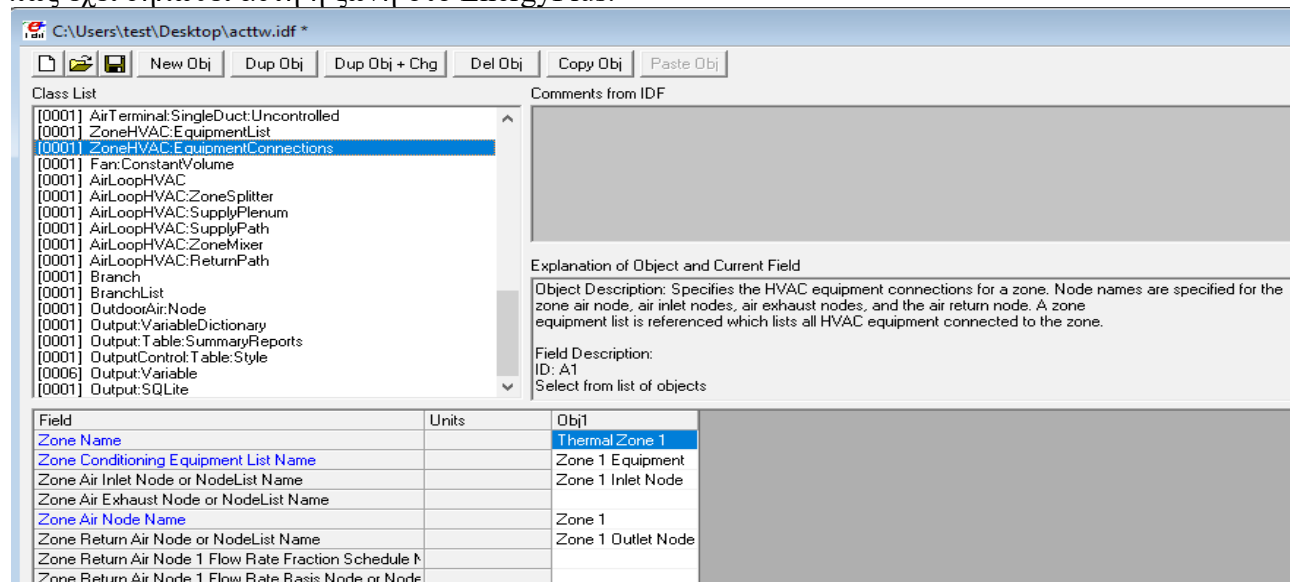
Στην κατηγορία AirTerminal:Single Duct:Uncontrolled επιλέγεται το τελείωμα του αγωγού που βγαίνει στον χώρο του δωματίου, να είναι απλό τερματικό χωρίς οποιονδήποτε έλεγχο ή κάποια αναθέρμανση. Το πρόγραμμα που επιλέγεται εδώ είναι αυτό που περιγράφει πότε λειτουργεί ο παραπάνω κύκλος αέρα. Στην καρτέλα Zone Supply Air Node ζητείται ο κόμβος που εισάγει τον αέρα στην ζώνη ενδιαφέροντος και άρα επιλέγεται ο Inlet Zone 1.



57Εικόνα 2.5.2: Δήλωση χαρακτηριστικών τερματικού αγωγού και ζώνης αναφοράς στα οποία καταλήγει το σύστημα ανακύκλωσης αέρα, στις καρτέλες *AirTerminal* και *ZoneHVAC*

Οι υπόλοιπες τιμές που επιλέγονται είναι οι προκαθορισμένες. Στην καρτέλα *ZoneHVAC:EquipmentList*, που συμπληρώνονται τα συστήματα και οι κύκλοι που προσαρτώνται σε μια ζώνη, δηλώνεται μόνο το προηγούμενο τερματικό του αγωγού.

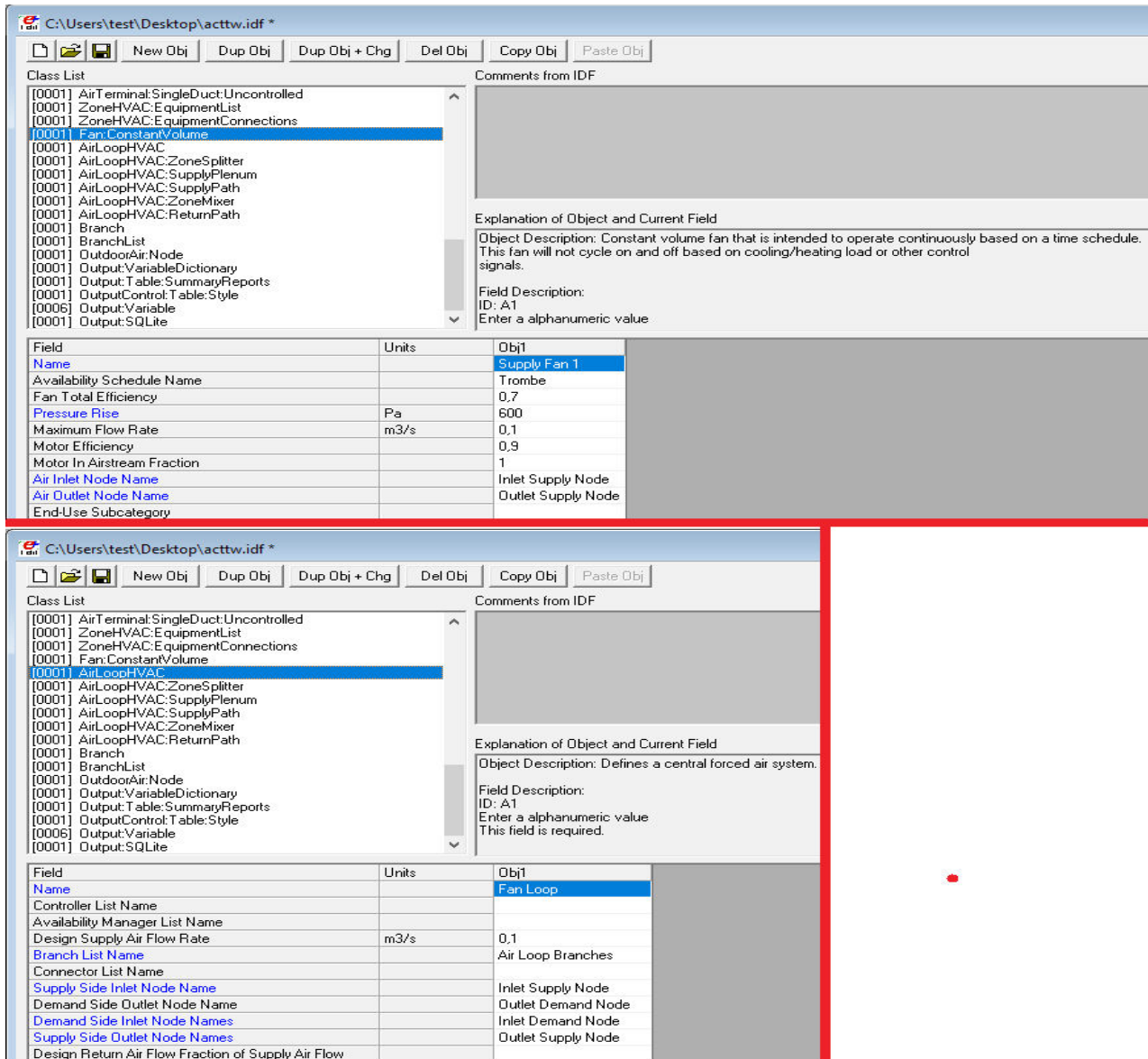
Στην καρτέλα *Equipment Connections* δηλώνονται οι κόμβοι της ζώνης ενδιαφέροντος καθώς και πως έχει δηλωθεί αυτή η ζώνη στο *EnergyPlus*.



58Εικόνα 2.5.3: Δήλωση χαρακτηριστικών τερματικού αγωγού και ζώνης αναφοράς στα οποία καταλήγει το σύστημα ανακύκλωσης αέρα, στις καρτέλες *AirTerminal* και *ZoneHVAC*



Έπειτα ορίζεται ο ανεμιστήρας μέσω της καρτέλας Fan:Constant Volume, με πρόγραμμα ξανά το πρόγραμμα λειτουργίας του κύκλου, που σε αυτή την περίπτωση γίνεται κατά τις ώρες 10:00 με 20:00 την περίοδο Οκτώβριος-Μάιος. Η μέγιστη μεταβολή όγκου που περνάει από τον ανεμιστήρα είναι ίση με 0,1 m<sup>3</sup>/s, όπως και προηγουμένως. Ενώ οι κόμβοι που ζητούνται περιγράφονται επακριβώς σε προηγούμενο σχεδιάγραμμα του κύκλου αέρα. Ο κύκλος του αέρα δε, ζητάει τους κόμβους εισαγωγής και εξαγωγής παραγωγής και ζήτησης που επίσης φαίνονται στο σχετικό σχεδιάγραμμα. Επίσης ορίζεται μια λίστα κλάδων που θα αναλυθεί αργότερα.

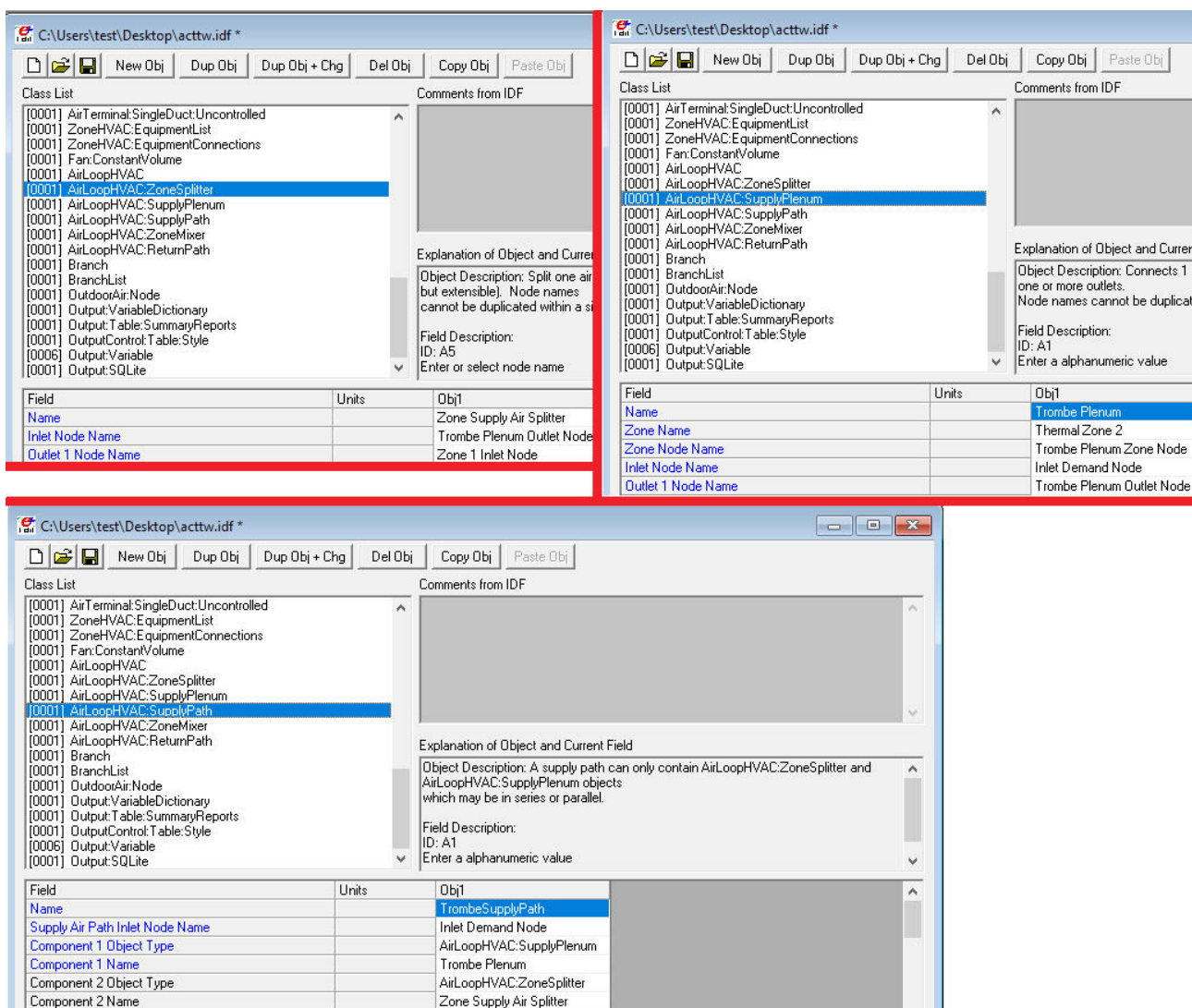


59Εικόνα 2.5.4: Διαστασιολόγηση ανεμιστήρα σταθερού όγκου και δήλωση κόμβων κύκλου αέρα στις καρτέλες Fan:ConstantVolume και AirLoopHVAC

Σε αυτό το σημείο πρέπει να ορισθούν οι διαδρομές του αέρα προς (Supply Path) και από (Return Path) την θερμική ζώνη του δωματίου. Και οι δύο αυτές διαδρομές ανήκουν στην πλευρά της ζήτησης. Η διαδρομή προς την ζώνη του δωματίου αποτελείται από έναν Splitter, που διαχωρίζει την ροή και άρα δεν χρειάζεται να συμπεριληφθούν παραπάνω από ένα αντικείμενο αφού η ροή δεν διαχωρίζεται πουθενά κατευθυνόμενη προς το δωμάτιο. Παρ'όλα αυτά στην διαδρομή προς την ζώνη του δωματίου πρέπει κάπου να παρεμβάλλεται η θερμική ζώνη του διακένου, ώστε να γίνει

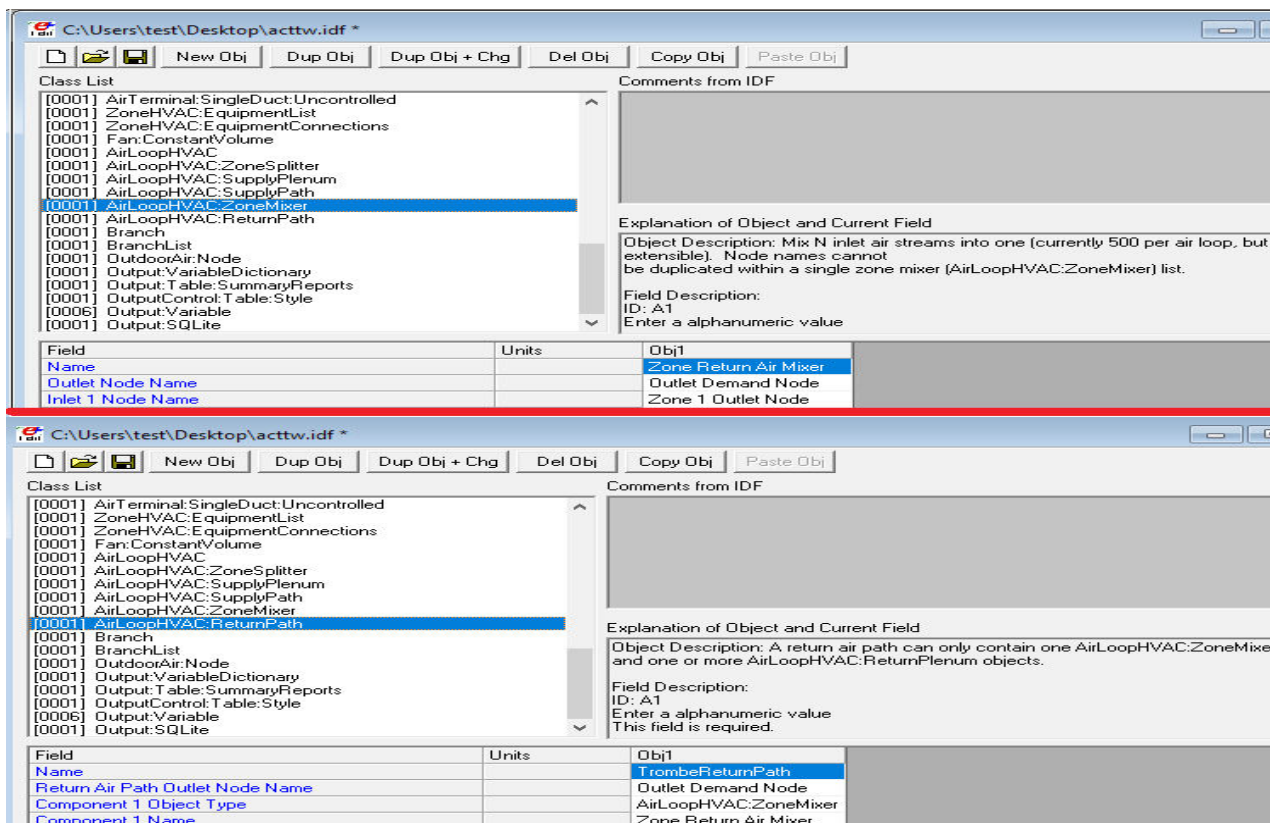
μεταφορά θερμότητας από το θερμότερο στο ψυχρότερο τμήμα αέρα. Για αυτή ακριβώς την ανάγκη επιστρατεύεται μια νοητή θερμική ζώνη ανάμεσα στο τερματικό που έρχεται σε άμεση επαφή με την ζώνη και στον αγωγό που μεταφέρει τον αέρα από την πλευρά προσφοράς. Αυτή η ζώνη ονομάζεται Trombe Plenum Zone και υποτίθεται ότι έπρεπε να σχεδιαστεί και στο SketchUp, αλλά στην προκειμένη περίπτωση δεν επηρεάζει την προσομοίωση. Το κλειδί στην σχεδίαση είναι να δηλωθεί η θερμική ζώνη του διακένου (Zone 2) σαν ζώνη πάνω στην οποία βασίζεται η μεταφορά θερμότητας στην TrombePlenumZone. Με αυτόν τον τρόπο ο αέρας πρώτα περνά από την νοητή ζώνη και άρα είναι σαν να περνάει από το διάκενο και μετά μέσα από τον Splitter ώστε να καταλήξει μέσω του τερματικού στο δωμάτιο. Επομένως γίνεται εμφανές ποιά είναι η τελική διαδρομή προς την θερμική ζώνη του δωματίου.

Η διαδρομή από την θερμική ζώνη του δωματίου μέχρι τον κόμβο εξόδου από την πλευρά ζήτησης είναι λιγότερο ενδιαφέρουσα, καθώς υπάρχει μόνο ένας Mixer, δηλαδή μείκτης ροών, ο οποίος έχει διαδικαστικό ρόλο αφού η ροή δεν έχει διαχωριστεί πουθενά όπως είναι ήδη γνωστό.



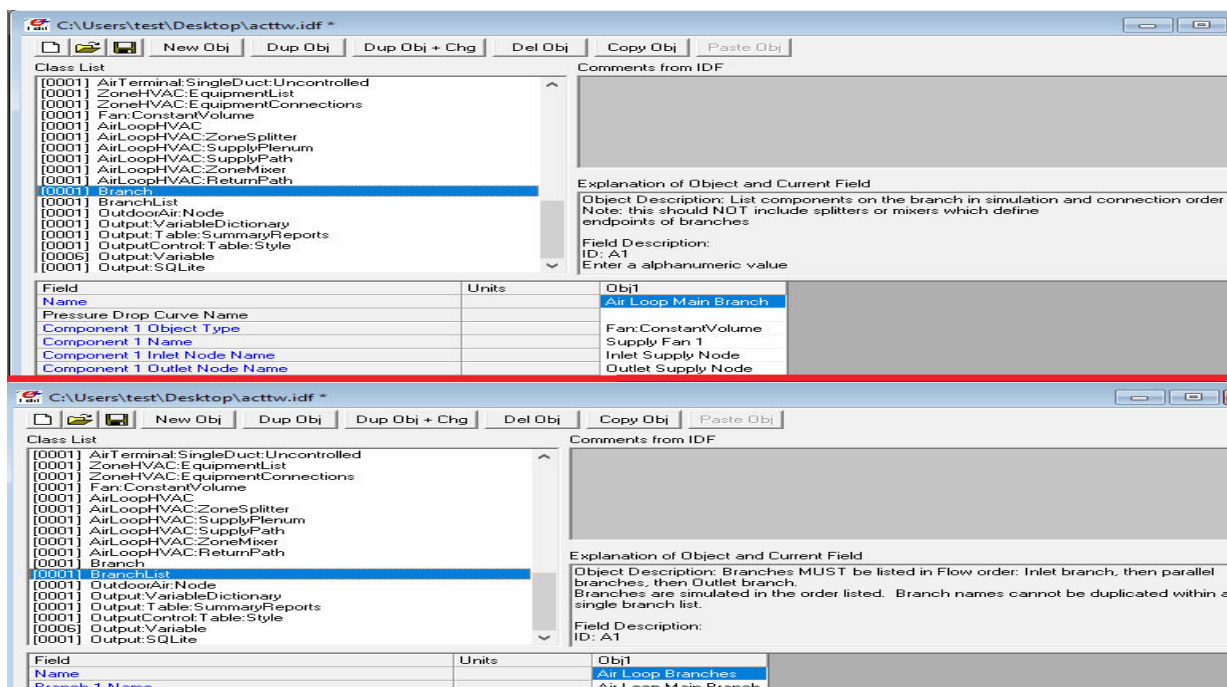
60 Εικόνα 2.5.5: Δήλωση χαρακτηριστικών της πορείας προς το δωμάτιο (διαχωριστής, ζώνη αεραγωγών) στις καρτέλες AirLoopHVAC:Splitter, Supply Plenum και Supply Path





61 Εικόνα 2.5.6: Δήλωση χαρακτηριστικών της πορείας από το δωμάτιο (μεικτής) στις καρτέλες AirLoop:Mixer και Return Path

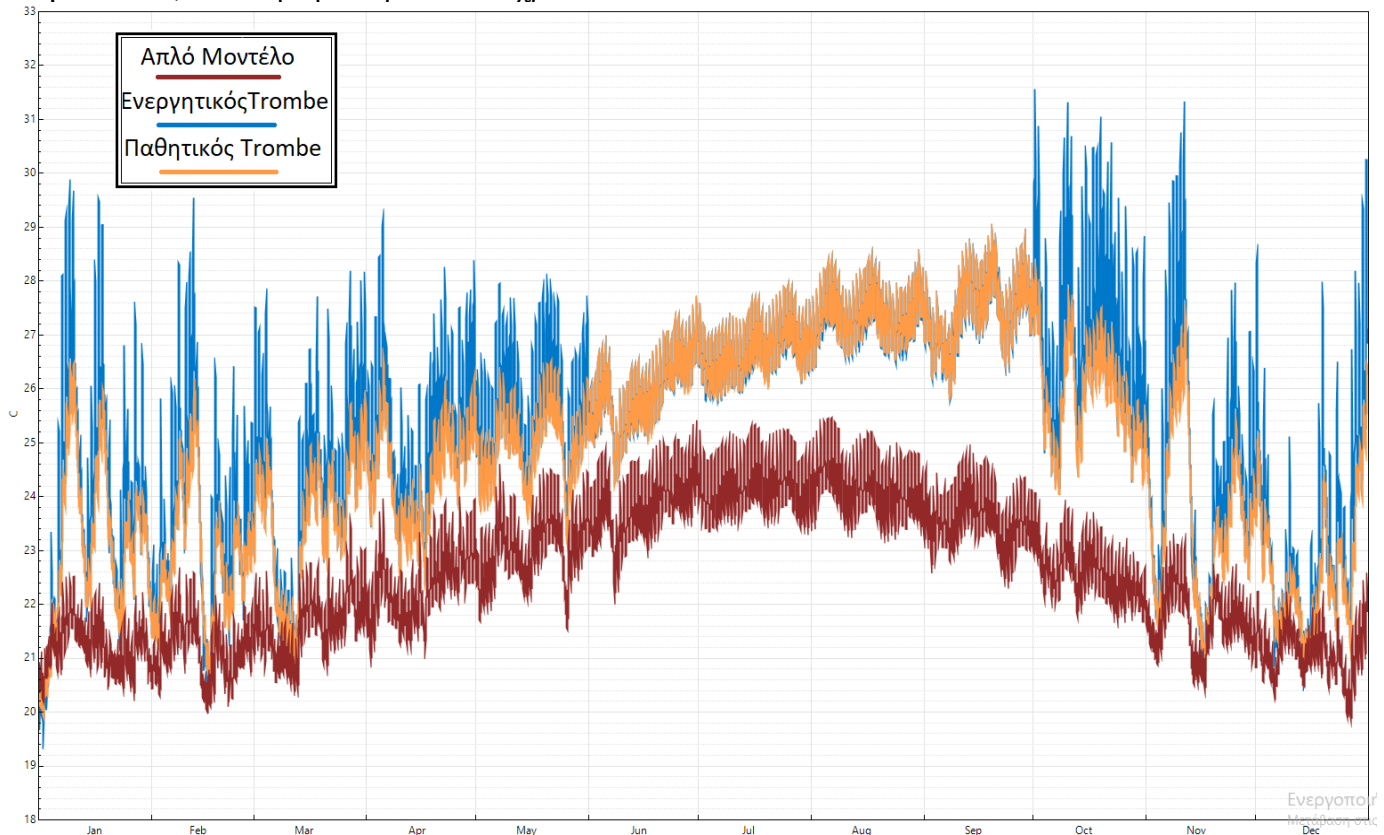
Τέλος για να ολοκληρωθεί η ανάλυση του κύκλου αέρα, πρέπει να δηλωθεί και ο κλάδος που συμπληρώθηκε στην καρτέλα AirLoop. Ο κλάδος αυτός αφορά την πλευρά προσφοράς και περιλαμβάνει μόνο τον ανεμιστήρα. Οι κόμβοι που δηλώνονται είναι αυτοί της εισόδου και εξόδου της προσφοράς.



62 Εικόνα 2.5.7: Δήλωση κόμβων και κλάδων του κύκλου αέρα στις καρτέλες Branches και Nodes

## 2.6 Σχολιασμός Αποτελεσμάτων Απλού Μοντέλου Παθητικού/Ενεργητικού Trombe

Τα αρχεία ενδιαφέροντος όπως ειπώθηκε και πριν αποτυπώνουν την θερμοκρασία και υγρασία των χώρων του κτιρίου, καθώς και την θερμοκρασία κάποιων επιφανειών των χώρων αυτών. Αρχικά παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες του κυρίως δωματίου και για τις τρεις περιπτώσεις μοντέλων, καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.



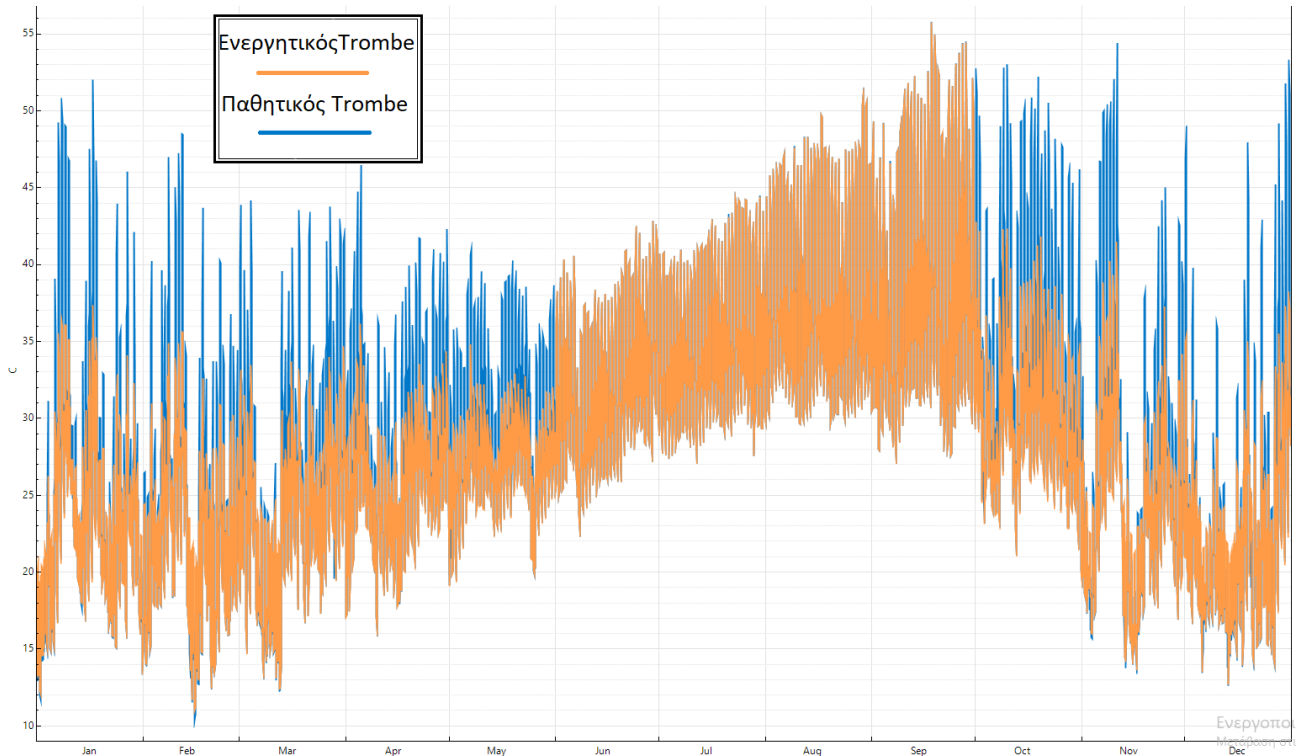
63 Εικόνα 2.6.1: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος

### **Συνθήκες θερμοκρασίας**

Γίνεται απευθείας κατανοητό, ότι με την χρήση οποιουδήποτε είδους τοίχου Trombe η θερμοκρασία του κυρίως δωματίου ανεβαίνει. Τις μέρες που υπάρχει ηλιοφάνεια, ο μηχανισμός του τοίχου Trombe εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία και ανεβάζει την θερμοκρασία από αυτή του απλού μοντέλου μέχρι 4°C σε παθητικό και μέχρι 8-9°C σε παθητικό τοίχο Trombe. Αντίθετα τις μέρες χωρίς ηλιοφάνεια η θερμοκρασία μπορεί να πέσει ακόμα και κάτω από αυτή του απλού μοντέλου για τις εφαρμογές Trombe, για ακραίες περιπτώσεις. Παρατηρούνται επίσης διαφορές μεταξύ ενεργητικού και παθητικού τοίχου Trombe, λόγω της επιπλέον ροής αέρα που θερμαίνει περαιτέρω το κυρίως δωμάτιο. Επομένως η θερμοκρασία στο ενεργητικό μοντέλο είναι 3-4°C μεγαλύτερη από αυτή του παθητικού μοντέλου. Αυτό το γεγονός, ενώ σε κάποιες μέρες ανεβάζει την θερμοκρασία σε επιθυμητά ή και ανεκτά επίπεδα σε κάποιες άλλες η θερμοκρασία που επικρατεί στο ενεργητικό μοντέλο ξεφεύγει από τα ανεκτά επίπεδα. Φαίνεται άλλωστε και στην εικόνα 6.1 ότι κάποιες μέρες του Ιανουαρίου, Φεβρουαρίου αλλά και του Οκτωβρίου η θερμοκρασία φτάνει και τους 30°C μέσα στο δωμάτιο. Τέλος είναι φανερό ότι το καλοκαίρι, από Ιούνιο έως Σεπτέμβριο, που ο ανεμιστήρας του ενεργητικού τοίχου δεν λειτουργεί, ουσιαστικά ο ενεργητικός τοίχος μετατρέπεται σε παθητικό τουλάχιστον όσον αφορά την θερμοκρασία.

Αντίστοιχα πράγματα συμβαίνουν και στο διάκενο του ενεργητικού και παθητικού τοίχου. Το καλοκαίρι οι θερμοκρασίες που επικρατούν εκεί είναι ίδιες και στις δύο περιπτώσεις, ενώ την χειμερινή περίοδο οι τιμές της θερμοκρασίας στον παθητικό τοίχο είναι μεγαλύτερες από ότι στον ενεργητικό. Αυτό συμβαίνει διότι στον παθητικό τοίχο δεν υπάρχει μίξη του αέρα του διακένου με

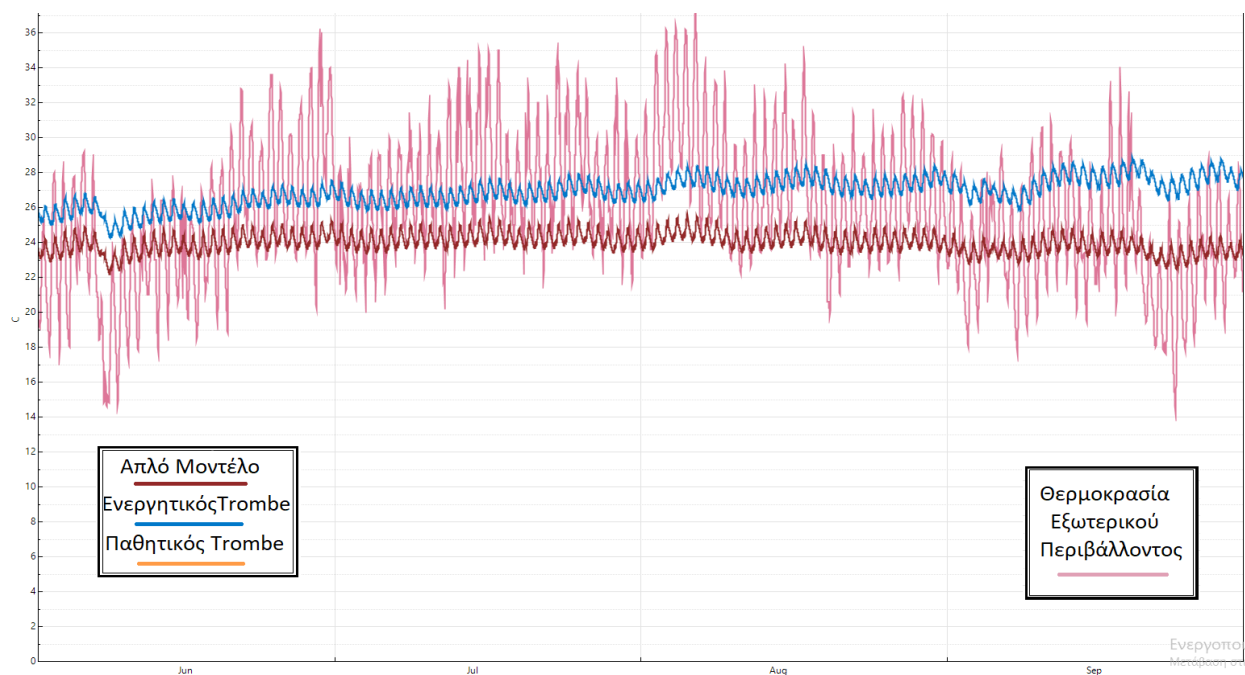
τον ψυχρότερο αέρα του δωματίου όπως γίνεται με τον ενεργητικό,απλά γίνεται ανακύκλωση μόνο του αέρα του διακένου ο οποίος και θερμαίνεται περισσότερο.



64 Εικόνα 2.6.2: Σύγκριση θερμοκρασιών διακένου παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος

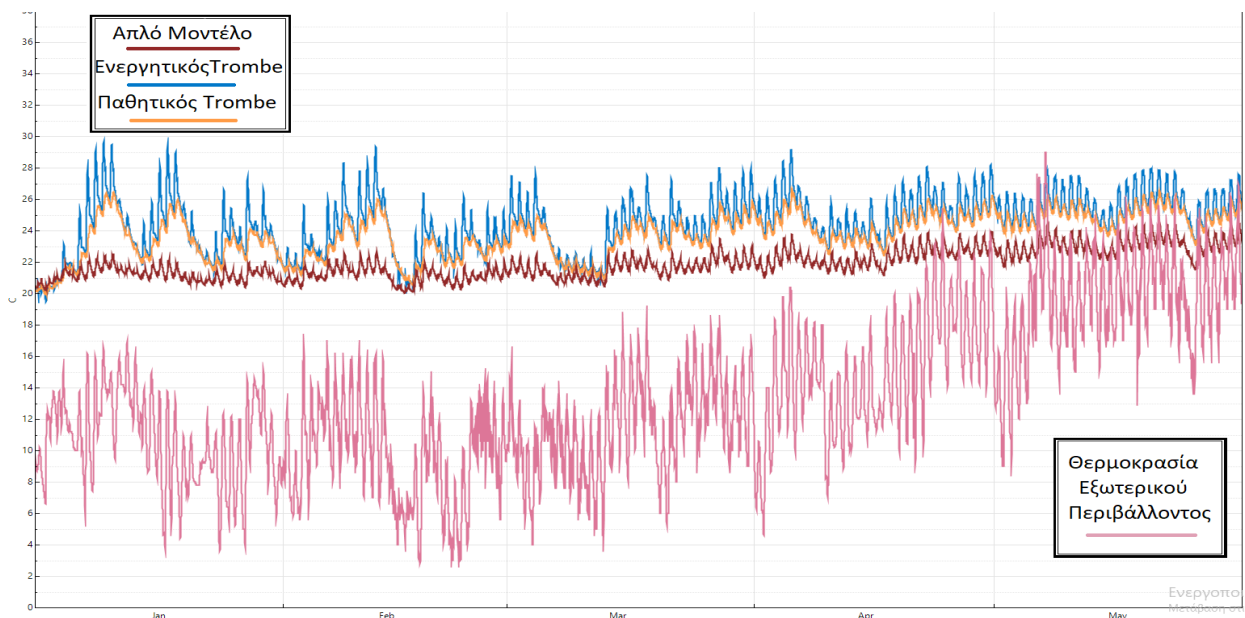
Παρακάτω φαίνεται σε καλύτερη ανάλυση η καλοκαιρινή περίοδος, όπου ενεργητικός και παθητικός τοίχος ταυτίζονται. Παρατηρείται ότι υπάρχει ξανά διαφορά μεταξύ θερμοκρασιών απλού μοντέλου και τοίχου Trombe, όμως εδώ η διαφορά αυτή μειώνεται στους περίπου 2 βαθμούς. Το απλό μοντέλο εδώ θα μπορούσε να πεί κανείς ότι υπερτερεί των εφαρμογών Trombe, καθώς και σε όλο τον χρόνο αφού διατηρεί μια αρκετά καλή θερμοκρασία. Όμως δεν πρέπει να λησμονείται ότι εξετάζεται ένα πολύ μικρό δωμάτιο, το οποίο δεν θα μπορούσε να κατοικηθεί, απλά και μόνο για να αναλυθούν οι επιπτώσεις της εφαρμογής Trombe. Το ενδιαφέρον βρίσκεται δηλαδή, στην δυνατότητα επιπλέον θέρμανσης ή ψύξης ενός χώρου και όχι στην επίτευξη ιδανικών συνθηκών εντός ενός χώρου-τουλάχιστον στην παρούσα φάση. Παρ'όλα αυτά πρέπει στην συνέχεια της εργασίας να προταθούν κάποιοι τρόποι για περαιτέρω ψύξη του χώρου.

Είναι εμφανές ότι υπάρχει σχετική σταθερότητα για αυτή την περίοδο, όσον αφορά την κοινή θερμοκρασία των εφαρμογών Trombe. Επίσης υπάρχει και μια καλή διαφορά με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η οποία φτάνει σε αρκετά σημεία του καλοκαιριού πάνω από τους 34 βαθμούς κελσίου και έρχεται σε αντίθεση με την εσωτερική θερμοκρασία του κυρίως χώρου που δεν ξεπερνάει τους 29. Σημειώνεται βέβαια ότι αυτή η θερμοκρασία πρέπει να είναι χαμηλότερη και σε καμία περίπτωση δεν ικανοποιεί κάποιο κριτήριο άνεσης, όμως δεν πρέπει να ξεχνιέται ότι αυτή η θερμοκρασία επιτυγχάνεται παρ'ότι είναι ενεργή η παθητική κατάσταση του τοίχου Trombe.

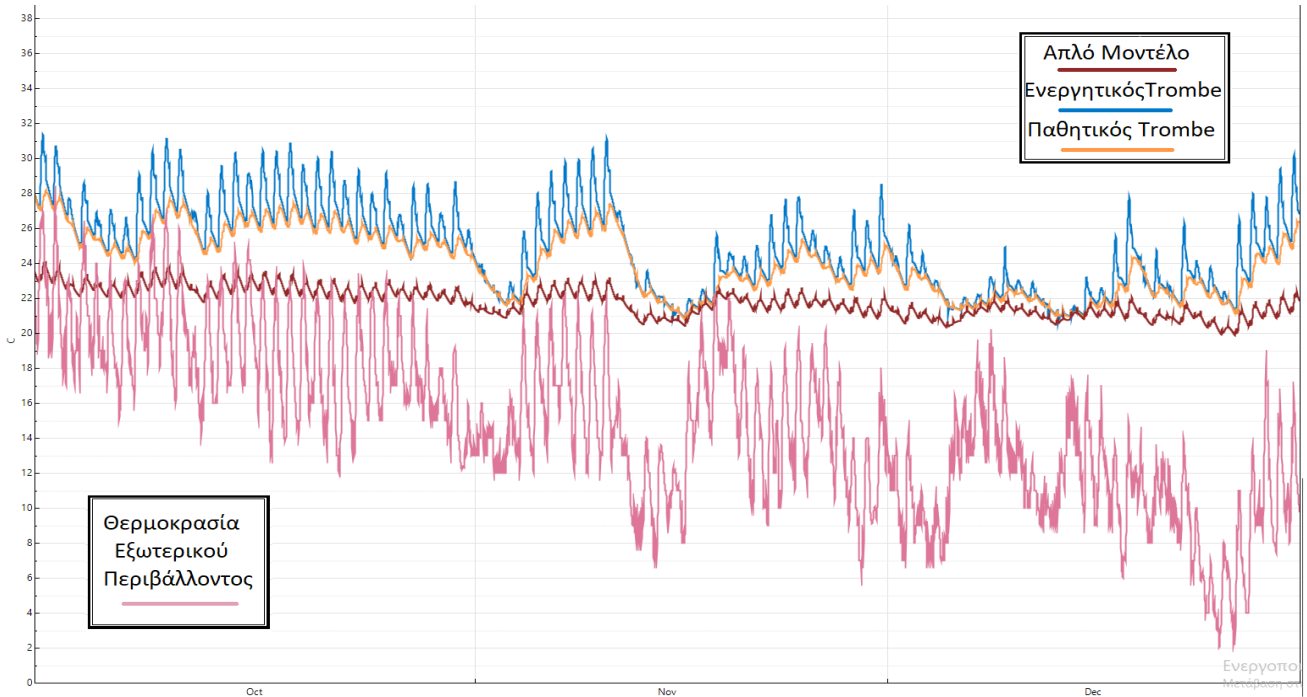


65 Εικόνα 2.6.3: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για θερινή περίοδο

Μετά την παρουσίαση της καλοκαιρινής περιόδου, αναλύεται και η χειμερινή σε αντιπαραβολή με την εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Εδώ τα πράγματα είναι καλύτερα πάνω στο θέμα της διαφοράς με την εξωτερική θερμοκρασία καθώς σε ελάχιστες έως καμία περίπτωση η εσωτερική θερμοκρασία, στις εφαρμογές Trombe, δεν πέφτει κάτω από την εξωτερική, αλλά ούτε και από αυτή του απλού μοντέλου. Εδώ φαίνεται ότι η εφαρμογή Trombe μπορεί να ζεστάνει ένα δωμάτιο, ανεβάζοντας αρκετά την θερμοκρασία του. Υπάρχει όμως και εδώ ένα παρόμοιο πρόβλημα με πριν. Παρ'ότι στον παθητικό τοίχο Trombe η θερμοκρασία είναι σε πλαίσια κάποιας άνεσης, στον ενεργητικό σε πολλές περιόδους η κατάσταση ξεφεύγει. Πρέπει να τονιστεί λοιπόν ότι θα ήταν καλό να βρεθεί ένας τρόπος ώστε να αξιοποιηθεί η ενεργητική εφαρμογή σε μέρες με χαμηλή θερμοκρασία, αλλά και η παθητική εφαρμογή όταν υπάρχει η περίπτωση η θερμοκρασία να υπερβεί τα όρια της άνεσης.



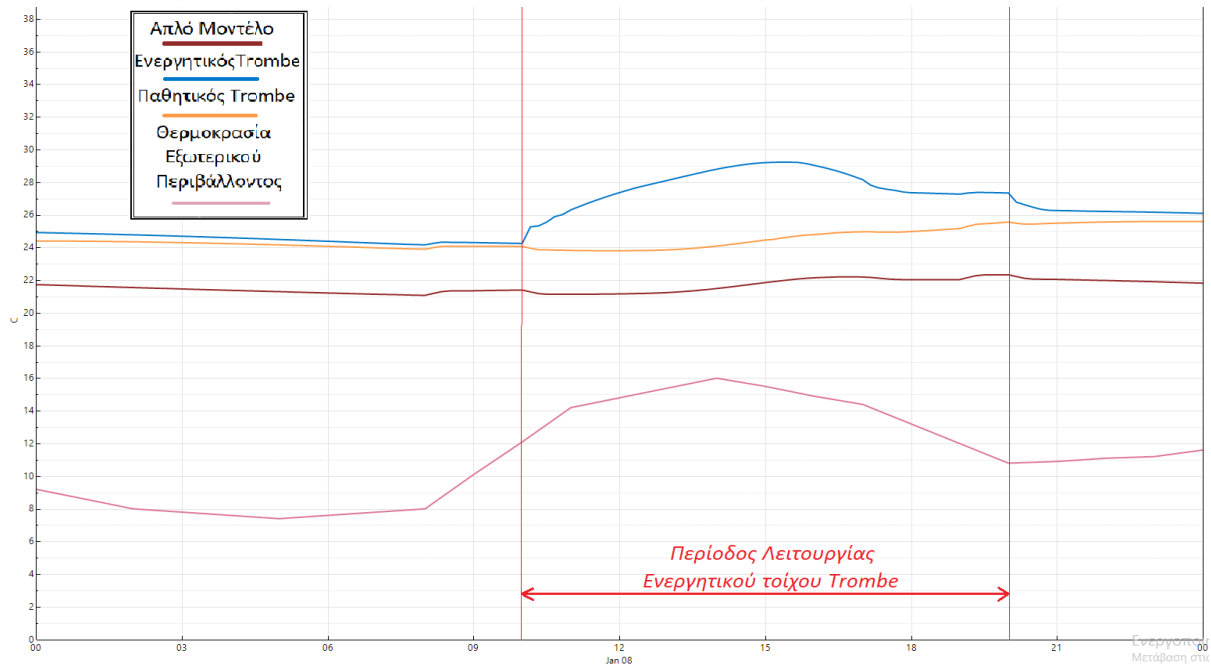
66 Εικόνα 2.6.4: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για χειμερινή περίοδο



67 Εικόνα 2.6.5: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου με την εξωτερική θερμοκρασία για χειμερινή περίοδο

Χρήσιμο είναι τώρα να εξεταστεί και μια συγκεκριμένη τυχαία μέρα, έτσι ώστε να φανεί η επίδραση του προγράμματος λειτουργίας του ενεργητικού τοίχου Trombe σε επίπεδο ωρών. Παρόμοια λειτουργεί το όλο σύστημα σε κάθε άλλη μέρα, εκτός από ακραίες βέβαια περιπτώσεις. Επιλέγεται τυχαία η 8η Ιανουαρίου. Φαίνεται στην παρακάτω εικόνα λοιπόν, ότι από την ώρα που ξημερώνει γύρω στις 8:00, η εξωτερική θερμοκρασία αρχίζει να ανεβαίνει. Αυτό αποτυπώνεται, με μια μικρή καθυστέρηση λόγω θερμικής υστέρησης η οποία προκαλείται από το πάχος των τοίχων που αποθηκεύουν ενέργεια, στο εσωτερικό του δωματίου στο απλό μοντέλο αλλά και στον παθητικό τοίχο Trombe. Όμως στις 10:00-λίγες ώρες μετά την ανατολή-ξεκινάει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας του ενεργητικού Trombe, ενώ έχει ήδη ανέβει λίγο η εξωτερική θερμοκρασία και ο τοίχος Trombe έχει αρχίσει να ζεσταίνεται. Τότε ο αέρας του διακένου όντας θερμότερος από αυτόν του δωματίου αρχίζει να μεταδίδει την θερμότητα του στο δωμάτιο. Έτσι το δωμάτιο έχει μια καμπύλη θερμοκρασίας αντίστοιχη με αυτήν της εξωτερικής θερμοκρασίας, τις ώρες λειτουργίας του ανεμιστήρα, ενώ τις ίδιες ώρες τα άλλα μοντέλα έχουν μια πολλή πιο ήπια σε κλίση καμπύλη θερμοκρασίας. Παρ'ότι ο ήλιος δύει περίπου στις 17:00, η λειτουργία του ανεμιστήρα συνεχίζει και η θερμοκρασία δωματίου αρχίζει να κάνει ένα πλατώ καθώς δεν υπάρχει πιά ακτινοβολία που χτυπάει στον τοίχο. Μετά το πέρας της λειτουργίας του ανεμιστήρα η θερμοκρασία όπως είναι λογικό αρχίζει και πέφτει, βέβαια όχι κάτω από αυτήν της παθητικής εφαρμογής, αν και κάτι τέτοιο είναι δυνατό σε μέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια.

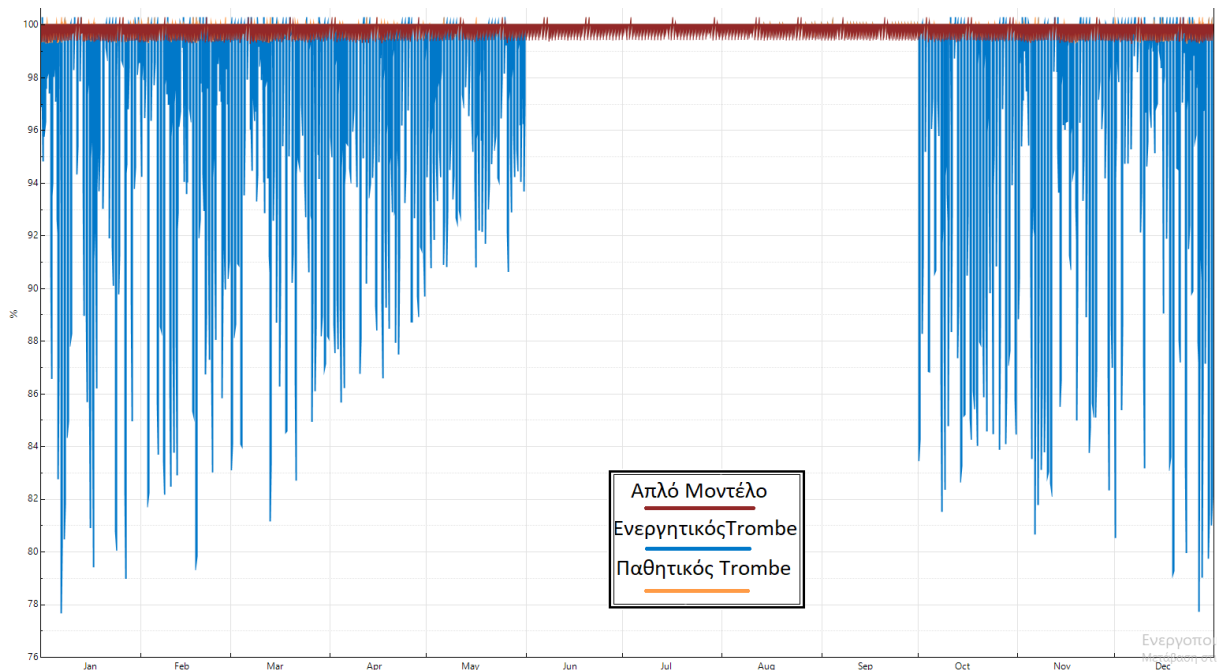




68Εικόνα 2.6.6: Τονισμός της περιόδου λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe και επίδρασης της στην θερμοκρασία μιας χειμερινής μέρας

## Συνθήκες Υγρασίας

Ένα ακόμα στοιχείο που χρήζει εξέτασης, λόγω της εμπλοκής του στις συνθήκες άνεσης, είναι η υγρασία των χώρων του κτιρίου. Φαίνεται βέβαια στην παρακάτω εικόνα ότι η κατάσταση μέσα στο δωμάτιο είναι ανυπόφορη σε κάθε περίπτωση, με το ποσοστό της σχετικής υγρασίας να κυμαίνεται γύρω στο 100% στο απλό και παθητικό μοντέλο. Τα πράγματα δεν είναι καλύτερα και για τον ενεργητικό τοίχο Trombe όπου το ποσοστό της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται από 80-100%. Αυτό συμβαίνει σε ένα βαθμό διότι το δωμάτιο σε όλα τα μοντέλα που εξετάζονται είναι κλειστά και δεν υπάρχει επαφή του εσωτερικού αέρα με τον εξωτερικό.

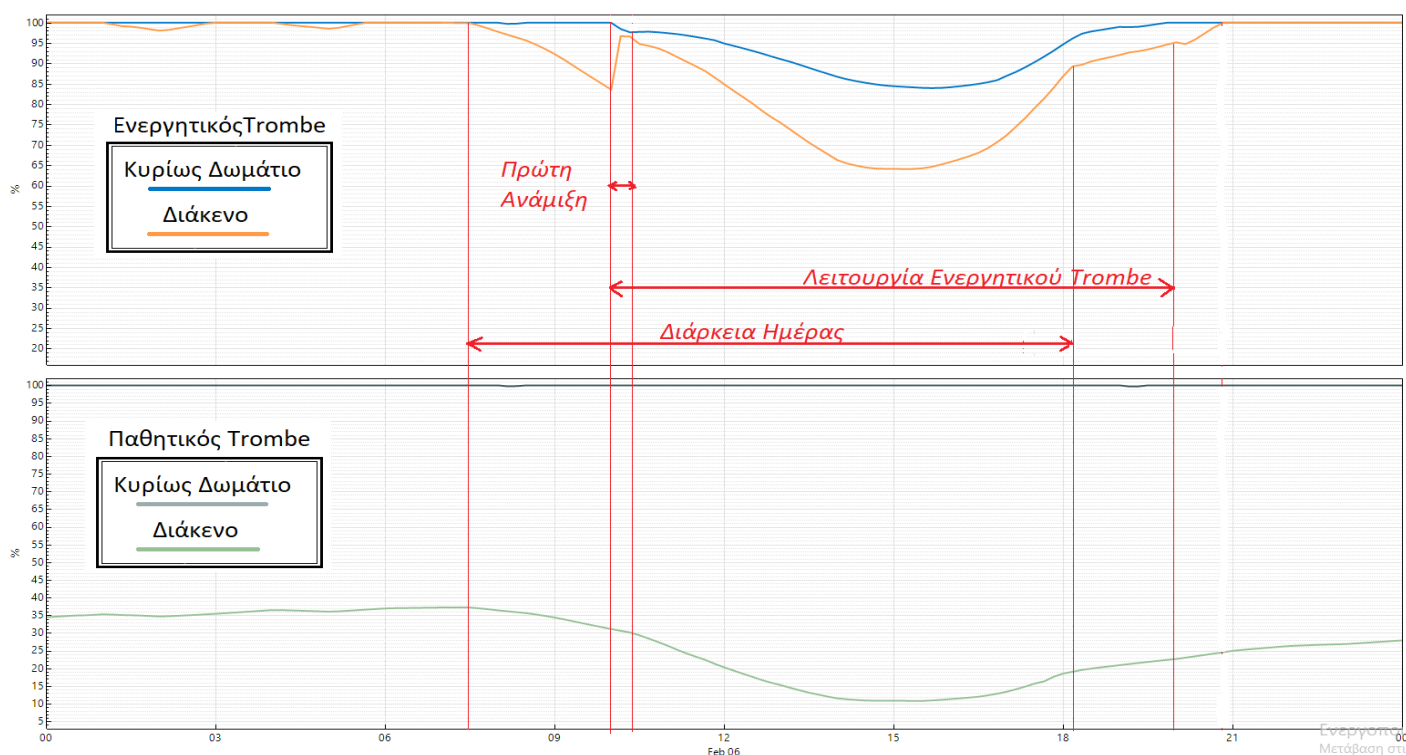


69Εικόνα 2.6.7: Σύγκριση σχετικής υγρασίας δωματίου απλού/παθητικού/ενεργητικού μοντέλου για όλο το έτος



Κοιτώντας σε καλύτερη ανάλυση μια τυχαία μέρα, επιλέγεται η 6η Φεβρουαρίου, εξετάζεται η υγρασία στο διάκενο και το κυρίως δωμάτιο για τις περιπτώσεις του ενεργητικού και παθητικού τοίχου Trombe. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται κατανοητό ότι με την μίξη δύο ρευμάτων αέρα διαφορετικής θερμοκρασίας και υγρασίας, στην περίπτωση που λειτουργεί ο ανεμιστήρας ενεργητικού Trombe, συντελείται μείωση της σχετικής υγρασίας του κυρίως χώρου. Γίνεται κατανοητό από την παρακάτω εικόνα ότι από την αρχή της ημέρας η υγρασία στο διάκενο, ενώ αρχικά είναι στα επίπεδα του δωματίου, αρχίζει να μειώνεται λόγω ανατολής και όταν αρχίζει να λειτουργεί ο ανεμιστήρας του Trombe ξαφνικά αυξάνεται με μεγάλη κλίση. Αντίστοιχα το ποσοστό της υγρασίας στο δωμάτιο αρχίζει να μειώνεται και αυτή η περίοδος σημειώνεται στο παρακάτω διάγραμμα ως πρώτη ανάμιξη των δύο ρευμάτων. Έπειτα και στους δύο χώρους η σχετική υγρασία μειώνεται, εφόσον συντελείται ανακύκλωση του αέρα που περνάει πλέον και μέσα από το διάκενο, με την υγρασία στο διάκενο να μειώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό και να φτάνει σε μικρότερες τιμές από αυτή του δωματίου. Όλα αυτά μέχρι την σταδιακή μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο τοίχος Trombe, όσο πιο δυτικά μετακινείται ο ήλιος. Τελικά η δύση του ηλίου, σηματοδοτεί μια σταδιακή αύξηση της σχετικής υγρασίας στο διάκενο που μεταφράζεται σε τιμές υγρασίας κοντά στο 100% στο δωμάτιο, μια και είναι ακόμα σε ισχύ ο ανεμιστήρας. Μετά το πέρας της λειτουργίας του ανεμιστήρα και το ποσοστό σχετικής υγρασίας του διακένου φτάνει στα ίδια επίπεδα με αυτό στο δωμάτιο.

Από την άλλη πλευρά στο διάγραμμα που αντιστοιχεί στον παθητικό τοίχο Trombe η υγρασία στο δωμάτιο είναι σταθερή και σε ανυπόφορα ποσοστά καθ'όλη την διάρκεια της μέρας, αλλά το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται στο διάκενο, διότι παρ'ότι και αυτό είναι ένας κλειστός μη αεριζόμενος χώρος η υγρασία του είναι σε πολύ, ίσως και υπερβολικά χαμηλά, επίπεδα που κυμαίνονται από 15-35% σχετικής υγρασίας. Η καμπύλη της υγρασίας ξεκινά την νύχτα από ποσοστά γύρω στο 35% και με το ξημέρωμα και καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας βαίνει μειούμενη, εκτός από όταν ο ήλιος αρχίζει να πλησιάζει προς την δύση του, κατά την περίοδο δηλαδή μεταξύ 16:00 και 18:00. Σε εκείνη την περίοδο υπάρχει μια ελαφριά αύξηση της υγρασίας που μετά την δύση του ηλίου φτάνει ξανά σε επίπεδα κοντά στο 30%.

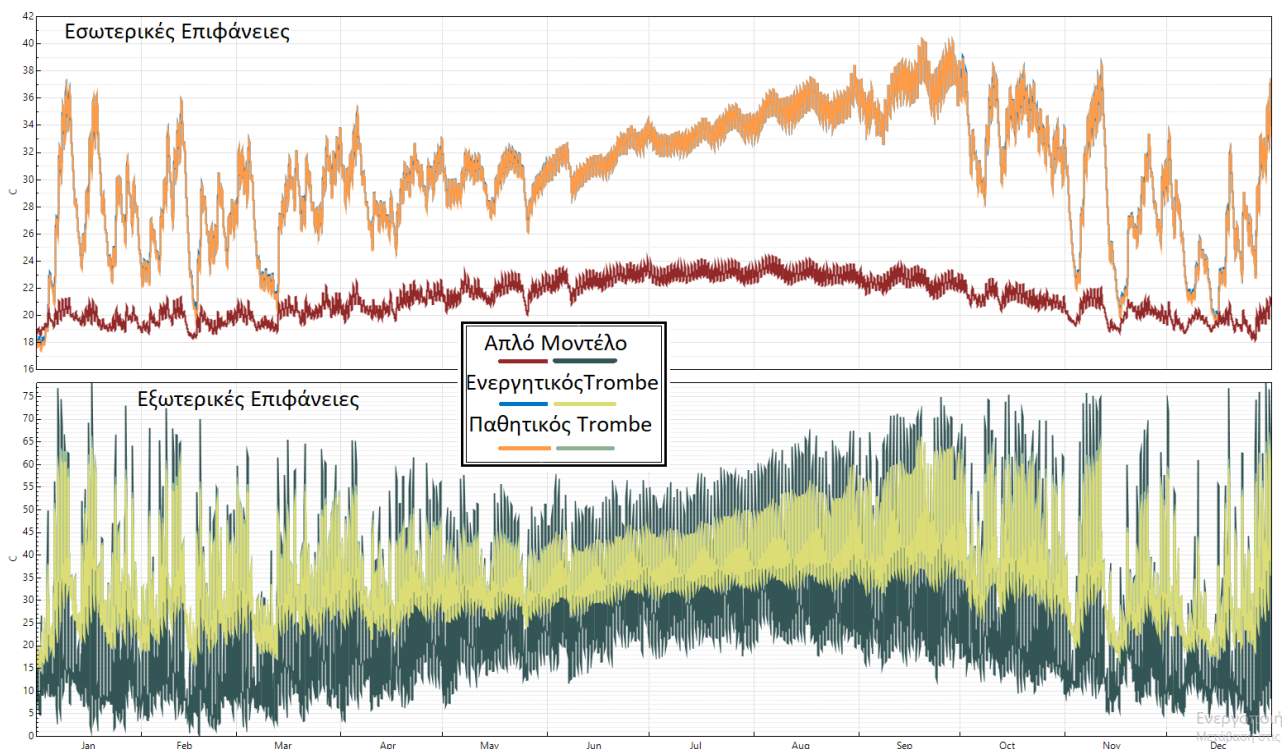


70 Εικόνα 2.6.8: Αντιπαραβολή σχετικής υγρασίας στο διάκενο σε ενεργητικό και παθητικό μοντέλο και συσχέτιση της με την χρονική διάρκεια μια χειμερινής ημέρας

Η παραπάνω παρατήρηση δείχνει ότι εκτός από τον μη επαρκή αερισμό του δωματίου με φρέσκο αέρα χαμηλότερης υγρασίας, ανεπαρκής είναι και η ηλιακή ακτινοβολία η οποία καταλήγει μέσω ενός παραθύρου ή ανοίγματος απευθείας μέσα στο δωμάτιο. Θυμίζεται ότι υπάρχει στο απλό και σε όλα τα άλλα μοντέλα, ένα μόνο μικρό σε επιφάνεια, παράθυρο και μάλιστα στην δυτική πλευρά του κτιρίου, κάτι που σημαίνει ότι η ηλιακή ακτινοβολία δεν μπορεί να φτάσει στο εσωτερικό του δωματίου για την πλειοψηφία των ωρών μιας ημέρας. Άλλο ένα πρόβλημα λοιπόν ανακύπτει και πρέπει να διορθωθεί προκειμένου να υπάρξουν συνθήκες άνεσης μέσα στο δωμάτιο που να το καταστήσουν κατοικήσιμο.

### Θερμοκρασία Εσωτερικών και Εξωτερικών επιφανειών

Τέλος για λόγους πληρότητας και μόνο γίνεται μια σύγκριση των θερμοκρασιών των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του κτιρίου και δεν βρίσκεται στις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου κάποια πολύ υψηλή θερμοκρασία, που δεν θα επέτρεπε σε κάποιον να βρίσκεται δίπλα σε αυτήν. Παρατίθεται παρακάτω μια σύγκριση των θερμοκρασιών των εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του τοίχου Trombe για το παθητικό και ενεργητικό μοντέλο, αλλά και των ίδιων επιφανειών για τον νότιο τοίχο του απλού μοντέλου. Στις εσωτερικές επιφάνειες του τοίχου Trombe που έρχονται σε επαφή με το δωμάτιο, συναντώνται αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με αυτές των αντίστοιχων επιφανειών του νότιου τοίχου του απλού μοντέλου. Κάτι που είναι απόλυτα λογικό, αφού αυτές οι επιφάνειες είναι που μεταδίδουν μέσω ακτινοβολίας θερμότητα στο υπόλοιπο δωμάτιο και άρα αφού στις περιπτώσεις των εφαρμογών Trombe αυτές οι επιφάνειες έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία μεταδίδουν και περισσότερη θερμότητα. Από την άλλη οι εξωτερικές επιφάνειες των εφαρμογών Trombe έχουν μικρότερες θερμοκρασίες από ότι ο νότιος τοίχος του απλού μοντέλου. Αυτό εξηγείται μέσω της θερμοχωρητικότητας της απορροφητικής επιφάνειας του τοίχου Trombe, η οποία να μην απορροφά την θερμότητα αλλά λόγω της χαμηλής θερμοχωρητικότητας της σε σχέση με το επίχρισμα του εξωτερικού τοίχου δεν συγκρατεί μεγάλες ποσότητες θερμότητας. Έτσι οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας στον τοίχο Trombe είναι μικρότερες από ότι σε έναν απλό τοίχο.



71 Εικόνα 2.6.9: Σύγκριση θερμοκρασιών εσωτερικής και εξωτερικής επιφάνειας τοίχου Trombe για απλό/παθητικό/ενεργητικό μοντέλο και για όλο το έτος

Σημειώνεται εδώ ότι οι υπόλοιποι τοίχοι, οροφές και πατώματα είναι ίδιοι σε απλό μοντέλο και εφαρμογές Trombe και άρα οι εξωτερικές τους επιφάνειες έχουν παρόμοιες θερμοκρασίες. Οι εσωτερικές επιφάνειες ακολουθούν περίπου την μορφή της θερμοκρασίας της θερμικής ζώνης του δωματίου, δηλαδή υπάρχει ταύτιση των εφαρμογών Trombe το καλοκαίρι, με τον ενεργητικό τοίχο Trombe να έχει πιο ζεστές εσωτερικές επιφάνειες τον χειμώνα. Το απλό μοντέλο βέβαια δεν έχει μεγάλη διαφορά στην θερμοκρασία των εσωτερικών επιφανειών του από τις εφαρμογές Trombe και άρα την μεγάλη διαφορά κάνει ο ίδιος ο τοίχος Trombe.

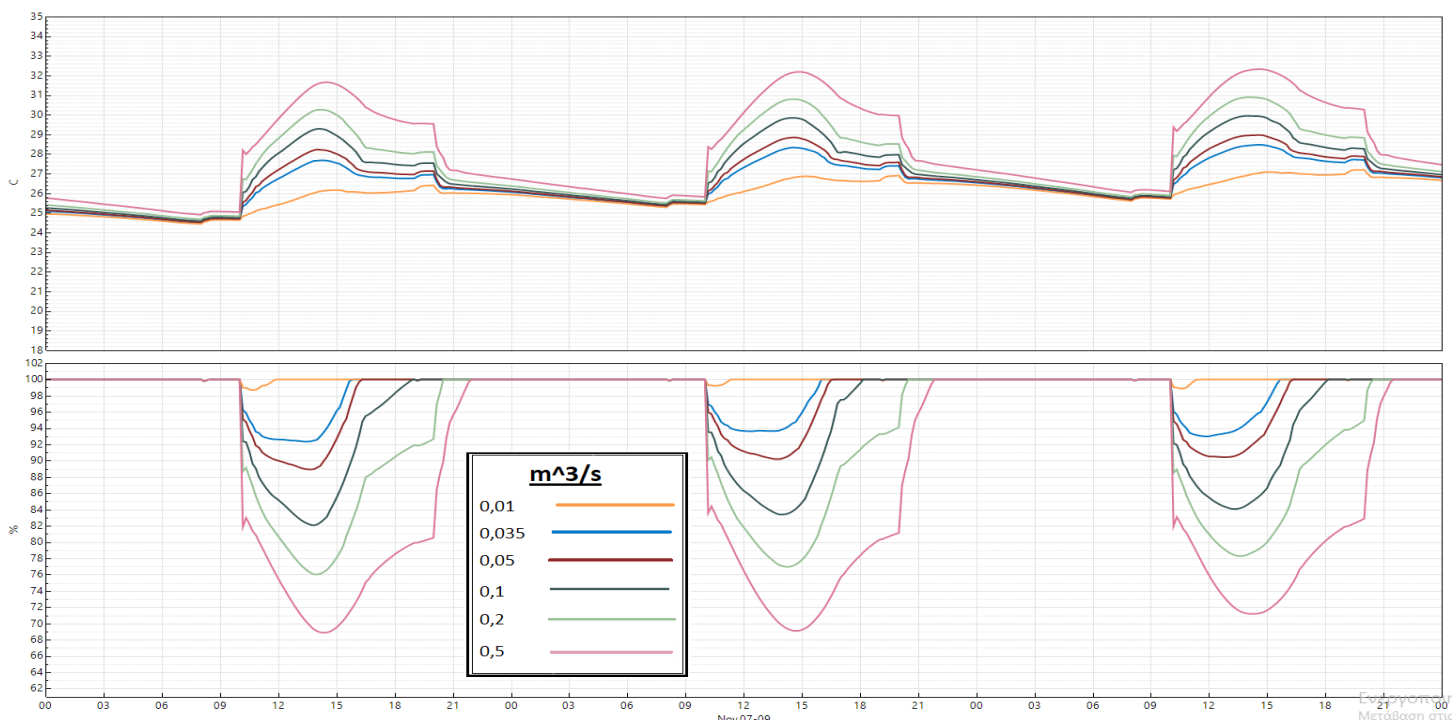
Εν κατακλείδι από την επεξεργασία των αποτελεσμάτων της εξέτασης αυτών των απλών προσομοιώσεων βγαίνουν τα εξής συμπεράσματα. Αρχικά οι εφαρμογές Trombe ανεβάζουν την θερμοκρασία του χώρου στον οποίο είναι προσαρμοσμένες. Όμως υπάρχει περίπτωση η θερμοκρασία να υπερβεί τα όρια άνεσης, όπως ακριβώς συμβαίνει και με την υγρασία σε αυτό το μικρό κλειστό και σκοτεινό δωμάτιο. Πρέπει λοιπόν να βρεθούν τρόποι ώστε να επανέρθουν οι συνθήκες άνεσης στον χώρο ενδιαφέροντος. Στην επόμενη ενότητα λοιπόν θα ελεγχθεί κατά πόσο θα επηρεάσουν το μοντέλο μια σειρά από παράγοντες όπως είναι η παροχή όγκου αέρα του ανεμιστήρα, η προσθήκη κάποιου επιπλέον παραθύρου ή και στεγάστρου μπροστά από την τζαμαρία του τοίχου Trombe και οποιαδήποτε αλλαγή στο πρόγραμμα λειτουργίας του ενεργητικού τοίχου Trombe.

## 2.7 Προτάσεις βελτίωσης των εφαρμογών Trombe

Κάθε παράγοντας που αναφέρθηκε παραπάνω θα εξεταστεί σε αυτή την ενότητα ξεχωριστά, ώστε να γίνει κατανοητή η επίδραση του καθενός. Ύστερα θα γίνει μια προσπάθεια να συνδυαστούν κάποιες τακτικές βελτίωσης της κατάστασης μέσα στο δωμάτιο σε ένα νέο ενισχυμένο μοντέλο.

### **Παροχή Όγκου Αέρα Ανεμιστήρα**

Είναι προφανές ότι αν αλλάξει η παροχή όγκου που περνά μέσα από τον ανεμιστήρα Trombe, αλλάζει και ο όγκος θερμού αέρα του διακένου που εισέρχεται στο κυρίως δωμάτιο. Προφανώς όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή όγκου που περνά μέσα στον ανεμιστήρα τόσο



72 Εικόνα 2.7.1: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές παροχές όγκου ανεμιστήρα κάποιες χειμερινές μέρες

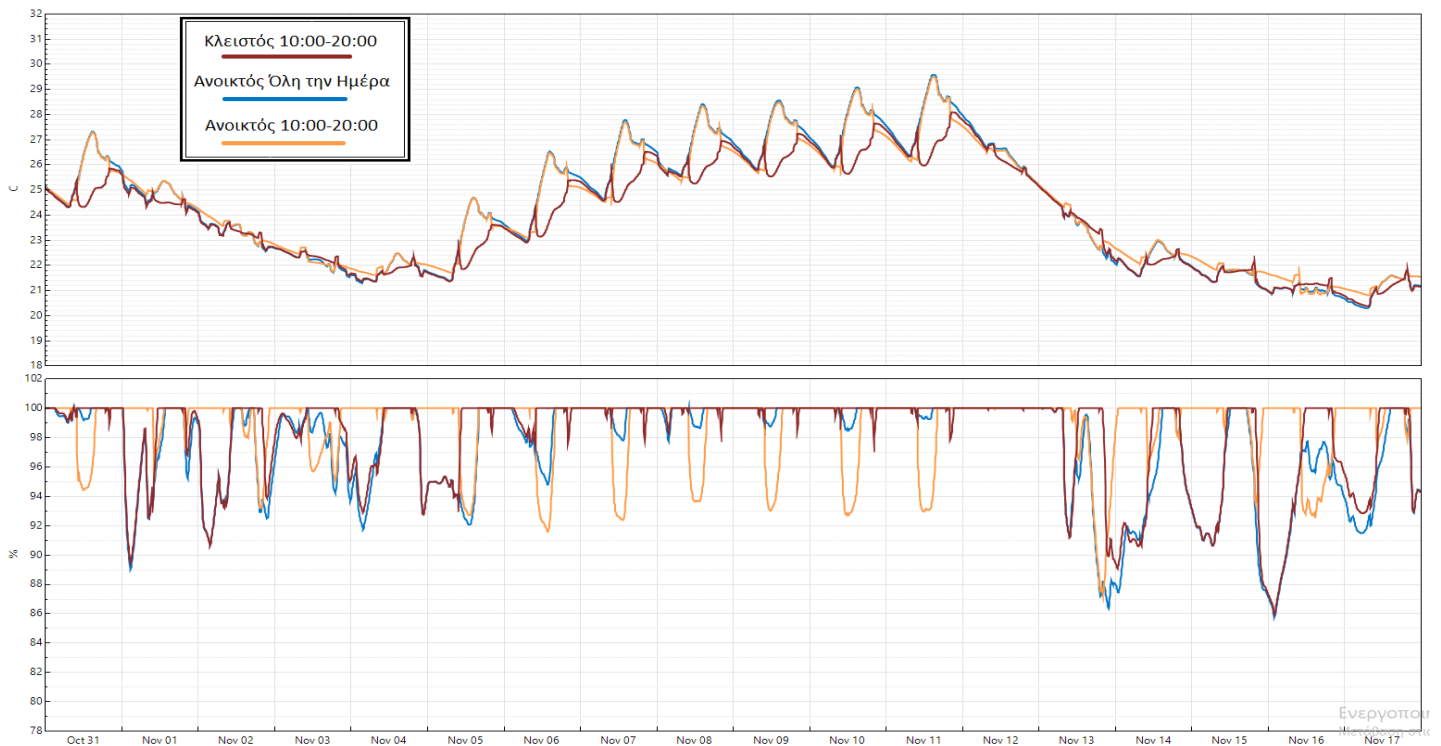
μεγαλύτερη γίνεται η μεταφοράς θερμότητας. Αυτό φαίνεται στην παραπάνω εικόνα που απεικονίζει ένα διάγραμμα σύγκρισης μεταξύ διαφόρων παροχών. Στις παραπάνω ενότητες η παροχή όγκου αέρα είχε δηλωθεί σε  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , ενώ τώρα θα εξεταστούν και οι παροχές  $0,01$  ,  $0,035$  ,  $0,05$  ,  $0,1$  ,  $0,2$  ,  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Σημειώνεται επίσης στο EnergyPlus ότι πέρα από την καρτέλα Design Flow Rate στην κατηγορία AirLoop:HVAC και στην κατηγορία Fan:Constant Volume, αλλάζει η μέγιστη παροχή όγκου και στην κατηγορία Air Terminal:SingleDuct:Uncontrolled ώστε να τρέξει σωστά η προσομοίωση.

Επιβεβαιώνεται βέβαια από την εικόνα 7.1, που απεικονίζει τρεις τυχαίες ημέρες της χειμερινής περιόδου, ότι όσο περισσότερο αυξάνεται η παροχή του αέρα που διακινεί ο ανεμιστήρας, τόσο αυξάνεται και η θερμοκρασία του κυρίως δωματίου. Αυτό βέβαια συμβαίνει μόνο όταν είναι ενεργός ο ανεμιστήρας Trombe, όπως είναι και φυσικό. Το ενδιαφέρον κομμάτι του παραπάνω διαγράμματος είναι ότι και η υγρασία μειώνεται όσο μεγαλύτερη παροχή όγκου διακινείται. Και μάλιστα σε κάποιες φάσεις φαίνεται ότι, για παροχή όγκου  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , η υγρασία κατεβαίνει σε ανεκτά επίπεδα γύρω στο 68%. Το ατυχές εδώ είναι ότι όσο αυξάνεται η παροχή όγκου και μειώνεται το ποσοστό σχετικής υγρασίας, η θερμοκρασία του δωματίου ανεβαίνει αρκετούς βαθμούς, φτάνοντας στις ακραίες περιπτώσεις και στους  $32^\circ\text{C}$ .

Συμπερασματικά, επειδή έχει επιλεγεί ανεμιστήρας σταθερής παροχής όγκου για τις συγκεκριμένες εφαρμογές, ορίζεται ότι στις από εδώ και πέρα δοκιμές και συγκρίσεις η παροχή όγκου του αέρα στον ανεμιστήρα θα είναι  $0,035 \text{ m}^3/\text{s}$ , ακριβώς γιατί στο παράδειγμα του ενεργητικού τοίχου Trombe που αναλύθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο έδειξε ότι η θερμοκρασία σε όλη την διάρκεια του χρόνου παραμένει πολύ υψηλή στο δωμάτιο και θα ήταν καλό να μειωθεί κάπως. Παρ'όλα αυτά το ποσοστό της σχετικής υγρασίας δεν μειώνεται σημαντικά, ούτε σε αυτή την περίπτωση αλλά αντίθετα αυξάνεται ελάχιστα. Πιθανόν αυτό να αλλάξει στο τελικό βελτιωμένο μοντέλο, αλλά για τώρα αυτή θα είναι η ενδεικνύμενη παροχή.

## Προγράμματα Λειτουργίας Ανεμιστήρα Trombe

Όπως φάνηκε και ακριβώς πριν, το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για το δωμάτιο προκύπτει όπως είναι λογικό κατά την λειτουργία του ανεμιστήρα Trombe. Σε εκείνο το διάστημα γίνεται η σημαντική μεταφορά θερμότητας μέσω του θερμού αέρα του διακένου και άρα οι ώρες που καλύπτει η λειτουργία Trombe είναι πολύ σημαντικές. Παρατηρείται ότι όσο διαρκεί η ημέρα και υπάρχει ηλιοφάνεια ο τοίχος Trombe δέχεται ακτίνες ηλίου, η θερμοκρασία του αέρα στο διάκενο παραμένει υψηλή. Αν τώρα ο ανεμιστήρας Trombe λειτουργήσει παραπάνω από ότι ορίζει το προκαθορισμένο πρόγραμμα των 10:00-20:00, ίσως η θερμοκρασία στο διάκενο να πέσει και άρα να μην διατηρείται ικανή θερμοκρασία στο δωμάτιο. Στην παρακάτω περίπτωση θα εξεταστούν πέρα από το προκαθορισμένο πρόγραμμα και ένα πρόγραμμα που ορίζει ότι ο ανεμιστήρας λειτουργεί όλη την ημέρα, εξετάζεται και ένα πρόγραμμα όπου ο τοίχος Trombe λειτουργεί μόνο τις βραδυνές ώρες.



73 Εικόνα 2.7.2: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικά προγράμματα λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe κάποιες χειμερινές μέρες

Παραπάνω φαίνονται αρκετές μέρες της χειμερινής περιόδου, ακριβώς για να φανεί η διαφορά ανάμεσα σε μέρες με υψηλή και χαμηλότερη ηλιοφάνεια. Από την 5η έως την 11η Νοεμβρίου, παραδείγματος χάρη, που υπάρχει ηλιοφάνεια γίνεται εμφανές ότι το πρόγραμμα των 10:00-20:00 παράγει παρόμοιο αποτέλεσμα με το πρόγραμμα ολόκληρης της μέρας, εκτός από το διάστημα 20:00-3:00. Σε εκείνο το διάστημα το πρόγραμμα ολόκληρης της ημέρας αποδίδει στο κυρίως δωμάτιο μεγαλύτερη θερμοκρασία από ότι το προκαθορισμένο πρόγραμμα, διότι ο ανεμιστήρας Trombe συνεχίζει την λειτουργία του και κατά την διάρκεια της νύκτας. Αυτό ακριβώς το πλεονέκτημα, μετατρέπεται σε μειονέκτημα σε μέρες με μικρότερη ηλιοφάνεια, όπως φαίνεται στις μέρες πριν την 5η Νοεμβρίου και μετά την 11η Νοεμβρίου. Λόγω της μείωσης της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στον τοίχο Trombe το διάκενο έχει μικρότερη θερμοκρασία και άρα όσο περισσότερο κρατάει η ανακύκλωση του αέρα μέσω του συστήματος Trombe τόσο θα μειώνεται η δυνατότητα του τοίχου να συσσωρευτεί θερμότητα. Όπως φαίνεται λοιπόν, τις συγκεκριμένες μέρες το πρόγραμμα όλης της ημέρας υστερεί από άποψη θερμοκρασίας έναντι του προγράμματος των 10:00-20:00. Επομένως σε μια εφαρμογή Trombe προτιμάται όποιο πρόγραμμα λειτουργεί κατά την διάρκεια των περισσότερων ημερών του χρόνου, και αυτά τα προγράμματα είναι όσα λειτουργούν κατά την διάρκεια της ημέρας ή και λίγο περισσότερο. Το να αφεθεί ο ανεμιστήρας Trombe ανοικτός όλη την μέρα θα απέδιδε μεν ελάχιστα καλύτερα θερμοκρασίες σε μέρες με ηλιοφάνεια, αλλά δεν αξίζει το ρίσκο για μέρες όχι και τόσο ηλιόλουστες.

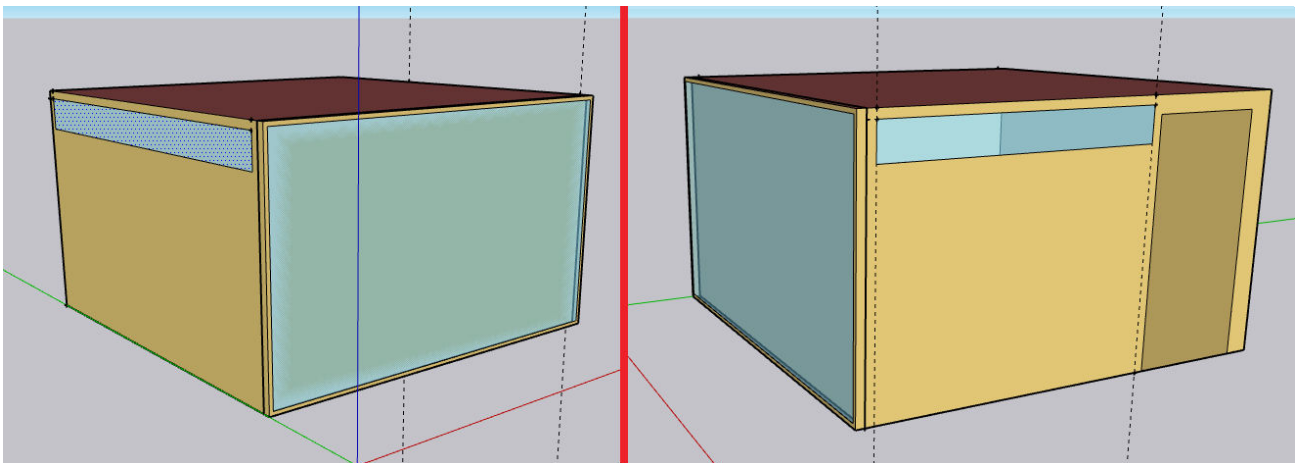
Το πρόγραμμα που κρατάει ανενεργό τον ανεμιστήρα Trombe κατά την μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας αποδίδει θερμοκρασία μικρότερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις. Ουσιαστικά τις ώρες που ο ανεμιστήρας παραμένει κλειστός μπορεί να γίνει λόγος για μια παθητική εφαρμογή Trombe. Αυτή η εφαρμογή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μέρες με υπερβολική ηλιοφάνεια που μπορεί να προκαλέσει υψηλές θερμοκρασίες στο δωμάτιο, ακριβώς για να περιορίσει κάπως αυτό το φαινόμενο διατηρώντας παράλληλα την ροή θερμού αέρα τις βραδυνές ώρες. Εδώ δεν υπάρχει φόβος για απώλεια της θερμότητας από τον τοίχο Trombe κατά τις βραδυνές ώρες, αφού τονίζεται η προϋπόθεση ότι οι μέρες χρήσεις του συγκεκριμένου προγράμματος είναι ηλιόλουστες.



Η υγρασία βέβαια δείχνει να είναι σε κάθε περίπτωση πολύ υψηλή. Ίσως σε μέρες χωρίς ηλιοφάνεια το πρόγραμμα ανοίγματος του ανεμιστήρα όλη την ημέρα και αυτό που σταματά τον ανεμιστήρα την καθ'όλη την διάρκεια της μέρας να αποδίδουν κάπως χαμηλότερα επίπεδα υγρασίας(2-3%) από αυτό των 10:00-20:00, αλλά στις υπόλοιπες είναι το μόνο πρόγραμμα που κατεβάζει το ποσοστό κάτω από 94%.

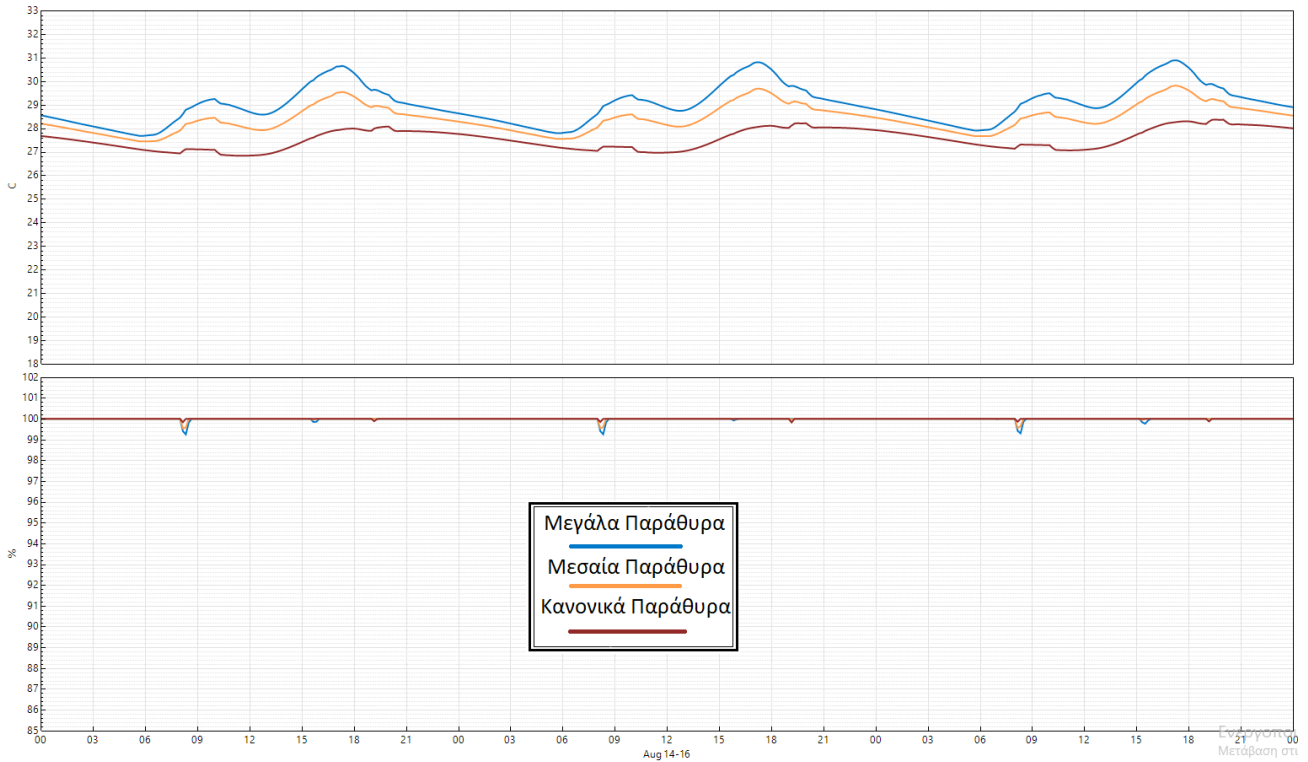
### Επιφάνεια Παραθύρων Δωματίου-Επιπλέον Παράθυρα

Όπως έχει ειπωθεί ξανά ,το δωμάτιο έχει ελάχιστη επιφάνεια από την οποία μπορεί η ηλιακή ακτινοβολία να περάσει απευθείας μέσα του και αυτή περιορίζεται σε 1,21 m<sup>2</sup> ενός τετραγωνικού παραθύρου στην δυτική πλευρά του δωματίου. Αν αυξηθεί η επιφάνεια των υαλοπινάκων συνολικά στο κτίριο ,αλλά και στην ανατολική πλευρά του έτσι ώστε να υπάρχει διείσδυση ακτινοβολίας και την διάρκεια του ξημερώματος, τότε το δωμάτιο σίγουρα δεν θα είναι πλέον ανήλιαγο. σίγουρα επίσης θα αυξηθεί κάπως και η θερμοκρασία του, αλλά το θέμα είναι αν θα μειωθεί αισθητά η υγρασία που συνεχίζει να κυμαίνεται σε υψηλά ποσοστά. Στις επόμενες εικόνες λοιπόν συγκρίνονται το ενεργητικό μοντέλο -με παροχή 0,035 m<sup>3</sup>/s στον ανεμιστήρα που λειτουργεί τις ώρες 10:00-20:00- χωρίς καμία επέμβαση στα παράθυρα του, με ίδια μοντέλα αλλά με την προσθήκη μεγαλύτερων παραθύρων στην ανατολική και δυτική πλευρά του δωματίου. Τα παράθυρα τοποθετούνται, σε απόσταση 0,1 m από την οροφή και τους πλαινούς τους τοίχους, και με μήκος 4,8m για αυτό της δυτικής πλευράς, και το ίδιο για αυτό της ανατολικής πλευράς, το οποίο φτάνοντας μέχρι την πόρτα έχει μήκος 3,23m. Το πλάτος τους τώρα, ποικίλει από 0,4 ως 0,6m καθώς θα εξεταστούν δύο περιπτώσεις. Στην εικόνα 7.3 φαίνεται πως θα μοιάζει το μοντέλο με τα επιπλέον παράθυρα, ενώ στις 7.4 και 7.5 ακολουθεί η σύγκριση θερμοκρασιών και υγρασίας.



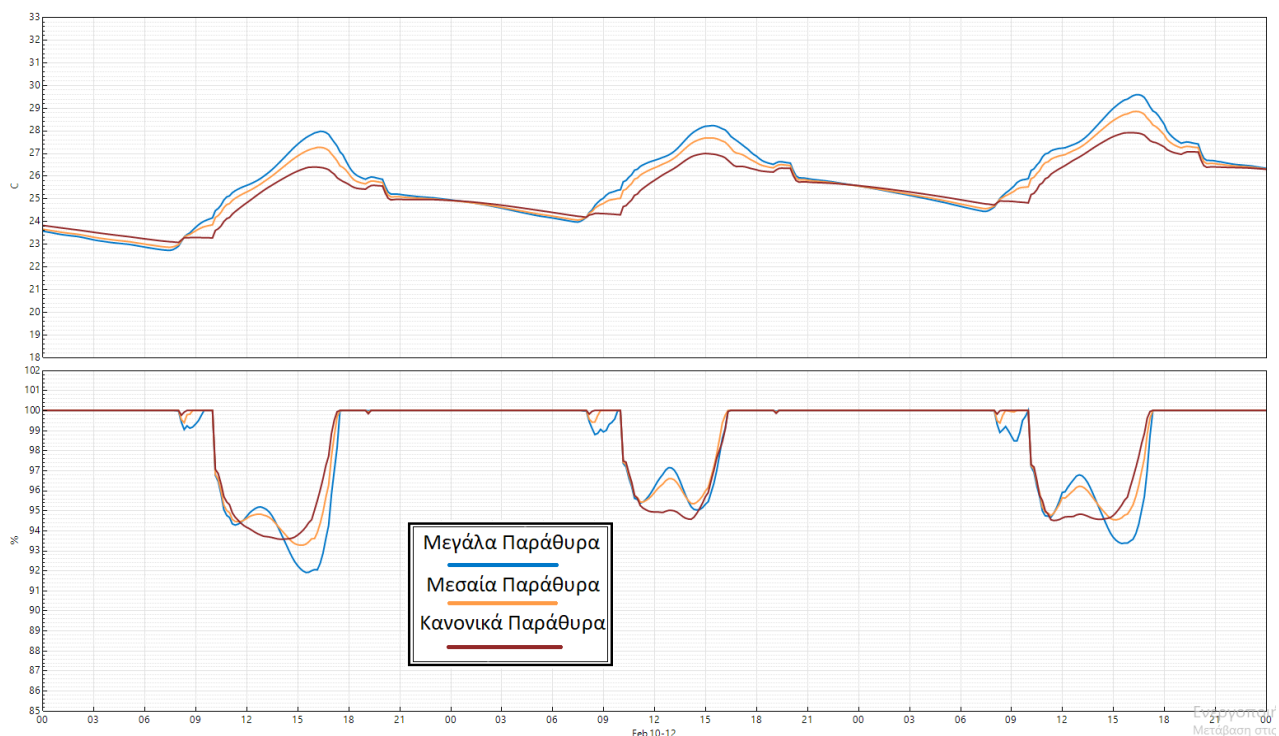
74 Εικόνα 2.7.3: Παρουσίαση αλλαγής και προσθήκης επιπλέον παραθύρων στο SketchUp





75 Εικόνα 2.7.4: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές επιφάνειες παραθύρων κάποιες θερινές μέρες

Είναι πρόδηλο, ότι εξετάζοντας την καλοκαιρινή περίοδο και με τον ανεμιστήρα του Trombe ανενεργό τα παράθυρα δεν έκαναν την παραμικρή διαφορά όσον αφορά το ποσοστό της σχετικής υγρασίας και οι συνθήκες παραμένουν ανυπόφορες. Εκτός από αυτό λόγω της μεγαλύτερης συγκέντρωσης ακτινοβολίας μέσα στο δωμάτιο, η θερμοκρασία μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η επιφάνεια των υαλοπινάκων στο δωμάτιο. Η θερμοκρασία δηλαδή μπορεί να ανέβει 1-2°C κάθε φορά που αυξάνεται η επιφάνεια των υαλοπινάκων.



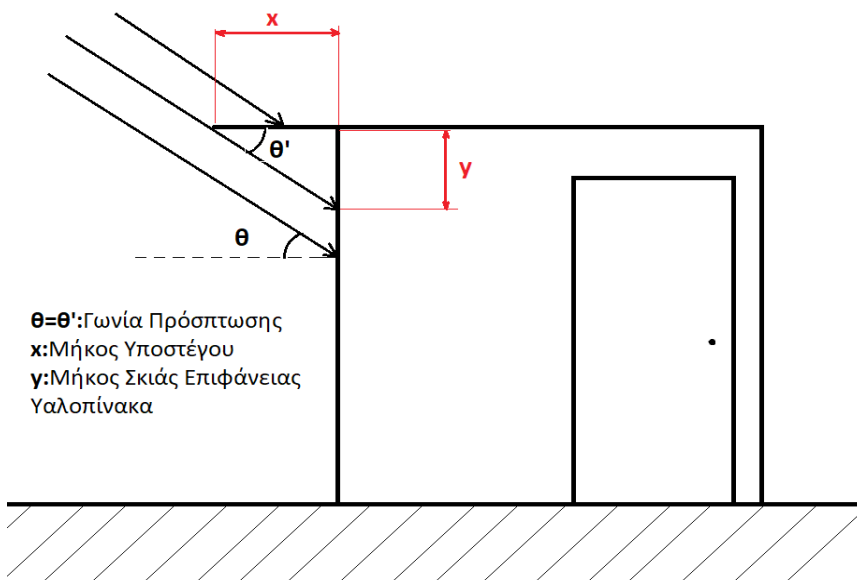
76 Εικόνα 2.7.5: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας για διαφορετικές επιφάνειες παραθύρων κάποιες χειμερινές μέρες

Την χειμερινή περίοδο οι καμπύλες της θερμοκρασίας του δωματίου ακολουθούν παρόμοια πορεία με αυτές της θερινής περιόδου, όταν λειτουργεί ο ανεμιστήρας Trombe. Όταν ο ανεμιστήρας Trombe είναι ανενεργός βέβαια η θερμοκρασία των τριών περιπτώσεων είναι παρόμοια. Γίνεται ειδική μνεία στο ξημέρωμα (9:00) και στην δύση (19:00) του ηλίου όπου η θερμοκρασία αυξάνεται και αυτό παρατηρείται στις χαρακτηριστικές κορυφές που γίνονται σε εκείνες τις ώρες και ξεχωρίζει από την χαρακτηριστική κορυφή που γίνεται στο ηλιακό μεσημέρι λόγω του Trombe. Η υγρασία από την άλλη ακολουθεί παρόμοια καμπύλη σε όλες τις περιπτώσεις, αλλά στις εφαρμογές με τα παράθυρα υπάρχουν πάλι χαρακτηριστικές κορυφές, μεταφράζοντας και εδώ την ενισχυμένη ακτινοβολία κατά τις πρωινές ώρες και τις ώρες πριν την δύση.

Τελικά ούτε αυτή η αλλαγή ήταν ικανή να αλλάξει την κατάσταση με τις συνθήκες άνεσης στο δωμάτιο. Το μόνο βέβαια που αλλάζει, είναι ότι υπάρχει περισσότερο φυσικό φως μέσα στο δωμάτιο από το προκαθορισμένο μοντέλο. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην μείωση του τεχνητού φωτισμού που χρειάζεται για να διαβιώσει ένα άτομο μέσα στο δωμάτιο.

### Τεχνητή Σκίαση Επιφανειών

Μέχρι στιγμής κάθε επιφάνεια του κτιρίου που εξετάζεται, εκτίθεται ανεμπόδιστα από οποιονδήποτε περιφερειακό παράγοντα στην ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει γιατί το μοντέλο υπόκειται σε ιδανικές συνθήκες όπου είναι τοποθετημένο σε μια περιοχή χωρίς παρακείμενα κτίρια ή βλάστηση. Αν όμως πρέπει να ελεγχθεί η υψηλή θερμοκρασία που προκύπτει σε κάποιο χώρο του κτιρίου, τότε είναι χρήσιμο να χρησιμοποιηθεί κάποιο τεχνητό μέσο σκίασης του κτιρίου. Η επιφάνεια που θα μπορούσε να σκιαστεί στο συγκεκριμένο μοντέλο, ώστε να ελεγχθεί η θερμοκρασία του κυρίως δωματίου, είναι η νότια επιφάνεια του χώρου του διακένου, δηλαδή ο μεγάλος υαλοπίνακας της εφαρμογής Trombe. Με αυτόν τον τρόπο η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στον υαλοπίνακα και κατά συνέπεια στον τοίχο Trombe θα μειωθεί ρίχνοντας και την θερμοκρασία του, αλλά και αυτήν του αέρα στο διάκενο. Συνεκδοχικά θα μπορέσει έτσι να ελεγχθεί και η θερμοκρασία του κυρίως δωματίου που σε αρκετές περιπτώσεις, όταν δεν υπάρχει σκίαση, είναι υψηλή. Για αυτό τον λόγο επιστρατεύεται σε αυτό το κεφάλαιο η χρήση ενός υποστέγου, τοποθετημένου ακριβώς κάθετα στην νότια επιφάνεια του χώρου του διακένου και στο ύψος της οροφής, το οποίο θα εμποδίζει τις ακτίνες του ήλιου από το να «χτυπήσουν» το κτίριο.



77 Εικόνα 2.7.6: Σκαρίφημα παρουσίασης γωνίας πρόσπτωσης, μήκους υποστέγου και μήκους σκιάς στον υαλοπίνακα

Το πρώτο θέμα που τίθεται σε αυτή την περίπτωση είναι το μήκος αυτού του σκιάστρου, καθώς είναι επιθυμητό ο υαλοπίνακας να σκιάζεται μεν, χωρίς όμως να χαθεί εντελώς η δυνατότητα θέρμανσης του τοίχου Trombe. Στην σχεδίαση του σκιάστρου λοιπόν πρέπει να ληφθεί υπόψη και η θέση του ήλιου στον ουρανό και άρα η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας στην κάθετη ως προς το έδαφος επιφάνεια του υαλοπίνακα Trombe. Στην παραπάνω εικόνα 7.6 φαίνεται η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$ , η οποία ορίζεται ως η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των ακτίνων του ηλίου και της κάθετης στην επιφάνεια που προσπίπτει η ακτινοβολία. Αντίστοιχα με  $x$  σημειώνεται το μήκος του υποστέγου και με  $y$  το μήκος της σκιάς που σχηματίζεται πάνω στην επιφάνεια του υαλοπίνακα. Επομένως μέσα από απλές τριγωνομετρικές γνώσεις, ορίζεται ότι η σχέση που συνδέει την σκιά με την γωνία πρόσπτωσης είναι η εξής:

$$\tan\theta' = \tan\theta = \frac{y}{x} \rightarrow y = x \tan\theta$$

και άρα το μήκος της σκιάς εξαρτάται άμεσα από την σταθερά  $x$  που ορίζει το μήκος του υποστέγου αλλά και από την μεταβλητή  $\theta$ , που ως γωνία πρόσπτωσης αλλάζει περιοδικά κατά την διάρκεια του έτους. Το βιβλίο «Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα» του Κ.Α Αντωνόπουλου, ορίζει την σχέση που αποκαλύπτει την γωνία πρόσπτωσης του ηλίου σε κατακόρυφες ως προς το έδαφος επιφάνειες-όπως αυτή του υαλοπίνακα-κάθε χρονική στιγμή του έτους ως εξής:

$$\cos\theta = -\sin(\delta) \cos(\varphi) \cos(\gamma) + \cos(\delta) \sin(\varphi) \cos(\gamma) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\gamma) \sin(\omega)$$

με  $\varphi$ , το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ενδιαφέροντος, εδώ σταθερό και ίσο με  $37,9^\circ$

$\gamma$ , το αζιμούθιο επιφάνειας, δηλαδή την γωνία που σχηματίζει η προβολή της καθέτου της επιφάνειας ενδιαφέροντος στο οριζόντιο επίπεδο με την νότιο κατεύθυνση, προφανώς εδώ ίσο με  $0^\circ$

$\omega$ , την ωριαία γωνία, δηλαδή την γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της Γης. Για οικονομία χρόνου θα γίνει αναφορά μόνο στο ηλιακό μεσημέρι κάθε μέρας που θα εξεταστεί, εξάλλου τότε παίρνει και την υψηλότερη θέση του στον ουρανό ο ήλιος. Επομένως αυτή η γωνία θα είναι επίσης  $0^\circ$

$\delta$ , την ηλιακή απόκλιση, δηλαδή την γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού. Αυτή η γωνία μπορεί να υπολογιστεί, μέσα από ανάλογους τύπους, για όλες της ημέρες ενός έτους. Χάριν οικονομίας χρόνου όμως θα εξεταστεί μόνο η μέση μέρα του κάθε μήνα. Μέση μέρα του κάθε μήνα θεωρείται εκείνη που έχει ηλιακή ακτινοβολία εκτός ατμόσφαιρας περίπου ίση με τη μέση ημερήσια του μήνα. Ο παρακάτω πίνακας που βρέθηκε στο προαναφερθέν βιβλίο παρουσιάζει την γωνία  $\delta$  για την μέση ημέρα κάθε μήνα του έτους.

Μήνας	Μέση Μέρα κάθε Μήνα	Αριθμός Μέρας μέσα στο Έτος n	Γωνία $\delta$ (deg)
Ιανουάριος	17	17	-20,9
Φεβρουάριος	16	47	-13
Μάρτιος	16	75	-2,4
Απρίλιος	15	105	9,4
Μάιος	15	135	18,8
Ιούνιος	11	162	23,1
Ιούλιος	17	198	21,2
Αύγουστος	16	228	13,5

Σεπτέμβριος	15	258	2,2
Οκτώβριος	15	288	-9,6
Νοέμβριος	14	318	-18,9
Δεκέμβριος	10	344	-23

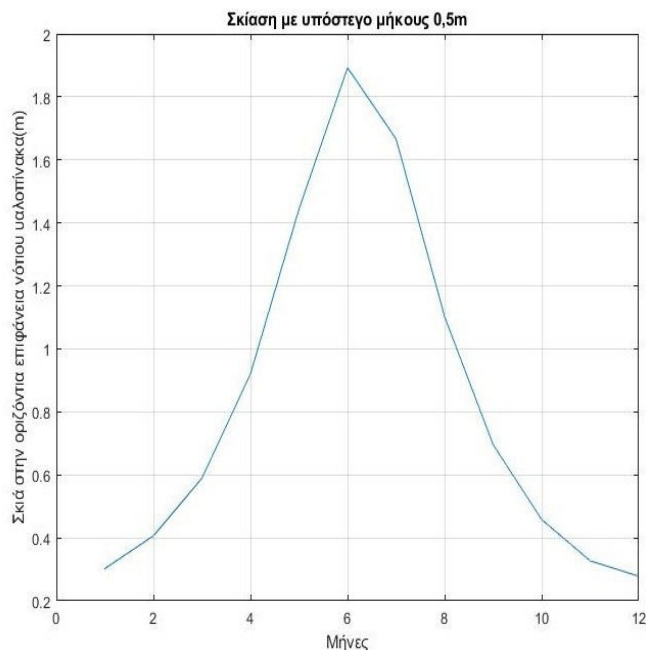
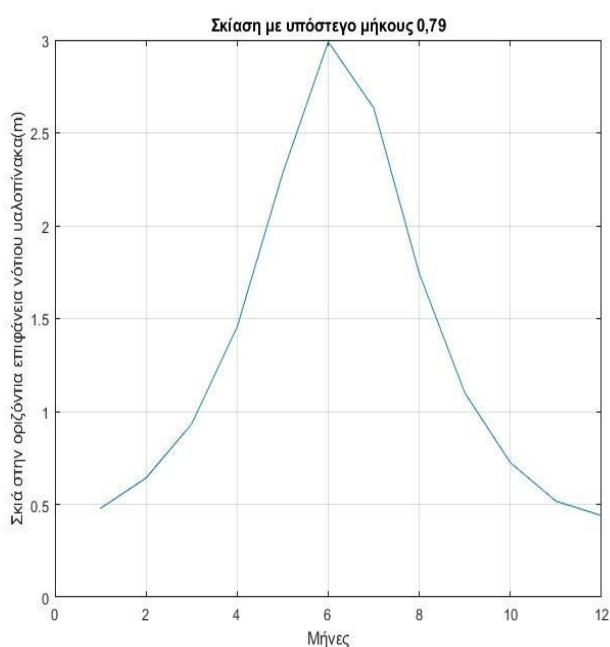
Πίνακας 2.7.7: Γωνία δ, ηλιακής απόκλισης, για κάθε μήνα του έτους

Αυτός ο πίνακας σχηματίστηκε με βάση την παρακάτω σχέση  $\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{(284+n)}{365}\right)$

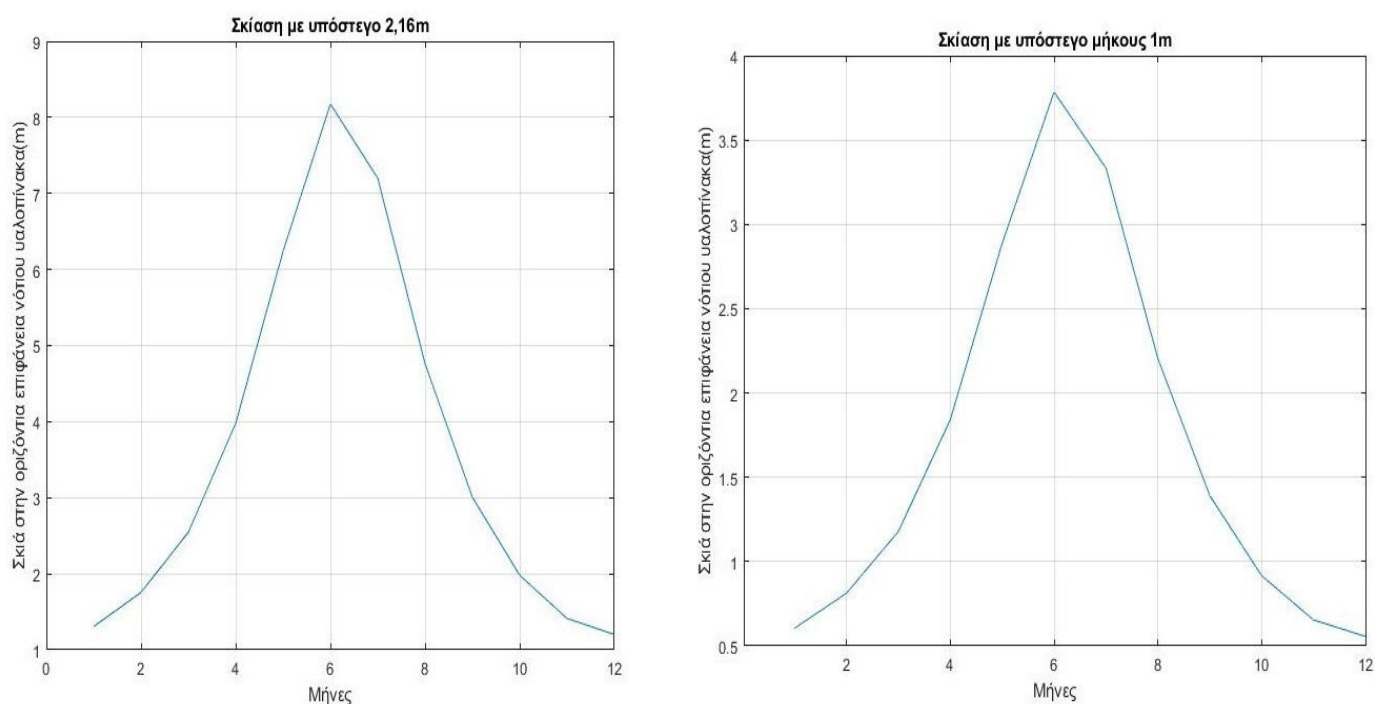
Με δεδομένα όλα τα ειπωθέντα παραπάνω, μπορεί να υπολογιστεί πλέον η γωνία πρόσπτωσης στην νότια επιφάνεια του διακένου για το ηλιακό μεσημέρι κάθε μέσης μέρας του μήνα, άρα και το μήκος της ανάλογης σκιάς που σκεπάζει τον υαλοπίνακα κατά τις ίδιες περιόδους. Το μόνο που απομένει είναι ο ορισμός του μήκους του υποστέγου. Το υπόστεγο βέβαια πρέπει να σχεδιαστεί έχοντας υπόψη ότι η σκιά που προσφέρει είναι επιθυμητή πολύ περισσότερο τους καλοκαιρινούς μήνες από ότι τους χειμερινούς. Επομένως θα εξεταστούν κάποια μήκη υποστέγου τα οποία προσφέρουν σκιά σε όλη την νότια επιφάνεια του διακένου την μέση μέρα του Ιουνίου και του Σεπτεμβρίου και επίσης κάποια ενδιάμεσα ή μικρότερα μήκη από αυτά που θα προκύψουν. Για να βρεθούν τα παραπάνω μήκη πρέπει να λυθεί η σχέση για την σκίαση ως προς το μήκος του υποστέγου και αντικαθιστώντας το μήκος της σκιάς με 3m, δηλαδή:

$$x = \frac{3}{\tan\theta}$$

Αρκεί να προσδιορισθεί η γωνία πρόσπτωσης τον Ιούνιο και τον Σεπτέμβριο, που είναι  $75.2^\circ$  και  $54.3^\circ$  αντίστοιχα. Προκύπτουν λοιπόν μήκη υποστέγου 0,79, 2,16, ενώ θα εξεταστούν επίσης και τα μήκη 0,5 και 1 m.



78Εικόνα 2.7.8: Σκιάσεις, συνάρτησε μήνα του έτους, στον υαλοπίνακα με υπόστεγα μήκους 0,5 και 0,79m



79Εικόνα 2.7.9: Σκιάσεις ,συναρτήσεϊ μήνα του έτους ,στον υαλοπίνακα με υπόστεγα μήκους 1 και 2,16m

Από τις παραπάνω εικόνες φαίνεται ότι όταν το σκιάστρο φτάνει σε μήκος τα 2,16m,η επιφάνεια του υαλοπίνακα σκιάζεται ολόκληρη από τον Απρίλιο μέχρι τον Σεπτέμβριο,δηλαδή 5 μήνες του έτους.Από τον Μάρτιο μέχρι τον Οκτώβριο,άρα για 7 μήνες του έτους, η σκιά που δημιουργείται καλύπτει τουλάχιστον 2m.Επίσης σε καμία περίπτωση η σκιά που δημιουργείται στον υαλοπίνακα δεν είναι κάτω από 1m.Τους καλοκαιρινούς μήνες,λοιπόν, η ανάγκη για σκίαση υπερκαλύπτεται.Όμως τους χειμερινούς μήνες πιθανόν η σκιά που δημιουργείται να είναι υπερβολικά μεγάλη και να μην επιτρέπει την απαραίτητη θέρμανση του τοίχου Trombe.Σημειώνεται επίσης ότι λόγω του μεγάλου μήκους του υποστέγου μπορεί να χρειαστεί κάποια επιπλέον στήριξη για την τοποθέτηση του.

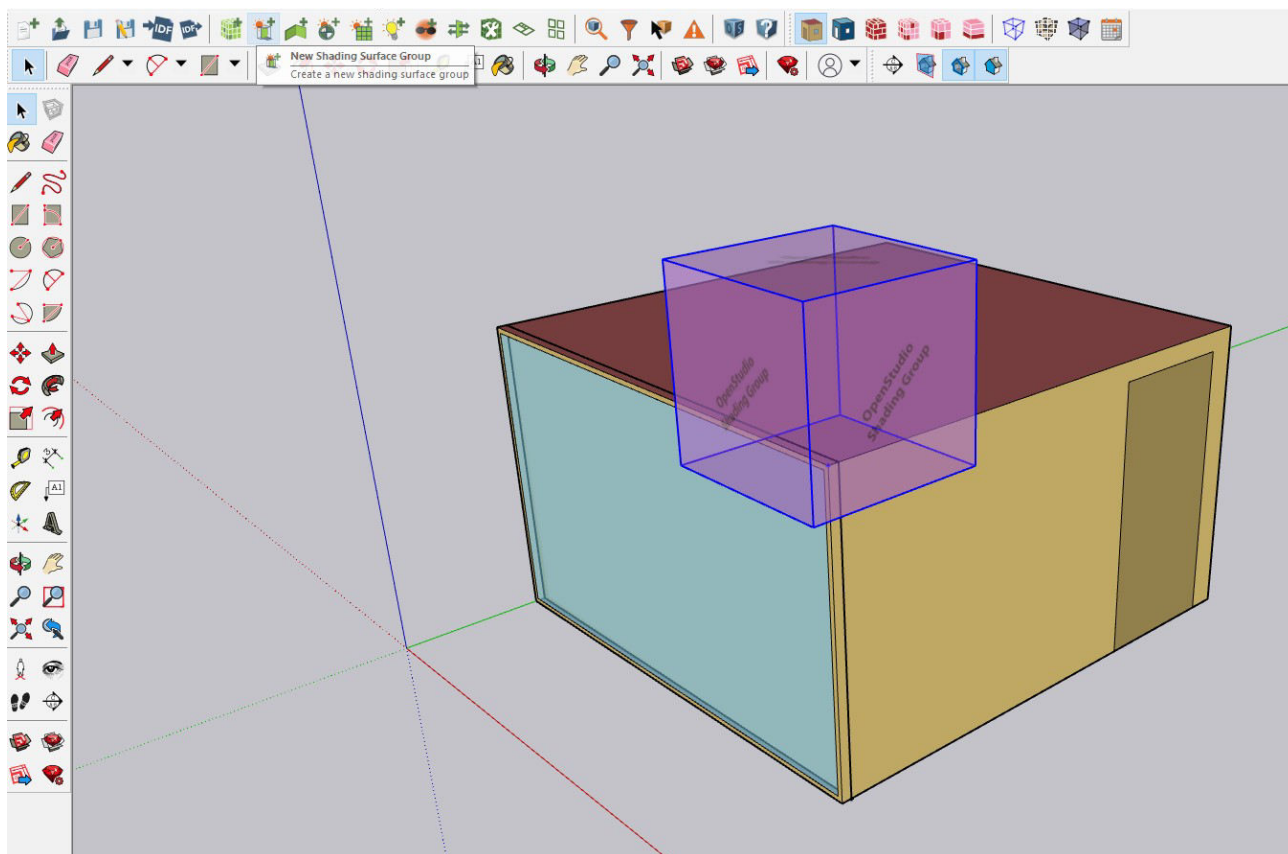
Στην άλλη πλευρά,αν τοποθετηθεί στο κτίριο,υπόστεγο με μήκος 0,5m η σκιά που δημιουργείται δεν ξεπερνά ποτέ τα 2m.Επίσης κατά την καλοκαιρινή περίοδο η σκιά στον υαλοπίνακα κυμαίνεται από 0,7-1,9m,κάτι που ίσως σημαίνει ότι δεν καλύπτεται επαρκώς η ανάγκη για σκίαση.Η χειμερινή περίοδος βέβαια χαρακτηρίζεται από μια σκιά μήκους κάτω από 1m,κατά την πλειοψηφία της.Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει μεγαλύτερη δυνατότητα θέρμανσης του χώρου του διακένου.

Για το υπόστεγο με μήκος 1m,υπάρχουν 3 μήνες-από Μάιο μέχρι Ιούλιο-που η σκιά καλύπτει όλον τον υαλοπίνακα και για 5 μήνες-από Απρίλιο μέχρι Αύγουστο-η σκιά είναι τουλάχιστον 2 m.Επίσης η σκιά δεν μειώνεται ποτέ κάτω από 0,5m κάτι που αφήνει περιθώρια για θέρμανση τον χειμώνα.Παρόμοια κατάσταση επικρατεί και όταν το υποστέγασμα είναι 0,79m αλλά αλλάζει το ότι μόνο τον Ιούνιο σκιάζεται όλη η επιφάνεια του υαλοπίνακα.

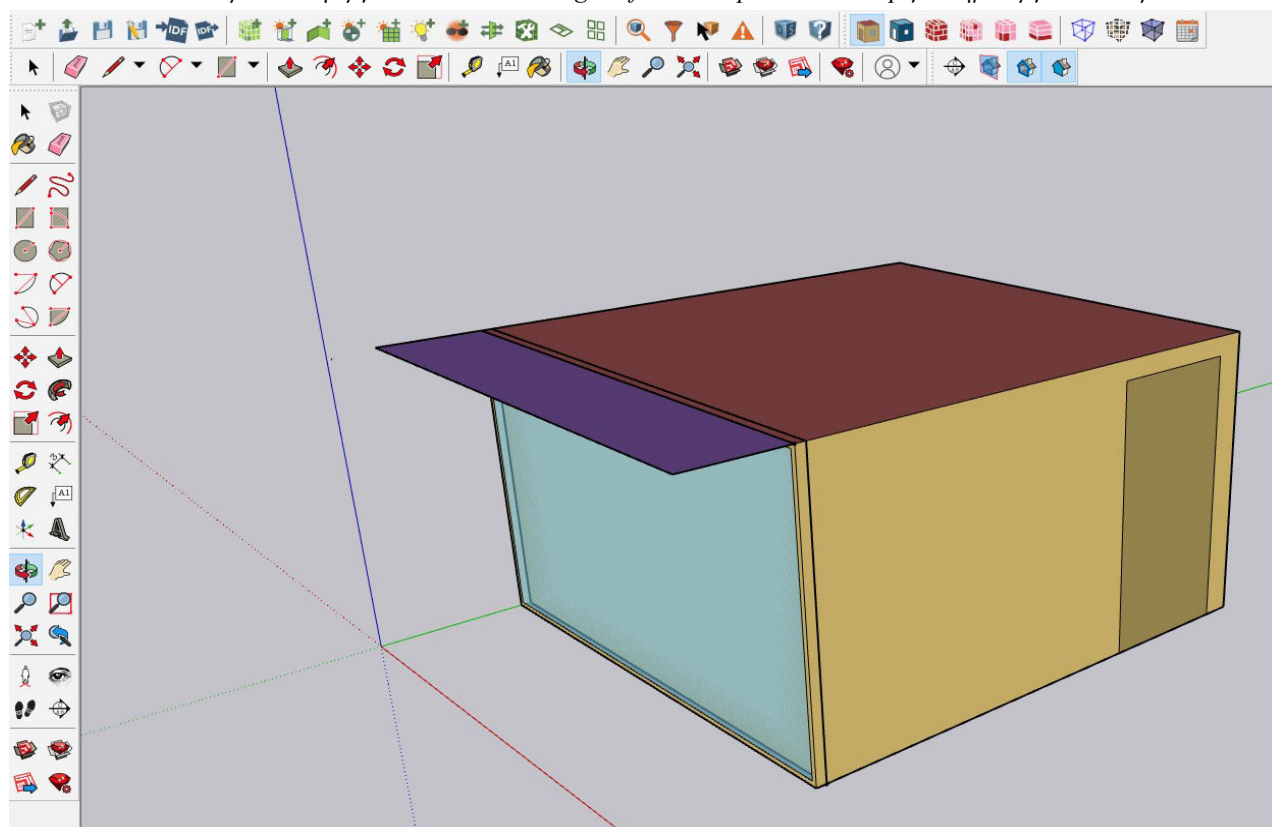
Παρακάτω παρατίθενται εικόνες που αναλύουν το πώς θα σχεδιαστεί ένα υπόστεγο και πως θα προσαρμοστεί στο μοντέλο μέσω EnergyPlus και OpenStudio.Ύστερα θα ξεκινήσει η προσομοίωση για διαφορετικά μήκη υποστέγων και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα ώστε να γίνει και η ανάλογη σύγκριση.

Αρχικά χρησιμοποιώντας το εργαλείο New Shading Surface Group δηλώνεται σε μια από τις γωνίες της οροφής στην νότια πλευρά του κτιρίου,μια νέα ομάδα σκιάστρων.Έπειτα σχεδιάζεται μέσα σε αυτήν την ομάδα ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο υπόστεγο,τοποθετημένο παράλληλα στην οροφή,όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω.Το σκιάστρο αυτό έχει μωβ χρώμα κάτι που

δηλώνει ότι είναι αναπόσπαστο μέρος του κτιρίου και δεν δηλώνεται σαν σκίαστρο κάποιου συγκεκριμένου παραθύρου.



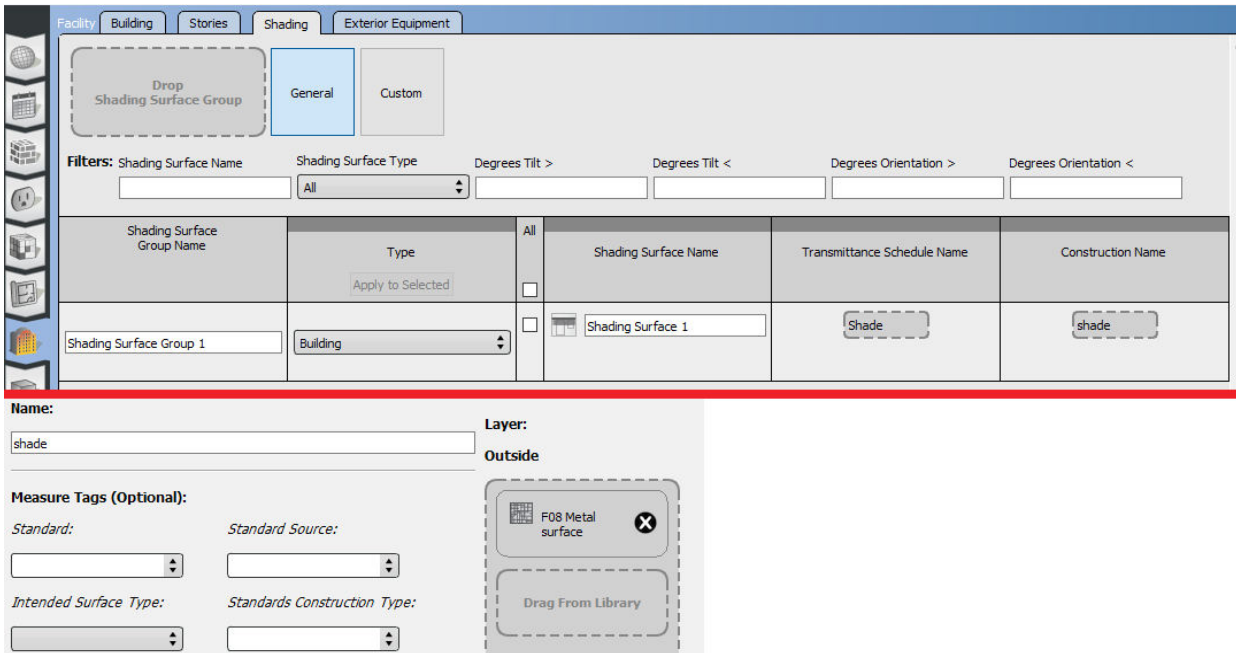
80Εικόνα 2.7.10: Παρουσίαση εργαλείου New Shading Surface Group στο SketchUp για δημιουργία σκιάστρου



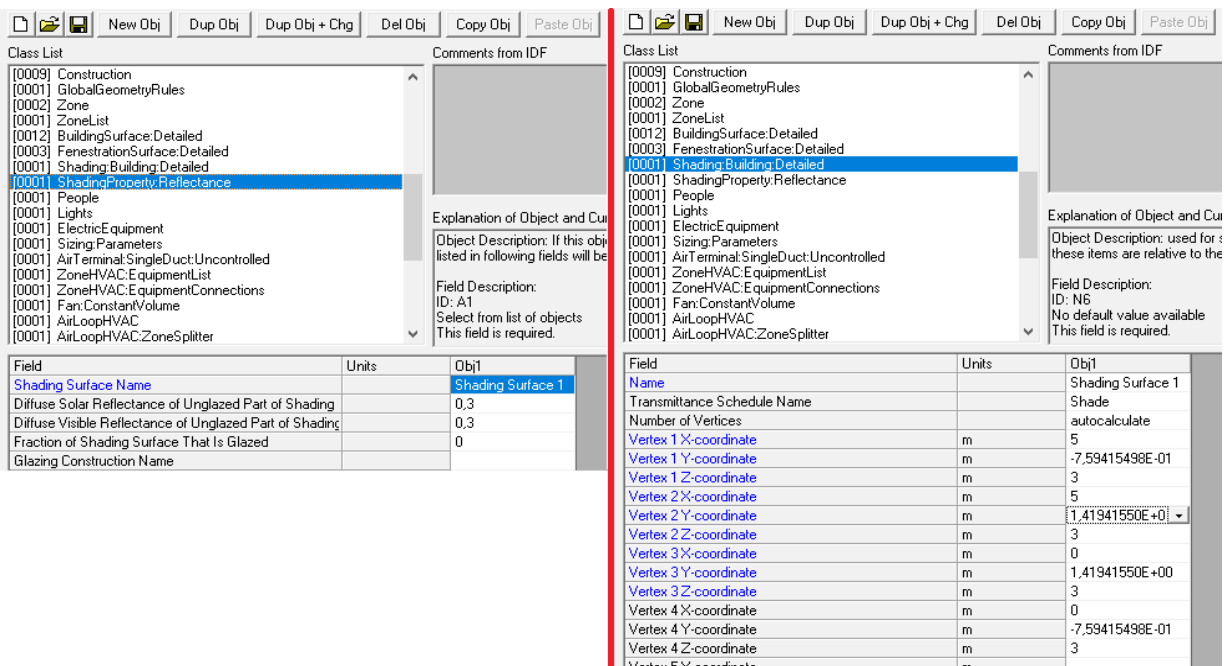
81Εικόνα 2.7.11: Παρουσίαση σκιάστρου στην νότια πλευρά του κτιρίου



Αφού γίνει η μετάβαση στο OpenStudio, πρέπει να δηλωθούν δύο πράγματα. Αρχικά ένα πρόγραμμα στο οποίο θα δηλώνεται η διαπερατότητα του υποστέγου κατά την διάρκεια του έτους και θα είναι μηδενικό για όλους τους μήνες, αφού το υπόστεγο έχει την ίδια σύσταση καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου. Θα μπορούσε αυτό το πρόγραμμα να μην είναι μηδενικό, αν για παράδειγμα το υπόστεγο ήταν αναδιπλούμενο-περίπτωση που δεν θα εξεταστεί τώρα. Το δεύτερο που πρέπει να δηλωθεί είναι η κατασκευή από την οποία είναι φτιαγμένο το υπόστεγο. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται από την βιβλιοθήκη του OpenStudio η μεταλλική επιφάνεια F08 Metal Surface και φτιάχνεται μια αντίστοιχη κατασκευή με το εξής ένα και μοναδικό υλικό. Έπειτα η μετάβαση στο EnergyPlus είναι απλή και φαίνεται στις πιο κάτω εικόνες πως ακριβώς δηλώνεται το υπόστεγο εκεί.

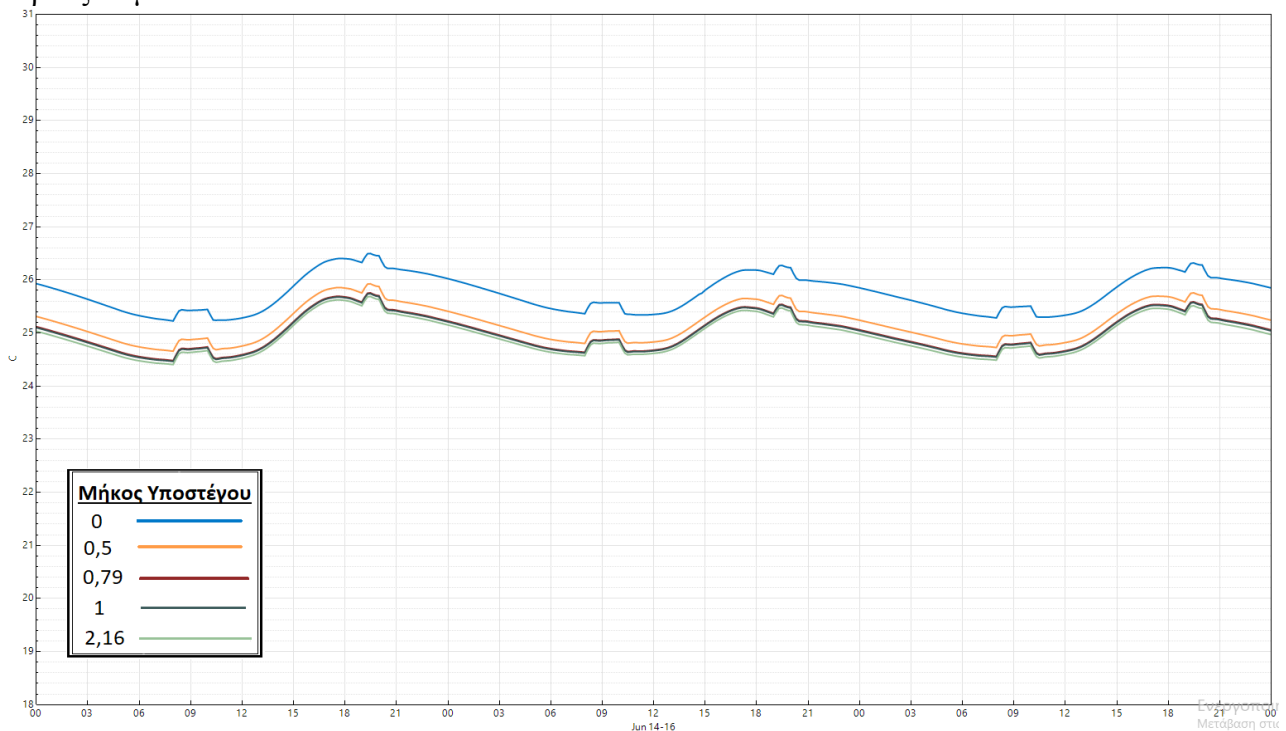


82Εικόνα 2.7.12: Κατασκευή υλικού υποστέγου και αντιστοίχισή του και του αντίστοιχου προγράμματος στην καρτέλα σκίασης στο OpenStudio

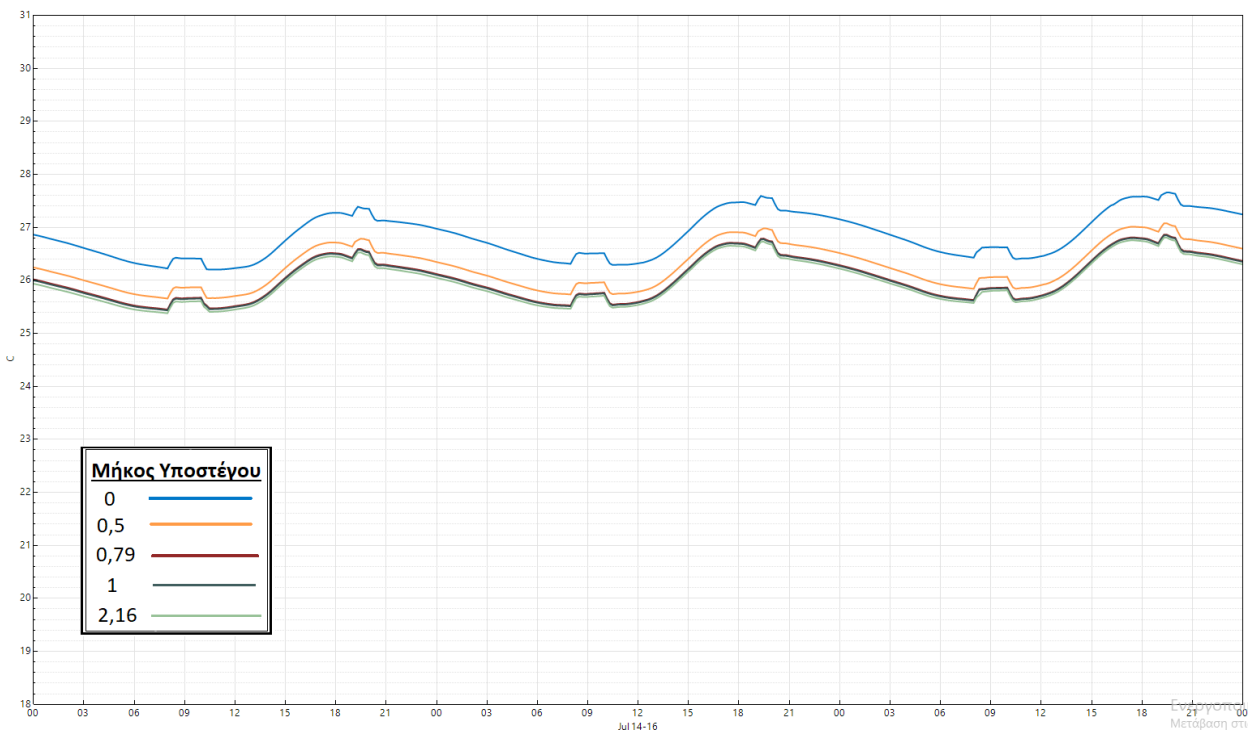


83Εικόνα 2.7.13: Δήλωση χαρακτηριστικών υποστέγου στο EnergyPlus στις καρτέλες ShadingBuilding:Detailed και ShadingProperty:Reflectance

Εφόσον δηλώθηκαν οι παραπάνω κατηγορίες και το EnergyPlus μπορεί να τρέξει η προσομοίωση για κάθε μήκος ελέγχου του υποστέγου, ώστε να συγκριθούν η θερμοκρασία και η υγρασία του κυρίως δωματίου.



84 Εικόνα 2.7.14: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Ιούνιο

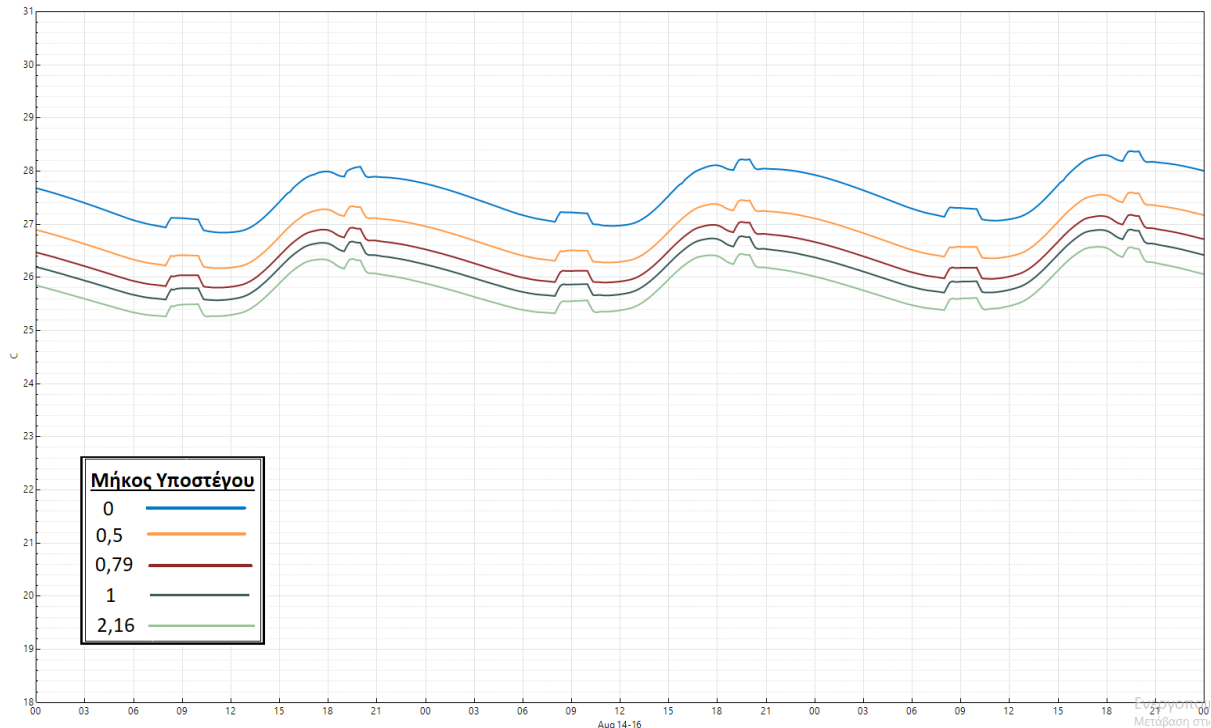


85 Εικόνα 2.7.15: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Ιούλιο

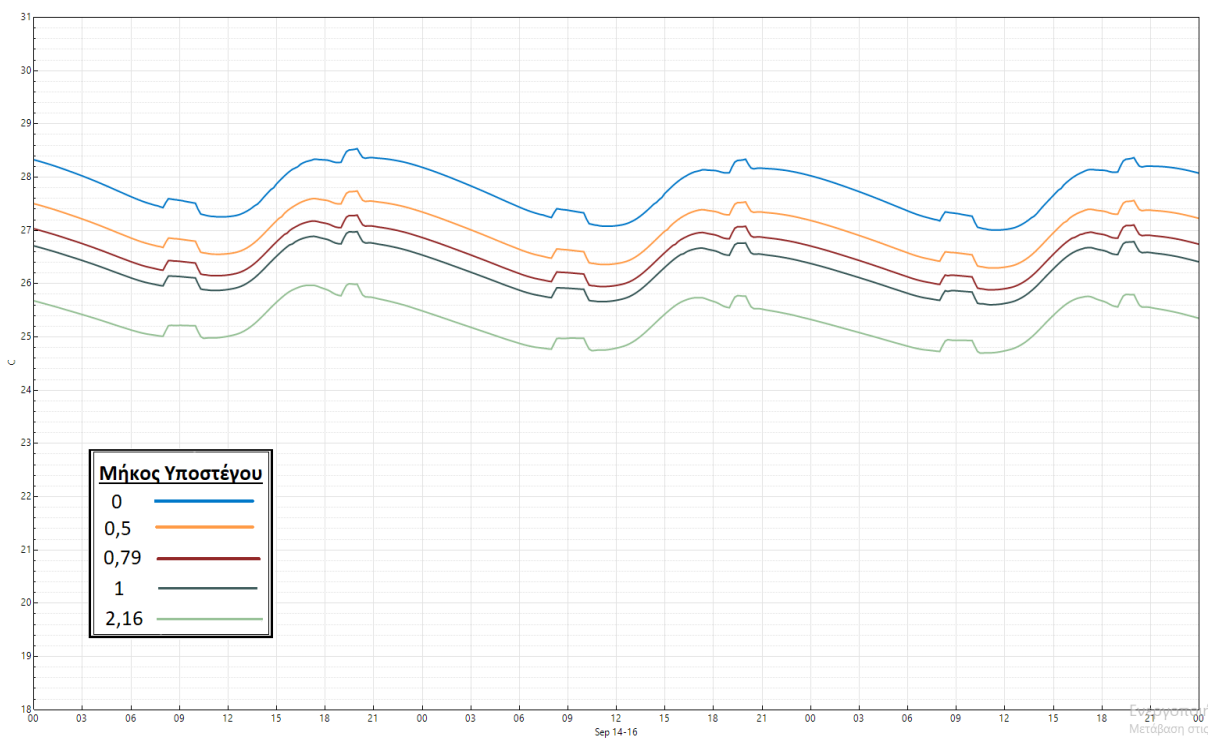
Τον Ιούνιο και τον Ιούλιο, όπως φαίνεται πάνω, υπάρχει μια διαφορά περίπου ενός βαθμού Κελσίου μεταξύ των εφαρμογών με υπόστεγο μήκους 0,79-2,16m και της εφαρμογής χωρίς υπόστεγο. Όταν το υπόστεγο είναι στο 0,5m η θερμοκρασία είναι κατά 0,4°C μεγαλύτερη από ότι στις εφαρμογές με τα μεγαλύτερα υπόστεγα-όπου έχουν μηδαμινή διαφορά στην θερμοκρασία

τους.

Επομένως κατά την διάρκεια των πρώτων δύο μηνών της καλοκαιρινής περιόδου υπάρχει σημαντικό κέρδος στην μείωση της θερμοκρασίας για τουλάχιστον τρεις εφαρμογές με σκίαστρο. Όπως ήταν και λογικό μιας και το ιδανικό υπόστεγο για την μέση μέρα του Ιουνίου θα ήταν 0,79m και του Ιουλίου κοντά στο 1m.



86Εικόνα 2.7.16: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Αύγουστο

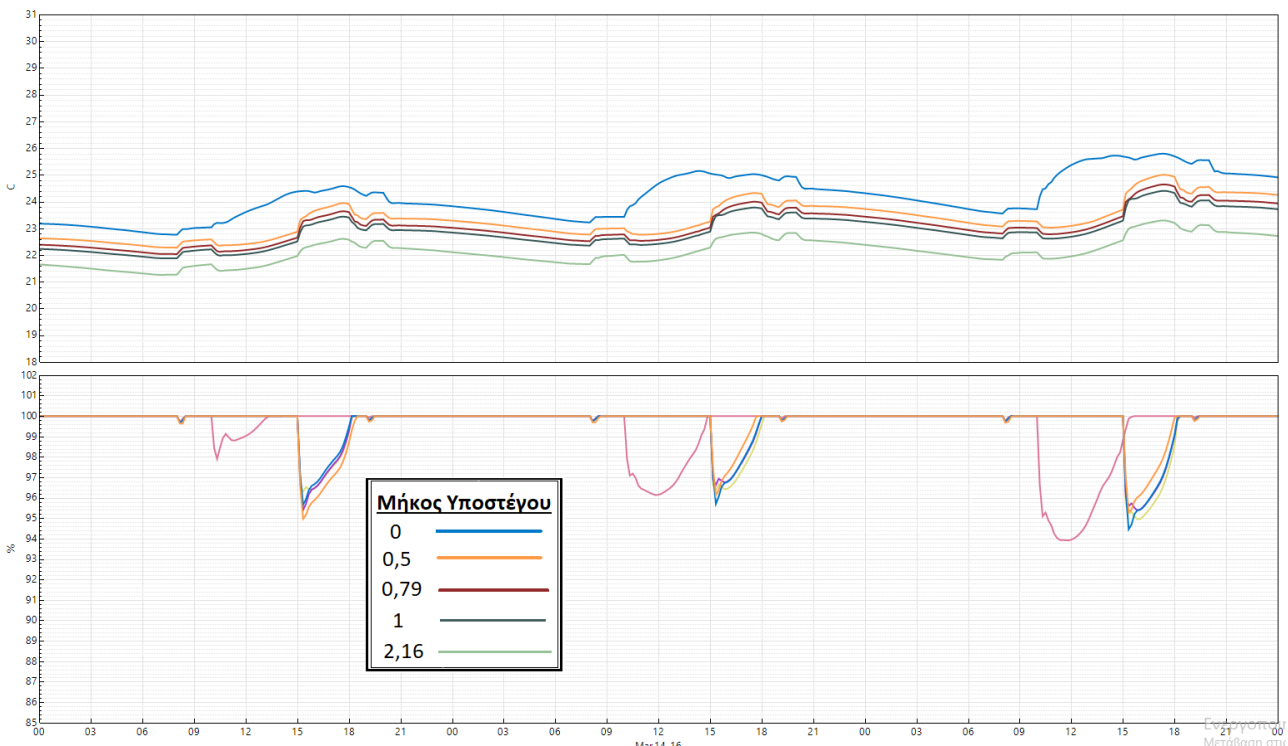


87Εικόνα 2.7.17: Σύγκριση θερμοκρασιών δωματίου για διάφορα μήκη υποστέγων τον μήνα Σεπτέμβριο

Αντίθετα τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο, ακριβώς επειδή το ιδανικό υπόστεγο θα είχε μήκος μεγαλύτερο ή κοντά στα 2m υπάρχει μεγαλύτερη απόκλιση ανάμεσα στις περιπτώσεις. Για το υπόστεγο με μήκος 0,5m η διαφορά με το απλό κτίριο βρίσκεται στον 1 βαθμό Κελσίου, ενώ οι περιπτώσεις με υπόστεγα 0,79 και 1m κυμαίνονται σε διαφορές 1,6-1,8°C. Τέλος για το μεγαλύτερο υπόστεγο από όλα η διαφορά με το κτίριο χωρίς υπόστεγο φτάνει έως και τους 2°C.

Κοιτάζοντας παρακάτω μπορεί να διαπιστωθεί ότι και την χειμερινή περίοδο το υπόστεγο που ξεχωρίζει από πλευράς διαφοράς θερμοκρασίας, είναι αυτό των 2,16m. Τα υπόλοιπα βρίσκονται πολύ κοντά όσον αφορά την θερμοκρασία που αποδίδεται στο κυρίως δωμάτιο. Η σκιά που ρίχνει το πιο μεγάλο υπόστεγο στον υαλοπίνακα είναι αρκετά μεγάλη ως και τις μέρες του Μαρτίου που εξετάζονται πιο κάτω και αυτό δεν είναι κάτι επιθυμητό.

Από άποψη υγρασίας, και πάλι, οι εφαρμογές των υποστέγων δεν ανακουφίζουν καθόλου το δωμάτιο από τα πολύ υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας. Μπορεί να υπάρχει μια μικρή χρονική υστέρηση που αφορά το πότε πέφτει ελάχιστα η υγρασία στο δωμάτιο - και αυτό συμβαίνει και πάλι μόνο για το υπόστεγο των 2,16m - αλλά σε καμία των περιπτώσεων δεν φαίνεται σημαντική διαφορά από το μοντέλο χωρίς υπόστεγο.



88 Εικόνα 2.7.18: Σύγκριση θερμοκρασιών/σχετικής υγρασίας δωματίου για διάφορα υπόστεγα τυχαίες μέρες χειμερινής περιόδου

Εν κατακλείδι ενώ την καλοκαιρινή περίοδο μια λύση ενός αρκετά μεγάλου υποστέγου φαντάζει ιδανική, κατά την χειμερινή περίοδο η θερμοκρασία του κυρίως δωματίου μπορεί να πέσει κάποιους πολύτιμους βαθμούς Κελσίου. Αντίθετα ένα μικρότερο υπόστεγο μπορεί να προσφέρει μεν λιγότερη προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία το καλοκαίρι, αλλά το χειμώνα επιτρέπει στον ήλιο να ζεστάνει τον τοίχο Trombe. Σε κάθε περίπτωση βέβαια η υγρασία δεν αλλάζει ιδιαίτερα με την παρουσία υποστέγου. Σημειώνεται επίσης ότι μια λύση αναδιπλούμενου υποστέγου θα μπορούσε να ήταν ιδανική, με ένα αρκετά μεγάλο υπόστεγο να προσφέρει την σκιά του το καλοκαίρι, ενώ το χειμώνα, μαζεμένο, να επιτρέπει την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλη την επιφάνεια του υαλοπίνακα Trombe. Αυτή η λύση ίσως παρουσιαστεί στο ενισχυμένο μοντέλο του κτιρίου, αν δεν υπάρξει πρόβλημα με υπερβαίνουσες το επιτρεπόμενο θερμοκρασίες σε επιφάνειες του κτιρίου.

## Ανοιγόμενο Παράθυρο

Μέχρι στιγμής καμία εναλλακτική λύση του μοντέλου του ενεργητικού τοίχου Trombe δεν κατάφερε να δώσει κάποια λύση για το πρόβλημα των υπερβολικών ποσοστών σχετικής υγρασίας. Αυτό συμβαίνει κυρίως γιατί σε καμία περίπτωση δεν υπάρχει κάποια πρόβλεψη για τον αερισμό του κυρίως δωματίου. Σε αυτή την ενότητα, αν και δεν θα γίνει κάποια κίνηση προς την δήλωση διαρροών αέρα μέσω χαραμάδων της πόρτας ή σχισμών των παραθύρων, θα σχεδιαστεί το προγραμματισμένο άνοιγμα του παραθύρου που βρίσκεται στην δυτική πλευρά του κτιρίου, ώστε να υπάρξει μια στοιχειώδης μορφή αερισμού του δωματίου.

Υπάρχει λοιπόν η ανάγκη να ορισθεί το πότε θα ανοίγει το παράθυρο ώστε να αερίζεται το δωμάτιο στις επιθυμητές περιόδους της μέρας. Λόγω του μικρού όγκου του δωματίου αν το παράθυρο μείνει για πολύ ώρα ανοικτό οι συνθήκες που θα επικρατήσουν σταδιακά μέσα σε αυτό, θα είναι ίδιες με τις εξωτερικές. Επομένως για αυτήν την εφαρμογή επιλέγεται το παράθυρο να ανοίγει για δύο μόνο ώρες την ημέρα, μια ώρα την φορά. Οι δύο αυτές περιόδους θα είναι η 6:00-7:00-δηλαδή λίγο πριν ξυπνήσει ο ένας και μοναδικός κάτοικος- και η 23:00-24:00-δηλαδή αφού ο κάτοικος έχει κοιμηθεί. Οι περιόδους αυτές επιλέχθηκαν έτσι ώστε στην περίπτωση που οι συνθήκες του δωματίου αλλάξουν κατά πολύ, αυτές δεν θα γίνουν απευθείας αντιληπτές από τον κάτοικο, αφού αυτός θα κοιμάται. Επίσης το πρόγραμμα του παραθύρου δεν συμπίπτει σε κάποια ώρα με αυτό του ανεμιστήρα Trombe και αυτό γίνεται ώστε να μην χαθεί η αύξηση της θερμοκρασίας που προσφέρει ο θερμός αέρας του διακένου, λόγω του ψυχρού εξωτερικού ρεύματος, κατά την χειμερινή περίοδο.

Ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να ορισθεί είναι το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που τελικά ανοίγεται. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να ελεγχθεί καλύτερα η παροχή όγκου αέρα που θα εισέρχεται στο δωμάτιο, εφόσον η ροή είναι φυσική και βασίζεται στην ταχύτητα του αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Άρα έχοντας υπόψη ότι η επιφάνεια του παραθύρου είναι αρκετά μεγάλη για ένα τόσο μικρό δωμάτιο, θα εξεταστεί το άνοιγμα μικρών ποσοστών της επιφάνειας του

The screenshot shows the Revit software interface for configuring a 'ZoneVentilation:WindandStackOpenArea' object. The 'Class List' on the left shows the object's hierarchy. The 'Explanation of Object and Current Field' pane provides a detailed description and formulas for the object's behavior. The 'Fields' table at the bottom lists the object's parameters, their units, and the assigned object values.

Field	Units	Obj1
Name		window flr3
Zone Name		Thermal Zone 1
Opening Area	m2	1,21
Opening Area Fraction Schedule Name		Small Windows Surface
Opening Effectiveness	dimensionless	autocalculate
Effective Angle	deg	180
Height Difference	m	
Discharge Coefficient for Opening		autocalculate
Minimum Indoor Temperature	C	-100
Minimum Indoor Temperature Schedule Name		
Maximum Indoor Temperature	C	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name		
Delta Temperature	deltaC	-100
Delta Temperature Schedule Name		
Minimum Outdoor Temperature	C	-100
Minimum Outdoor Temperature Schedule Name		
Maximum Outdoor Temperature	C	100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Name		
Maximum Wind Speed	m/s	40

89Εικόνα 2.7.19: Δήλωση χαρακτηριστικών ανοιγόμενου παραθύρου στην καρτέλα ZoneVentillation:WindandStackOpenArea

όπως 1, 2,5 , 5 ,7,5%.

Η κατηγορία στην οποία θα δηλωθεί το ανοιγόμενο παράθυρο στο EnergyPlus είναι η ZoneVentilation:WindandStackOpenArea. Σε αυτή την κατηγορία μπορούν να δηλωθούν οι ροές αερισμού ενός χώρου, που βασίζονται στην ταχύτητα του αέρα και την διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Εκεί πρέπει να δηλωθούν η θερμική ζώνη στην οποία εισέρχεται η ροή, η συνολική επιφάνεια του παραθύρου, το πρόγραμμα που ορίζει το πότε ανοίγει το παράθυρο και τι ποσοστό ανοίγματος έχει επιλεγεί και η γωνία ανοίγματος-η οποία δείχνει προς ποια κατεύθυνση τοποθετείται το παράθυρο όταν ανοίγει. Επιλέγονται η θερμική ζώνη 1 που αντιστοιχεί στο δωμάτιο, η επιφάνεια του παραθύρου να είναι 1,1x1,1=1,21m και η γωνία ανοίγματος να είναι 180° δηλαδή το παράθυρο να ανοίγει προς την νότια κατεύθυνση. Στην εικόνα παραπάνω φαίνονται κάποια πεδία που έχει προτιμηθεί να υπολογιστούν από το πρόγραμμα, καθώς και κάποιες κενές που αγνοούνται αφού το παράθυρο δεν ανοίγει με βάση κάποια διαφορά θερμοκρασίας. Τέλος αν ο αέρας ξεπεράσει τα 40m/s, το παράθυρο δεν θα ανοίξει, ακόμα και αν είναι προγραμματισμένο να το κάνει.

Παρακάτω φαίνεται το πρόγραμμα Small Windows Surface, το οποίο ορίζει ότι το παράθυρο θα ανοίγει τις περιόδους 6:00-7:00 και 23:00-24:00 καθημερινά και καθ'όλη την διάρκεια του έτους. Επίσης οι τιμές εκείνων των περιόδων θα είναι τα ποσοστά που έχουν προαναφερθεί και πρέπει να εξεταστούν κάθε φορά.

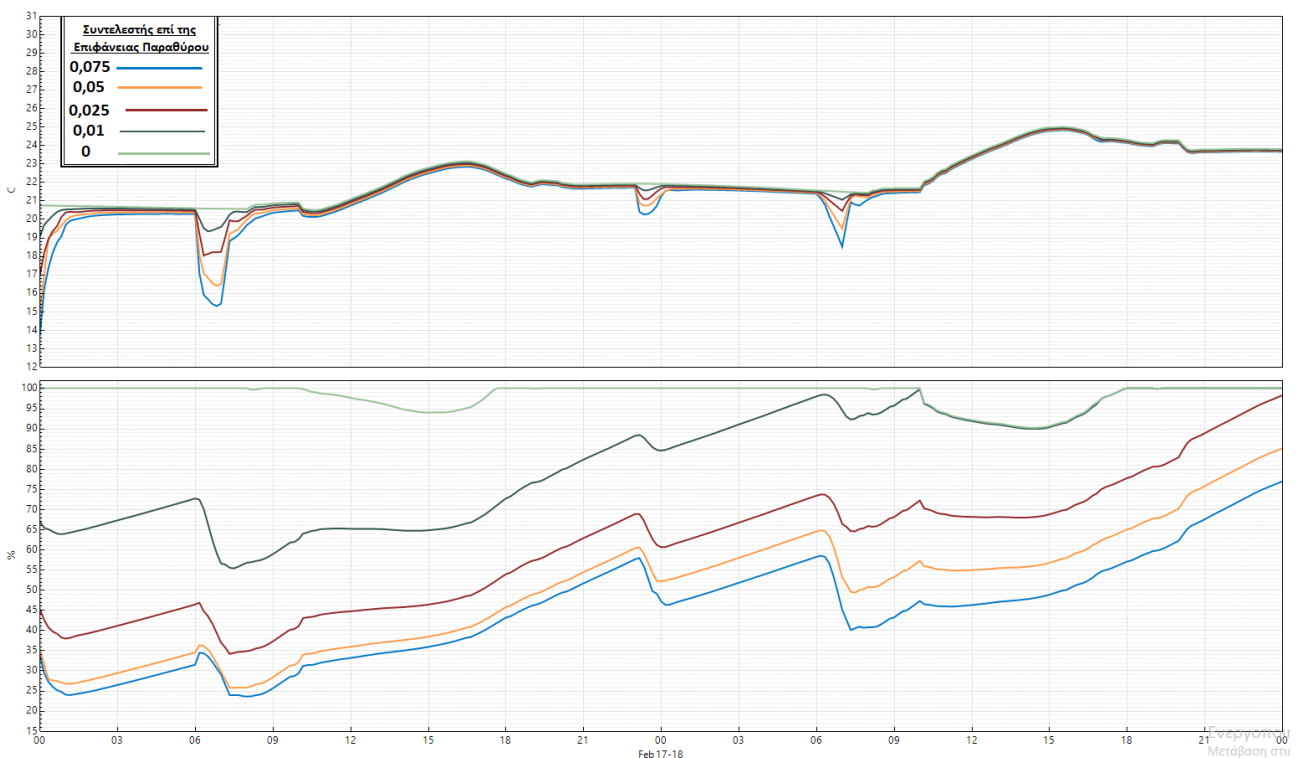
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Schedule Day 1	Schedule Day 2	Schedule Day 3	Schedule Day 4	Schedule Day 9	Schedule Day 19
Schedule Type Limits Name		Fractional	Fractional	Fractional	ActivityLevel	Fractional	Fractional
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No	No
Time 1		08:00	24:00	10:00	07:00	24:00	06:00
Value Until Time 1	varies	0	1	0	97	0	0
Time 2		10:00		20:00	08:00		07:00
Value Until Time 2	varies	1		1	110		1
Time 3		19:00		24:00	10:00		23:00
Value Until Time 3	varies	0		0	130		0
Time 4		20:00			19:00		24:00
Value Until Time 4	varies	1			110		1
Time 5		24:00			20:00		
Value Until Time 5	varies	0			130		
Time 6					23:00		
Value Until Time 6	varies				110		
Time 7					24:00		
Value Until Time 7	varies				97		

90 Εικόνα 2.7.20: Πρόγραμμα ανοίγματος και ποσοστού ανοιγόμενης επιφάνειας του παραθύρου του δωματίου

Η προσομοίωση είναι έτοιμη να τρέξει και τα αποτελέσματα θα αναλυθούν παρακάτω. Όπως φαίνεται η θερμοκρασία δεν αλλάζει ιδιαίτερα με οποιοδήποτε ποσοστό ανοίγματος παραθύρου. Κατά την χειμερινή περίοδο, υπάρχει μια μείωση της θερμοκρασίας τις ώρες που ανοίγει το παράθυρο αλλά μετά η θερμοκρασία επανέρχεται στα επίπεδα που θα είχε το δωμάτιο αν δεν είχε ανοίξει ποτέ το παράθυρο. Υπάρχει μια διαφορά περίπου ενός βαθμού Κελσίου για κάθε περίπτωση, με την χαμηλότερη θερμοκρασία να την προκαλεί το μεγαλύτερο ποσοστό ανοίγματος. Αυτό είναι απόλυτα λογικό αφού η παροχή όγκου σε αυτή την περίπτωση είναι μεγαλύτερη από οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή. Στο θέμα της υγρασίας βέβαια, υπάρχει επιτέλους



μια αισθητή βελτίωση. Από την στιγμή που ανοίγει το παράθυρο στις 23:00 της προηγούμενης μέρας, υπάρχει ανάμιξη του εξωτερικού αέρα με τον εσωτερικό και ξεκινά η μεταφορά μάζας του νερού από τον εσωτερικό αέρα μεγαλύτερης συγκέντρωσης νερού στον εξωτερικό αέρα μικρότερης συγκέντρωσης νερού. Αυτό καταλήγει στο να πέσουν τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας στο δωμάτιο από τις πρώτες ώρες της ημέρας. Ανάλογα με την ξηρότητα του εξωτερικού αέρα αλλά και τον όγκο του αέρα που εισέρχεται στο δωμάτιο το ποσοστό της σχετικής υγρασίας μπορεί να φτάσει ακόμα και κάτω από 25%. Από το πρώτο κλείσιμο του παραθύρου και μετά η υγρασία αυξάνεται με σχετικά μικρό ρυθμό, μέχρι να ξαναανοίξει το παράθυρο στις 6:00, όποτε και υπάρχει ξανά μια πτώση του ποσοστού υγρασίας. Κατά την διάρκεια της ημέρας η υγρασία αυξάνεται με αργό ρυθμό ακόμα και όταν λειτουργεί ο ανεμιστήρας Trombe, μέχρι να ξαναανοίξει στις 23:00 το παράθυρο και να ξαναρχίσει ο κύκλος αερισμού. Τα μικρότερα ποσοστά υγρασίας επιτυγχάνονται όταν η ανοιγόμενη επιφάνεια είναι η μεγαλύτερη δυνατή, δηλαδή 7,5% της συνολικής. Εκεί παρατηρείται σχετική υγρασία ακόμα και κάτω του 25%. Πολύ κοντά βρίσκεται και το προφίλ της υγρασίας για 5% ανοιγόμενη επιφάνεια, με περίπου 3-4% διαφορά από την προηγούμενη περίπτωση. Στην εφαρμογή με 1% ανοιγόμενη επιφάνεια η υγρασία είναι αρκετά υψηλή και ξεκινώντας από 65% μπορεί να φτάσει μέχρι και 100% σε κάποιες περιπτώσεις.

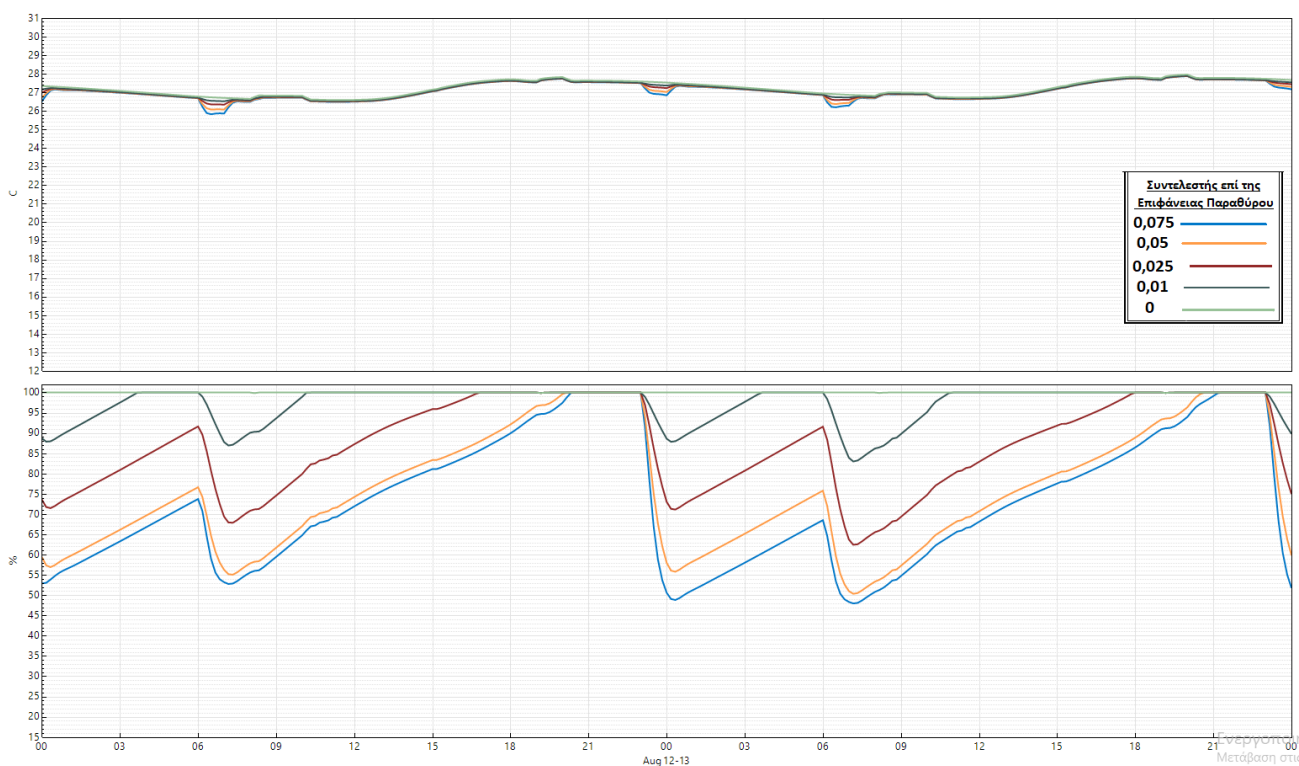


91 Εικόνα 2.7.21: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας δωματίου για διαφορετικά ποσοστά ανοιγόμενης επιφάνειας τον χειμώνα

Την καλοκαιρινή περίοδο η συμπεριφορά των μοντέλων είναι παρόμοια με την χειμερινή με κάποιες μικρές διαφορές. Αρχικά η διαφορά στην θερμοκρασία του δωματίου- με ένα εντελώς κλειστό δωμάτιο- όταν ανοίγει το παράθυρο είναι πολύ μικρότερη. Στο θέμα της υγρασίας, τα προφίλ των καμπυλών των εφαρμογών, ενώ είναι ίδια με την χειμερινή περίοδο, λόγω της μεγαλύτερης υγρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος, μετατοπίζονται προς τα πάνω, δηλώνοντας την αύξηση στην υγρασία του δωματίου που φαίνεται πιο κάτω.

Συμπερασματικά ο φυσικός αερισμός μέσω παραθύρου μπορεί να λειτουργήσει ευεργετικά, με

σκοπό να μειωθεί η ανυπόφορη υγρασία που επικρατεί στο σφραγισμένο δωμάτιο. Χωρίς να υπάρχει μεγάλη διακύμανση στην θερμοκρασία του δωματίου η υγρασία αλλάζει σημαντικά, όμως και πάλι σε πιο υγρές μέρες τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας φτάνουν κοντά στο εφιαλτικό 100%. Στο ενισχυμένο μοντέλο θα μπορούσε, ώστε να λυθεί το παραπάνω πρόβλημα, να προστεθεί κάποια ακόμη περίοδος ανοίγματος του παραθύρου μέσα στην μέρα, ή ακόμα και να μεγαλώσει η διάρκεια των υπαρχουσών περιόδων, να προστεθούν κάποια επιπλέον παράθυρα σε άλλα σημεία του δωματίου και ακόμα να υπάρξει η διχοτόμηση του προγράμματος ανοίγματος του παραθύρου προς διαφορετικά προγράμματα την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο.



92 Εικόνα 2.7.22: Σύγκριση θερμοκρασίας/υγρασίας δωματίου για διαφορετικά ποσοστά ανοιγόμενης επιφάνειας το καλοκαίρι

## **2.8 Παρουσίαση ενισχυμένου μοντέλου και ανανεωμένων αποτελεσμάτων**

Σε αυτή την ενότητα θα σχεδιαστεί ένα μοντέλο παρόμοιο με αυτό του ενεργητικού τοίχου Trombe, ενισχυμένο όμως με κάποιες από τις εναλλακτικές λύσεις που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα. Σκοπός είναι να βελτιωθούν οι συνθήκες όπου επικρατούν μέσα στο δωμάτιο. Όπως έχει προαναφερθεί, η θερμοκρασία στο δωμάτιο, πριν ακόμα προστεθούν σε αυτό οι όποιες εφαρμογές Trombe, είναι αρκετά ικανοποιητική. Η υγρασία από την άλλη είναι υπερβολικά υψηλή. Επομένως εξετάζεται εδώ η ικανότητα του ενισχυμένου μοντέλου να ανεβάσει την θερμοκρασία του δωματίου-παρότι ίσως δεν χρειάζεται-και να κατεβάσει το ποσοστό σχετικής υγρασίας σε περισσότερο ανεκτά επίπεδα. Ακόμα και αν οι συνθήκες δεν συμβαδίζουν με τα standards της ASHRAE για την άνεση των κατοίκων ενός χώρου, μια βελτιωμένη κατάσταση θα βοηθήσει στην εξοικονόμηση πόρων που πιθανόν θα τροφοδοτούν ένα σύστημα κλιματισμού.

Σημειώνεται ότι οι προδιαγραφές που δίνουν οι οδηγίες της ASHRAE 55-2017 όσον αφορά την θερμοκρασία, που προσδίδει θερμική άνεση, είναι στο διάστημα 19,5-27,8°C. Από την άλλη τα

ποσοστά σχετικής υγρασίας πρέπει να είναι σε κάθε περίπτωση κάτω από 80%.Οι οδηγίες ASHRAE 62.1-2016 ορίζουν ως ανώτερο όριο μέχρι και το 65% ,ώστε να αποφευχθεί η ανάπτυξη βακτηρίων.Προφανώς λοιπόν όλα τα αρχικά μοντέλα,απλό-παθητικός και ενεργητικός Trombe,δεν ικανοποιούν ποτέ και σε καμία μέρα κάποια προδιαγραφή άνεσης ,αλλά και μόνο λόγω του τεράστιου ποσοστού σχετικής υγρασίας.Το ενισχυμένο μοντέλο θα ήταν επιθυμητό να φτάνει ,σε κάποιες έστω στιγμές και χωρίς κλιματισμό μέσα στα διαστήματα άνεσης που ορίστηκαν από την ASHRAE.

## Προσθήκη Παραθύρου

Για το ενισχυμένο μοντέλο λοιπόν,επιλέγεται αρχικά να προστεθεί στον ενεργητικό τοίχο Trombe το ανοιγόμενο παράθυρο.Σημαντική προσθήκη για την μείωση του ποσοστού σχετικής υγρασίας.Βέβαια πρέπει να σημειωθεί ότι στο προκείμενο μοντέλο το πρόγραμμα που αντιστοιχεί στο άνοιγμα του παραθύρου διαφέρει από αυτό που παρουσιάστηκε σε προηγούμενη ενότητα.Εδώ γίνεται διάκριση μεταξύ χειμερινής και καλοκαιρινής περιόδου,καθώς και διαφοροποιείται ο αριθμός των ανοιγμάτων του παραθύρου.Επιλέγεται με το συγκεκριμένο πρόγραμμα,το άνοιγμα του παραθύρου περισσότερες φορές μέσα στην μέρα με μικρή επιφάνεια του παραθύρου να ανοίγει κάθε φορά.Την χειμερινή περίοδο το παράθυρο ανοίγει περισσότερες φορές κατά την διάρκεια της ημέρας,ενώ την θερινή κατά την διάρκεια της νύκτας.Αυτό γίνεται ώστε τον χειμώνα ο εξωτερικός αέρας να είναι όσο πιο θερμός μπορεί να είναι,για να μην πέφτει ιδιαίτερα η θερμοκρασία του δωματίου.Το αντίθετο συμβαίνει το καλοκαίρι ,όπου επιθυμητός εισαγόμενος αέρας είναι ο ψυχρός.

Field	Units	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Schedule Day 5	Schedule Day 9	Schedule Day 19	Schedule Day 29
Schedule Type Limits Name		Fractional	Fractional	Fractional	Fractional
Interpolate to Timestep		No	No	No	No
Time 1		24:00	24:00	03:00	02:00
Value Until Time 1	varies	0	0	0	0
Time 2				04:00	04:00
Value Until Time 2	varies			0,02	0,035
Time 3				08:00	07:00
Value Until Time 3	varies			0	0
Time 4				10:00	08:00
Value Until Time 4	varies			0,035	0,02
Time 5				12:00	12:00
Value Until Time 5	varies			0	0
Time 6				13:00	13:00
Value Until Time 6	varies			0,02	0,02
Time 7				16:00	16:00
Value Until Time 7	varies			0	0
Time 8				17:00	17:00
Value Until Time 8	varies			0,035	0,02
Time 9				23:00	21:00
Value Until Time 9	varies			0	0
Time 10				24:00	23:00
Value Until Time 10	varies			0,02	0,035
Time 11					24:00
Value Until Time 11	varies				0

93Εικόνα 2.8.1: Πρόγραμμα επιφάνειας παραθύρου για χειμερινή και θερινή περίοδο

Το επόμενο στοιχείο που αλλάζει είναι η παροχή όγκου του αέρα που περνά μέσα από τον ανεμιστήρα.Αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκε η τιμή  $0,1\text{m}^3/\text{s}$  ,διαπιστώθηκε στην συνέχεια ότι η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγάλη.Με αυτή την τιμή η θερμοκρασία του δωματίου κοντά στο ηλιακό μεσημέρι είναι αρκετά υψηλή και όπως φάνηκε και από προηγούμενη ενότητα μπορεί να ανέβει πάνω από  $30^\circ\text{C}$ .Ακόμα και με την προσθήκη του υποστέγου δεν χρειάζεται να υπάρχει τόσο υψηλή

παροχή όγκου.Τελικά επιλέγεται  $0,035\text{m}^3/\text{s}$  για την παροχή όγκου του αέρα,ώστε να ελεγχθεί η θερμοκρασία κατά την λειτουργία του ανεμιστήρα Trombe.

### Προσθήκη Υποστέγου

Ένα ακόμα στοιχείο που προστίθεται στο μοντέλο του ενεργητικού Trombe είναι το υπόστεγο.Η χρήση του σκιάστρου είναι απαραίτητη την καλοκαιρινή περίοδο,όποτε αν και δεν λειτουργεί ο ανεμιστήρας Trombe η θερμοκρασία φτάνει τα υψηλότερα επίπεδα της μέσα στο έτος.Εδώ χρησιμοποιείται ένα αναδιπλούμενο υπόστεγο όμως,το οποίο κατά την θερινή περίοδο προσφέρει σκίαση ενώ την χειμερινή περίοδο διπλώνεται ώστε να αφήσει την ηλιακή ακτινοβολία να χτυπήσει την νότια πλευρά του κτιρίου.Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από το πρόγραμμα διαπερατότητας του υποστέγου.Το χειμώνα η διαπερατότητα δηλώνεται 1,δηλαδή το υπόστεγο είναι ουσιαστικά άορατο.Αντίθετα το καλοκαίρι δηλώνεται διαπερατότητα 0 καθώς το υπόστεγο ξεδιπλώνεται για να προσφέρει σκιά στον υαλοπίνακα Trombe.Το μήκος υποστέγου που επιλέγεται εδώ είναι 2,16m,καθώς η περίοδος που το υπόστεγο σκιάζει είναι μόνο η καλοκαιρινή και άρα δεν υπάρχει κίνδυνος αποκοπής της ακτινοβολίας το χειμώνα.Με αυτό το μήκος υποστέγου,αν και πιθανόν να χρειαστούν επιπλέον υποστηρίγματα για την εγκατάσταση του σκιάστρου,η επιφάνεια του υαλοπίνακα Trombe σκιάζεται ολόκληρη καθ'όλη την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών.

### Αλλαγή προγράμματος λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe

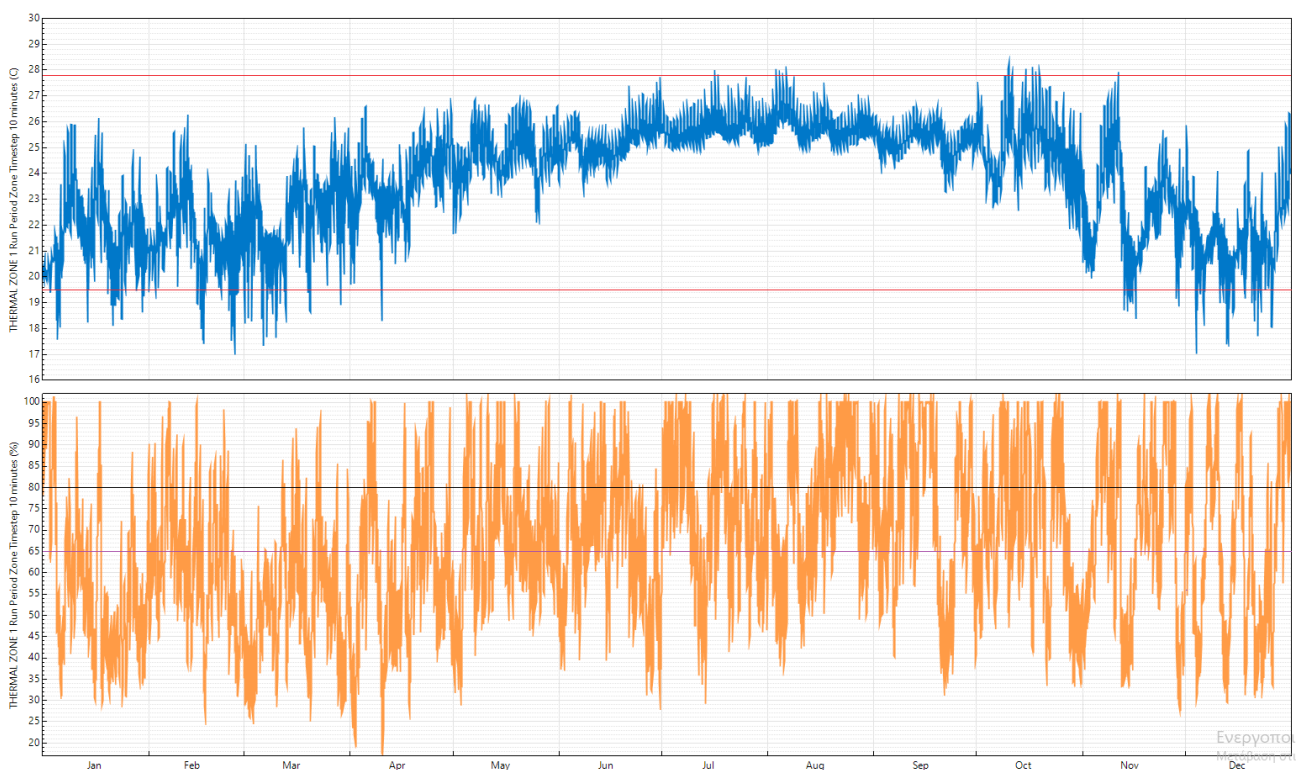
Τελευταία αλλαγή που επιβάλλει το ενισχυμένο μοντέλο είναι αυτή του προγράμματος λειτουργίας Trombe.Για την πλειοψηφία των ημερών του έτους το πρόγραμμα του τοίχου Trombe είναι το κλασικό,που επιβάλλει λειτουργία ανεμιστήρα κατά τις ώρες 10:00-20:00.Σημειώνεται βέβαια ότι το καλοκαίρι ο ανεμιστήρας συνεχίζει να μην λειτουργεί.Υπάρχουν βέβαια και κάποιες μέρες της χειμερινής περιόδου που έχουν διαφορετικό πρόγραμμα λειτουργίας.Τις μέρες με μικρή ηλιοφάνεια ή και αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος προτιμάται να μην ανοίγει καθόλου ο ανεμιστήρας Trombe και να επικρατεί κλίμα παθητικού τοίχου Trombe.Τονίζεται επίσης ότι σε αυτές τις μέρες αποφασίζεται το άνοιγμα του παραθύρου λιγότερες φορές από αυτές που παρουσιάστηκαν πριν καθώς και με μικρότερη ανοιγόμενη επιφάνεια.Όλα αυτά θα οδηγήσουν σε αύξηση της υγρασίας στο δωμάτιο τις συγκεκριμένες μέρες,με σκοπό την διατήρηση μιας σχετικά καλής,για τις συγκεκριμένες περιόδους,θερμοκρασίας.Σημειώνεται ότι αυτές οι μέρες είναι οι εξής:1/1-4/1 , 31/1-2/2 , 14/2-16/2 , 21/2-23/2 , 23/12-25/12.

Field	Units	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9
Name		Schedule Day 5	Schedule Day 9	Schedule Day 19	Schedule Day 29	Schedule Day 191
Schedule Type Limits Name		Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No
Time 1		24:00	24:00	03:00	02:00	03:00
Value Until Time 1	varies	0	0	0	0	0
Time 2				04:00	04:00	04:00
Value Until Time 2	varies			0,02	0,035	0
Time 3				08:00	07:00	08:00
Value Until Time 3	varies			0	0	0
Time 4				10:00	08:00	10:00
Value Until Time 4	varies			0,035	0,02	0,01
Time 5				12:00	12:00	12:00
Value Until Time 5	varies			0	0	0
Time 6				13:00	13:00	15:00
Value Until Time 6	varies			0,02	0,02	0
Time 7				16:00	16:00	16:00
Value Until Time 7	varies			0	0	0,01
Time 8				17:00	17:00	17:00
Value Until Time 8	varies			0,035	0,02	0
Time 9				23:00	21:00	23:00
Value Until Time 9	varies			0	0	0
Time 10				24:00	23:00	24:00
Value Until Time 10	varies			0,02	0,035	0
Time 11					24:00	
Value Until Time 11	varies				0	

94Εικόνα 2.8.2: Ειδικό πρόγραμμα επιφάνειας παραθύρου για αποφυγή χαμηλών θερμοκρασιών

## Συνθήκες Θερμοκρασίας/Υγρασίας και άνεσης κατά ASHRAE

Όλα είναι έτοιμα λοιπόν για να «τρέξει» η προσομοίωση του ενισχυμένου μοντέλου. Παρακάτω φαίνεται μια ομάδα διαγραμμάτων, που παρουσιάζουν μια γενική εικόνα όσον αφορά την θερμοκρασία και το ποσοστό σχετικής υγρασίας στο δωμάτιο του ενισχυμένου μοντέλου, καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Στα παρακάτω διαγράμματα σημειώνονται επίσης και τα όρια άνεσης που προαναφέρθηκαν, ώστε να γίνει κατανοητό σε ποιο βαθμό πληρούνται οι προδιαγραφές άνεσης. Παρατηρείται λοιπόν, ότι η θερμοκρασία ανεβαίνει ελάχιστα πάνω από το ανώτερο όριο άνεσης τους καλοκαιρινούς μήνες. Αυτό το όριο διαρρηγνύεται περισσότερες φορές και με λίγο υψηλότερες θερμοκρασίες τον Οκτώβριο και μια φορά ακόμα και τον Νοέμβριο. Το κατώτερο όριο άνεσης της θερμοκρασίας, το «περνάει» το μοντέλο αρκετές παραπάνω φορές από ότι το ανώτερο. Σχεδόν όλους τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία, για κάποιες στιγμές μέσα στην μέρα, είναι κάτω από 19,5°C. Αυτό συμβαίνει επειδή όταν ανοίγει το παράθυρο κατά την χειμερινή περίοδο, ο ψυχρός εισαγόμενος αέρας ρίχνει την θερμοκρασία του δωματίου έστω και στιγμιαία μέχρι να ξανακλείσει το παράθυρο. Για εκείνο το χρονικό διάστημα τα όρια άνεσης δεν ικανοποιούνται, αλλά υπάρχει η δυνατότητα να ξαναπέσει η θερμοκρασία του δωματίου αφού κλείσει το παράθυρο.



95 Εικόνα 2.8.3: Παρουσίαση γενικής εικόνας ενισχυμένου μοντέλου μέσω διαγράμματος θερμοκρασίας υγρασίας για όλο το έτος

Σειρά έχει το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το οποίο όπως φαίνεται παραπάνω ξεπερνάει το 80% αρκετές φορές και την καλοκαιρινή και την χειμερινή περίοδο, και το 65% ακόμα περισσότερες. Η κατάσταση βέβαια είναι πολύ καλύτερη σε σχέση με το οποιοδήποτε προηγούμενο μοντέλο εφαρμογής Trombe, στις οποίες η υγρασία ήταν συνεχώς στο 100%. Παρατηρείται βέβαια ότι σε πολλές περιπτώσεις, ακόμα και στο ενισχυμένο μοντέλο υπάρχουν πολλοί υψηλά ποσοστά σχετικής υγρασίας. Αυτό συμβαίνει λόγω της υγρασίας του εξωτερικού αέρα, που ίσως κάποιες φορές να είναι αρκετά υψηλή και λόγω του προγράμματος ανοίγματος του παραθύρου, που δεν επιτρέπει τον πλήρη αερισμό του δωματίου-πιθανή πτώση θερμοκρασίας. Σημειώνεται επίσης ότι κάποιες μέρες



υπάρχει πιθανότητα το παράθυρο να μην ανοίξει καν, λόγω ειδικών προγραμμάτων. Τέλος υπάρχει πιθανότητα άπνοιας που εμποδίζει την ανανέωση του αέρα στο δωμάτιο.

Έγινε κατανοητό από τις παραπάνω παραγράφους, ότι το ενισχυμένο μοντέλο πετυχαίνει συνθήκες άνεσης για το δωμάτιο σε αρκετές περιπτώσεις. Η αλήθεια όμως είναι ότι αν και τα πράγματα είναι καλύτερα από άλλες περιπτώσεις, τις περισσότερες φορές οι συνθήκες άνεσης δεν ικανοποιούνται. Αυτό το χαρακτηριστικό της προσομοίωσης είναι όμως μετρήσιμο και μπορεί να παρουσιαστεί και μέσω της παρουσίασης του EnergyPlus από τα αρχεία των αποτελεσμάτων, εκτός από γραφικά όπως έγινε πριν. Το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό μετράται σε ώρες τον χρόνο που δεν πληρούνται οι προδιαγραφές άνεσης. Παρακάτω φαίνονται οι συγκεκριμένες ώρες για το ενισχυμένο μοντέλο, έχοντας υπόψιν ότι σε όλα τα προηγούμενα μοντέλα οι προδιαγραφές δεν ικανοποιούνται ποτέ, άρα για 8640 ώρες.

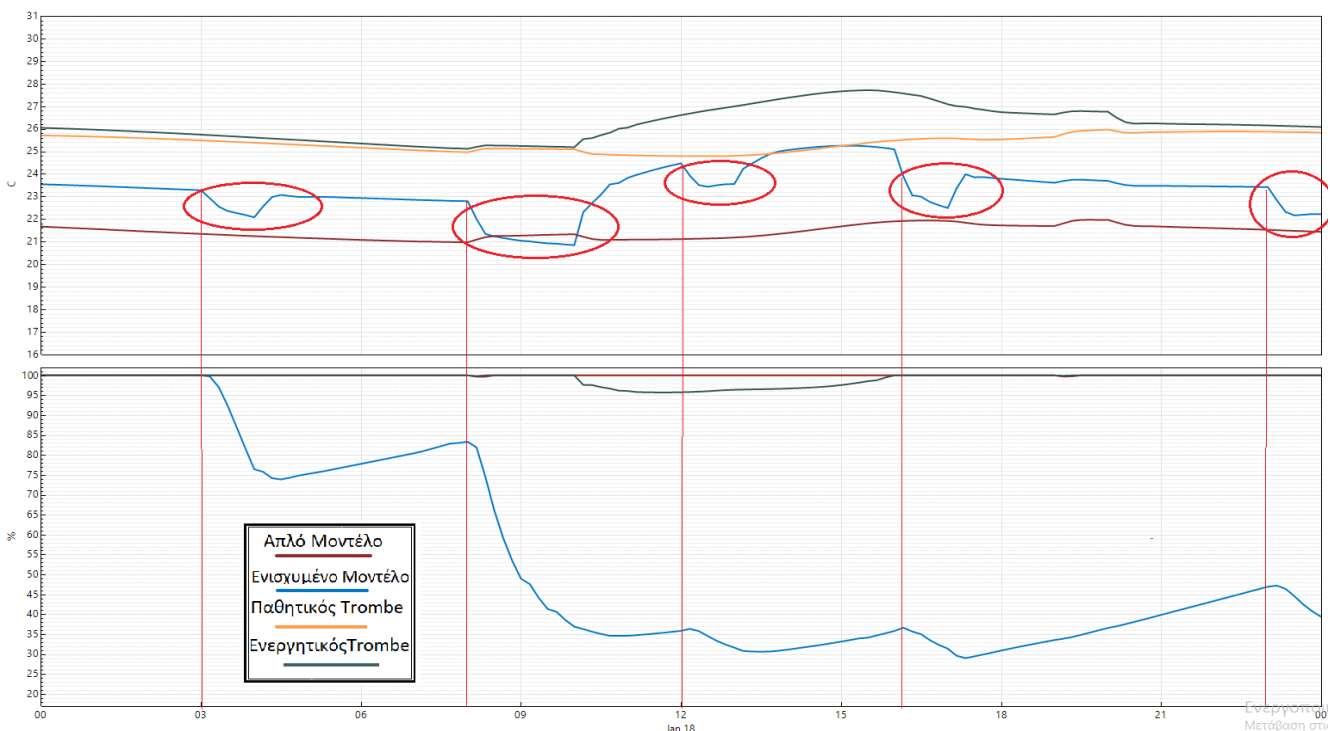
#### Comfort and Setpoint Not Met Summary

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	0.00
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	0.00
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	5614.17

96 Εικόνα 2.8.4: Ώρες που δεν επιτεύχθηκε θερμική άνεση στο δωμάτιο του ενισχυμένου μοντέλου κατά ASHRAE

#### Σύγκριση όλων των μοντέλων

Φαίνεται λοιπόν παραπάνω, ότι τις περισσότερες ώρες του χρόνου δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες άνεσης. Μάλιστα φαίνεται ότι οι ώρες που πλοιορούνται οι προϋποθέσεις άνεσης είναι αρκετά λιγότερες από αυτές που δεν πληρούνται. Αυτό όμως συμβαίνει κυρίως λόγω υγρασίας, όπως φάνηκε και προηγουμένως. Γενικά οι ώρες που δεν ικανοποιούνται συνθήκες άνεσης, είναι πολλές, όμως πρέπει να τονιστεί ότι γίνεται λόγος για ένα δωμάτιο χωρίς κανένα τεχνητό κλιματισμό.

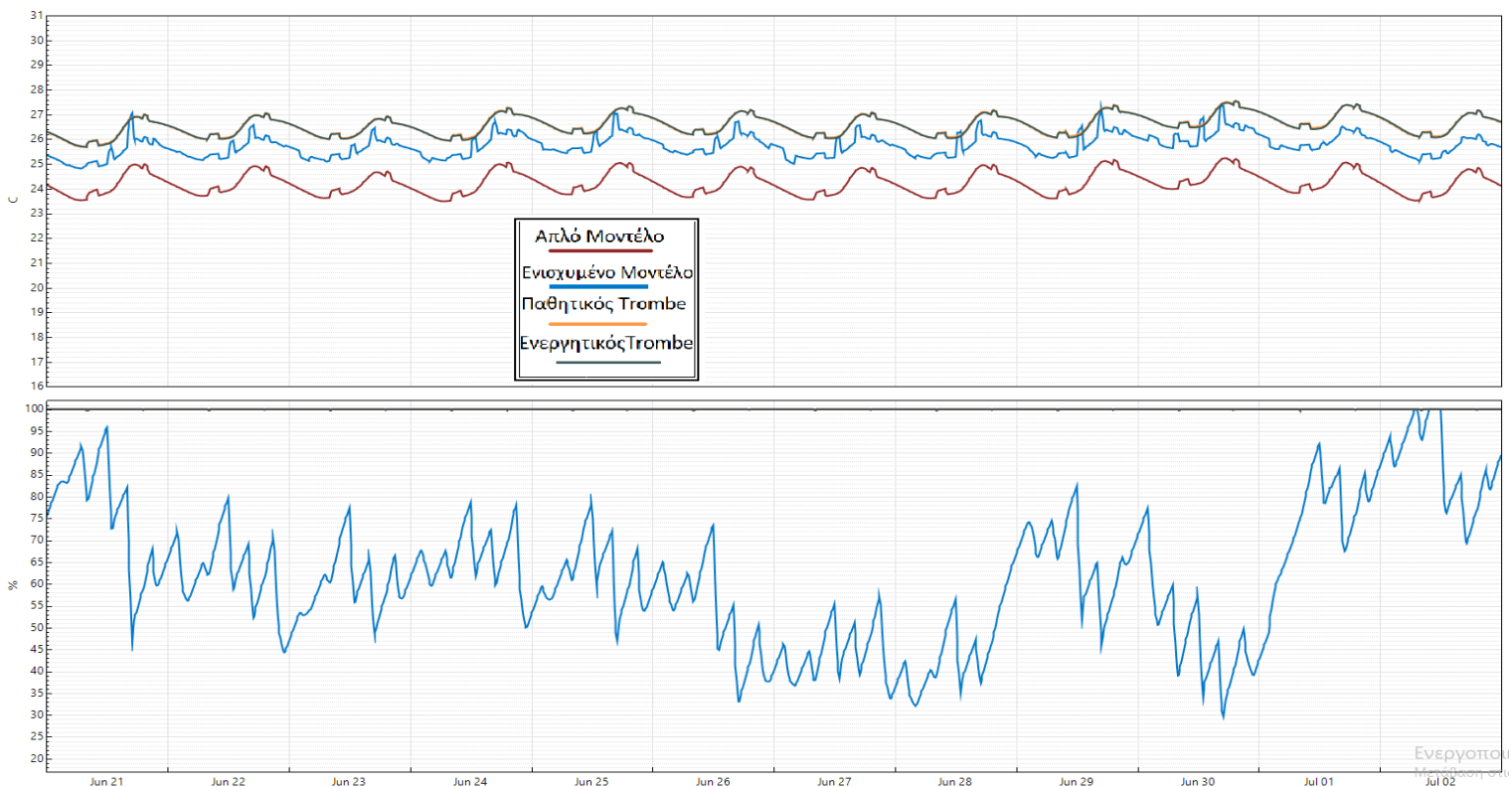


97 Εικόνα 2.8.5: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια τυπική χειμερινή μέρα



Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται μια τυπική μέρα-όχι κάποια μέρα με χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλές υγρασίες- της χειμερινής περιόδου και η λειτουργία των απλού, ενεργητικού, παθητικού και ενισχυμένου μοντέλου. Παρατηρείται γενικά ότι το προφίλ θερμοκρασίας των ενισχυμένου και ενεργητικού μοντέλου καθώς και αυτά των απλού και παθητικού είναι παρόμοια. Το ενεργητικό μοντέλο που παρουσιάζεται εδώ έχει την ίδια παροχή όγκου ανεμιστήρα με το ενισχυμένο μοντέλο. Η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται στο ενισχυμένο μοντέλο βρίσκεται ανάμεσα σε αυτή του απλού δωματίου και του παθητικού μοντέλου-η θερμοκρασία μπορεί να υπερβεί αυτή του παθητικού μοντέλου κατά την διάρκεια της λειτουργίας του ανεμιστήρα Trombe-, κάτι το οποίο είναι επιθυμητό μια και τον χειμώνα ζητούμενη είναι μια θερμοκρασία άνεσης και όχι απλά η υψηλότερη δυνατή. Όσον αφορά την υγρασία τώρα, τα ποσοστά της σε όλα τα μοντέλα πλην του ενισχυμένου κυμαίνονται κοντά στο 100%. Αντίθετα στο ενισχυμένο μοντέλο η υγρασία συνεχώς πέφτει κατά την διάρκεια της ημέρας και ενώ τα ξημερώματα το ποσοστό της σχετικής υγρασίας ήταν 100%, στις 12 το μεσημέρι το ποσοστό αυτό έχει φτάσει στο 35%. Η πτώση αυτή της υγρασίας γίνεται σταδιακά μετά τα διαδοχικά ανοίγματα του παραθύρου που σημειώνονται με κόκκινη γραμμή στο παραπάνω διάγραμμα. Τις ίδιες χρονικές στιγμές υπάρχει και η σχετική πτώση της θερμοκρασίας του δωματίου του ενισχυμένου μοντέλου και σημειώνονται στο παραπάνω διάγραμμα με κόκκινους κύκλους. Η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας και υγρασίας στο προκείμενο διάγραμμα είναι η κλίση με την οποία επανέρχεται η κάθε μια στα πρότερα επίπεδα της όταν το παράθυρο κλείνει κάθε φορά. Η θερμοκρασία επανέρχεται σχεδόν αμέσως στα επίπεδα προ ανοίγματος του παραθύρου, ενώ η υγρασία επανακάμπτει τόσο αργά που δεν προλαβαίνει να φτάσει στα προηγούμενα επίπεδα της πριν ανοίξει ξανά το παράθυρο. Πιο κάτω φαίνονται δύο εικόνες που περιλαμβάνουν περισσότερες από μια μέρες της χειμερινής αλλά και την θερινής περιόδου. Στην χειμερινή περίοδο φαίνεται και μια σειρά ημερών με χαμηλότερη θερμοκρασία, χωρίς όμως να είναι σε λειτουργία το εναλλακτικό πρόγραμμα ανεμιστήρα και παραθύρου για το ενισχυμένο μοντέλο.

Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου, η θερμοκρασία του δωματίου είναι μικρότερη από αυτή του ενεργητικού και παθητικού τοίχου Trombe, αλλά ξανά μεγαλύτερη από αυτή του απλού

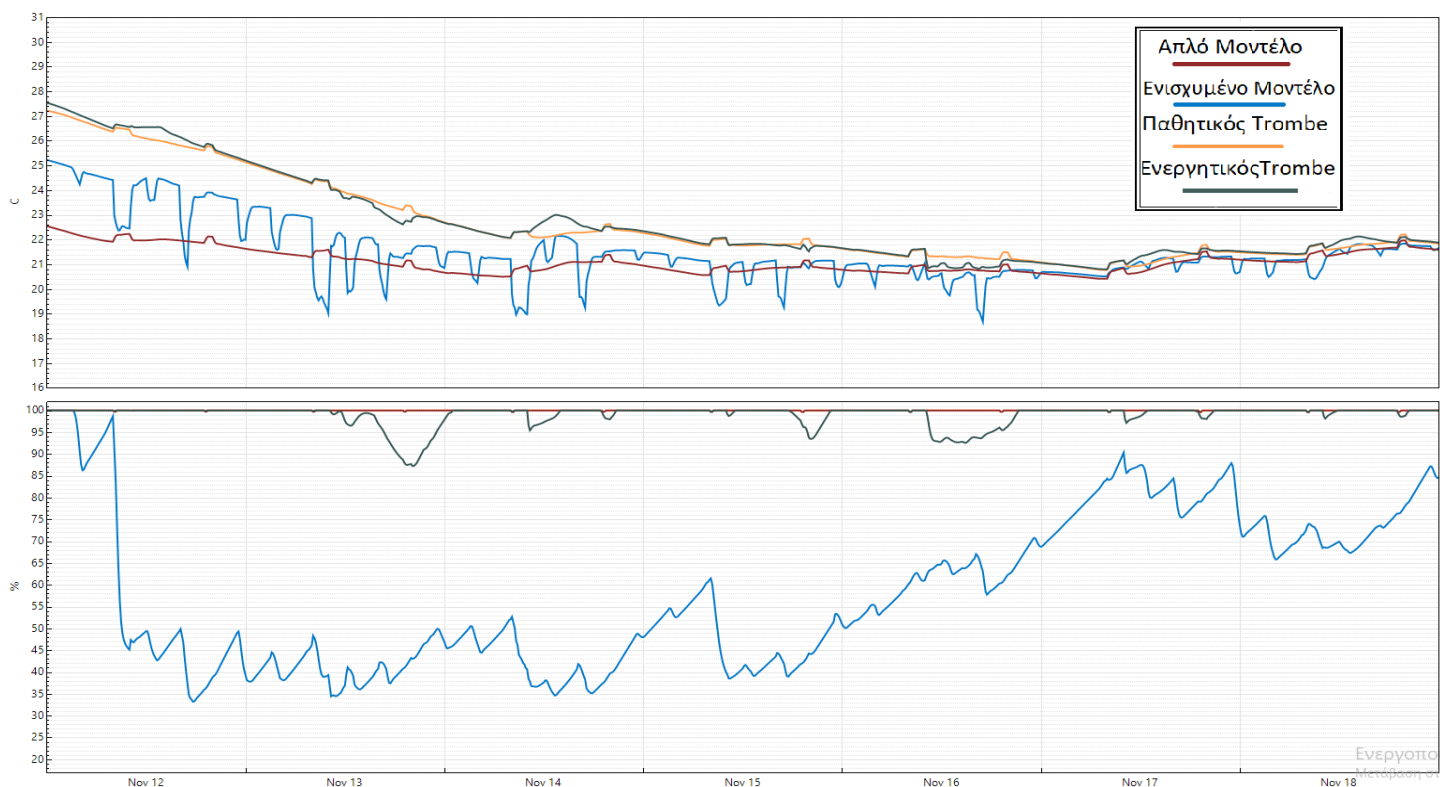


98 Εικόνα 2.8.6: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια συγκεκριμένη θερινή περίοδο

μοντέλου. Αυτή η διαφορά από τις άλλες εφαρμογές Trombe προκύπτει από την χρήση υποστέγου, καθώς το καλοκαίρι δεν υπάρχει διαφορά μεταξύ εφαρμογών Trombe. Φαίνονται επίσης και οι χρονικές στιγμές ανοίγματος του παραθύρου, από την στιγμιαία αύξηση της θερμοκρασίας κάθε φορά. Αυτή η μικρή στιγμιαία αύξηση δεν αυξάνει κατά πολύ την θερμοκρασία, κάτι που σημαίνει ότι η επιλογή κυρίως νυκτερινών περιόδων για τον αερισμό πέτυχε κάπως τον σκοπό της. Στα της υγρασίας τώρα, λόγω του πιο υγρού καλοκαιρινού αέρα τα ποσοστά της σχετικής υγρασίας είναι γενικά υψηλότερα από τον χειμώνα. Επίσης πολύ πιο γρήγορος είναι και ο ρυθμός με τον οποίο επανέρχεται η υγρασία μετά το κλείσιμο του παραθύρου, στα πριν του ανοίγματος επίπεδα. Αυτό συμβάλλει στο να διατηρηθούν αρκετά ψηλά τα ποσοστά της υγρασίας, που οδηγούν ακόμα και σε 100% προς το τέλος της περιόδου που παρουσιάζεται.

Στις χειμερινές μέρες που παρουσιάζονται ενώ αρχικά φαίνεται η διαφορά ανάμεσα στα μοντέλα που παρουσιάστηκαν πριν, στην συνέχεια η θερμοκρασία όλων των μοντέλων συγκλίνει και μάλιστα όταν ανοίγει το παράθυρο, το ενισχυμένο μοντέλο έχει την χαμηλότερη θερμοκρασία από όλα. Αυτή ακριβώς η πτώση της θερμοκρασίας κατά μερικούς βαθμούς Κελσίου σε σχέση με τα άλλα μοντέλα είναι αυτή που αυξάνει τις ώρες στις οποίες το ενισχυμένο μοντέλο δεν πετυχαίνει θερμική άνεση.

Στο τέλος βέβαια της περιόδου που παρουσιάζεται οι θερμοκρασίες όλων των μοντέλων είναι πλέον σε απόσταση υποδιαίρεσεων του βαθμού Κελσίου, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπάρχει και η απαραίτητη ηλιοφάνεια. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο δεν επιλέχθηκε το πρόγραμμα που περιορίζει το άνοιγμα του παραθύρου και το κλείσιμο του ανεμιστήρα, για αυτές τις μέρες. Ένας ακόμα λόγος που συμβαίνει αυτό βέβαια, είναι και η ανάγκη για διατήρηση της υγρασίας σε χαμηλά επίπεδα. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα στις 17 Νοεμβρίου η υγρασία ανεβαίνει σε ποσοστά κοντά στο 90% και αυτό συμβαίνει με κανονικό άνοιγμα του παραθύρου. Αν το παράθυρο δεν άνοιγε η υγρασία θα επέστρεφε στο 100%.



99 Εικόνα 2.8.7: Σύγκριση θερμοκρασίας-σχετικής υγρασίας όλων των μοντέλων για μια συγκεκριμένη χειμερινή περίοδο

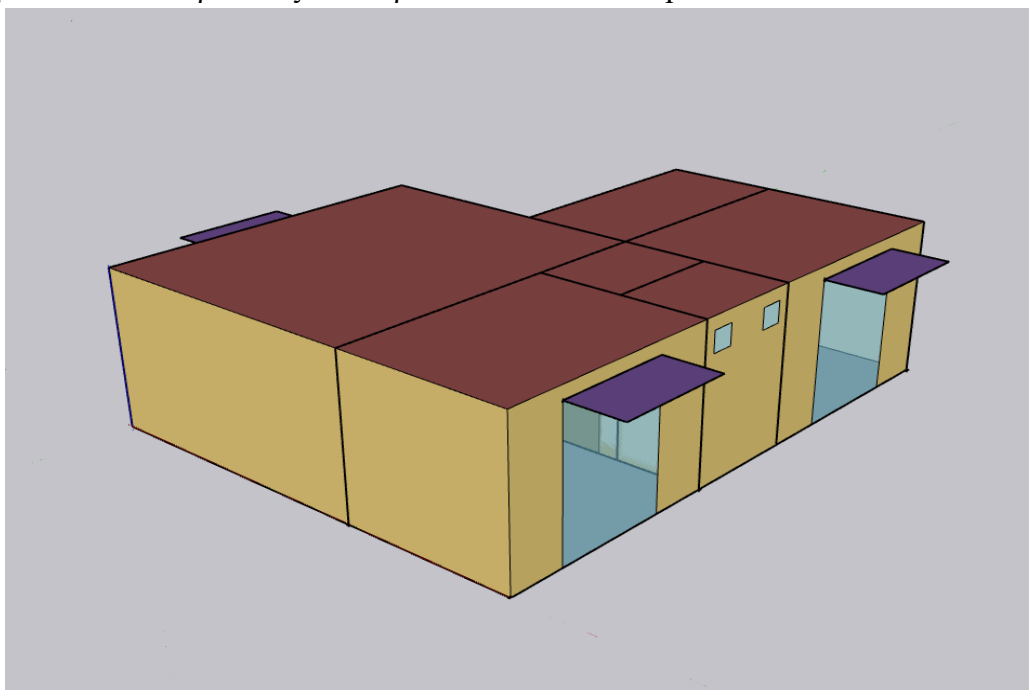
Κάπου εδώ τελειώνει η παρουσίαση του ενισχυμένου μοντέλου και παράλληλα η ενασχόληση αυτής της εργασίας με την μελέτη της επίδρασης των εφαρμογών Trombe σε ένα μικρό απλό δωμάτιο. Από αυτή την ενασχόληση βγήκαν κάποια συμπεράσματα που έχουν να κάνουν ξεκάθαρα με την αύξηση των θερμικών κερδών που μεταφράζεται σε αύξηση της θερμοκρασίας ενός χώρου. Είναι απολύτως σίγουρο ότι αν προστεθεί ένας τοίχος Trombe σε ένα κτίριο που έχει επαρκή πρόσβαση σε ηλιοφάνεια, κυρίως στην νότια πλευρά του, τότε το κτίριο μπορεί να ανεβάσει την θερμοκρασία του, καθ'όλη την διάρκεια του έτους. Όμως για να βελτιωθεί η κατάσταση ενός χώρου από άποψη θερμοκρασίας, ενώ υπάρχει και η απαίτηση να είναι κατοικήσιμος δεν αρκεί μόνο η προσθήκη του τοίχου Trombe. Αυτό δεν συμβαίνει μόνο λόγω της έλλειψης ηλιοφάνειας σε κάποιες περιόδους, αλλά και λόγω του ότι οι συνθήκες άνεσης εξαρτώνται και από την υγρασία ενός χώρου. Επίσης υπάρχει και ο κίνδυνος ακόμα και με προσθήκη στοιχείων που βελτιώνουν και την θερμοκρασία αλλά και την υγρασία ενός χώρου, να μην επιτευχθούν συνθήκες άνεσης και άρα ένας χώρος να μην είναι κατοικήσιμος. Κοιτώντας το ενισχυμένο μοντέλο, θα μπορούσε κανείς να πει ότι η κατάσταση έχει βελτιωθεί αισθητά από αυτήν που επικρατούσε στο αρχικό απλό δωμάτιο. Όμως η αλήθεια είναι ότι υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες για βελτίωση της κατάστασης του δωματίου και γενικεύοντας ενός κτιρίου. Για να επιτευχθούν οι συνθήκες άνεσης σε ένα χώρο, δεν αρκούν οι εφαρμογές Trombe, αλλά πρέπει να προστεθεί και ένα υποτυπώδες σύστημα κλιματισμού. Πλαισιώνοντας τις εφαρμογές του τοίχου Trombe με ένα τέτοιο σύστημα, είναι δυνατόν να επιτευχθούν οι συνθήκες άνεσης σε ένα χώρο και εντωμεταξύ ακριβώς επειδή είναι σε ισχύ οι εφαρμογές Trombe να εξοικονομηθούν και κάποιοι πόροι που χρειάζεται το σύστημα κλιματισμού για να λειτουργήσει. Προλογίζεται εδώ λοιπόν το θέμα που θα απασχολήσει το επόμενο κεφάλαιο της εργασίας. Αυτό θα είναι η μελέτη ενός κανονικού διαμερίσματος, πλήρως εκτεθειμένου στην ηλιακή ακτινοβολία και πώς θα το επηρεάσει η προσθήκη εφαρμογής τοίχου Trombe και επιπλέον ενός απλοϊκού συστήματος κλιματισμού.

### *3. Επίδραση της εφαρμογής Trombe σε ένα τυπικό διαμέρισμα*

### 3.1 Παρουσίαση Διαμερίσματος

Το διαμέρισμα με το οποίο θα ασχοληθεί αυτό το κομμάτι της εργασίας θα είναι μια προσομοίωση του διαμερίσματος που κατοικεί ο γράφων. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο, κάποια χαρακτηριστικά που πιθανόν να φαίνονται παράξενα-όπως κάποιοι μη κλιματιζόμενοι χώροι-θα κρατηθούν έτσι ώστε να μείνουν όσο το δυνατό περισσότερο πιστά στο πραγματικό διαμέρισμα. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσει την δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας και χρημάτων, που χρειάζονται για να κλιματιστεί το διαμέρισμα, με την προσθήκη τοίχου Trombe. Οι συνθήκες που θα επικρατούν δεν θα είναι πάντα οι ιδανικές, ακριβώς επειδή οι κλιματιστικές μονάδες του συστήματος θα είναι τυπικής χρήσης και πιθανόν να μην ικανοποιούν τα ψυκτικά φορτία του διαμερίσματος. Γενικά ο προσανατολισμός και σκοπός της εργασίας είναι η σύγκριση της κατανάλωσης ενέργειας με και χωρίς τοίχο Trombe, διατηρώντας όσο το δυνατόν ευνοϊκότερες συνθήκες μέσα στο διαμέρισμα.

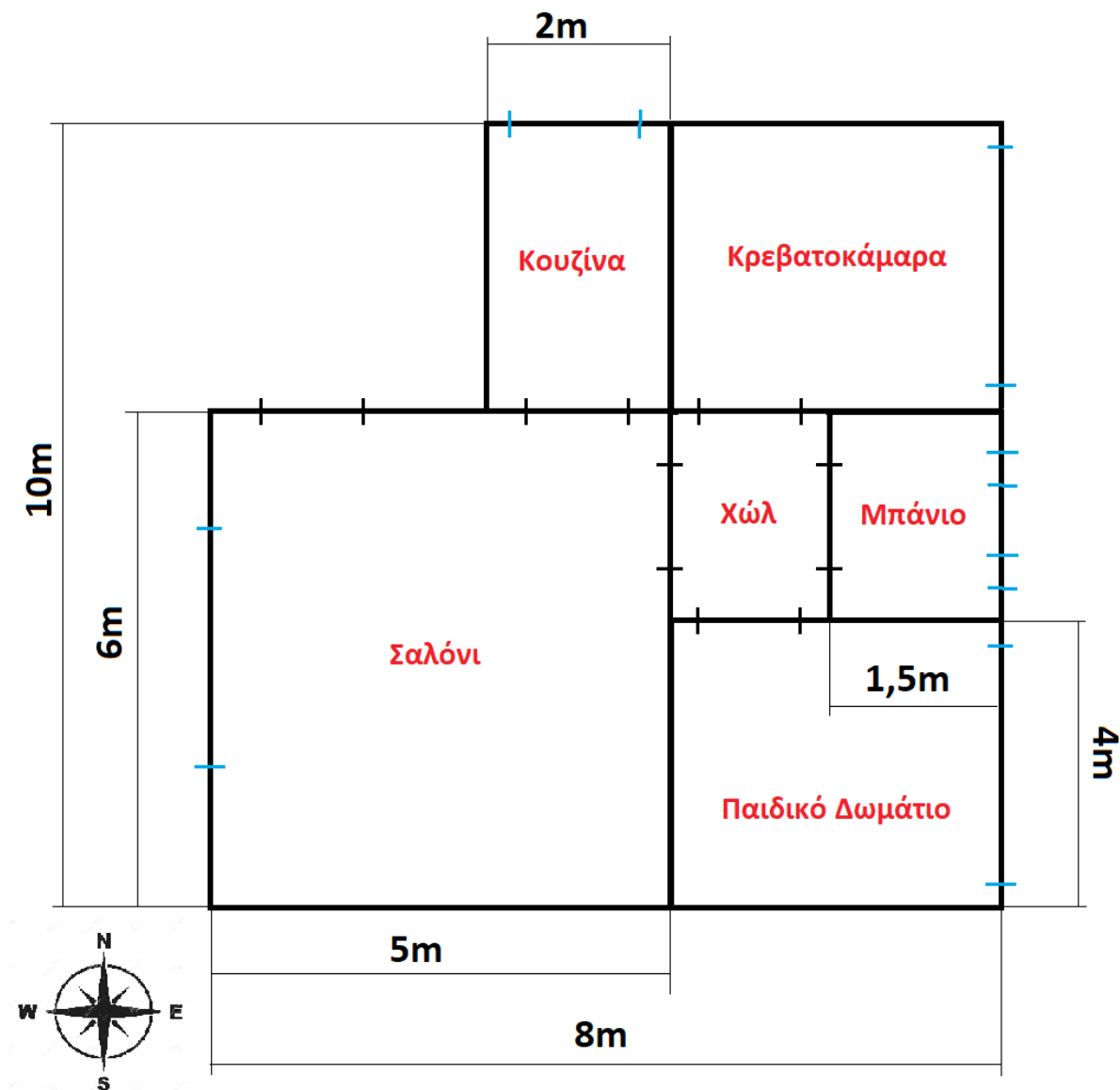
Προχωρώντας στα πιο πρακτικά κομμάτια της περιγραφής του διαμερίσματος, πρέπει να ειπωθεί ότι προφανώς το πραγματικό διαμέρισμα του γράφοντος βρίσκεται σε πολυκατοικία και μάλιστα σχεδόν περικλειστη, αφού μόνο μια της πλευρά είναι εκτεθειμένη στον ήλιο. Ακόμα και σε αυτή την πλευρά όμως δεν υπάρχει απρόσκοπτη έκθεση στον ήλιο λόγω πολυκατοικίας στην απέναντι πλευρά του δρόμου. Σε ένα τέτοιο διαμέρισμα-το οποίο σημειωτέον δεν είναι καν προσανατολισμένο με κάποια πλευρά στον νότο-είναι αδύνατον να εφαρμοστεί η αναβάθμιση του τοίχου Trombe, καθώς δεν υπάρχει χώρος ο οποίος δέχεται συνεχώς και απρόσκοπτα την ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια της ημέρας. Επομένως αν και εδώ θα κρατηθεί το σχέδιο και η διαρρύθμιση του διαμερίσματος, θα υποθεθεί ότι το διαμέρισμα είναι μονοόροφο, ευθυγραμμισμένο με τον άξονα βορρά-νότου ώστε να υπάρχει ξεκάθαρα μια νότια πλευρά του κτιρίου και ότι δεν υπάρχει κανένα κτίριο στον περιβάλλοντα χώρο του διαμερίσματος. Τελικά το διαμέρισμα μοιάζει όπως το μοντέλο που παρουσιάζεται παρακάτω στο SketchUp.



100 Εικόνα 3.1.1: Γενική άποψη του διαμερίσματος

Πρόκειται για ένα διαμέρισμα περίπου 70 τετραγωνικών μέτρων, συγκεκριμένα 68, το οποίο αποτελείται από 6 δωμάτια. Το μεγαλύτερο εκ των δωματίων είναι το σαλόνι, το οποίο έχει και μια πλευρά του προσανατολισμένη προς τον νότο, καταλαμβάνοντας  $30 \text{ m}^2$  και έπειτα κατατάσσονται τα δύο υπνοδωμάτια με  $12 \text{ m}^2$  το καθένα. Βέβαια η κρεβατοκάμαρα είναι στην βόρεια πλευρά του διαμερίσματος, ενώ το παιδικό δωμάτιο έχει και αυτό, όπως και το σαλόνι μια πλευρά εκτεθειμένη στον νότο. Τέλος η κουζίνα με  $8 \text{ m}^2$  κατατάσσεται ως το πιο μικρό δωμάτιο πριν από το χώλ και το

μπάνιο με εμβαδόν  $6\text{m}^2$  το καθένα. Παρακάτω φαίνεται ένα σκαρίφημα της κάτοψης του διαμερίσματος ώστε να γίνουν κατανοητές και οι διαστάσεις των δωματίων.

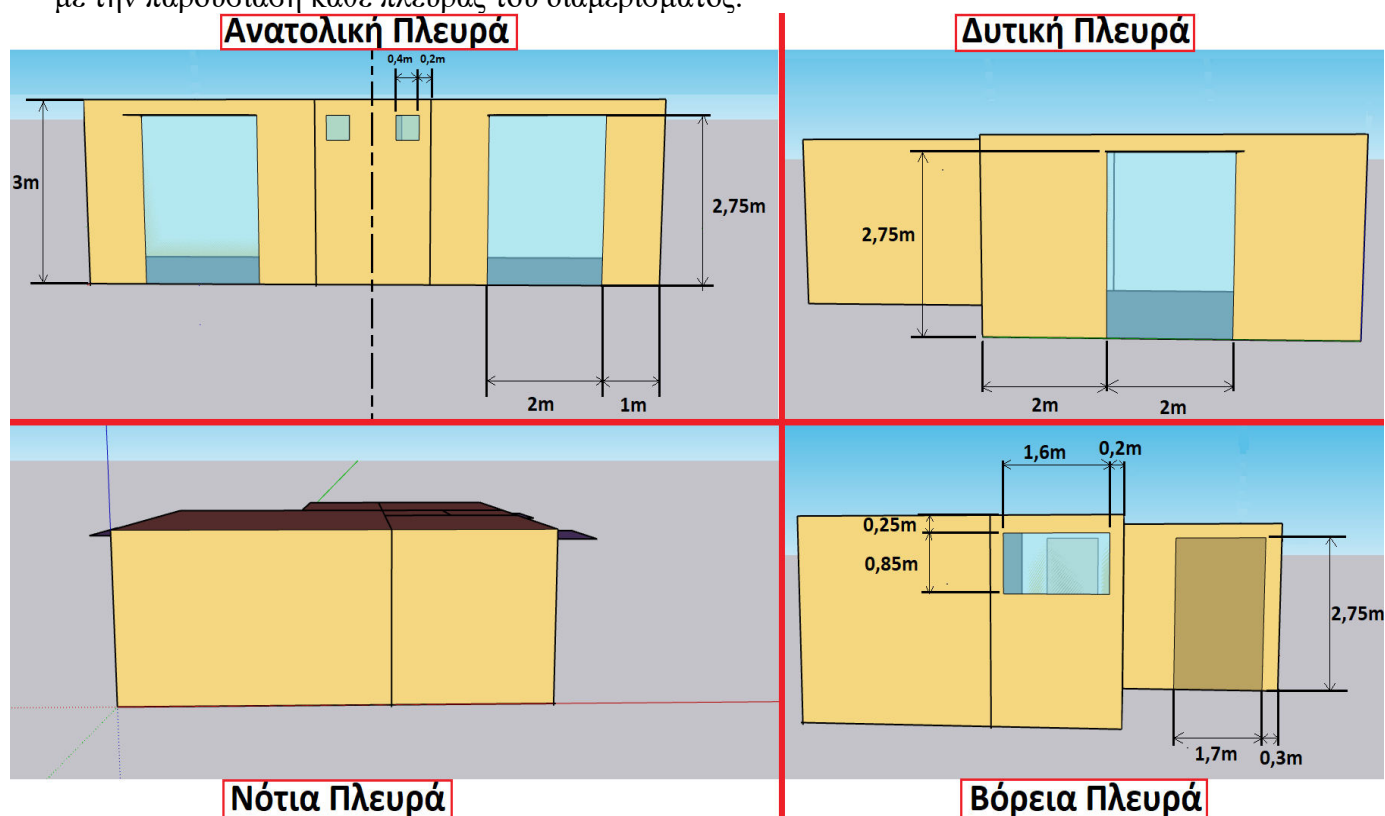


101 Εικόνα 3.1.2: Σκαρίφημα Κάτοψης Διαμερίσματος

Παρατηρείται εύκολα ότι με κόκκινο χρώμα σημειώνονται τα ονόματα των δωματίων, ενώ με μπλέ χρώμα και κάθετα στην εκάστοτε επιφάνεια σημειώνονται τα όρια κάθε υαλοπίνακα. Σε αυτή την εφαρμογή γίνεται χρήση υαλοπινάκων ως παραθύρων (operable window) και ως γυάλινων μπαλκονοπορτών (glass door). Όπως φαίνεται και παραπάνω στο μπάνιο και στην κουζίνα υπάρχουν μικρότερα παράθυρα, λογικό καθώς το εμβαδόν των δωματίων αυτών είναι αρκετά μικρό, ενώ στο σαλόνι, στο παιδικό δωμάτιο και στην κρεβατοκάμαρα υπάρχουν μεγαλύτερες μπαλκονόπορτες για να εξυπηρετήσουν επαρκή αερισμό και ίσως φωτισμό των δωματίων αυτών. Αν και ο φυσικός φωτισμός δεν είναι αντικείμενο αυτής της εργασίας, εδώ απλά αναφέρεται ότι τις πρωινές ώρες και με τον ήλιο να ανατέλλει από τα νοτιοανατολικά φωτίζονται φυσικά τα υπνοδωμάτια ώστε να «ξυπνήσουν» οι κάτοικοι. Από την άλλη τις απογευματινές ώρες και ενώ ο ήλιος δύει από τα νοτιοδυτικά οι ακτίνες του πέφτουν μέσα στο σαλόνι και φωτίζει φυσικά τον χώρο που ξεκουράζονται πλέον οι κάτοικοι. Κάτι ακόμα που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι με μαύρο χρώμα και κάθετα στις επιφάνειες σημειώνονται οι πόρτες που υπάρχουν στο διαμέρισμα, οι οποίες στην πλειοψηφία τους είναι εσωτερικές και συνήθως συνδέουν κάθε δωμάτιο με το χώλ. Βέβαια υπάρχει και μια εσωτερική πόρτα που συνδέει την κουζίνα με το σαλόνι, αλλά και η μια και μοναδική



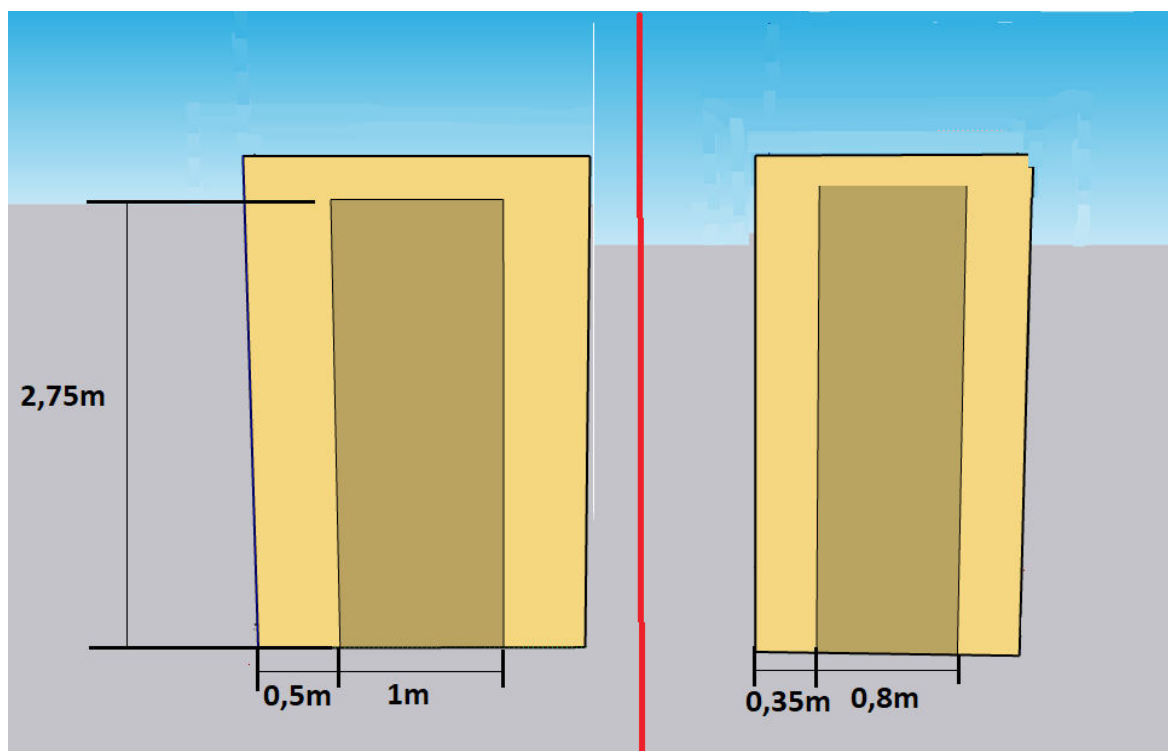
εξωτερική πόρτα που επιτρέπει την είσοδο των κατοίκων από το εξωτερικό του διαμερίσματος στο εσωτερικό του και συγκεκριμένα στο σαλόνι. Η αλήθεια είναι βέβαια ότι το παραπάνω σκαρίφημα δεν παραθέτει τις διαστάσεις των παραθύρων και των πορτών, καθώς αυτό θα γίνει στην συνέχεια με την παρουσίαση κάθε πλευράς του διαμερίσματος.



102 Εικόνα 3.1.3: Παρουσίαση όλων των πλευρών του διαμερίσματος και διαστασιολόγηση παραθύρων και πορτών

Παραπάνω λοιπόν φαίνεται αρχικά για πρώτη φορά το ύψος των δωματίων του διαμερίσματος, το οποίο είναι 3m και κοινό για όλα τα δωμάτια. Στην ανατολική πλευρά του διαμερίσματος φαίνονται οι μπαλκονόπορτες του παιδικού δωματίου και της κρεβατοκάμαρας, οι οποίες είναι όμοιες, καθώς φαίνεται και από την συμμετρία του σκαριφήματος, έχοντας ύψος 2,75m και πλάτος 2m, ενώ είναι τοποθετημένες ακριβώς στο κέντρο του εκάστοτε δωματίου απέχοντας ίση απόσταση από το χώρισμα του με κάποιο άλλο δωμάτιο. Ύστερα παρατηρείται ότι στο μπάνιο υπάρχουν δύο παράθυρα με την συμμετρία να είναι και εδώ παρούσα. Τα παράθυρα είναι τετραγωνικά με ακμή 0,4m και απέχουν 0,8m μεταξύ τους. Στην δυτική πλευρά τώρα και συγκεκριμένα στον δυτικό τοίχο του σαλονιού υπάρχει μια πανομοιότυπη μπαλκονόπορτα και μάλιστα τοποθετημένη ξανά στο κέντρο της πλευράς. Η νότια πλευρά δεν χρήζει περαιτέρω σχολιασμού καθώς δεν υπάρχει κάποιο χαρακτηριστικό παρά μόνο οι νότιοι τοίχοι σαλονιού και παιδικού δωματίου. Τέλος στην βόρεια πλευρά φαίνονται το παράθυρο της κουζίνας με διαστάσεις 0,85mX1,6m και η εξωτερική πόρτα η οποία με πλάτος 1,7m είναι λίγο μικρότερη από τις μπαλκονόπορτες. Αμφότερα τα ανοίγματα αυτά δε, φτάνουν στο ύψος των 2,75m επίσης.

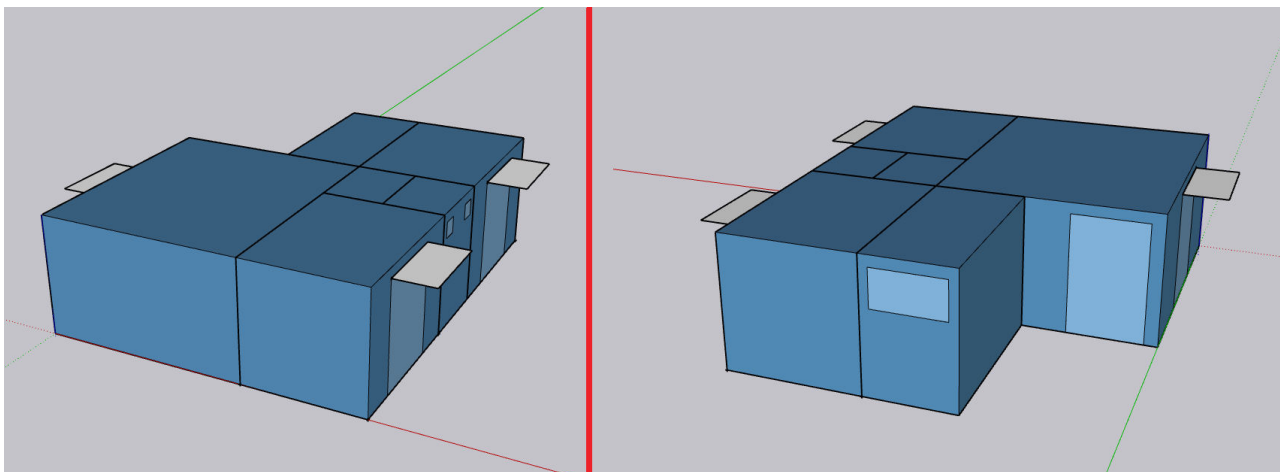
Παρακάτω το μόνο που μένει να παρουσιαστεί είναι η θέση και οι διαστάσεις των εσωτερικών πορτών του χώλ και της κουζίνας. Θα παρουσιαστούν δύο περιπτώσεις, οι πόρτες μεταξύ χώλ και υπνοδωματίων και οι πόρτες μεταξύ χώλ μπάνιου και χώλ σαλονιού. Η πόρτα μεταξύ κουζίνας και σαλονιού είναι ίδιου μεγέθους με αυτήν μεταξύ χώλ και σαλονιού. Όπως και πριν όλες οι πόρτες έχουν ύψος 2,75m και όπως είναι λογικό οι πόρτες προς τα υπνοδωμάτια είναι στενότερες από τις πόρτες προς το σαλόνι και το μπάνιο αφού βρίσκονται στις μικρότερες πλευρές του χώλ. Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται στα αριστερά οι διαστάσεις των πορτών από χώλ σε σαλόνι και μπάνιο και από κουζίνα σε σαλόνι, ενώ στα δεξιά φαίνονται οι διαστάσεις των πορτών που οδηγούν από το χώλ στα υπνοδωμάτια.



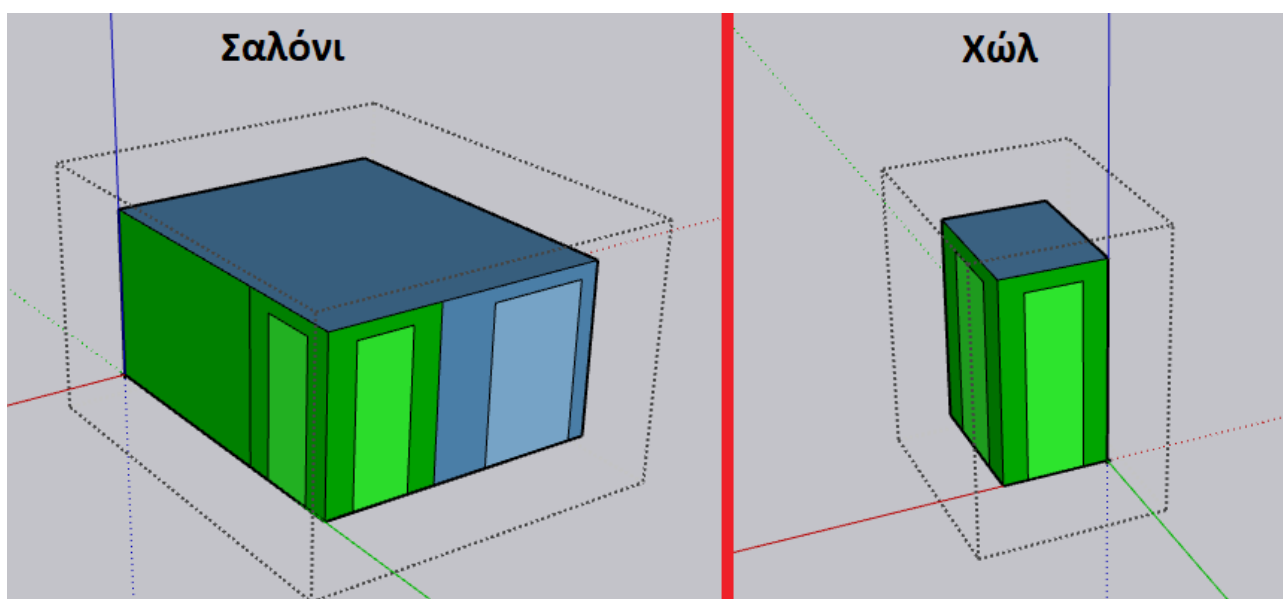
103 Εικόνα 3.1.4: Διαστάσεις και θέσεις εσωτερικών πορτών

Αφού η περιγραφή των πορτών και παραθύρων έχει τελειώσει πρέπει να σημειωθεί ότι τα σκιάστρα που φάνηκαν παραπάνω, προστέθηκαν μόνο στις μπαλκονόπορτες των υπνοδωματίου και του σαλονιού καθώς τα υπόλοιπα παράθυρα θεωρήθηκαν αρκετά μικρά ή σε κάποια κατεύθυνση που δεν δέχονται τις ακτίνες του ήλιου. Το μήκος των σκιάστρων είναι 1,16m, γιατί όπως φάνηκε και από το προηγούμενο κεφάλαιο σε αυτό το μήκος η ακτινοβολία μπορεί να περάσει από στον υαλοπίνακα τον χειμώνα και να σταματήσει στο υπόστεγο το καλοκαίρι-όταν ο ήλιος βρίσκεται ακριβώς πάνω από κάθε μπαλκονόπορτα.

Τέλος παρουσιάζονται πιο κάτω οι επιφάνειες του διαμερίσματος με βάση την οριακή συνθήκη της κάθε μιας, μέσω του εργαλείου Render by Boundary Condition. Με αυτό τον τρόπο όλες οι εξωτερικές επιφάνειες του διαμερίσματος που εκτίθενται στον ήλιο και στον αέρα φαίνονται με μπλέ χρώμα παρακάτω. Οι εσωτερικές επιφάνειες που δεν εκτίθενται σε ήλιο επιχρωματίζονται με πράσινο και φαίνονται απομονώνοντας ένα συγκεκριμένο δωμάτιο από όλο το διαμέρισμα. Παραδείγματος χάρη το σαλόνι έχει κάποιες εσωτερικές επιφάνειες και είναι αυτές που έρχονται σε επαφή με το παιδικό δωμάτιο, με το χώλ και με την κουζίνα. Το χώλ από την άλλη αποτελείται κατά την πλειοψηφία του, από εσωτερικές επιφάνειες. Και τα δύο αυτά παραδείγματα απεικονίζονται παρακάτω.

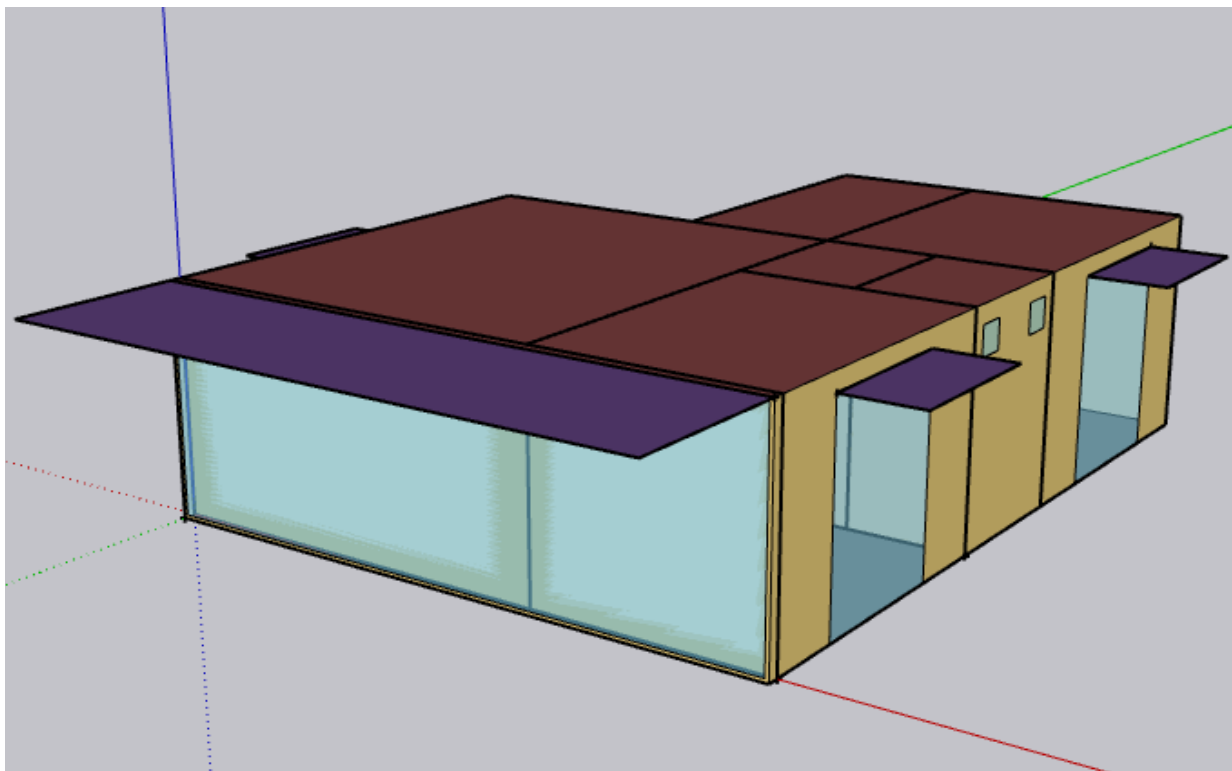


104 Εικόνα 3.1.5: Ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη και εξωτερικές επιφάνειες διαμερίσματος

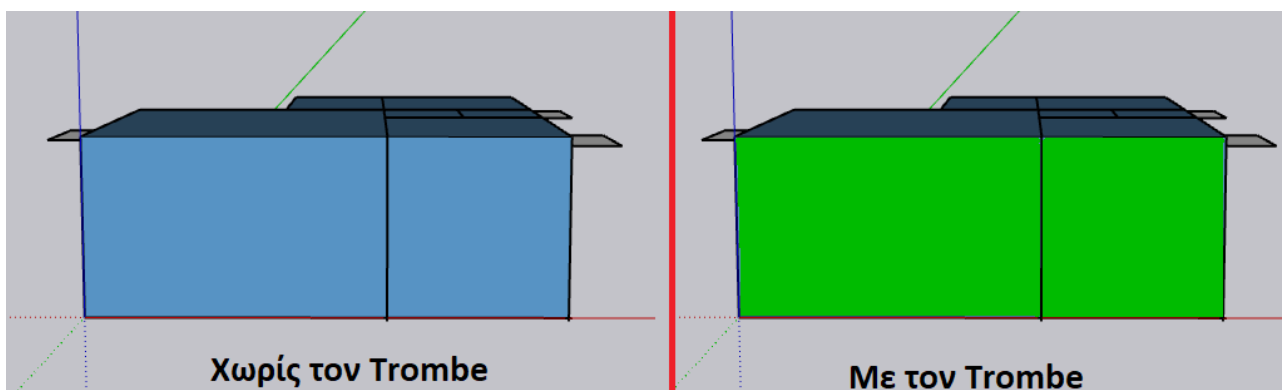


105 Εικόνα 3.1.6: Ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη και εσωτερικές επιφάνειες σαλονιού και χώλ

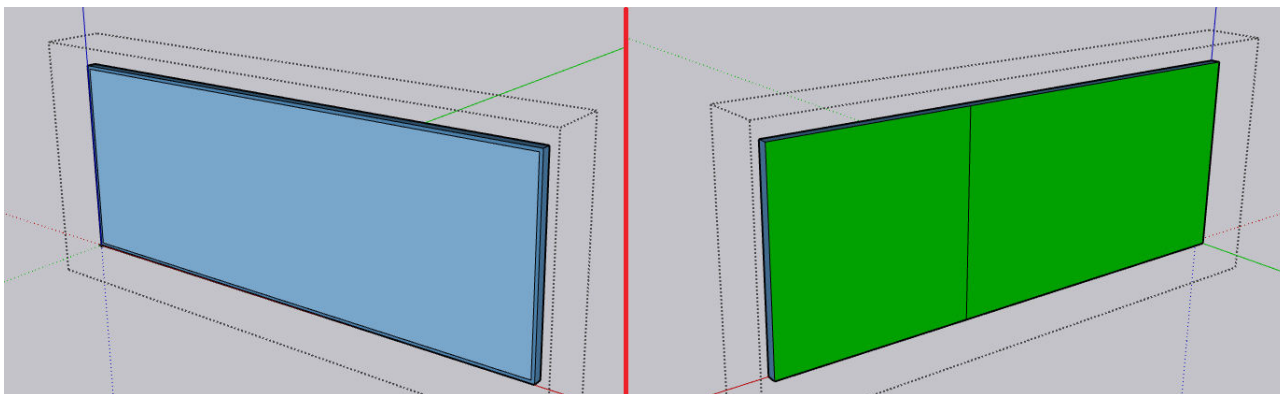
Αυτό είναι το διαμέρισμα που θα εξεταστεί, χωρίς την προσθήκη του τοίχου Trombe. Ο επιπλέον χώρος του διακένου μπροστά από τον τοίχο trombe, θα προστεθεί μπροστά από την νότια πλευρά του διαμερίσματος. Το πλάτος του διακένου θα είναι 0,15m και το μήκος του 8m, καθώς θα εκτείνεται σε όλη την νότια πλευρά του διαμερίσματος. Ο υαλοπίνακας Trombe θα καλύπτει σχεδόν όλη την νότια πλευρά του χώρου του διακένου, όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφήνοντας 0,05m τοίχου προς κάθε κατεύθυνση. Παρακάτω φαίνεται μια γενική άποψη του διαμερίσματος μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe. Αφού γίνει αυτό, πρέπει να σημειωθεί ότι πλέον οι νότιες επιφάνειες του σαλονιού και του παιδικού δωματίου δεν έρχονται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον, αφού η οριακή τους συνθήκη τις φέρνει σε επαφή με την επιφάνεια του τοίχου Trombe. Επομένως κι ο επιχρωματισμός τους σε μια ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη θα αλλάξει από μπλέ σε πράσινο, όπως δείχνει και η εικόνα παρακάτω. Προφανώς για τον χώρο του διακένου Trombe, η βόρεια επιφάνεια που αντιστοιχεί τον τοίχο Trombe δεν είναι εκτεθειμένη στο περιβάλλον και άρα επιχρωματίζεται με πράσινο χρώμα.



106 Εικόνα 3.1.7: Γενική άποψη του διαμερίσματος μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe



107 Εικόνα 3.1.8: Σύγκριση νότιων επιφανειών σαλονιού και υπνοδωματίου σε ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη πριν και μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe



108 Εικόνα 3.1.9: Σύγκριση εσωτερικών και εξωτερικών επιφανειών του χώρου του διακένου Trombe σε ομαδοποίηση κατά οριακή συνθήκη

Στις παραπάνω εικόνες φαίνεται και το υπόστεγο πάνω από τον υαλοπίνακα Trombe. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να συζητηθεί το μήκος του, κάτι που θα γίνει στα επόμενα κεφάλαια και θα σχετίζεται άμεσα με την θερμοκρασία που επικρατεί μέσα στο διαμέρισμα.

### 3.2 Επεξεργασία μοντέλου διαμερίσματος μέσω OpenStudio και EnergyPlus

Περνώντας το αρχείο στο OpenStudio με τρόπο που έχει ήδη παρουσιαστεί στα προηγούμενα κεφάλαια, επιλέγεται ξανά αρχείο καιρού που δίνει πληροφορίες για την πόλη της Αθήνας. Σε αυτή την εφαρμογή όμως πρέπει να προστεθούν πληροφορίες και για τις ημέρες σχεδίασης που αφορούν την Αθήνα. Οι πληροφορίες αυτές αφορούν την θερμοκρασία, την υγρασία, την ταχύτητα του αέρα και την ακτινοβολία που επικρατούν στην Αθήνα κάποιες συγκεκριμένες μέρες, τις μέρες σχεδίασης, πάνω στις οποίες βασίζονται οι αυτόματες διαστασιολογήσεις κάποιων συστημάτων όπως είναι τα κλιματιστικά που θα προστεθούν σε συγκεκριμένους χώρους τους διαμερίσματος. Αυτές οι πληροφορίες περιέχονται σε ένα αρχείο τύπου .ddy, το οποίο μπορεί να βρεθεί στο site του EnergyPlus για κάθε πόλη που υπάρχει και αρχείο καιρού. Το αρχείο αυτό εισάγεται μέσω της επιλογής Import from DDY στην καρτέλα site, κάτω από εκεί που εισήχθη το αρχείο καιρού, όπως φαίνεται και παρακάτω.

Design Day Name	All	Day Of Month	Month	Day Type
ATHENS Ann Clg ,4% Conds DB=>MWB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay
ATHENS Ann Clg ,4% Conds DP=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay
ATHENS Ann Clg ,4% Conds Enth=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay
ATHENS Ann Clg ,4% Conds WB=>MDB	<input type="checkbox"/>	21	8	SummerDesignDay
ATHENS Ann Htg 99.6% Conds DB	<input type="checkbox"/>	21	2	WinterDesignDay
ATHENS Ann Htg Wind 99.6% Conds WS=>MCDB	<input type="checkbox"/>	21	2	WinterDesignDay
ATHENS Ann Hum ,r 99.6% Conds DP=>MCDB	<input type="checkbox"/>	21	2	WinterDesignDay

109 Εικόνα 3.2.1: Εισαγωγή αρχείου μερών σχεδίασης, τύπου .ddy στην καρτέλα site του OpenStudio

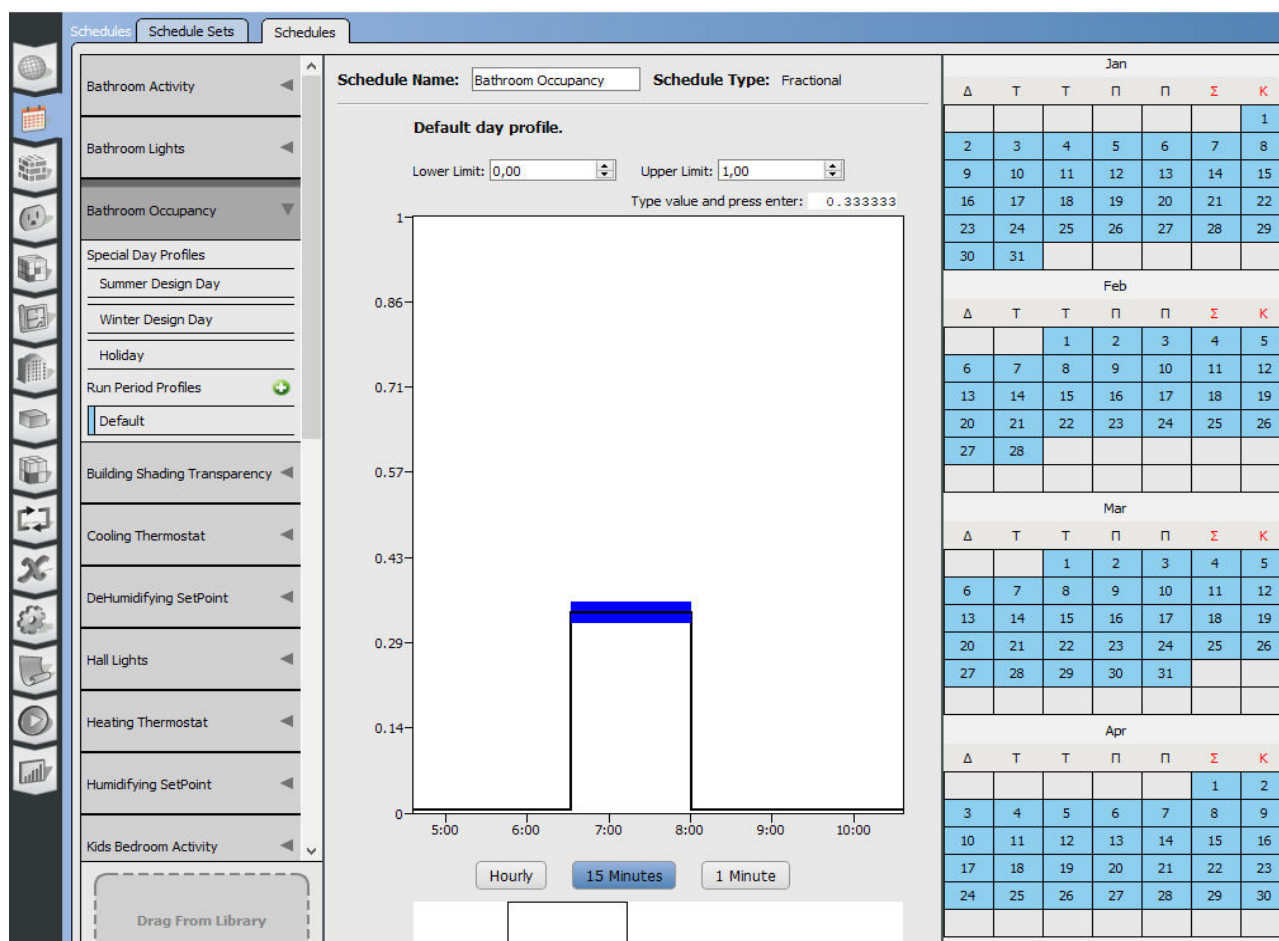
Με αυτό τον τρόπο γίνεται γνωστή μια τουλάχιστον δυάδα αποτελούμενη από μια χειμερινή και μια καλοκαιρινή μέρα σχεδίασης, έτσι ώστε οποιοδήποτε σύστημα διαστασιολογεί αυτόματα να μπορεί να βασιστεί στον καιρό των δύο βασικών εποχών.

Έπειτα πρέπει να αναλυθούν τα προγράμματα ,τα οποία θα προσδιορίζουν τον αριθμό των ατόμων σε κάθε δωμάτιο,την δραστηριότητα τους και την ισχύ του φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών κάθε δωματίου καθ'όλη την διάρκεια της ημέρας.Όλα αυτά τα προγράμματα θα ισχύουν για όλη την διάρκεια του έτους,χωρίς να γίνεται διάκριση μεταξύ καλοκαιρινής και χειμερινής περιόδου για λόγους οικονομίας χρόνου και υπολογιστικών πόρων.

## Προγράμματα αριθμού ατόμων σε κάθε δωμάτιο

Αρχικά προσδιορίζεται ο αριθμός των ατόμων σε κάθε δωμάτιο.Προφανώς,μιας και η οικογένεια του γράφοντα αποτελείται από τρία μέλη, υπάρχουν τρεις επιλογές,του ενός,των δύο και των τριών ατόμων που μπορεί να δηλωθούν σε κάθε δωμάτιο.Όσον αφορά τα υπνοδωμάτια,ο μέγιστος αριθμός κατοίκων για την βασική κρεβατοκάμαρα είναι δύο,αφού στεγάζει τους δύο γονείς,και αυτός του παιδικού δωματίου είναι ένα,αφού στεγάζει μόνο ένα παιδί.Στα υπόλοιπα δωμάτια κυκλοφορούν και οι τρεις κάτοικοι του διαμερίσματος,ακόμα και αν κάποιες φορές δεν είναι και οι τρεις την ίδια στιγμή στο ίδιο δωμάτιο.Τα προγράμματα που περιγράφουν τον αριθμό των ατόμων είναι τύπου fractional και δίνουν το ποσοστό,εκφρασμένο σε δεκαδικό αριθμό, του μέγιστου αριθμού των ατόμων που δύναται να στεγάζει ο εκάστοτε χώρος για κάθε χρονική στιγμή.

Στο μάνιο πηγαίνουν με την σειρά,ένας ένας και για μισή ώρα ο καθένας όλοι οι κάτοικοι του



110Εικόνα 3.2.2: Πρόγραμμα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Μπάνιο

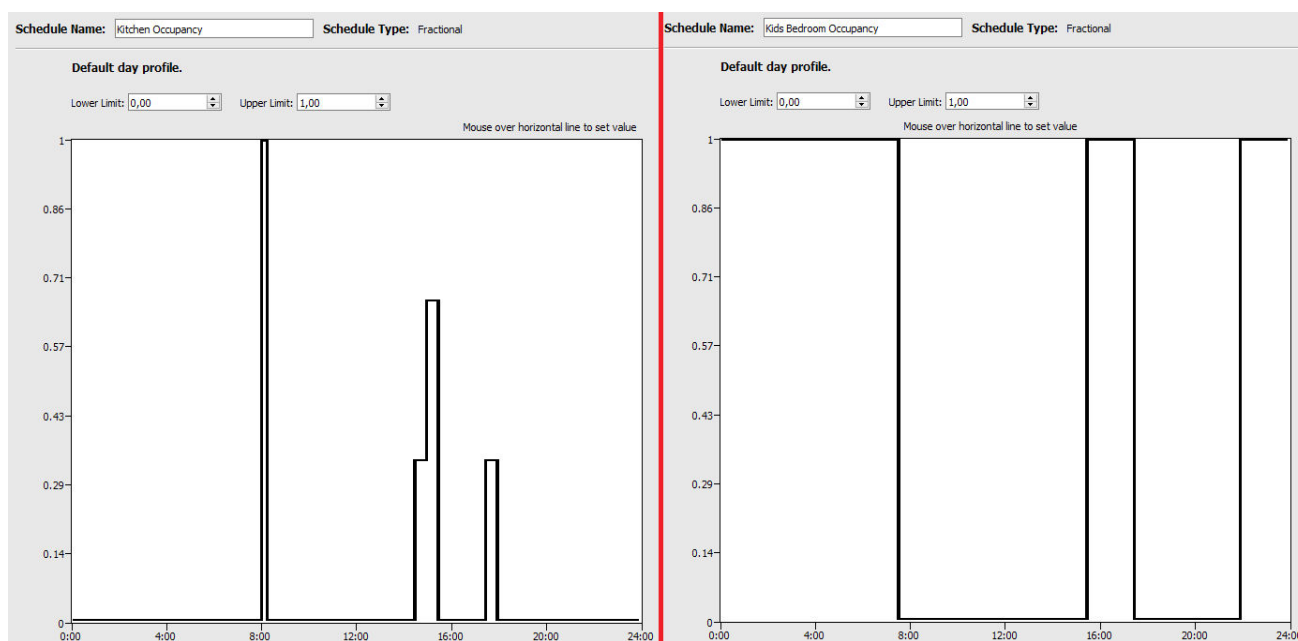
διαμερίσματος,ξεκινώντας από τις 6:30 και τελειώνοντας στις 8:00.Επομένως δηλώνεται ο αριθμός 0.333333,δηλαδή 1/3 για κάθε κάτοικο,για το παραπάνω χρονικό διάστημα.Γίνεται επίσης η παραδοχή ότι στην υπόλοιπη διάρκεια της ημέρας δεν γίνεται χρήση του μπάνιου,ή όποτε γίνεται δεν μπορεί να μοντελοποιηθεί καθώς θα είναι απρόβλεπτη.



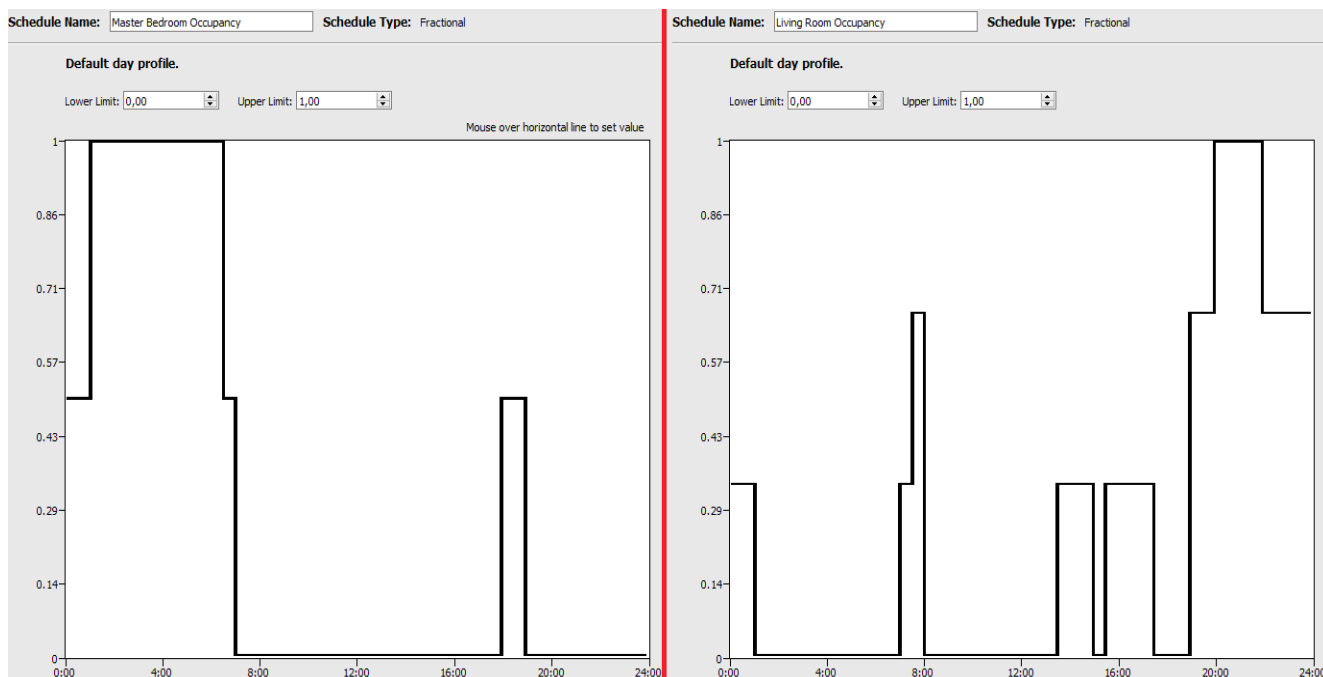
Στα των υπονοματιών τώρα,σημειώνεται ότι το παιδί ξυπνάει στις 7:30 ενώ οι δύο γονείς ξυπνούν στις 6:30 και στις 7:00 αντίστοιχα.Από την άλλη το παιδί κοιμάται στις 22:00,ενώ οι γονείς στις 24:00 και στη 1:00.Αρα στο παιδικό δωμάτιο υπάρχει ένα άτομο από τις 22:00 έως τις 7:30 της επόμενης ημέρας,ενώ στην κεντρική κρεβατοκάμαρα υπάρχουν δύο άτομα από τη 1:00 έως τις 6:30,ενώ υπάρχει ένα άτομο από τις 24:00 έως τη 1:00 και από τις 6:30 έως τις 7:00.Βέβαια υπάρχουν και ώρες πέρα από αυτές τους ύπνου ,στις οποίες χρησιμοποιούνται τα παραπάνω δωμάτια.Το παιδικό δωμάτιο λοιπόν χρησιμοποιείται,για παιχνίδι από το παιδί,στο διάστημα 15:30-17:30,ενώ η κρεβατοκάμαρα χρησιμοποιείται από τον ένα γονέα για να παρακολουθήσει τηλεόραση στο διάστημα 18:00-19:00.

Στην κουζίνα όλη η οικογένεια συναντιέται στις 8:00 κάθε μέρας για να φάει πρωινό μέχρι τις 8:15.Σε αυτό το διάστημα χρησιμοποιούνται επίσης και ηλεκτρικές συσκευές για την προετοιμασία του φαγητού,εκτός από την απλή κατανάλωση του.Έπειτα ο ένας γονέας μπαίνει στην κουζίνα στις 14:30 για να αρχίσει το μαγείρεμα του μεσημεριανού φαγητού χρησιμοποιώντας τον φούρνο και στις 15:00 έρχεται και το παιδί ώστε να αρχίσουν να τρώνε μαζί ως τις 15:30.Ο άλλος γονέας που δεν έχει γυρίσει ακόμα από την δουλειά στις 15:00 και δεν τρώει μαζί με την υπόλοιπη οικογένεια, μπαίνει στην κουζίνα στις 17:30 για να ξαναζεστάνει το φαγητό στο φούρνο μικροκυμάτων και τρώει μέχρι τις 18:00.

Μένει να αναλυθεί το πρόγραμμα του σαλονιού.Μόλις ξυπνάνε και πριν πάνε στην κουζίνα,οι γονείς στέκονται για λίγο στο σαλόνι χαζεύοντας στην τηλεόραση και στο λάπτοπ.Αρχικά στο διάστημα 7:00-7:30 υπάρχει μόνο ένα άτομο να κοιτάζει το λάπτοπ και στις 7:30 έρχεται και ο άλλος γονέας ανοίγοντας την τηλεόραση.Αυτό συμβαίνει μέχρι τις 8:00 που συναντάνε το παιδί τους για να πάνε για πρωινό.Από τις 13:30 μέχρι τις 15:00 το παιδί αφού γυρίζει από το σχολείο ανοίγει το λάπτοπ και έπειτα πάει στην κουζίνα για φαγητό.Στο διάστημα 15:30-17:30 ο ένας γονέας μετά το φαγητό κάθεται στο σαλόνι και βλέπει τηλεόραση.Από τις 19:00 και μετά συγκεντρώνονται στο σαλόνι το παιδί και ο ένας γονέας έχοντας ανοικτά την τηλεόραση και το λάπτοπ.Από τις 20:00 μέχρι τις 22:00 όλη η οικογένεια συναντιέται για παιχνίδι με το παιδί τους μέχρι αυτό να πάει για ύπνο και ύστερα μέχρι τις 24:00 οι δύο γονείς χαλαρώνουν με το λάπτοπ και την τηλεόραση να είναι ακόμα ανοικτά.Τέλος στο διάστημα 24:00-1:00 ο ένας γονέας πάει για ύπνο,ενώ ο άλλος συνεχίζει να κάθεται στο σαλόνι μόνο με το λάπτοπ της οικογένειας.



Πίνακας 3.2.3: Προγράμματα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Παιδικό δωμάτιο και στην Κουζίνα

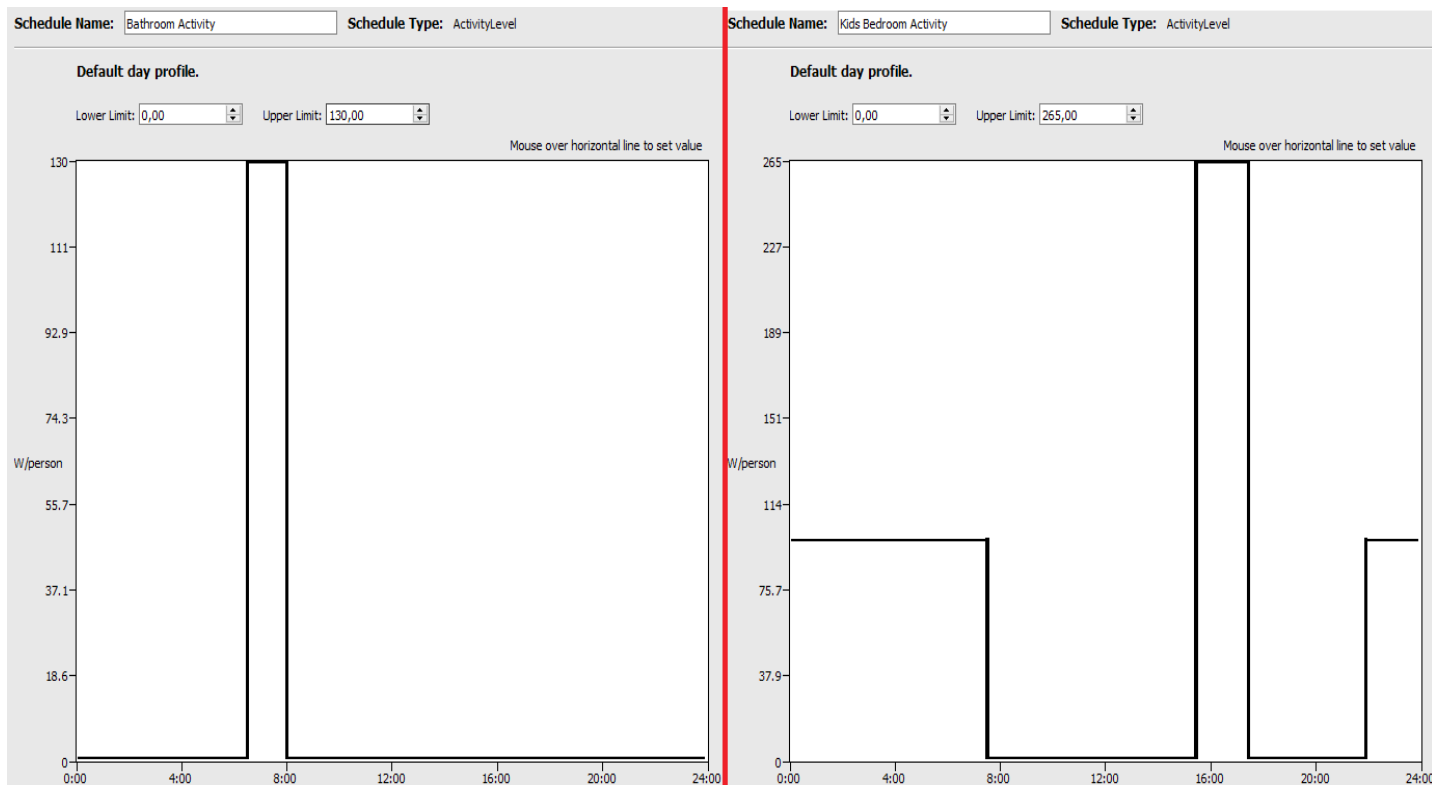


112 Εικόνα 3.2.4: Προγράμματα αριθμού ατόμων που κυκλοφορούν στο Σαλόνι και στην Βασική Κρεβατοκάμαρα

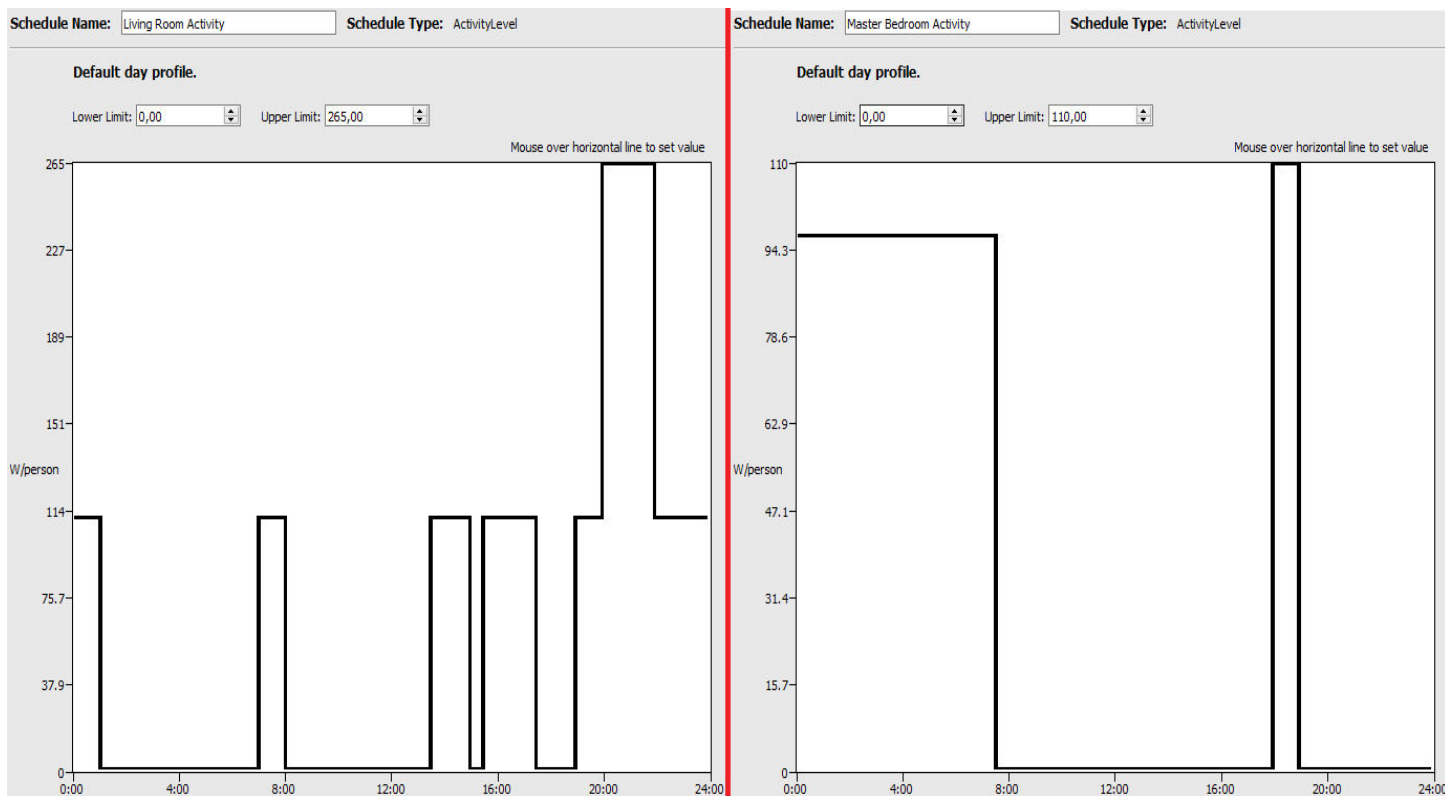
Θα σημειωθεί εδώ ότι υπάρχουν διαστήματα μέσα στην ημέρα στα οποία ένα ή παραπάνω άτομα απουσιάζουν εντελώς από το σπίτι. Η λογική είναι ότι τα προγράμματα που περιγράφονται παραπάνω σκιαγραφούν μια μέση μέρα αυτής της οικογένειας. Ακριβώς για αυτόν τον λόγο θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η οικογένεια φεύγει από το σπίτι για εργασία ή όποια άλλη δουλειά. Στο διάστημα λοιπόν 8:15-13:30 όλη η οικογένεια λείπει, οι γονείς είναι στην δουλειά και το παιδί στο σχολείο. Στις 13:30 επιστρέφει το παιδί από τα μαθήματα του και ξαναφεύγει στις 17:30 προς ένα φροντιστηριακό μάθημα, για να επιστρέψει στις 19:30. Στις 14:30 επιστρέφει ο ένας γονέας από την εργασία του, ο οποίος ξαναφεύγει για εξωτερικές δουλειές από τις 17:30 έως τις 20:00. Ο άλλος γονέας γυρνάει από την εργασία του στις 17:30 και παραμένει στο σπίτι.

### Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων

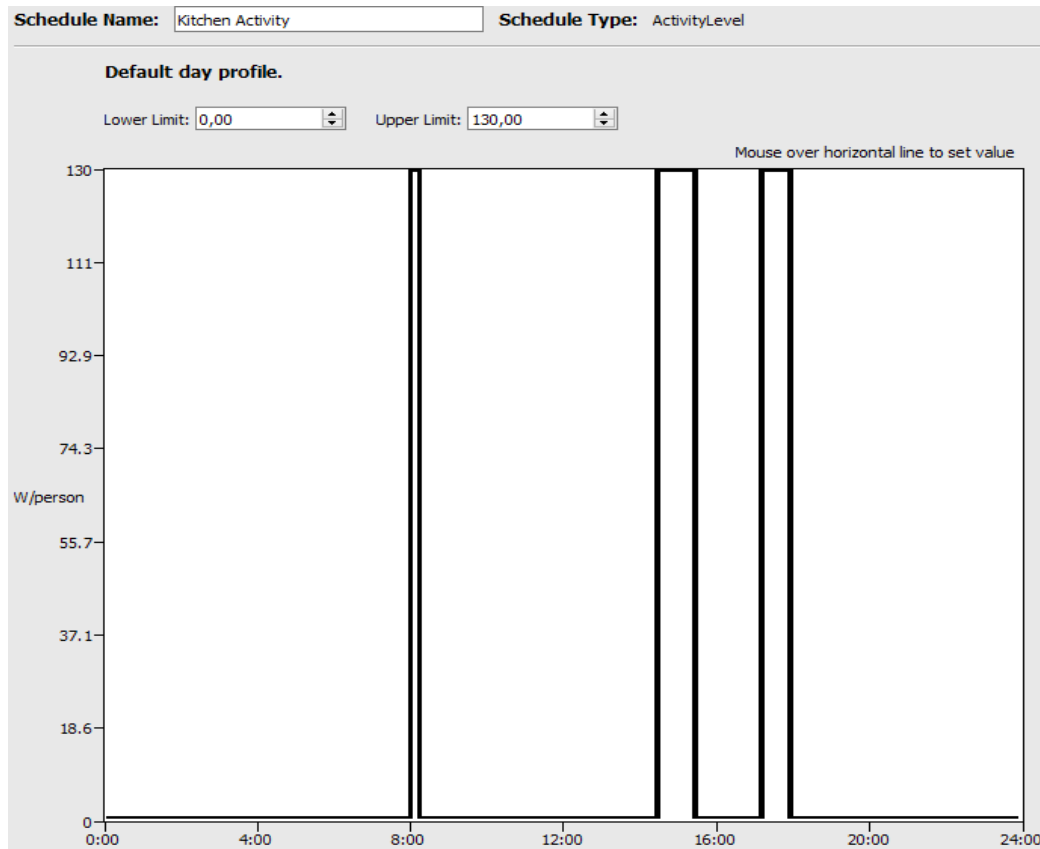
Στην συνέχεια πρέπει να παρουσιαστούν τα προγράμματα που ασχολούνται με την δραστηριότητα που κάνουν τα άτομα σε οποιοδήποτε χώρο και κάθε ώρα της ημέρας. Οι πληροφορίες που δόθηκαν πιο πάνω για το τι κάνει κάθε άτομο σε κάθε χώρο θεωρούνται δεδομένες και δεν θα αναλυθούν περαιτέρω. Υπενθυμίζεται εδώ ότι το παιχνίδι του παιδιού με τους γονείς του ορίζεται ως κάτι λίγο πιο ενεργοβόρο από την ελαφριά εργοστασιακή δουλειά, που έχει οριστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο από τον πίνακα 2.4 της ASHRAE, και έχει τελικά τιμή 265W. Το μαγείρεμα σε κάθε του μορφή καθώς και η δραστηριότητα στο μπάνιο παίρνουν την τιμή των 130W. Οι λοιπές δραστηριότητες έχουν ήδη οριστεί ως προς τις τιμές τους. Οι χρονικές συσχετίσεις στα προγράμματα που θα περιγραφούν παρακάτω, ταυτίζονται με αυτές των προγραμμάτων με τους αριθμούς ατόμων. Τέλος ο τύπος των προγραμμάτων αυτών θα είναι Activity Level, ορίζοντας κάθε στιγμή τα W/άτομο που προσδίδει η εκάστοτε δραστηριότητα στο εκάστοτε δωμάτιο.



113 Εικόνα 3.2.5: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στο Παιδικό δωμάτιο και στο Μπάνιο



114 Εικόνα 3.2.6: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στο Σαλόνι και στην Βασική Κρεβατοκάμαρα



115 Εικόνα 3.2.7: Προγράμματα δραστηριότητας ατόμων που κυκλοφορούν στην Κουζίνα

## Προγράμματα φωτισμού δωματίων

Προχωρώντας πρέπει να ορισθούν τα προγράμματα που αφορούν τον φωτισμό κάθε δωματίου. Θα χρησιμοποιηθούν ξανά προγράμματα τύπου fractional, τα οποία αναπαριστούν ένα ποσοστό της μέγιστης δυνατής ισχύος φωτισμού για κάθε χώρο, που αντιστοιχεί στην ισχύ του φωτισμού την εκάστοτε χρονική στιγμή. Οι κλασικοί λαμπτήρες που υπάρχουν σε κάθε δωμάτιο είναι οι εξής:

- Παιδικό Δωμάτιο: Υπάρχουν δύο λαμπτήρες, ένας 28W για ένα μικρό λαμπατέρ και ένας 75W για το βασικό φωτιστικό του δωματίου. Σύνολο 103W
- Βασική Κρεβατοκάμαρα: Παρομοίως υπάρχουν δύο λαμπτήρες, ένας 28W για ένα μικρό λαμπατέρ και ένας 75W για το βασικό φωτιστικό του δωματίου. Σύνολο 103W
- Σαλόνι: Υπάρχουν τρεις λαμπτήρες, δύο 75W για τα βασικά φωτιστικά του δωματίου και ένας 28W για ένα μικρότερο φωτιστικό. Σύνολο 178W
- Μπάνιο: Υπάρχουν δύο όμοιοι λαμπτήρες 28W βαλμένοι απλά στα ντουί τους πάνω από τον καθρέφτη. Σύνολο 56W
- Κουζίνα: Υπάρχουν τέσσερις λαμπτήρες 18W που αποτελούν το βασικό φωτιστικό του δωματίου και ένα μικρό λαμπάκι 4W του απορροφητήρα. Σύνολο 76W
- Χώλ: Υπάρχει ένας μικρός λαμπτήρας 4W για το φωτάκι νυκτός του διαδρόμου.

Ο φωτισμός του μπάνιου είναι αρκετά απλός.Όποτε χρησιμοποιείται αυτός ο χώρος ανάβουν όλα τα φώτα του.Επομένως κάθε πρωί που τα μέλη της οικογένειας μπαίνουν στο μπάνιο ανάβουν και τους δύο λαμπτήρες του.

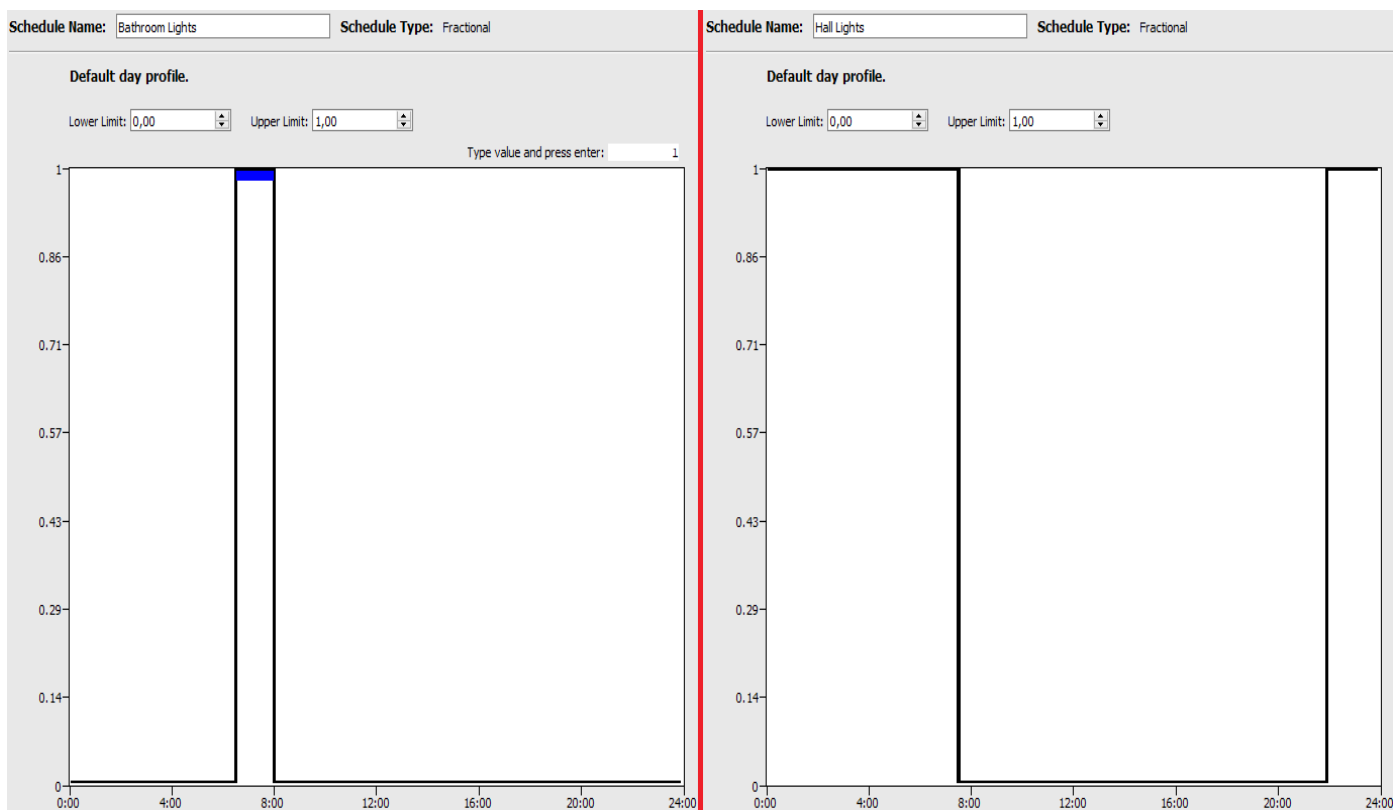
Ο φωτισμός του χώλ είναι ενεργός μόνο τις βραδυνές ώρες από την ώρα που κάποιο μέλος της οικογένειας πάει για ύπνο μέχρι να ξυπνήσουν όλοι.Άρα το φωτάκι νυκτός ανάβει από τις 22:00 έως τις 7:30.

Στο παιδικό δωμάτιο το βασικό φωτιστικό ανάβει την απογευματινή περίοδο 15:30-17:30,κατά την οποία το παιδί παίζει στο δωμάτιο του.Την περίοδο από τις 19:00 έως τις 22:00 ανάβει στο δωμάτιο το λαμπατέρ ώστε να υπάρχει ελάχιστος φωτισμός ακόμα και αν δεν υπάρχει συνεχής παρουσία ανθρώπων κατά αυτή την περίοδο.

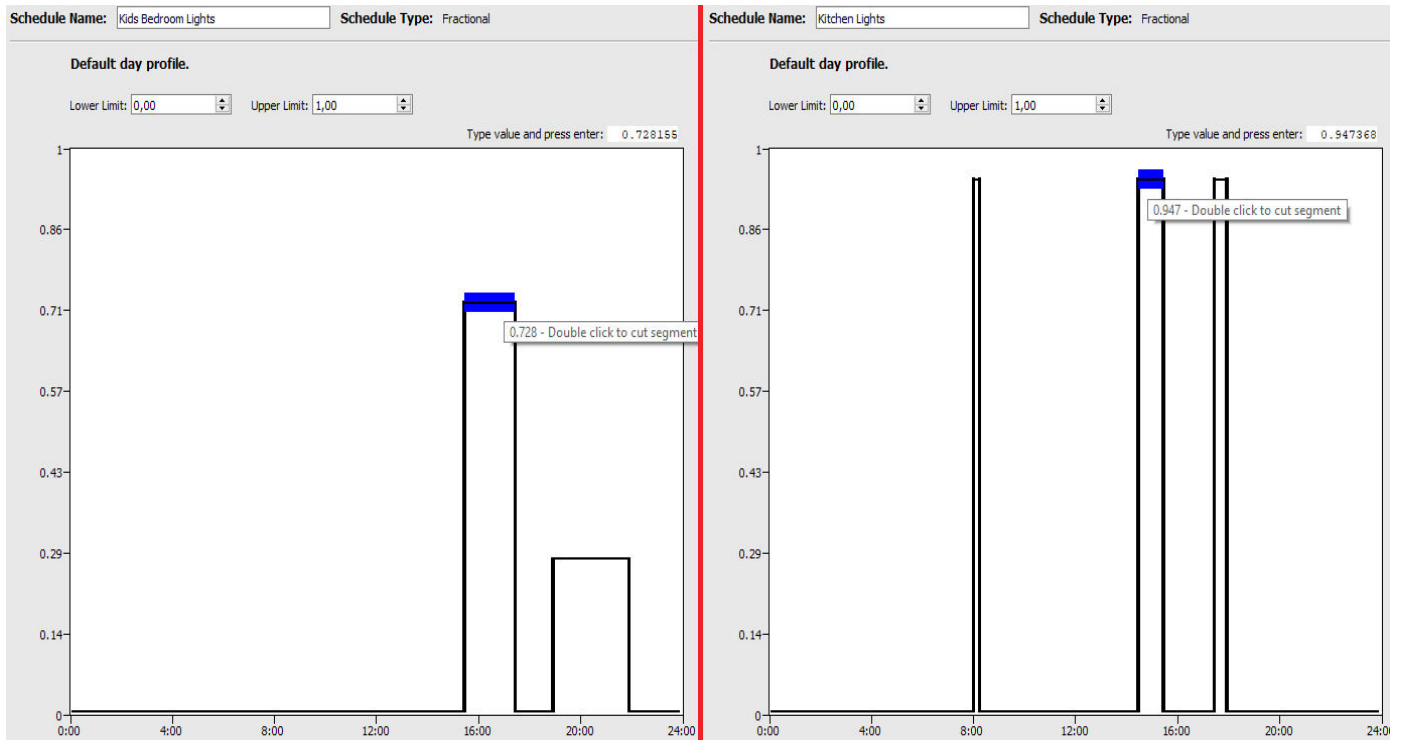
Στην βασική κρεβατοκάμαρα επικρατεί η ίδια λογική.Το απόγευμα και στο διάστημα 18:00-19:00 υπάρχει ο φωτισμός του βασικού φωτιστικού,ενώ μετά τις 19:00 και μέχρι τις 24:00 ανάβει το λαμπατέρ.

Η κουζίνα φωτίζεται κάθε φορά που υπάρχουν άτομα σε αυτό το δωμάτιο με το βασικό φωτιστικό της.Το λαμπάκι του απορροφητήρα δεν μοντελοποιείται ,καθώς ανάβει σε ανύποπτες ώρες-η συμπερίληψη του έγινε για λόγους πληρότητας.

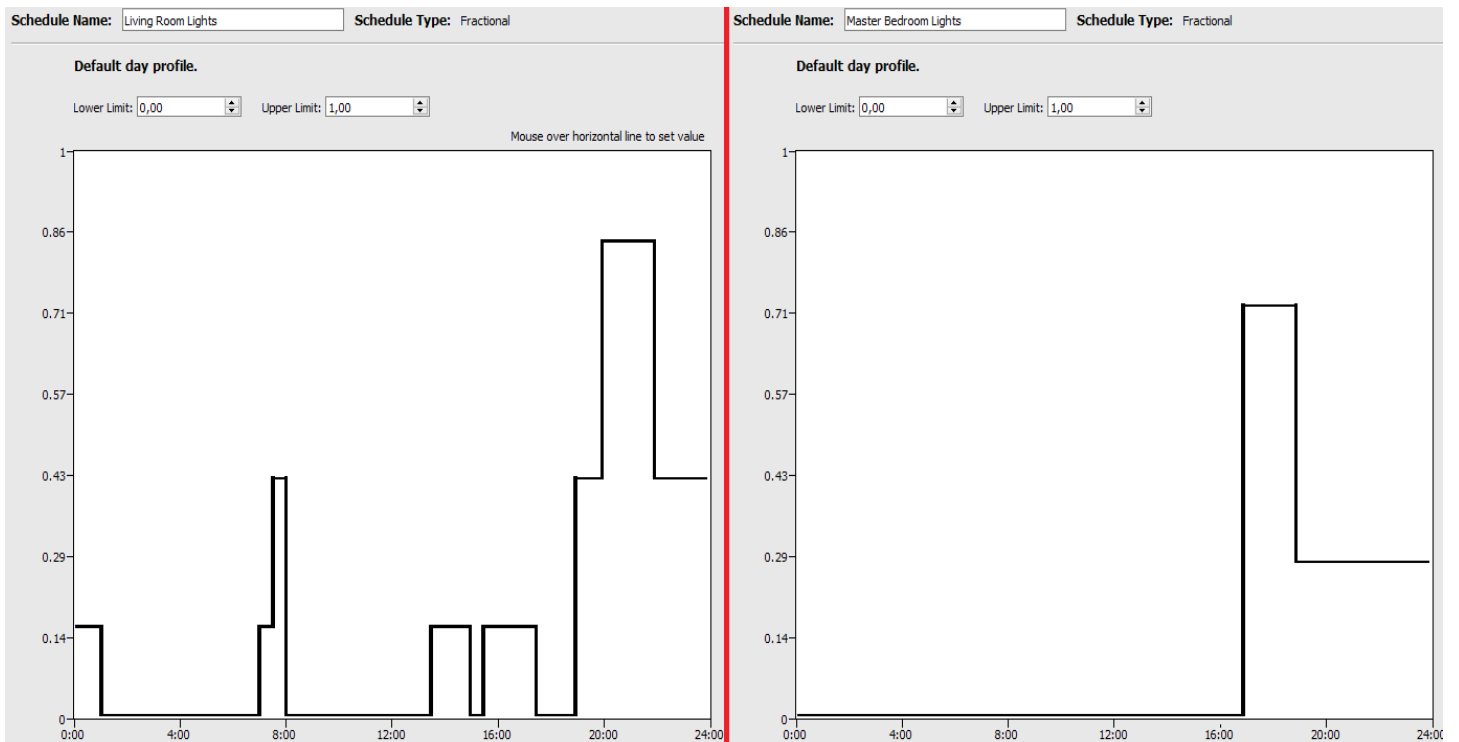
Ο φωτισμός στο σαλόνι είναι λίγο πιο περίπλοκος.Στο διάστημα 7:00-7:30 υπάρχει ένα άτομο στο σαλόνι και ανάβει μόνο ένα μικρό φωτιστικό.Από τις 7:30 μέχρι τις 8:00 υπάρχουν δύο άτομα στο δωμάτιο και ανάβουν ένα μεγάλο φωτιστικό,σβήνοντας το μικρότερο.Στα διαστήματα 13:30-15:00 και 15:30-17:30 ανάβει ένα μικρό φωτιστικό.Στις 19:00 και μέχρι τις 20:00 υπάρχουν δύο άτομα στο σαλόνι και ανάβει το ένα μεγάλο φωτιστικό,όπως και στο διάστημα 22:00-24:00.Στο μόνο διάστημα που υπάρχουν τρία άτομα στο δωμάτιο,δηλαδή στο 20:00-22:00,ανάβουν και τα δύο βασικά φωτιστικά.



116Εικόνα 3.2.8: Προγράμματα φωτισμού στο Μπάνιο και στο Χώλ



117 Εικόνα 3.2.9: Προγράμματα φωτισμού στην Κουζίνα και στο Παιδικό δωμάτιο



118 Εικόνα 3.2.10: Προγράμματα φωτισμού στην Βασική κρεβατοκάμαρα και στο Σαλόνι



## Προγράμματα λειτουργίας Ηλεκτρικών Συσκευών

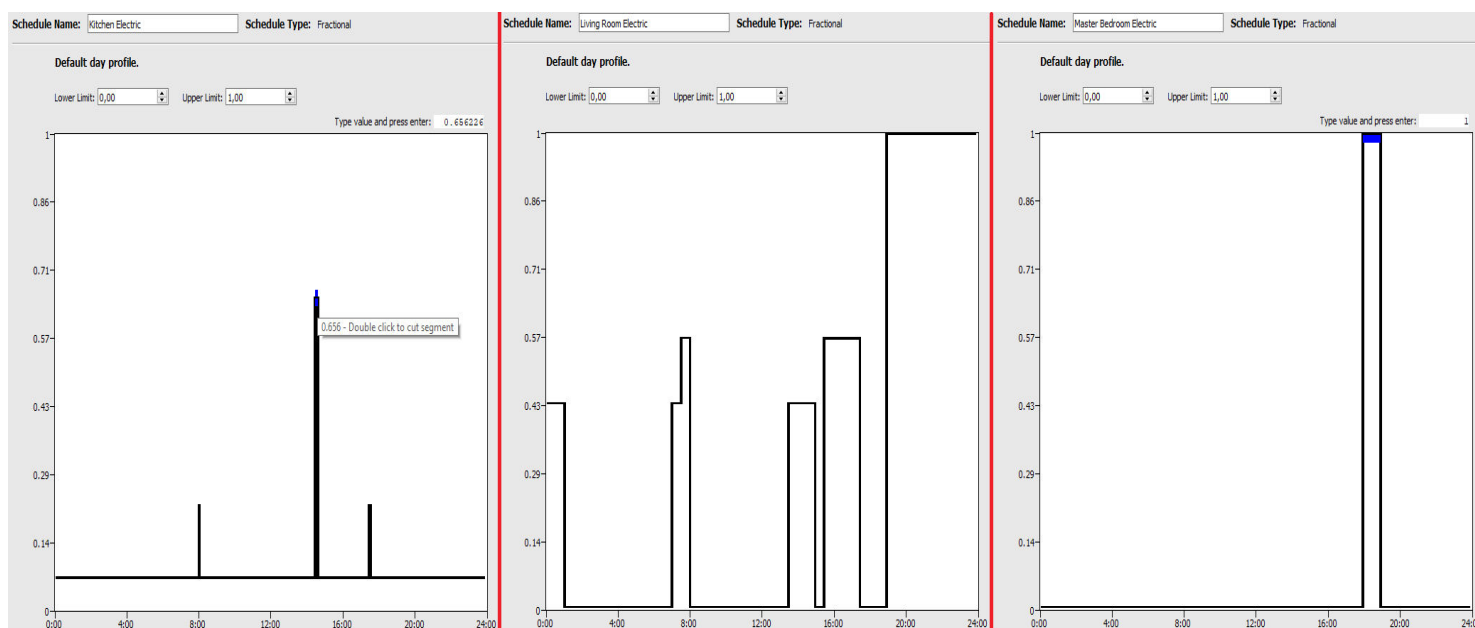
Τελειώνοντας με τα προγράμματα πρέπει να ορισθούν οι ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν σε κάθε δωμάτιο και τότε αυτές λειτουργούν. Προφανώς οι χρονικές στιγμές οι οποίες λειτουργούν οι συσκευές αυτές, συμπίπτουν με την περιγραφή που έγινε παραπάνω, στην περιγραφή των προγραμμάτων αριθμού ατόμων. Για ακόμη μια φορά χρησιμοποιούνται προγράμματα τύπου fractional που εκφράζουν το ποσοστό επί της συνολικής ισχύς, που χρησιμοποιείται κάθε χρονική στιγμή. Οι συσκευές υποτίθεται ότι χρησιμοποιούν κάθε φορά την σταθερή ονομαστική τους ισχύ. Τονίζεται επίσης ότι ηλεκτρικές συσκευές υπάρχουν μόνο στο σαλόνι, στην βασική κρεβατοκάμαρα και στην κουζίνα. Παρακάτω σημειώνονται οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν σε κάθε δωμάτιο.

-Σαλόνι: Τηλεόραση 66W, Laptop 50W. Σύνολο 116W.

-Βασική κρεβατοκάμαρα: Τηλεόραση 66W

-Κουζίνα: Φούρνος(παλαιάς τεχνολογίας) 3000W, Απορροφητήρας 100W, Ψυγείο 336W,  
Φούρνος Μικροκυμάτων 800W, Πλυντήριο 1000W(δεν μοντελοποιείται η χρήση του).  
Σύνολο 5236W.

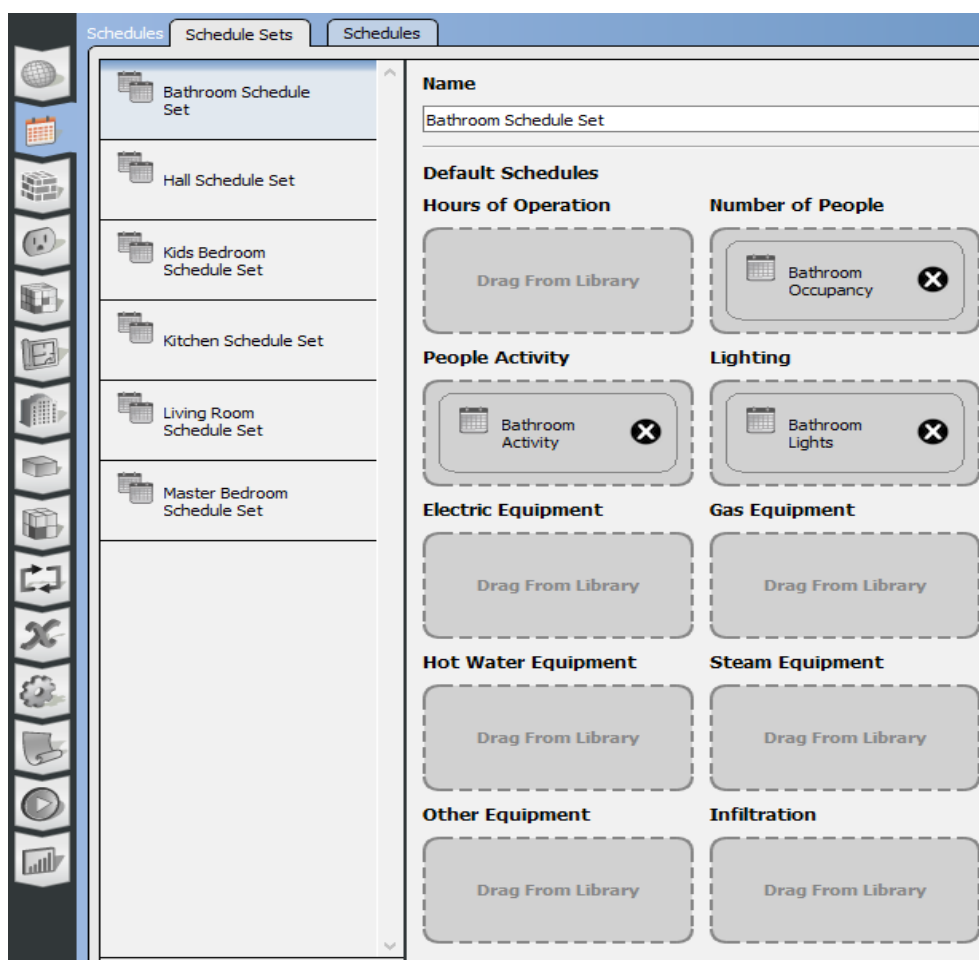
Η χρήση των συσκευών στο σαλόνι και στην βασική κρεβατοκάμαρα είναι προφανής ήδη. Στην κουζίνα τώρα πρέπει να γίνει η διευκρίνιση ότι το ψυγείο λειτουργεί, όπως είναι και λογικό, επί εικοσιτετραώρου βάσης και άρα η βάση του προγράμματος συσκευών της κουζίνας δεν είναι 0. Οποτε γίνεται αναφορά σε μεσημεριανό μαγείρεμα χρησιμοποιούνται ο φούρνος και ο απορροφητήρας, δηλαδή κατά το διάστημα 14:30-14:40. Στο μαγείρεμα του πρωινού και στο ξαναζέσταμα του φαγητού λειτουργεί μόνο ο φούρνος μικροκυμάτων, άρα στα διαστήματα 8:00-8:02 και 17:30-17:36. Παρακάτω φαίνονται τα προγράμματα όλων των δωματίων.



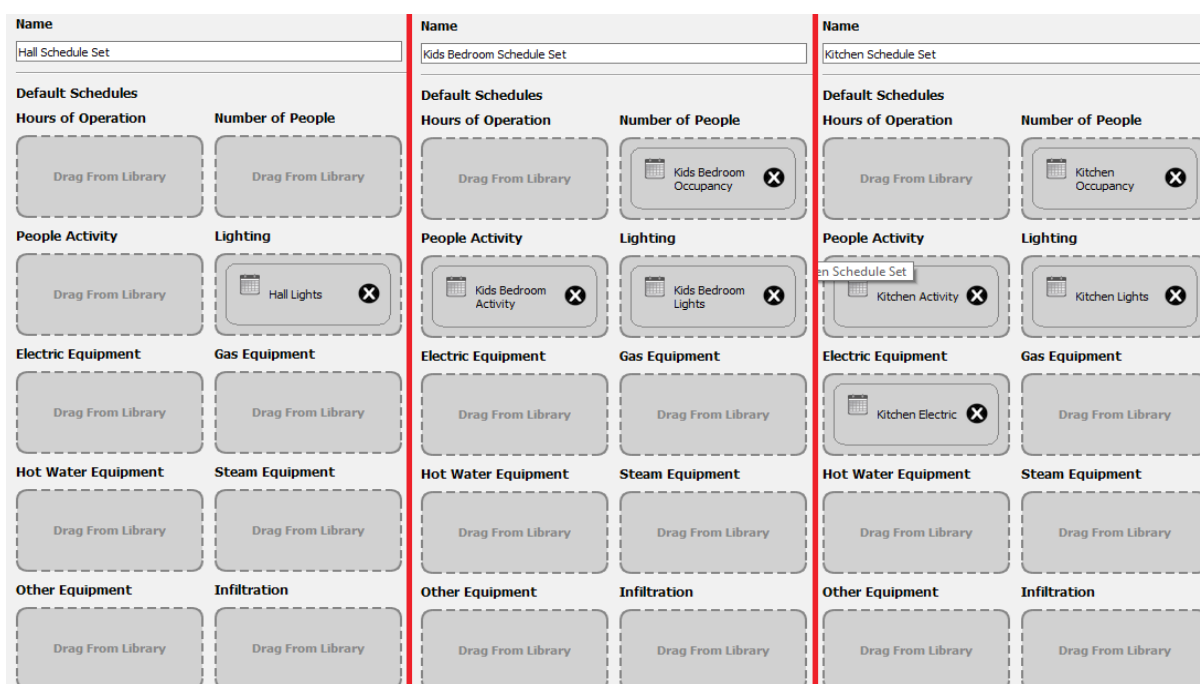
119 Εικόνα 3.2.11: Προγράμματα συσκευών στην Βασική κρεβατοκάμαρα, στην Κουζίνα και στο Σαλόνι

Πρέπει να σχολιαστεί εδώ, ότι παρότι φάνηκαν κάποια προγράμματα θερμοστατών και υγροστατών που θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια, θα ορισθούν αρκετά αργότερα και συγκεκριμένα στο EnergyPlus.

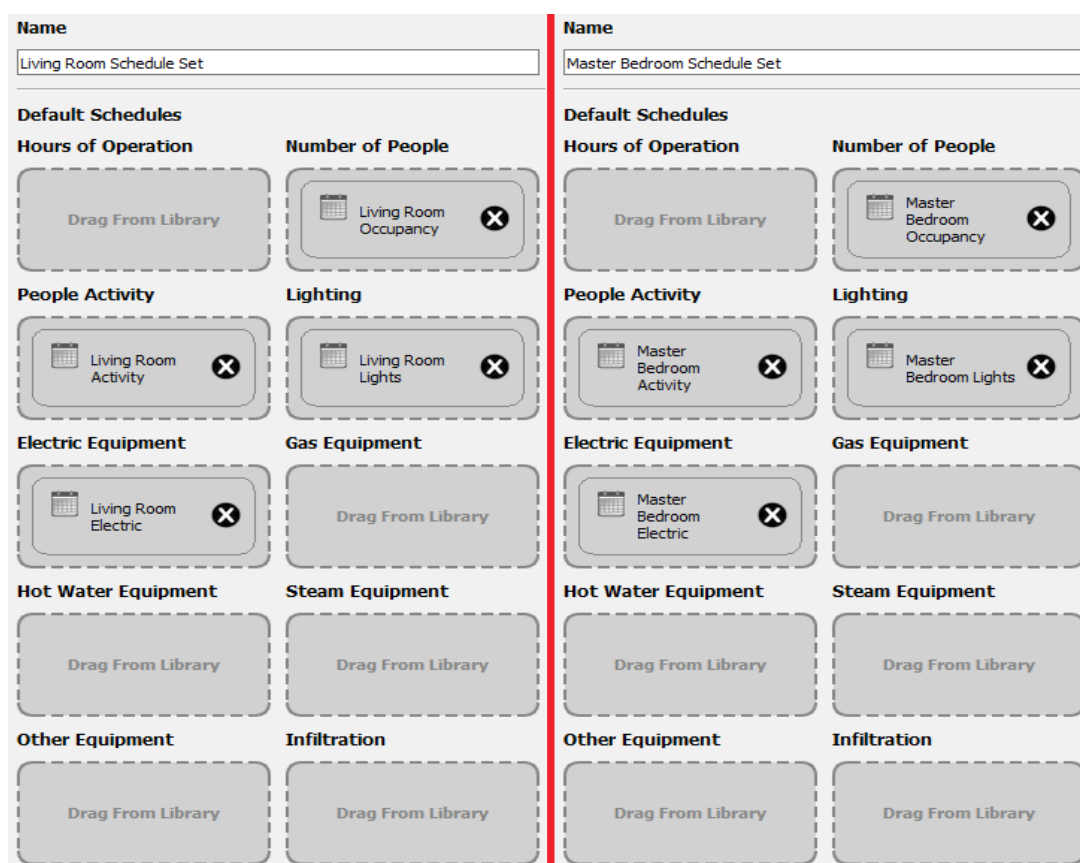
Για να δημιουργηθούν οι ομάδες προγραμμάτων που θα αντιστοιχιστούν σε κάθε χώρο, πρέπει να γίνει η παρακάτω προφανής αντιστοίχιση.



120 Εικόνα 3.2.12: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Μπάνιο



121 Εικόνα 3.2.13: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Χώλ, το Παιδικό δωμάτιο και η Κουζίνα



122Εικόνα 3.2.14: Ομάδα προγραμμάτων και αντιστοίχιση για το Σαλόνι και την Βασική Κρεβατοκάμαρα

Με αυτό τον τρόπο ολοκληρώνονται οι δηλώσεις που απαιτούνται για την καρτέλα Schedules.

## Δήλωση Υλικών/Κατασκευών και Ομαδοποίηση Κατασκευών

Το επόμενο σκέλος της δήλωσης των χαρακτηριστικών του διαμερίσματος είναι αυτό των υλικών, των κατασκευών και της ομαδοποίησής τους. Τα χαρακτηριστικά των υλικών καθώς και η σύσταση όλων των κατασκευών, εκτός από των πορτών, των παραθύρων και των μπαλκονοπορτών βρέθηκαν στα σχέδια του σπιτιού του γράφοντος. Όσες πληροφορίες έλλειπαν, παρ' όλα αυτά, συμπληρώθηκαν από διασταύρωση με ήδη υπάρχοντα παρόμοια υλικά που υπάρχουν στις βιβλιοθήκες του OpenStudio. Για τους υαλοπίνακες των παραθύρων και των μπαλκονοπορτών χρησιμοποιήθηκε διπλό τζάμι, όπως και στο απλό μοντέλο του προηγούμενου κεφαλαίου. Οι εσωτερικές πόρτες αποτελούνται μόνο από απλό ξύλο, ενώ η εξωτερική έχει και μία στρώση μόνωσης από κάθε πλευρά ώστε να αποφευχθούν οι θερμικές διαρροές. Τέλος τα υπόστεγα πάνω από κάθε μπαλκονόπορτα είναι κατασκευασμένα από ένα λεπτό μεταλλικό φύλλο. Παρακάτω παρουσιάζονται αρχικά τα υλικά και τα χαρακτηριστικά που δηλώνονται στην καρτέλα Materials.

<b>Name:</b> Asvestokoniamia	<b>Name:</b> Epixrisma	<b>Name:</b> Garblli
<b>Roughness:</b> Smooth	<b>Thickness:</b> 0.020000 m	<b>Roughness:</b> Smooth
<b>Conductivity:</b> 0.100000 W/m·K	<b>Density:</b> 1600.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Thickness:</b> 0.070000 m
<b>Specific Heat:</b> 836.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Conductivity:</b> 1.700000 W/m·K
<b>Solar Absorptance:</b> 0.920000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.920000	<b>Density:</b> 1500.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Conductivity:</b> 0.750000 W/m·K	<b>Density:</b> 1900.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Specific Heat:</b> 836.800000 J/kg·K
<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.600000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.600000
<b>Name:</b> Garpiloskyrodema	<b>Name:</b> Kisirodema	<b>Name:</b> Marmaro
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Thickness:</b> 0.040000 m	<b>Roughness:</b> Smooth
<b>Conductivity:</b> 0.700000 W/m·K	<b>Density:</b> 1900.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Thickness:</b> 0.020000 m
<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Conductivity:</b> 3.000000 W/m·K
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Density:</b> 2000.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Conductivity:</b> 0.750000 W/m·K	<b>Density:</b> 1000.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K
<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000

123 Εικόνα 3.2.15: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους

<b>Name:</b> Ksulo Portas	<b>Name:</b> Petrovavakas	<b>Name:</b> Plaka Polysterinis
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Thickness:</b> 0.050000 m	<b>Roughness:</b> Smooth
<b>Conductivity:</b> 0.130000 W/m·K	<b>Density:</b> 500.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Thickness:</b> 0.050000 m
<b>Specific Heat:</b> 1600.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Conductivity:</b> 0.350000 W/m·K
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Density:</b> 30.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Conductivity:</b> 0.035000 W/m·K	<b>Density:</b> 80.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Specific Heat:</b> 1500.000000 J/kg·K
<b>Specific Heat:</b> 840.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000
<b>Name:</b> Plaka Skyrdosematos dapedou	<b>Name:</b> Plaka Skyrdosematos orofhs	<b>Name:</b> Polyourethani
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Thickness:</b> 0.050000 m	<b>Roughness:</b> Smooth
<b>Conductivity:</b> 1.750000 W/m·K	<b>Density:</b> 2400.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Thickness:</b> 0.030000 m
<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Conductivity:</b> 0.028000 W/m·K
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Density:</b> 60.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Conductivity:</b> 1.750000 W/m·K	<b>Density:</b> 2400.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Specific Heat:</b> 1450.000000 J/kg·K
<b>Specific Heat:</b> 1000.000000 J/kg·K	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000

124 Εικόνα 3.2.16: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους

<b>Name:</b> Touvlο megalο	<b>Name:</b> Touvlο mikro
<b>Roughness:</b> MediumRough	<b>Roughness:</b> MediumRough
<b>Thickness:</b> 0.090000 m	<b>Thickness:</b> 0.060000 m
<b>Conductivity:</b> 0.450000 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.450000 W/m·K
<b>Density:</b> 1200.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 1200.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Specific Heat:</b> 840.000000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 840.000000 J/kg·K
<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000
<b>Name:</b> F08 Metal surface	<b>Name:</b> I01 25mm insulation board
<b>Roughness:</b> Smooth	<b>Roughness:</b> MediumRough
<b>Thickness:</b> 0.000800 m	<b>Thickness:</b> 0.025400 m
<b>Conductivity:</b> 45.280000 W/m·K	<b>Conductivity:</b> 0.030000 W/m·K
<b>Density:</b> 7824.000000 kg/m <sup>3</sup>	<b>Density:</b> 43.000000 kg/m <sup>3</sup>
<b>Specific Heat:</b> 500.000000 J/kg·K	<b>Specific Heat:</b> 1210.000000 J/kg·K
<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000	<b>Thermal Absorptance:</b> 0.900000
<b>Solar Absorptance:</b> 0.700000	<b>Solar Absorptance:</b> 0.600000
<b>Visible Absorptance:</b> 0.700000	<b>Visible Absorptance:</b> 0.600000

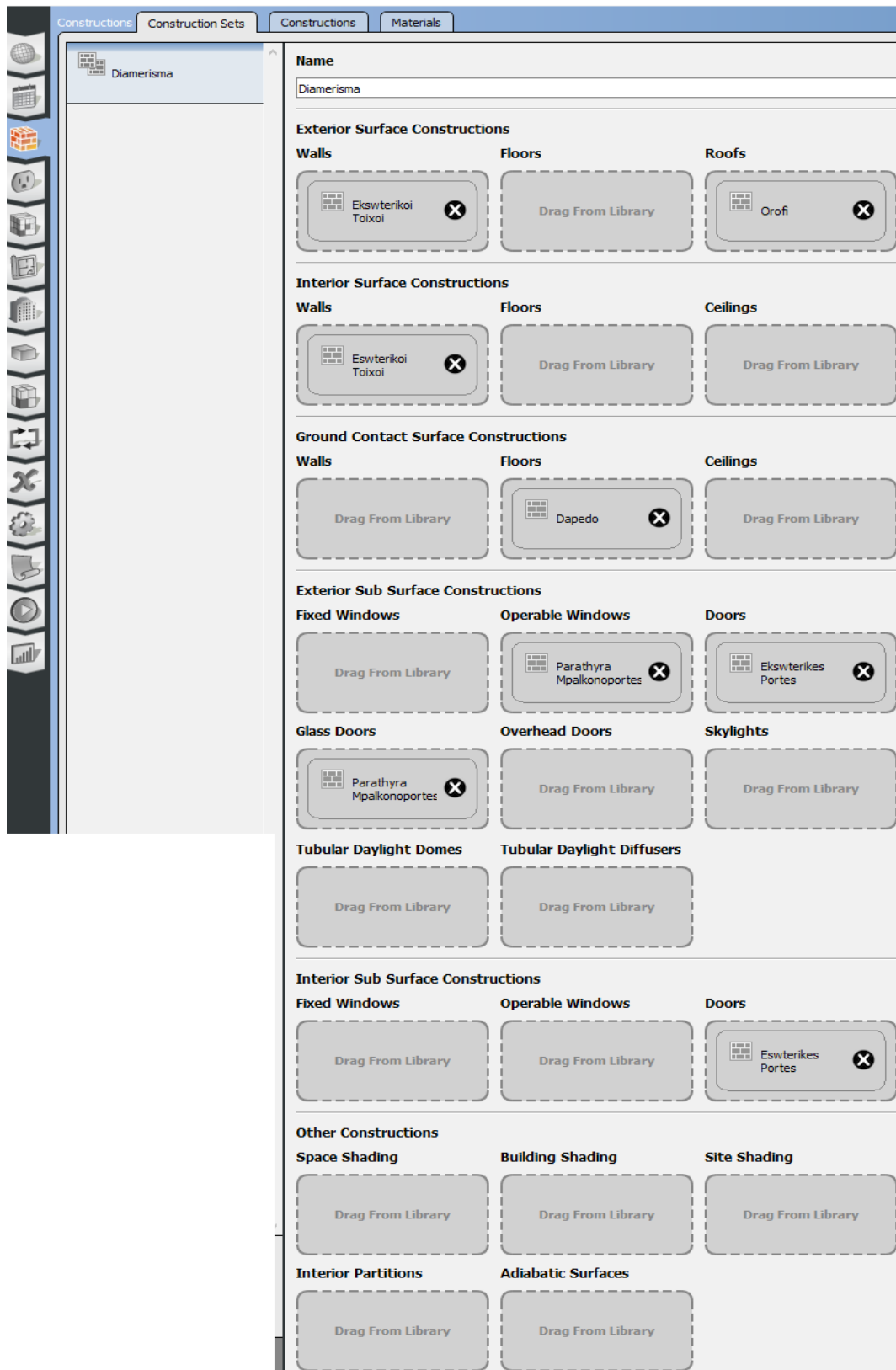
125Εικόνα 3.2.17: Χρησιμοποιηθέντα υλικά για την κατασκευή του διαμερίσματος και τα χαρακτηριστικά τους

Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζονται οι συστάσεις των κατασκευών που χρησιμοποιούνται στο διαμέρισμα, οι οποίες δηλώνονται στην καρτέλα Constructions.

<b>Name:</b> Dapedo <i>Intended Surface Type:</i> ExteriorFloor <b>Layer:</b> Outside Plaka Skyrdosematos dapedou Polyurethanei Gampiloskyrod Asvestokoniomi Marmaro	<b>Name:</b> Ekswterikes Portes <i>Intended Surface Type:</i> ExteriorDoor <b>Layer:</b> Outside I01 25mm insulation board Ksylo Portas I01 25mm insulation board <b>Name:</b> Eswterikoi Toixoi <i>Intended Surface Type:</i> InteriorWall <b>Layer:</b> Outside Epixrisma Touvlο megalο Epixrisma	<b>Name:</b> Ekswterikoi Toixoi <i>Intended Surface Type:</i> ExteriorWall <b>Layer:</b> Outside Epixrisma Touvlο mikro Plaka Polysterinis Touvlο megalο Epixrisma	<b>Name:</b> Orofi <i>Intended Surface Type:</i> ExteriorRoof <b>Layer:</b> Outside Garbili Kisirodema Petrovamvakas Plaka Skyrdosematos orofhs Epixrisma <b>Name:</b> Parathyra Mpalkonoportes <b>Layer:</b> Outside Clear 3mm air gap Clear 3mm
--	--	--	--

126Εικόνα 3.2.18: Χρησιμοποιηθέντες κατασκευές του διαμερίσματος και η σύστασή τους

Τέλος παρουσιάζεται η ομαδοποίηση των κατασκευών και η ανιστοίχιση κάθε κατασκευής στον αντίστοιχο ρόλο της. Αυτή η ομαδοποίηση (Construction Set), θα χρησιμοποιηθεί σε όλα τα δωμάτια του διαμερίσματος.



127Εικόνα 3.2.19: Ομαδοποίηση κατασκευών για το διαμέρισμα



## Δήλωση Φορτίων

Παρότι η ονομαστική ισχύς των λαμπτήρων φωτισμού και των ηλεκτρικών συσκευών έχει ήδη αναφερθεί, πρέπει επίσης να δηλωθούν και στην καρτέλα των φορτίων (Loads). Στην καρτέλα αυτή δηλώνονται και τα φορτία των ατόμων. Ακριβώς επειδή υπάρχει η πιθανότητα να κυκλοφορούν σε ένα δωμάτιο από μόνο ένα άτομο, όπως στο παιδικό δωμάτιο, μέχρι δύο, όπως στην βασική κρεβατοκάμαρα, και τρία όπως στα υπόλοιπα δωμάτια. Δηλώνονται διαφορετικά φορτία λοιπόν για κάθε περίπτωση, όπως θα φανεί και παρακάτω, έτσι ώστε να αντιστοιχηθούν σωστά στο κάθε δωμάτιο.

The image displays three stacked panels for defining loads based on the number of people (1, 2, and 3). Each panel has a sidebar with 'People Definitions' and 'Lights Definitions'. The main area contains the following fields:

- Name:** 1 Person, 2 Persons, 3 Persons
- Number of People:** 1.000000, 2.000000, 3.000000
- People per Space Floor Area:** (empty field) people/m<sup>2</sup>
- Space Floor Area per Person:** (empty field) m<sup>2</sup>/person
- Fraction Radiant:** 0.300000
- Sensible Heat Fraction:** autocalculate
- Carbon Dioxide Generation Rate:** 0.000038 L/s·W
- Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings:** off
- Mean Radiant Temperature Calculation Type:** ZoneAveraged
- Add/Remove Extensible Groups:** (with plus and minus icons)

128 Εικόνα 3.2.20: Δήλωση φορτίων που επιφέρουν τα άτομα στο διαμέρισμα

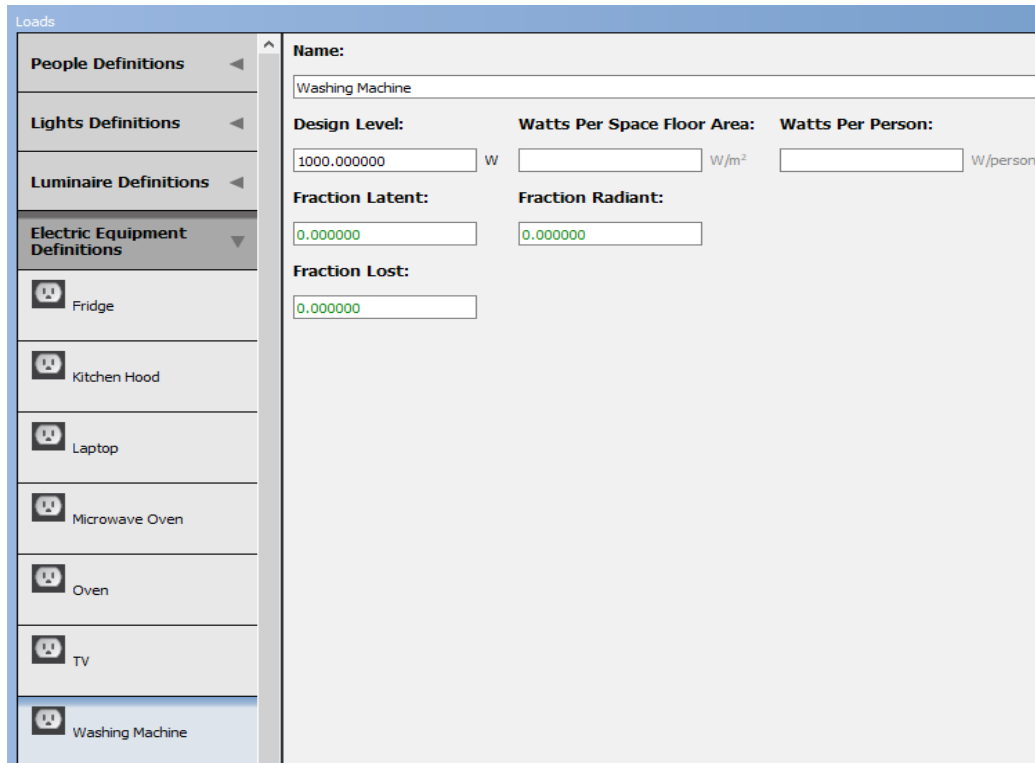
Όσον αφορά τα φορτία φωτισμού, δεν αναλύονται στην ισχύ του κάθε λαμπτήρα. Αντι για αυτό δηλώνεται το σύνολο της ισχύς τους. Το ίδιο όμως δεν ισχύει και για τα φορτία των ηλεκτρικών συσκευών, οι οποίες δηλώνονται κανονικά με την ονομαστική τους ισχύ η κάθε μια. Έπειτα θα ταιριαστούν με το κατάλληλο δωμάτιο στο οποίο και λειτουργούν.

<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Hall Lights</p> <p>Name: Bathroom Lights</p> <p>Lighting Power: 56.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>	<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Kitchen Lights</p> <p>Name: Kitchen Lights</p> <p>Lighting Power: 76.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>
<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Hall Lights</p> <p>Hall Lights</p> <p>Name: Hall Lights</p> <p>Lighting Power: 4.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>	<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Living Room Lights</p> <p>Name: Living Room Lights</p> <p>Lighting Power: 178.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>
<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Kids Bedroom Lights</p> <p>Name: Kids Bedroom Lights</p> <p>Lighting Power: 103.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>	<p><b>Loads</b></p> <p>People Definitions</p> <p>Lights Definitions</p> <p>Bathroom Lights</p> <p>Master Bedroom Lights</p> <p>Name: Master Bedroom Lights</p> <p>Lighting Power: 103.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Visible: 0.000000</p> <p>Return Air Fraction: 0.000000</p>

129Εικόνα 3.2.21: Δήλωση φορτίων φωτισμού κάθε δωματίου του διαμερίσματος

<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>Fridge</p> <p>Name: Fridge</p> <p>Design Level: 336.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>	<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>TV</p> <p>Name: TV</p> <p>Design Level: 66.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>
<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>Kitchen Hood</p> <p>Name: Kitchen Hood</p> <p>Design Level: 100.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>	<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>Oven</p> <p>Name: Oven</p> <p>Design Level: 3000.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>
<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>Laptop</p> <p>Name: Laptop</p> <p>Design Level: 50.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>	<p><b>Electric Equipment Definitions</b></p> <p>Microwave Oven</p> <p>Name: Microwave Oven</p> <p>Design Level: 800.000000 W</p> <p>Watts Per Space Floor Area: W/m<sup>2</sup></p> <p>Watts Per Person: W/person</p> <p>Fraction Latent: 0.000000</p> <p>Fraction Radiant: 0.000000</p> <p>Fraction Lost: 0.000000</p>

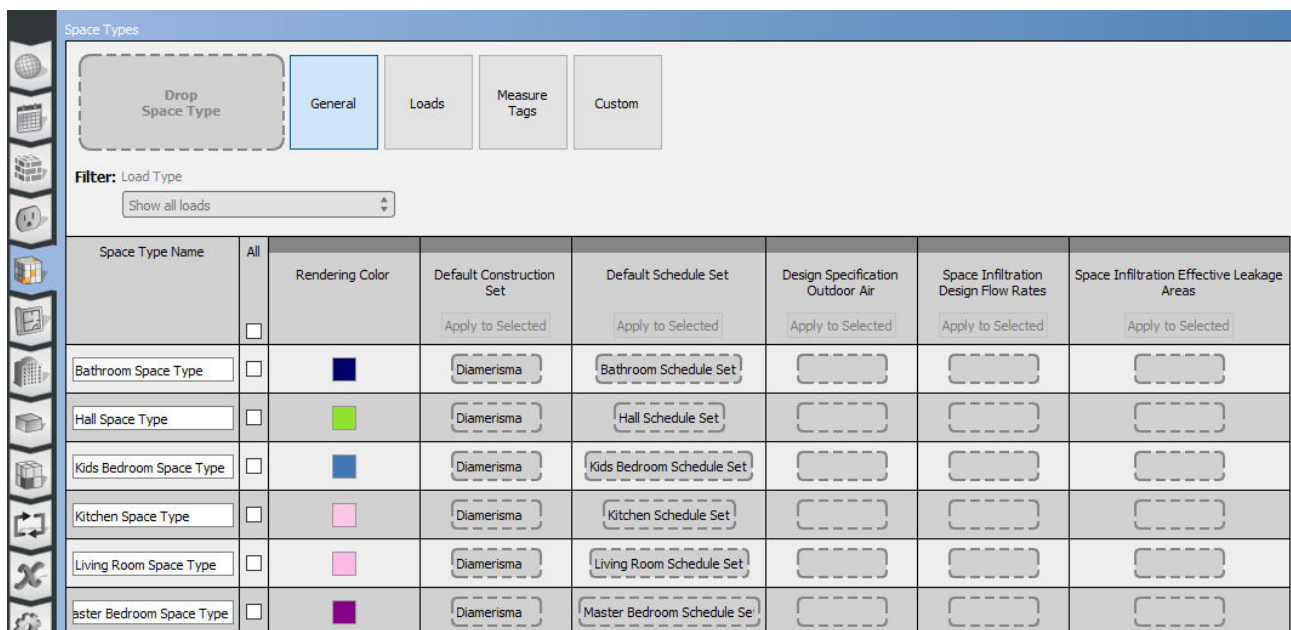
130Εικόνα 3.2.22: Δήλωση φορτίων κάθε ηλεκτρικής συσκευής που λειτουργεί στο διαμέρισμα



131 Εικόνα 3.2.23: Δήλωση φορτίων κάθε ηλεκτρικής συσκευής που λειτουργεί στο διαμέρισμα

## Αντιστοίχιση Χώρων, Τύπων Χώρων και Θερμικών Ζωνών

Τελειώνοντας τις δηλώσεις προγραμμάτων και φορτίων και περνώντας στην καρτέλα των τύπων χώρου (Space Types) σημειώνεται ότι σε κάθε δωμάτιο του διαμερίσματος αντιστοιχείται και ένας τύπος χώρου-όπως επίσης και μια θερμική ζώνη και ένας χώρος. Σε αυτούς τους τύπους χώρων αντιστοιχίζονται οι κατάλληλες ομάδες προγραμμάτων και η ομαδοποίηση κατασκευών που αντιστοιχεί στο διαμέρισμα, όπως φαίνεται και παρακάτω.



132 Εικόνα 3.2.24: Αντιστοίχιση ομαδοποίησης κατασκευών και ομάδων προγραμμάτων στην καρτέλα των τύπων χώρου

Στην καρτέλα των φορτίων τώρα, αντιστοιχούνται σε κάθε τύπο χώρου δωματίου τα φορτία ατόμων, φωτισμού και συσκευών που έχουν περιγραφεί πιο πάνω.

Space Type Name	All	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule	Activity Schedule (People Only)
Bathroom Space Type	<input type="checkbox"/>	People 1	1.000000	3 Persons	Bathroom Occupancy	Bathroom Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 1	1.000000	Bathroom Lights	Bathroom Lights	
Hall Space Type	<input type="checkbox"/>	Lights 2	1.000000	Hall Lights	Hall Lights	
Kids Bedroom Space Type	<input type="checkbox"/>	People 2	1.000000	1 Person	Kids Bedroom Occupancy	Kids Bedroom Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 3	1.000000	Kids Bedroom Lights	Kids Bedroom Lights	
Kitchen Space Type	<input type="checkbox"/>	People 3	1.000000	3 Persons	Kitchen Occupancy	Kitchen Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 4	1.000000	Kitchen Lights	Kitchen Lights	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 1	1.000000	Microwave Oven	Kitchen Electric	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 2	1.000000	Oven	Kitchen Electric	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 3	1.000000	Fridge	Kitchen Electric	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 4	1.000000	Kitchen Hood	Kitchen Electric	

133 Εικόνα 3.2.25: Αντιστοίχιση φορτίων σε κάθε δωμάτιο μέσω των τύπων χώρου

Living Room Space Type	<input type="checkbox"/>	People 4	1.000000	3 Persons	Living Room Occupancy	Living Room Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 5	1.000000	Living Room Lights	Living Room Lights	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 6	1.000000	TV	Living Room Electric	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 7	1.000000	Laptop	Living Room Electric	
Master Bedroom Space Type	<input type="checkbox"/>	People 5	1.000000	2 Persons	Master Bedroom Occupancy	Master Bedroom Activity
	<input type="checkbox"/>	Lights 6	1.000000	Master Bedroom Lights	Master Bedroom Lights	
	<input type="checkbox"/>	Electric Equipment 8	1.000000	TV	Master Bedroom Electric	

134 Εικόνα 3.2.26: Αντιστοίχιση φορτίων σε κάθε δωμάτιο μέσω των τύπων χώρου

Στην καρτέλα του κτιρίου και συγκεκριμένα σε ότι αφορά την σκίαση, κάθε υπόστεγο αντιστοιχείται με την κατασκευή του μεταλλικού φύλλου και με ένα πρόγραμμα διαπερατότητας, που όλο το χρόνο δηλώνει την τιμή 0 άρα είναι πάντα αδιαπέρατο.

Ύστερα στην καρτέλα των χώρων γίνεται η προφανής αντιστοίχιση κάθε χώρου με τον κατάλληλο τύπο χώρου και την σωστή θερμική ζώνη.



Space Name	All	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
Bathroom	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Bathroom Zone	Bathroom Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>
Hall	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Hall Zone	Hall Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>
Kids Bedroom	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Kids Bedroom Zone	Kids Bedroom Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>
Kitchen	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Kitchen Zone	Kitchen Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>
Living Room	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Living Room Zone	Living Room Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>
Master Bedroom	<input type="checkbox"/>	1st and only floor	Master Bedroom Zone	Master Bedroom Space Type			<input checked="" type="checkbox"/>

135 Εικόνα 3.2.27: Αντιστοίχιση τύπων χώρου και θερμικών ζωνών σε κάθε χώρο

Shading Surface Group Name	Type	All	Shading Surface Name	Transmittance Schedule Name	Construction Name
Shading Surface Group 1	Building	<input type="checkbox"/>	Shading Surface 1	Building Shading Transparenc	Shade
Shading Surface Group 2	Building	<input type="checkbox"/>	Shading Surface 2	Building Shading Transparenc	Shade
Shading Surface Group 3	Building	<input type="checkbox"/>	Shading Surface 3	Building Shading Transparenc	Shade

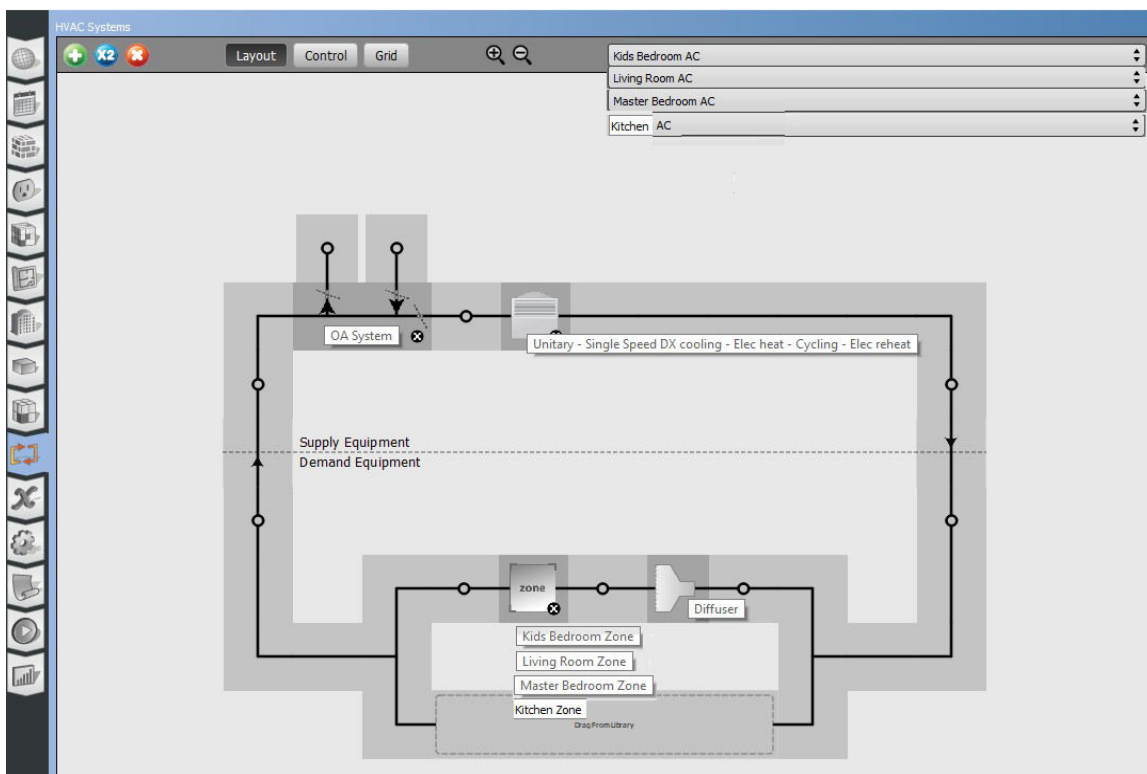
136 Εικόνα 3.2.28: Προγράμματα και κατασκευές υποστέγων

## Θερμικές Ζώνες και Σχεδίαση Κλιματιστικού

Στην συνέχεια μένει να παρουσιαστούν οι θερμικές ζώνες που αντιστοιχούν σε κάθε δωμάτιο. Σε κάθε θερμική ζώνη πρέπει να ορισθούν προγράμματα θερμοστατών, τα οποία θα ορίζουν κάτω από ποιά θερμοκρασία θα αρχίζει η θέρμανση μιας ζώνης και πάνω από ποιά θερμοκρασία ξεκινά ο κλιματισμός μιας ζώνης. Το ίδιο ορίζουν και τα προγράμματα της υγρασίας, κάτω από ποιο ποσοστό σχετικής υγρασίας αρχίζει η ύγρανση και πάνω από ποιο ποσοστό σχετικής υγρασίας και πάνω ξεκινά η αφύγρανση. Στο προκειμένο διαμέρισμα το σύστημα κλιματισμού και θέρμανσης, καθώς και αφύγρανσης, είναι οι κλιματιστικές μονάδες, με εξωτερικά σώματα, που υπάρχουν σε κάθε τυπικό σπίτι στην Αθήνα.

Το OpenStudio δεν έχει κάποια προεπιλογή για την μοντελοποίηση κλιματιστικών με εξωτερική μονάδα. Για αυτό τον λόγο θα πρέπει να δημιουργηθεί ένας κύκλος αέρα από τον γράφοντα. Αρχικά επιλέγεται ένας κενός κύκλος αέρα και μετά προστίθεται στην πλευρά της προσφοράς ένα απλό σύστημα εισαγωγής εξαγωγής εξωτερικού αέρα (AirLoopHVAC Outdoor Air System) και το

σύστημα που προσομοιάζει το κλιματιστικό (Unitary-Single Speed DX cooling-Elec heat-Cycling-Elec reheat). Αυτό το σύστημα περιέχει ένα ψυκτικό στοιχείο, ηλεκτρική θέρμανση με αντίσταση και όμοια αναθέρμανση όταν αυτό είναι αναγκαίο. Η διαστασιολόγηση του συστήματος αυτού, δεν γίνεται αυτόματα ή μέσω της μεθόδου των ιδεατών φορτίων από το OpenStudio. Η διαστασιολόγηση προκύπτει, ξανά, από τα πραγματικά στοιχεία που προέρχονται από το διαμέρισμα. Στο σπίτι του γράφοντος υπάρχουν τρία-αρκετά παλιά-κλιματιστικά με ψυκτικό στοιχείο 2500W και θερμική αντίσταση επίσης 2500W, τα οποία βρίσκονται στο σαλόνι, στο παιδικό δωμάτιο και στην βασική κρεβατοκάμαρα. Σημειώνεται ότι σε αυτή την προσομοίωση θα προστεθεί και ένα τέτοιο κλιματιστικό στην κουζίνα. Συνεχίζοντας την περιγραφή του κύκλου αέρα που ξεκίνησε πριν, δηλώνεται ότι στην πλευρά ζήτησης προστίθεται ένας απλός τερματικός αγωγός (Air Terminal Single Duct Constant Volume No Reheat) και αμέσως μετά η θερμική ζώνη ενδιαφέροντος. Παρακάτω φαίνονται τα χαρακτηριστικά του κλιματιστικού που αλλάζουν από την προεπιλογή του OpenStudio και αφορούν την διαστασιολόγηση.



137Εικόνα 3.2.29: Κύκλος αέρα που προσομοιάζει τυπικό κλιματιστικό με εξωτερική μονάδα

<b>OS:AirLoopHVAC:UnitarySystem</b> Name Unitary - Single Speed DX cooling - Elec heat - Cycling - Elec reheat Control Type Load Controlling Zone or Thermostat Location Kids Bedroom Zone Living Room Zone Master Bedroom Zone Dehumidification Control Type CoolReheat Availability Schedule Name Fan Placement BlowThrough Supply Air Fan Operating Mode Schedule Name	<b>OS:Coil:Cooling:DX:SingleSpeed</b> Name Unitary - Single Speed DX cooling Coil Rated Total Cooling Capacity <input checked="" type="radio"/> Hard Sized 2500 W <input type="radio"/> Autosized <b>OS:Coil:Heating:Electric</b> Name Elec Htg Coil 10 Availability Schedule Name Always On Discrete hvac_library Efficiency 1.0 Nominal Capacity <input checked="" type="radio"/> Hard Sized 2500 W <input type="radio"/> Autosized
---	--

138Εικόνα 3.2.30: Διαστασιολογήσεις που αλλάζουν στην δήλωση των χαρακτηριστικών του κλιματιστικού



Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται και μια επιλογή για την μέθοδο αφύγρανσης που χρησιμοποιούν τα κλιματιστικά. Επιλέγεται ColdReheat, που σημαίνει ότι ο αέρας, προκειμένου να αφυγρανθεί, ψύχεται περισσότερο από το ζητούμενο φτάνοντας όσο πιο κοντά στην ζητούμενη υγρασία-ανάλογα με την δυνατότητα ψύξης του κάθε κλιματιστικού-και τότε ζεσταίνεται μέσω της αναθέρμανσης, υποθετικά χωρίς να αλλάξει η υγρασία του. Αυτό σημαίνει ότι η αφύγρανση δεν θα είναι πάντα στα όρια του επιθυμητού, καθώς η δυνατότητα των κλιματιστικών δεν είναι απεριόριστη και δεν πρέπει να ξεχαστεί ότι δεν έχει γίνει κανονική διαστασιολόγηση τους. Η ύγρανση των χώρων αν και αναφέρθηκε και μάλιστα ορίστηκε και επιθυμητό κατώτερο σημείο υγρασίας, όπως θα φανεί παρακάτω, δεν είναι δυνατή με την παρούσα δομή των συστημάτων κλιματισμού. Πρέπει να λαμβάνεται υπόψη πάντοτε η πιστότητα στο πραγματικό διαμέρισμα. Παρακάτω φαίνεται και η τελική αντιστοίχιση των συστημάτων κλιματισμού και των θερμοστατών με τις θερμικές τους ζώνες.

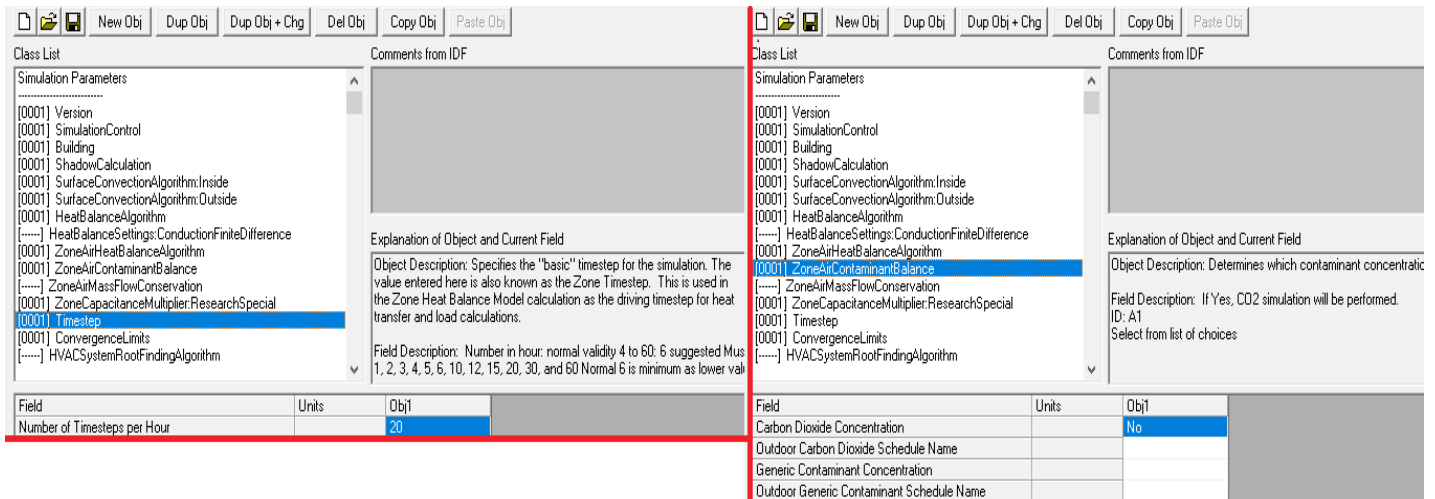
Thermal Zones										
HVAC Systems										
Cooling Sizing Parameters Heating Sizing Parameters Custom										
Name	All	Rendering Color	Turn On Ideal Air Loads	Air Loop Name	Zone Equipment	Cooling Thermostat Schedule	Heating Thermostat Schedule	Humidifying Setpoint Schedule	Dehumidifying Setpoint Schedule	Multiplier
	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>							
	<input type="checkbox"/>	Apply to Selected	<input type="checkbox"/>	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected	Apply to Selected
Bathroom Zone	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1
Hall Zone	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1
Kids Bedroom Zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kids Bedroom AC	Diffuser	Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1
Kitchen Zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kitchen AC	Diffuser 3	Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1
Living Room Zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Living Room AC	Diffuser 1	Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1
Master Bedroom Zone	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Master Bedroom AC	Diffuser 2	Cooling Thermostat	Heating Thermostat	Humidifying SetPoint	DeHumidifying SetPoint	1

139 Εικόνα 3.2.31: Αντιστοίχιση θερμικών ζωνών με τα συστήματα κλιματισμού και τους θερμοστάτες τους

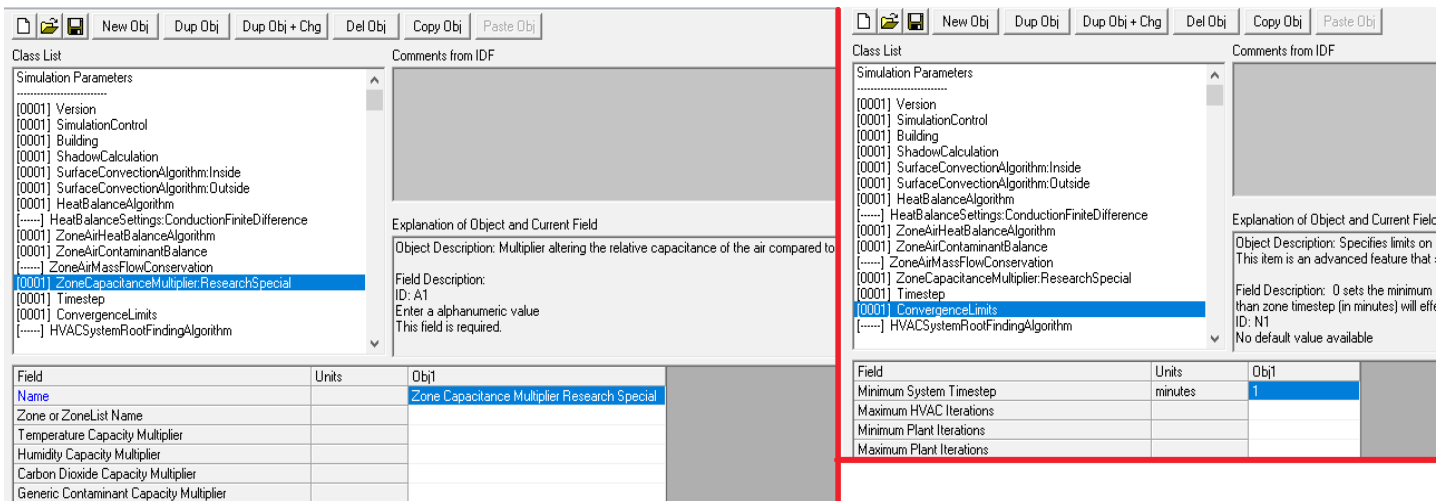
### Μικρές αλλαγές για την μοντελοποίηση και του διακένου Trombe

Το μοντέλο του διαμερίσματος με την προσθήκη του τοίχου Trombe, δεν διαφέρει σε τίποτα από αυτό που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο για το χώρο του διακένου. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του χώρου του διακένου, καθώς και του ίδιου του τοίχου Trombe έχουν ήδη αναλυθεί. Ισχύει επίσης ότι δεν κυκλοφορεί κανένα άτομο στον χώρο του διακένου Trombe άρα δεν υπάρχει κανένα νέο πρόγραμμα που να αφορά τον νέο χώρο. Αυτό που αλλάζει είναι ότι πλέον η κατασκευή των νότιων τοίχων του σαλονιού και του παιδικού δωματίου θα είναι αυτή του τοίχου Trombe. Σημειώνεται ξανά ότι το τζάμι του υαλοπίνακα Trombe εδώ θα είναι μονό. Προστίθενται δηλαδή ακόμα ένας τύπος χώρου με δηλωμένη την γνωστή ομάδα κατασκευών του διακένου, η αντιστοιχη θερμική ζώνη (χωρίς θερμοστάτες) και τέλος ο αντιστοιχος χώρος-στου οποίου την καρτέλα των επιφανειών γίνεται και η αλλαγή κατασκευών στις νότιες επιφάνειες ώστε αυτές να προσομοιάζουν τον τοίχο Trombe. Πιο κάτω φαίνονται συμπυγμένα αυτά που λέχθηκαν σε αυτή την παράγραφο.





142Εικόνα 3.2.34: Αλλαγές σε καρτέλες Παραμέτρων Προσομοίωσης



143Εικόνα 3.2.35: Αλλαγές σε καρτέλες Παραμέτρων Προσομοίωσης

## Παρουσίαση Θερμοστατών

Είναι δυνατόν τώρα να παρουσιαστούν και οι θερμοστάτες του συστήματος, έχοντας υπόψη την θερμική άνεση και τα επίπεδα υγρασίας που θεωρούνται επιτρεπτά-όπως αυτά ορίστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Για αυτό η κατώτερη θερμοκρασία, κάτω από την οποία ενεργοποιείται η θέρμανση του διαμερίσματος από τα κλιματιστικά, είναι 23°C την χειμερινή περίοδο και 10°C την καλοκαιρινή. Αυτό συμβαίνει καθώς αναμένεται ότι η θερμοκρασία μέσα στο διαμέρισμα δεν θα πέσει κάτω από 19°C την καλοκαιρινή περίοδο και άρα δεν χρειάζεται κάποια επιπλέον θέρμανση, οπότε προς εξοικονόμηση ενέργειας επιλέγεται ουσιαστικά να μην ανοίγει σχεδόν ποτέ ο κλιματισμός για θέρμανση το καλοκαίρι. Η ανώτερη θερμοκρασία, πάνω από την οποία ενεργοποιείται η ψύξη του διαμερίσματος από τα κλιματιστικά, είναι 28°C το χειμώνα, που αναμένονται γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες, και 27°C το καλοκαίρι. Το ποσοστό σχετικής υγρασίας πάνω από το οποίο θα χρειάζεται αφύγρανση είναι 65%, αν και υπάρχει περίπτωση να μην υπάρχει αυτή η δυνατότητα από τα προκείμενα χαρακτηριστικά. Το ποσοστό υγρασίας κάτω από το οποίο θα ήταν επιθυμητή η ύγρανση του χώρου είναι 30%, μόνο που όπως έχει προαναφερθεί δεν υπάρχει δυνατότητα ύγρανσης των χώρων σε αυτή την προσομοίωση.

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Schedule Day 23	Schedule Day 24	Schedule Day 20	Schedule Day 22	Schedule Day 25	Schedule Day 26
Schedule Type Limits Name		Temperature 11	Temperature 11	Temperature 11	Temperature 11	Percent	Percent
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No	No
Time 1		08:15	08:15	08:15	08:15	24:00	24:00
Value Until Time 1	varies	23	10	28	27	30	65
Time 2		13:30	13:30	13:30	13:30		
Value Until Time 2	varies	10	10	40	40		
Time 3		24:00	24:00	24:00	24:00		
Value Until Time 3	varies	23	10	28	27		

Θερμοκρασία θέρμανσης χειμερινή περίοδος  
 Θερμοκρασία θέρμανσης θερινή περίοδος  
 Θερμοκρασία ψύξης χειμερινή περίοδος  
 Θερμοκρασία ψύξης θερινή περίοδος

144 Εικόνα 3.2.36: Προγράμματα θερμοστατών και ποσοστά επιθυμητής υγρασίας  
**Μοντελοποίηση Παραθύρων/Μπαλκονοπορτών και Εσωτερικών Πορτών**

Προχωρώντας παρουσιάζονται κάποια στοιχεία που δεν ήταν δυνατόν να προστεθούν στο μοντέλο μέσω OpenStudio ή είναι πιο βολικό να γίνει η ανάλυση τους στο EnergyPlus. Ένα από αυτά είναι και η μοντελοποίηση του ανοίγματος των παραθύρων και μπαλκονοπορτών του κάθε δωματίου. Αυτή θα γίνει μέσω του εργαλείου ZoneVentilation:WindandStackOpenArea, που σημαίνει ότι θα ληφθεί υπόψη μόνο η ροή του αέρα λόγω φυσικού αερισμού, δηλαδή λόγω ταχύτητας αέρα και διαφοράς θερμοκρασίας εσωτερικού και εξωτερικού του διαμερίσματος. Ανοιγόμενα θα είναι όλα τα παράθυρα του μπάνιου, το παράθυρο της κουζίνας και οι μπαλκονόπορτες σαλονιού, βασικής κρεβατοκάμαρας και παιδικού δωματίου. Παρακάτω φαίνονται οι δηλώσεις στην καρτέλα WindandStack, αλλά και τα προγράμματα ανοίγματος των παραθύρων και μπαλκονοπορτών για την χειμερινή και την θερινή περίοδο. Αυτά έχουν επιλεχθεί ώστε να μην επηρεάζεται πάρα πολύ η εσωτερική θερμοκρασία των χώρων από την εξωτερική, ενώ παράλληλα

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Living Room Glass I	Kids Bedroom Glass	Master Bedroom Gl	Kitchen Window	Bathroom Window
Zone Name		Living Room Zone	Kids Bedroom Zone	Master Bedroom Zo	Kitchen Zone	Bathroom Zone
Opening Area	m2	5,5	5,5	5,5	0,64	0,32
Opening Area Fraction Schedule Name		Living Room Glass I	Kids Bedroom Glass	Master Bedroom Gl	Kitchen Window	Bathroom Window
Opening Effectiveness	dimensionless	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Effective Angle	deg					
Height Difference	m					
Discharge Coefficient for Opening		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Minimum Indoor Temperature	C	-100	-100	-100	-100	-100
Minimum Indoor Temperature Schedule Name						

145 Εικόνα 3.2.37: Ανοιγόμενα παράθυρα και μπαλκονόπορτες του διαμερίσματος

να ανανεώνεται ο αέρας στο διαμερίσμα. Πρέπει εδώ να σημειωθεί ότι τις ώρες που ανοίγουν τα παράθυρα, τα κλιματιστικά ενώ λειτουργούν δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες που ορίζουν οι θερμοστάτες. Για αυτό και τα παράθυρα είναι επιθυμητό να ανοίγουν σε ένα δωμάτιο όταν δεν υπάρχει κάποιο άτομο μέσα σε αυτό.

Field	Units	Obj28	Obj29	Obj30	Obj31	Obj32	Obj33	Obj34	Obj35	Obj36
Name		Master Bedroom Glass Doors Winter	Kids Bedroom Glass Doors Winter	Kitchen Window Summer	Bathroom Window	Living Room Glass Doors Winter	Kitchen Window Winter	Living Room Glass Doors Summer	Kids Bedroom Glass Doors Summer	Master Bedroom Glass Doors Summer
Schedule Type Limits Name		Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No	No	No	No	No
Time 1		07:00	07:30	08:00	2:00	04:00	2:00	04:00	07:30	07:00
Value Until Time 1	varies	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Time 2		07:15	07:45	08:15	3:00	04:15	3:00	04:15	07:45	07:15
Value Until Time 2	varies	0,3	0,3	1	0,5	0,1	0,25	0,3	0,25	0,25
Time 3		19:00	19:00	14:30	06:00	09:00	08:00	06:00	12:00	12:00
Value Until Time 3	varies	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Time 4		21:00	21:00	14:45	06:30	09:15	08:15	06:15	12:15	12:15
Value Until Time 4	varies	0	0	1	0,75	0,3	0,25	0,3	0,25	0,25
Time 5		21:15	21:15	17:30	7:15	12:00	14:30	11:00	21:00	21:00
Value Until Time 5	varies	0,1	0,1	1	0	0	0	0	0	0
Time 6		24:00	24:00	17:45	7:20	12:15	14:45	11:15	21:15	21:15
Value Until Time 6	varies	0	0	1	0,2	0,3	0,25	0,1	0,1	0,25
Time 7				24:00	12:00	18:00	17:30	18:00	24:00	24:00
Value Until Time 7	varies			1	0	0	0	0	0	0
Time 8					12:15	18:15	17:45	18:15		
Value Until Time 8	varies				0,75	0,1	0,25	0,1		
Time 9					22:00	21:00	23:00	21:00		
Value Until Time 9	varies				0	0	0	0		
Time 10					23:00	21:15	24:00	21:15		
Value Until Time 10	varies				0,5	0,1	0,5	0,2		
Time 11					24:00	24:00		24:00		
Value Until Time 11	varies				0	0		0		

146 Εικόνα 3.2.38: Προγράμματα ανοίγματος παραθύρων και μπαλκονοπορτών του διαμερίσματος

Αφού μοντελοποιήθηκε η ροή του αέρα από το περιβάλλον προς το διαμερίσμα, μπορεί να μοντελοποιηθεί η ροή εσωτερικά του διαμερίσματος και μεταξύ ζωνών. Αυτή γίνεται μέσω των εσωτερικών πορτών, του χώλ και της κουζίνας, οι οποίες είναι συνεχώς ανοικτές και επιτρέπουν στον αέρα να μεταφέρεται από την μια ζώνη στην άλλη ανάλογα την διαφορά θερμοκρασίας. Αυτή η μοντελοποίηση γίνεται μέσω του εργαλείου ZoneRefrigeration:DoorMixing, που χρησιμοποιείται για πόρτες μεταξύ κάποιων ψυχόμενων και μη χώρων, κάτι δηλαδή πολύ παρόμοιο με αυτό που συμβαίνει στην προκειμένη περίπτωση. Ρεύματα αέρα που δημιουργούνται λόγω ταχύτητας του εξωτερικού αέρα, δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν με το παραπάνω εργαλείο. Για αυτό τον σκοπό πρέπει να χρησιμοποιηθεί η μοντελοποίηση ανοιγμάτων AirflowNetwork:Multizone:Component:SimpleOpening. Δυστυχώς όμως όταν χρησιμοποιήθηκε αυτή η μέθοδος, το πρόγραμμα δεν μπορούσε να τρέξει ζητώντας υποχρεωτικά κάποιον εξωτερικό κόμβο (External Node). Οι

The screenshot shows a software interface with a 'Class List' on the left and a 'Comments from IDF' section on the right. The 'Class List' includes various HVAC-related objects, with 'ZoneRefrigeration:DoorMixing' selected. The 'Comments from IDF' section provides an explanation of the object and current field. Below this, a table displays the properties of the selected object across five different zones.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Hall_LivingRoom	Hall_BathRoom	Hall_MasterBedRoc	Hall_KidsBedRoom	Kitchen_LivingRoom
Zone 1 Name		Living Room Zone	Bathroom Zone	Master Bedroom Zo	Kids Bedroom Zone	Living Room Zone
Zone 2 Name		Hall Zone	Hall Zone	Hall Zone	Hall Zone	Kitchen Zone
Schedule Name		Always On Continuc	Always On Continuc	Always On Continuc	Always On Continuc	Always On Continuc
Door Height	m	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
Door Area	m2	2,75	2,75	2,2	2,2	2,2
Door Protection Type		None	None	None	None	None

147 Εικόνα 3.2.39: Μοντελοποίηση εσωτερικών πορτών για ροή αέρα εντός του διαμερίσματος



πληροφορίες για την κατασκευή του κόμβου δεν υπάρχουν για την περιοχή του διαμερίσματος, επομένως θα αγνοηθούν τα ρεύματα αέρα αν και στην πραγματικότητα δύναται να δημιουργηθούν.

Το μόνο που μένει είναι να δηλωθούν οι μεταβλητές εξόδου αυτής της προσομοίωσης, που είναι λίγο περισσότερες από του απλού μοντέλου του προηγούμενου κεφαλαίου, αφού προστίθεται παραδείγματος χάρη και η εξωτερική ταχύτητα του αέρα.

The screenshot shows the EnergyPlus software interface. The 'Class List' on the left contains various output classes, with 'Output:Variable' selected. The 'Field' table below shows the configuration for the selected variable, including key values, reporting frequency, and schedule name.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Key Value		*	*	*
Variable Name		Zone Air Temperature	Zone Outdoor Air Wind Speed	Zone Outdoor Air Drybulb Temperature
Reporting Frequency		Timestep	Timestep	Timestep
Schedule Name				

Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
*	*	*	*
Site Outdoor Air Drybulb Temperature	Surface Inside Face Temperature	Surface Outside Face Temperature	Zone Air Relative Humidity
Timestep	Timestep	Timestep	Detailed

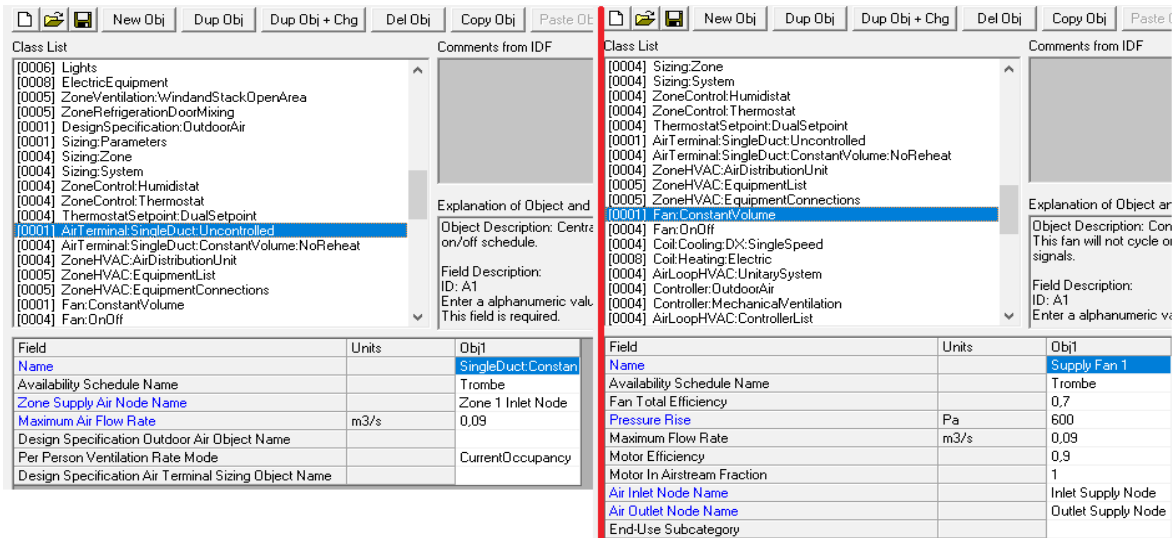
148Εικόνα 3.2.40: Μεταβλητές εξόδου της προσομοίωσης του διαμερίσματος

### Αλλαγές στο EnergyPlus μετά την προσθήκη του διακένου Trombe

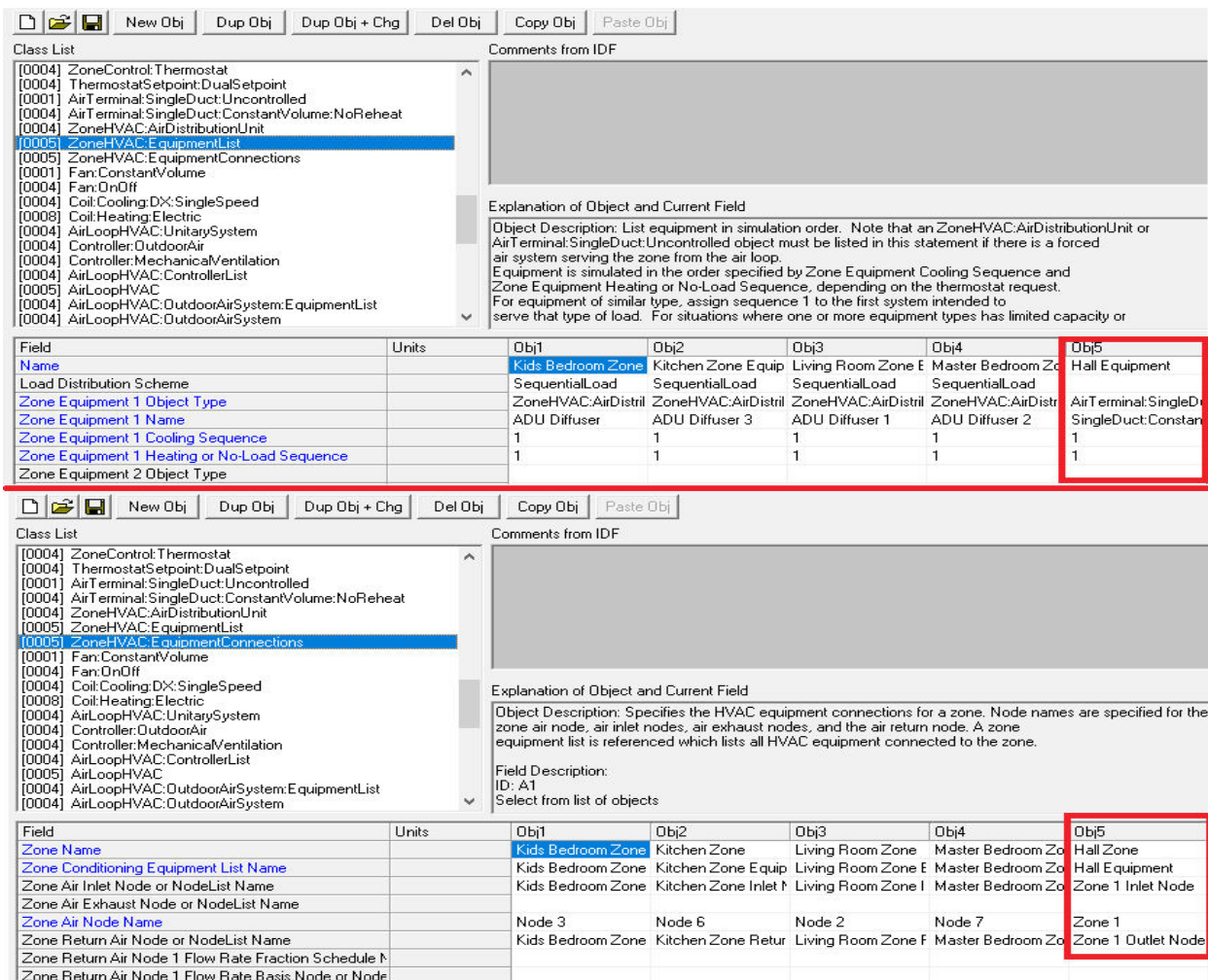
Μέχρι εδώ έχουν παρουσιαστεί τα στοιχεία του διαμερίσματος χωρίς την προσθήκη του τοίχου Trombe. Το αρχείο με την προσθήκη διακένου δεν έχει πολλές διαφορές, παρά μόνο την δήλωση πληροφοριών για την επιπλέον θερμική ζώνη που έγινε γνωστή μέσω της ανάλυσης του OpenStudio. Εγείρεται πλέον το ζήτημα για το αν πρέπει η εφαρμογή Trombe να είναι παθητική ή ενεργητική.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι κατά την περίοδο 8:15-13:30 δεν υπάρχει κάποιο άτομο στο σπίτι. Αυτό είναι και ένα κομμάτι της περιόδου κατά την οποία θα είχε νόημα να λειτουργεί ο ανεμιστήρας Trombe, ώστε να μην μείνει ανεκμετάλλευτη η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω στον ηλιακό συλλέκτη του Trombe. Από την άλλη ο εξοπλισμός αερισμού κάθε θερμικής ζώνης, που δηλώνεται στην καρτέλα ZoneEquipment, ορίζεται από το πρόγραμμα ότι πρέπει να είναι μοναδικός. Επομένως δεν θα μπορούσε να επαναληφθεί η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και όριζε μια λούπα αέρα που ανακύκλωνε των αέρα μιας ζώνης μέσω του διακένου πίσω στην ίδια ζώνη μέσω ανεμιστήρα. Η λειτουργία αυτή θα μπορούσε να γίνει εφικτή αν μπορούσε να αναμιχθεί ο αέρας που περνάει μέσα από τα κλιματιστικά με τον αέρα του διακένου. Αυτό όμως θα ήταν αρκετά πολύπλοκο και πιθανόν να επηρέαζε την εύρυθμη λειτουργία των κλιματιστικών. Άρα η ενεργή εφαρμογή Trombe μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στο χώλ και στο μπάνιο. Θα επιλεγεί μόνο το χώλ, καθώς μέσω της μοντελοποίησης ροής του αέρα από τις ανοικτές εσωτερικές πόρτες, ένα κομμάτι της θερμότητας θα μεταφερθεί σε όλες της θερμικές ζώνες που επικοινωνούν με αυτό. Επομένως η εφαρμογή Trombe στην προκειμένη περίπτωση είναι εν μέρη ενεργητική, καθώς λειτουργεί ως παθητική στα περισσότερα δωμάτια εκτός από το χώλ. Το πρόγραμμα λειτουργίας του ανεμιστήρα Trombe ορίζει την λειτουργία του στο διάστημα 10:00-19:00 και μόνο κατά την χειμερινή περίοδο. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι καρτέλες που πρέπει να αλλάξουν οι να προστεθούν προκειμένου να δουλέψει η εφαρμογή του τοίχου Trombe.





149Εικόνα 3.2.41: Καρτέλες AirTerminal:SingleDuct:Uncontrolled και Fan:ConstantVolume



150Εικόνα 3.2.42: Καρτέλες ZoneHVAC:EquipmentList και ZoneHVAC:EquipmentConnections

The screenshot displays two screenshots of a software interface. The top screenshot shows the configuration for an **AirLoopHVAC** object. The Class List on the left includes items like ZoneControl:Thermostat, ThermostatSetpoint:DualSetpoint, AirTerminal:SingleDuct:Uncontrolled, and AirLoopHVAC:ZoneSplitter. The main area shows the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields. The table has columns for Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The Obj5 column is highlighted with a red box, showing values like 'Fan Loop', '0.09', and 'Air Loop Branches'. The bottom screenshot shows the configuration for an **AirLoopHVAC:ZoneSplitter** object. The Class List includes items like Controller:OutdoorAir, AirLoopHVAC:ZoneSplitter, and AirLoopHVAC:SupplyPlenum. The main area shows the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields. The table has columns for Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The Obj5 column is highlighted with a red box, showing values like 'Zone Supply Air Splitter', 'Trombe Plenum Outlet Node', and 'Zone 1 Inlet Node'.

151 Εικόνα 3.2.43: AirLoopHVAC και AirLoopHVAC:ZoneSplitter

The screenshot displays two screenshots of a software interface. The top screenshot shows the configuration for an **AirLoopHVAC:SupplyPath** object. The Class List on the left includes items like Controller:OutdoorAir, AirLoopHVAC:ZoneSplitter, and AirLoopHVAC:SupplyPlenum. The main area shows the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields. The table has columns for Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The Obj5 column is highlighted with a red box, showing values like 'TrombeSupplyPath', 'Inlet Demand Node', and 'AirLoopHVAC:SupplyPlenum'. The bottom screenshot shows the configuration for an **AirLoopHVAC:ZoneMixer** object. The Class List includes items like Controller:OutdoorAir, AirLoopHVAC:ZoneMixer, and AirLoopHVAC:ReturnPath. The main area shows the 'Explanation of Object and Current Field' and a table of fields. The table has columns for Units, Obj1, Obj2, Obj3, Obj4, and Obj5. The Obj5 column is highlighted with a red box, showing values like 'Zone Return Air Mixer', 'Outlet Demand Node', and 'Zone 1 Outlet Node'.

152 Εικόνα 3.2.44: AirLoopHVAC:SupplyPath και AirLoopHVAC:ZoneMixer

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Kids Bedroom AC R	Kitchen AC Return F	Living Room AC Re	Master Bedroom A	TrombeReturnPath
Return Air Path Outlet Node Name		Node 11	Node 41	Node 20	Node 29	Outlet Demand Node
Component 1 Object Type		AirLoopHVAC:Zone	AirLoopHVAC:Zone	AirLoopHVAC:Zone	AirLoopHVAC:Zone	AirLoopHVAC:ZoneMixer
Component 1 Name		Air Loop HVAC:Zon	Air Loop HVAC:Zon	Air Loop HVAC:Zon	Air Loop HVAC:Zon	Zone Return Air Mixer

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Kids Bedroom AC M	Kitchen AC Main Br.	Living Room AC Ma	Master Bedroom AC	Air Loop Main Branch
Pressure Drop Curve Name						
Component 1 Object Type		AirLoopHVAC:Outdr	AirLoopHVAC:Outdr	AirLoopHVAC:Outdr	AirLoopHVAC:Outdr	Fan:ConstantVolume
Component 1 Name		OA System	OA System 3	OA System 1	OA System 2	Supply Fan 1
Component 1 Inlet Node Name		Node 8	Node 38	Node 17	Node 26	Inlet Supply Node
Component 1 Outlet Node Name		Node 15	Node 45	Node 25	Node 33	Outlet Supply Node

153Εικόνα 3.2.45: AirLoopHVAC:ReturnPath και Branch

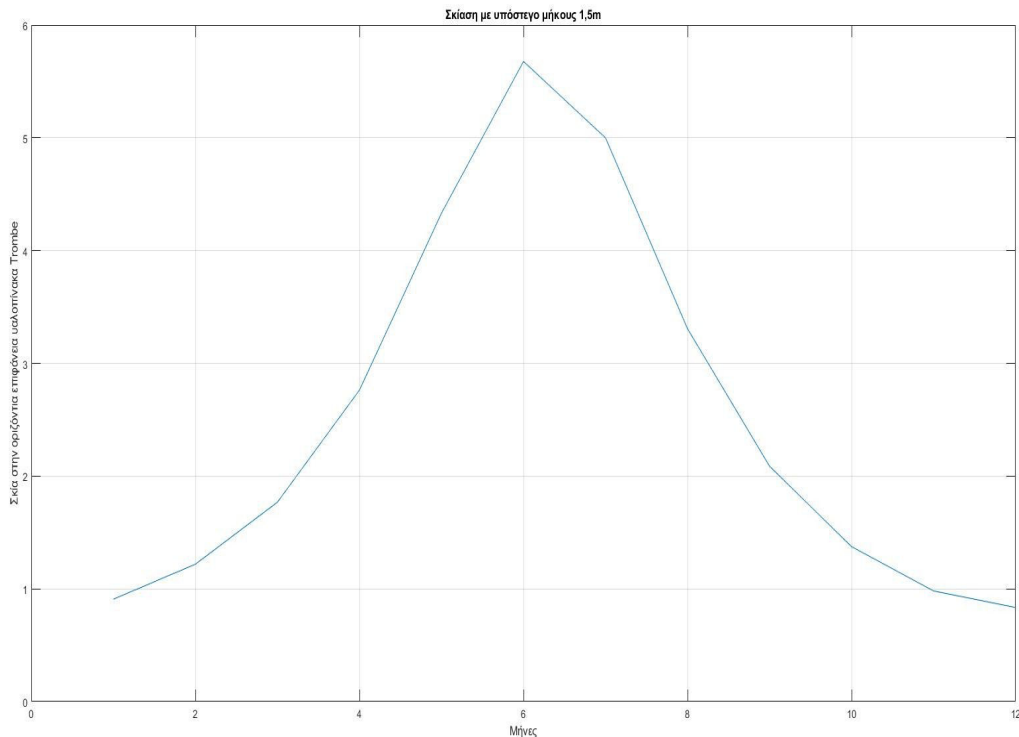
Field	Units	Obj36	Obj37	Obj38	Obj39	Obj40
Name		Living Room Glass I	Kids Bedroom Glass	Master Bedroom Gla	Trombe Summer	Trombe Winter
Schedule Type Limits Name		Fractional	Fractional	Fractional	Fractional	Fractional
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No
Time 1		04:00	07:30	07:00	24:00	10:00
Value Until Time 1	varies	0	0	0	0	0
Time 2		04:15	07:45	07:15		19:00
Value Until Time 2	varies	0,3	0,25	0,25		1
Time 3		06:00	12:00	12:00		24:00
Value Until Time 3	varies	0	0	0		0
Time 4		06:15	12:15	12:15		

154Εικόνα 3.2.46: Πρόγραμμα λειτουργίας ανεμιστήρα Trombe την θερινή και χειμερινή περίοδο

## Βασικό Υπόστεγο του υαλοπίνακα Trombe

Το μόνο που μένει να διευθετηθεί είναι το μήκος του υποστέγου του υαλοπίνακα Trombe. Στο προηγούμενο κεφάλαιο υπήρξε η δυνατότητα αναδιπλούμενου υποστέγου, που την χειμερινή περίοδο διπλώνοταν επιτρέποντας διέλευση ακτινοβολίας. Σε αυτή την προσομοίωση όμως όταν δοκιμάζεται η αλλαγή του προγράμματος διαπερατότητας, που μοντελοποιεί την αναδίπλωση του υποστέγου, δημιουργούνται τεράστιες θερμοκρασίες μέσα στην εσωτερική επιφάνεια του πατώματος του διακένου. Αυτό σημαίνει ότι το υπόστεγο θα έχει σταθερά μηδενική διαπερατότητα και άρα δεν θα υπάρχει δυνατότητα αναδίπλωσης τον χειμώνα. Επομένως θα πρέπει να προβλεφθεί ένα μήκος υποστέγου που να επιτρέπει την διέλευση αρκετής ακτινοβολίας προς τον υαλοπίνακα

Trombe. Αντί του μήκους 2,16m λοιπόν, που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο καθώς σκίαζε ολόκληρη την επιφάνεια του υαλοπίνακα καθ'όλη την διάρκεια του χρόνου, επιλέγεται το μήκος 1,5m ώστε να υπάρχει μεν σκίαση το καλοκαίρι αλλά να μικραίνει αρκετά η σκιά τον χειμώνα. Παρακάτω φαίνεται ότι μέχρι τον Απρίλιο η σκιά στον υαλοπίνακα Trombe είναι μικρότερη από 2m. Το ίδιο συμβαίνει και από τον Οκτώβριο και μετά. Τους μήνες από τον Μάιο μέχρι και τον Αύγουστο η σκιά αυτή ξεπερνά τα 3m και άρα σκεπάζει όλο τον υαλοπίνακα Trombe.



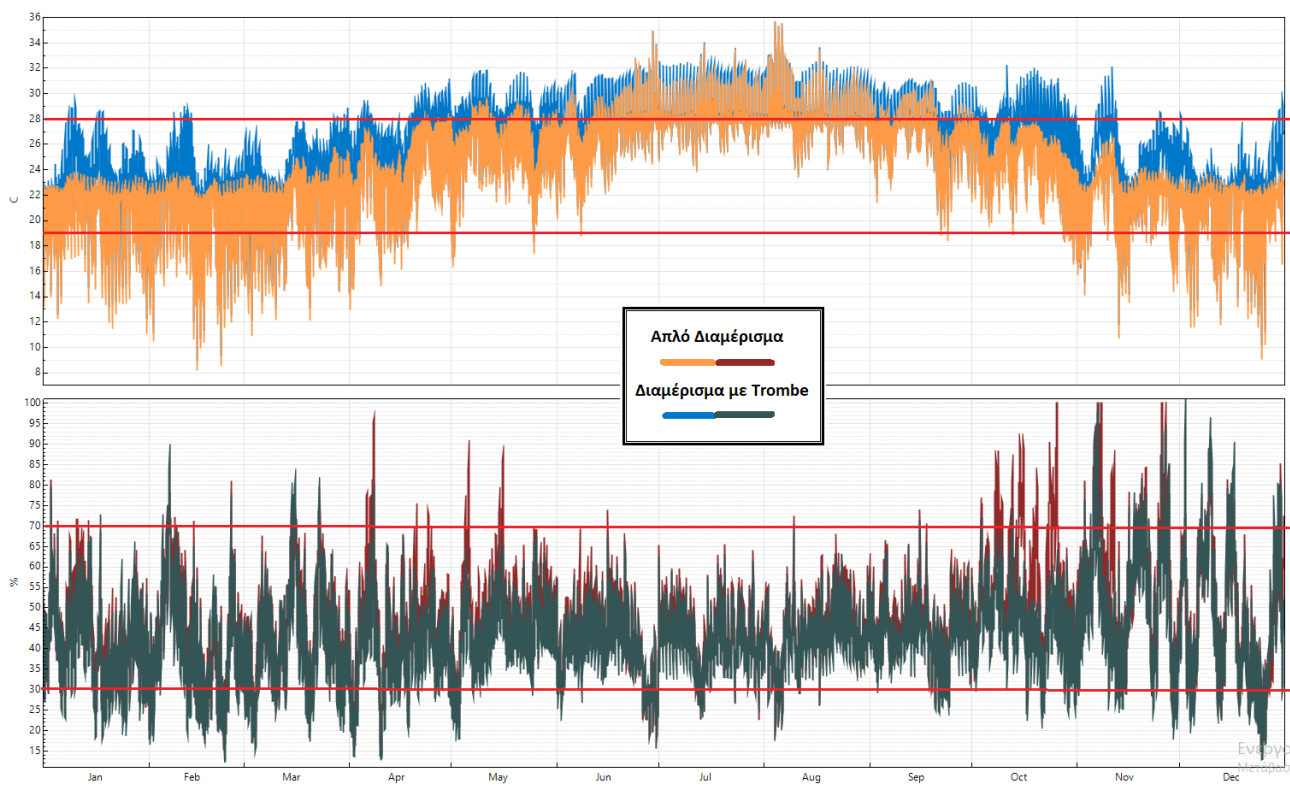
155 Εικόνα 3.2.47: Σκίαση στον υαλοπίνακα Trombe από το υπόστεγο του διαμερίσματος

### 3.3 Παρουσίαση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

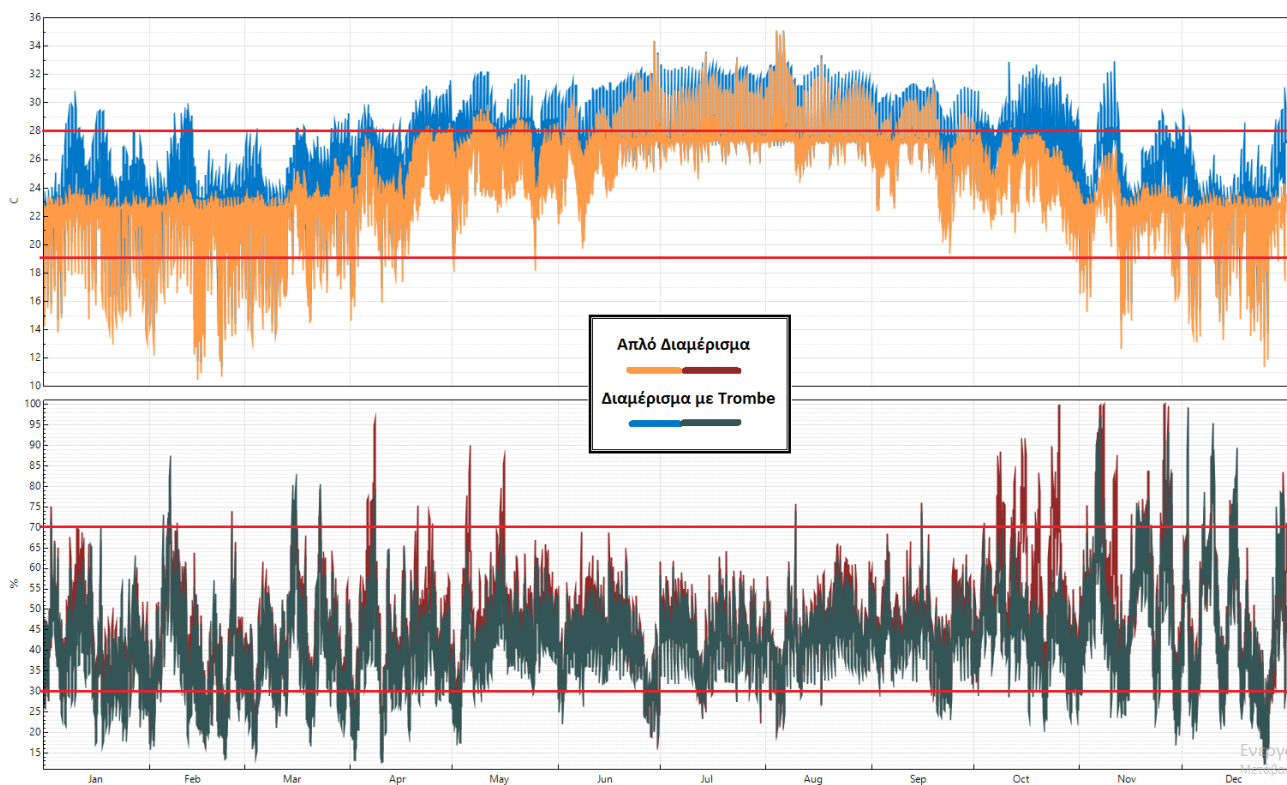
Αφού τρέξουν οι προσομοιώσεις, δημιουργούνται δύο αρχεία .sql που περιέχουν τις πληροφορίες που ζητήθηκαν για το απλό διαμέρισμα και αυτό με την προσθήκη του τοίχου Trombe. Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο θα συγκριθούν κυρίως η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία των θερμικών ζωνών. Έπειτα θα γίνει επίσης σύγκριση του βασικού ζητούμενου αυτού του κεφαλαίου, δηλαδή της καταναλισκόμενης ενέργειας κάθε περίπτωσης.

Αρχικά παρουσιάζονται οι θερμοκρασίες και οι υγρασίες κάθε θερμικής ζώνης συγκρίνοντας την περίπτωση με και χωρίς τοίχο Trombe. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ειπωθεί είναι ότι τα προφίλ κάθε περίπτωσης ομοιάζουν από ζώνη σε ζώνη. Θα παρουσιαστούν, παρ'όλα αυτά όλες οι θερμικές ζώνες για μια πιο εποπτική άποψη της κατάστασης και με κόκκινες γραμμές θα περιστοιχιστούν τα διαστήματα με τις αποδεκτές θερμοκρασίες και υγρασίες.

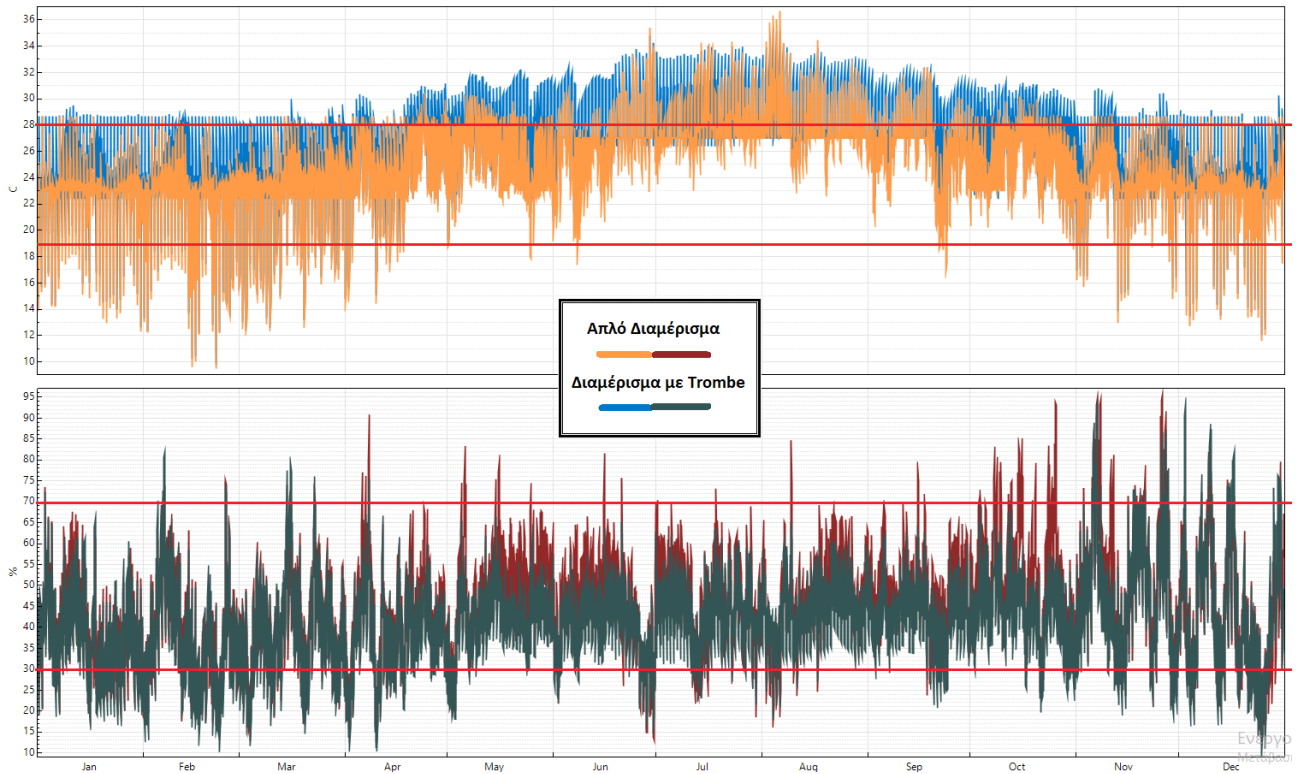




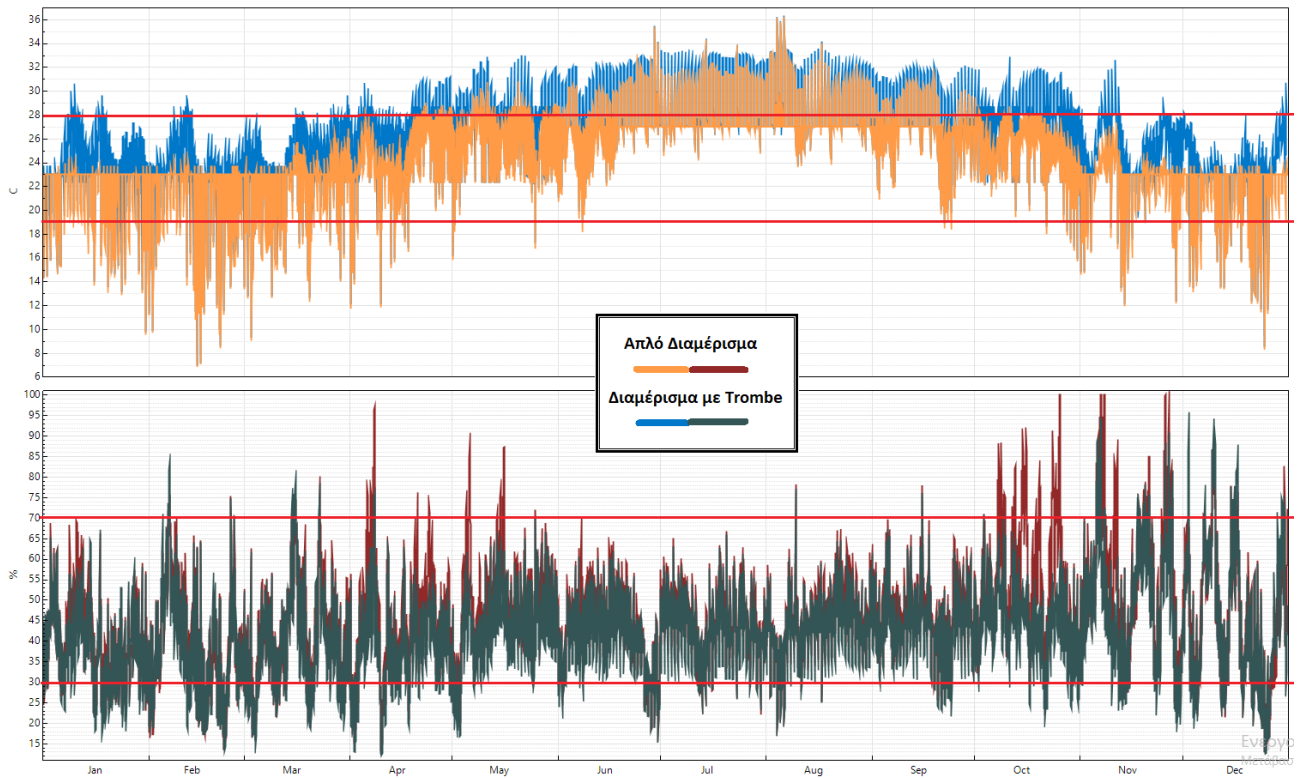
156 Εικόνα 3.3.1: Θερμοκρασία και υγρασία Μπάνιου για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe



157 Εικόνα 3.3.2: Θερμοκρασία και υγρασία Χώλ για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe

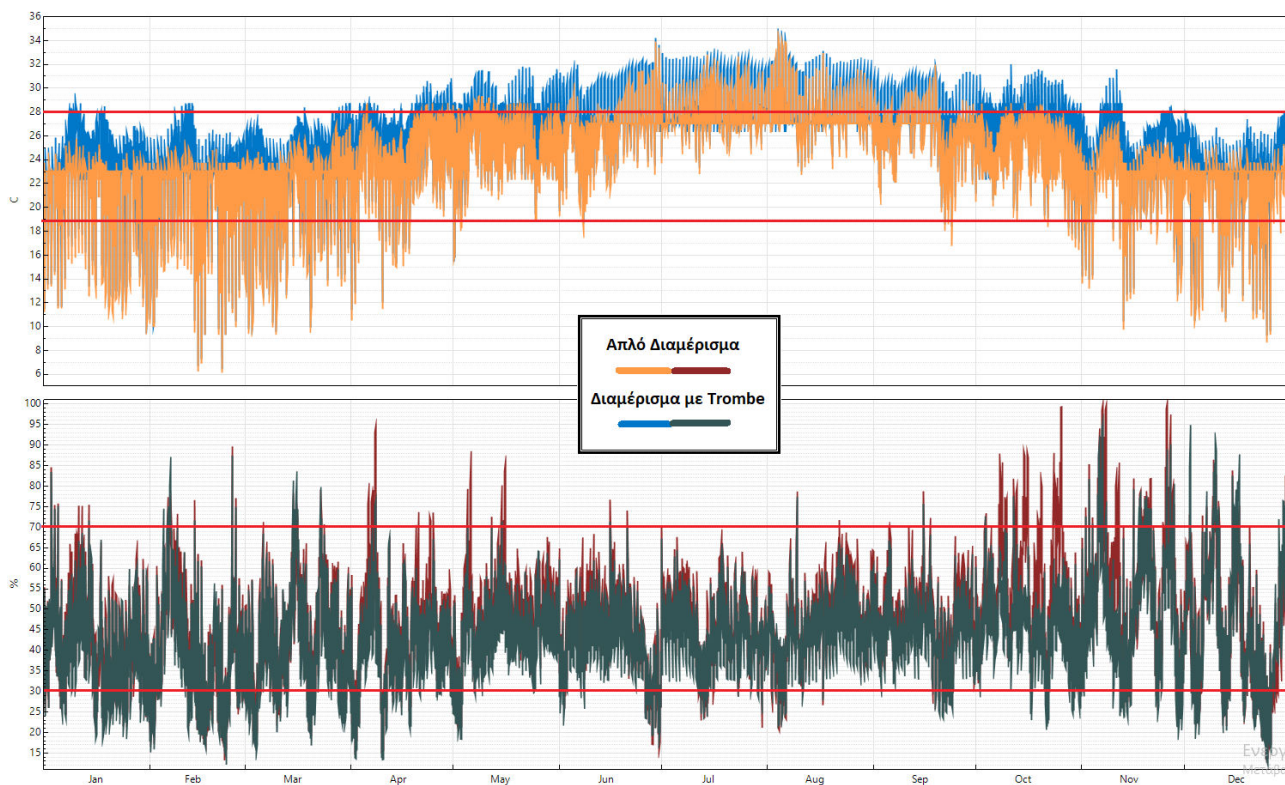


158 Εικόνα 3.3.3: Θερμοκρασία και υγρασία Κουζίνας για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe

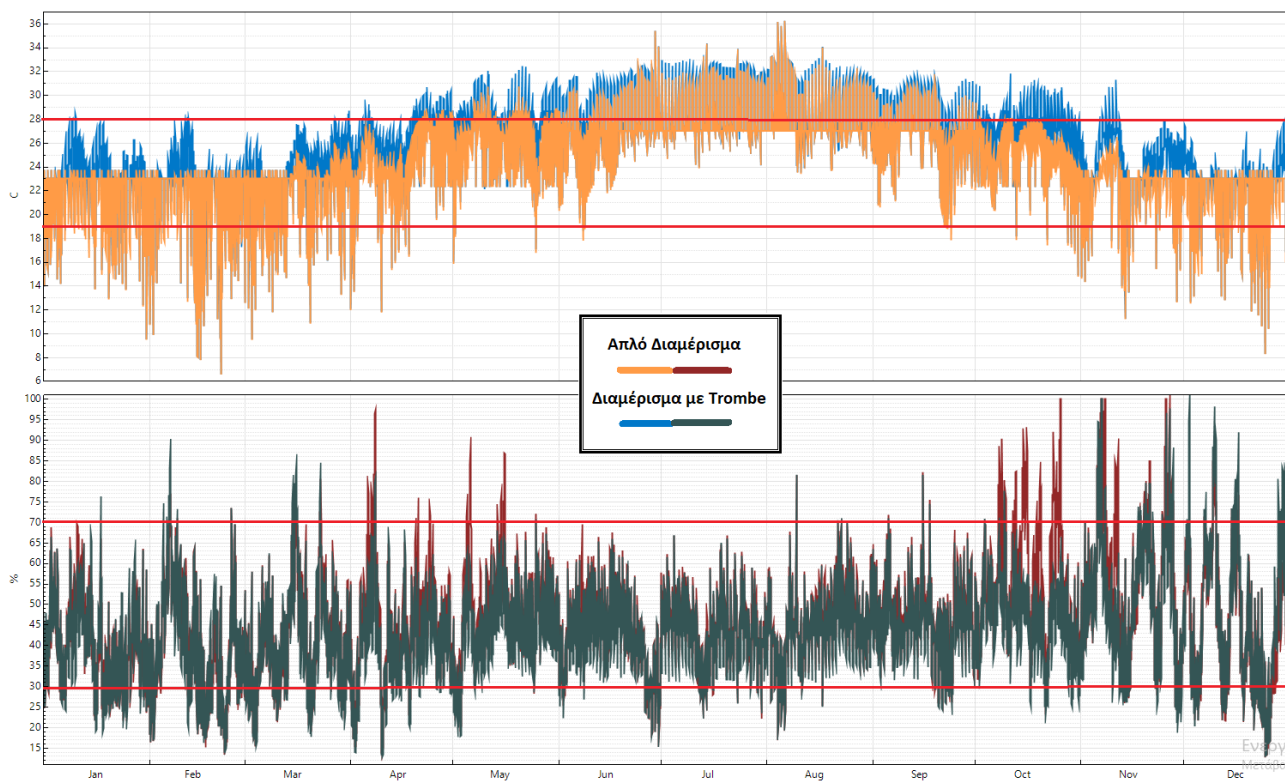


159 Εικόνα 3.3.4: Θερμοκρασία και υγρασία Παιδικού Δωματίου για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe





160 Εικόνα 3.3.5: Θερμοκρασία και υγρασία Σαλονιού για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe



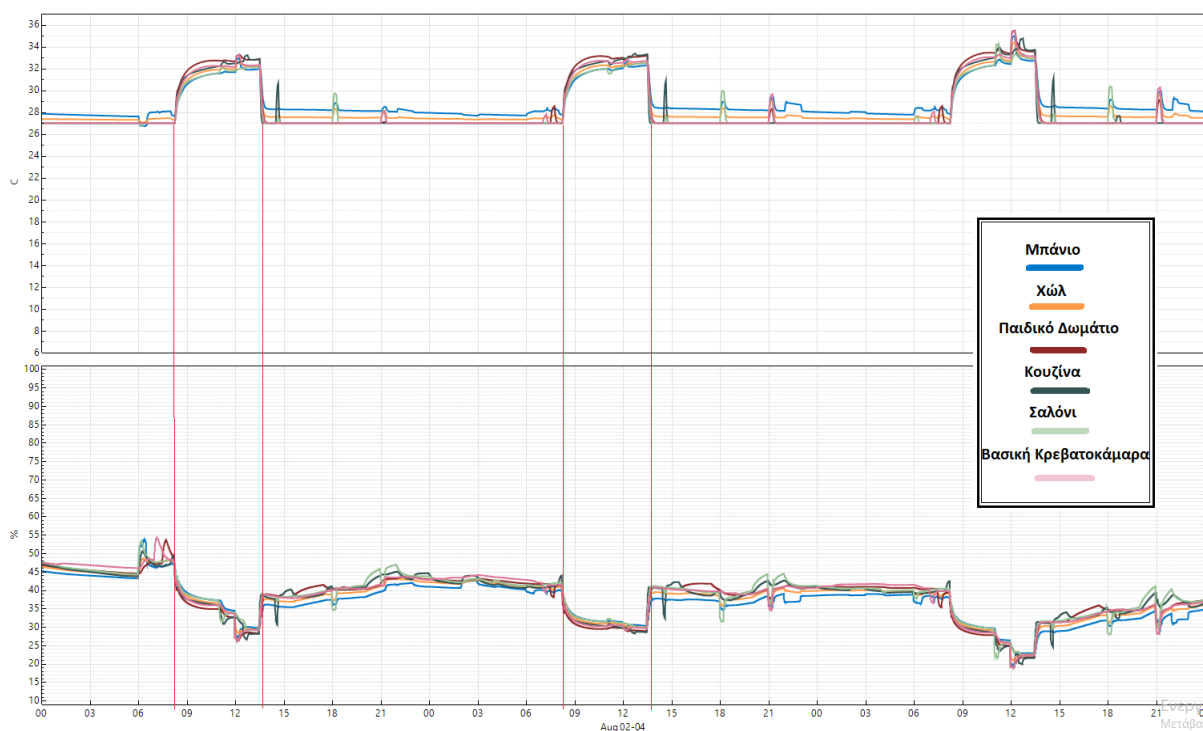
161 Εικόνα 3.3.6: Θερμοκρασία και υγρασία Βασικής Κρεβατοκάμαρας για απλό διαμέρισμα και μετά την προσθήκη τοίχου Trombe

Αν και τα προφίλ είναι κατά μεγάλο ποσοστό όμοια, όπως προαναφέρθηκε, υπάρχουν μικρές διαφορές. Οι μη κλιματιζόμενοι χώροι δείχνουν να μην συγκεντρώνουν τις θερμοκρασίες τους γύρω από τις τιμές των θερμοστατών, όπως κάνουν οι κλιματιζόμενοι. Επίσης από τους μη

κλιματιζόμενους χώρους,μεγαλύτερη μεταβολή στις θερμοκρασίες παρατηρείται στην κουζίνα.Αυτό εξηγείται λόγω της περιοδικής λειτουργίας ηλεκτρικών συσκευών,που μεταδίδουν την θερμότητα τους στον χώρο κάθε φορά που κάποιος τις χρησιμοποιεί.

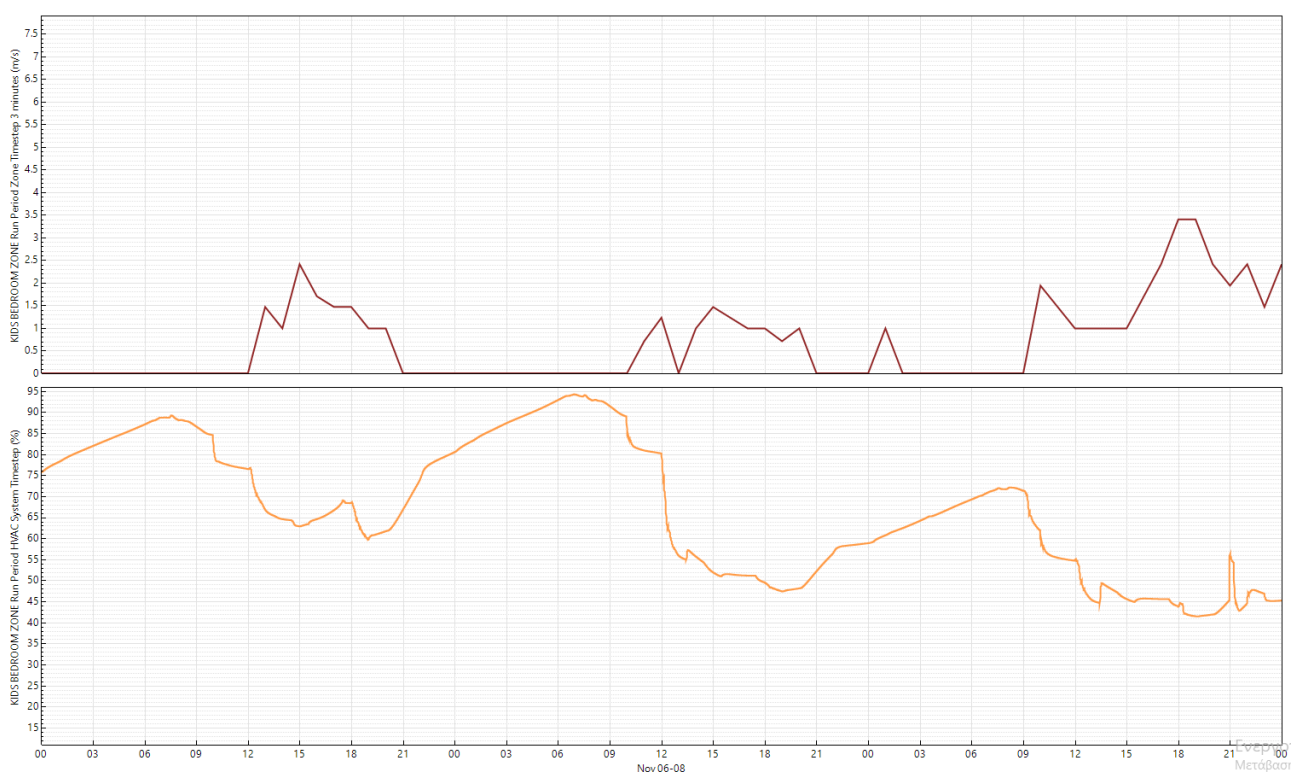
Όσον αφορά την διαφορά μεταξύ εφαρμογής Trombe και απλού διαμερίσματος,είναι εμφανής στο θερμοκρασιακό προφίλ.Το διαμέρισμα με τον τοίχο Trombe στην νότια πλευρά του,είναι κατά 1-2°C πιο ζεστό από αυτό χωρίς τον τοίχο Trombe,κατά την χειμερινή περίοδο.Σε μέρες με μικρότερη ηλιοφάνεια βέβαια η θερμοκρασία του διαμερίσματος με τοίχο Trombe έρχεται πιο κοντά σε σχέση με το απλό διαμέρισμα.Αυτό ακριβώς το γεγονός είναι δυνατόν να μειώσει την ανάγκη για θέρμανση σε διαμέρισμα με την εφαρμογή Trombe.Την θερινή περίοδο η διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων μειώνεται ,παρ'ότι το απλό διαμέρισμα παραμένει πιο ψυχρό,κάτι που σημαίνει ότι τουλάχιστον το καλοκαίρι η ανάγκη για ψύξη μπορεί να αυξηθεί αν προστεθεί ο τοίχος Trombe.

Η πτώση της θερμοκρασίας,λόγω του ανοίγματος παραθύρων και μπαλκονοπορτών,σε όλους τους χώρους και στα δύο εξεταζόμενα μοντέλα γίνεται αισθητή την χειμερινή περίοδο,ενώ την θερινή υπάρχει αντίστοιχη άνοδος.Αυτά τα σκαμπανεβάσματα πετούν την θερμοκρασία εκτός ορίων άνεσης που έχουν σημειωθεί με κόκκινες γραμμές.Το θέμα όμως είναι να επιτυγχάνεται άνεση στις περιόδους που κυκλοφορεί η οικογένεια μέσα στο διαμέρισμα.Την περίοδο που οι οικογένεια φεύγει για την δουλειά ή το σχολείο,τα κλιματιστικά σταματούν να λειτουργούν.Αυτό σημαίνει ότι το καλοκαίρι το διάστημα 8:15-13:30 η θερμοκρασία στους χώρους προφανώς θα ανέβει,αλλά δεν έχει σημασία αφού δεν υπάρχει κάποιος να το παρατηρήσει.Αντίστοιχα όταν ανοίγουν τα παράθυρα σε ένα δωμάτιο το χειμώνα είναι λογικό να υπάρχει πτώση της θερμοκρασίας,αλλά ξανά τα προγράμματα ανοίγματος έχουν φροντίσει να μην ανοίγουν τα παράθυρα ενός δωματίου όταν κάποιο βρίσκεται μέσα.Τις περισσότερες μέρες του χρόνου λοιπόν η θερμική άνεση επιτυγχάνεται από πλευράς θερμοκρασίας σε κάθε χώρο,κατά την περίοδο που στον συγκεκριμένο χώρο υπάρχει τουλάχιστον ένα άτομο.Η θερμική άνεση πιθανόν να μην επιτυγχάνεται λόγω υγρασίας,αλλά αυτό θα αναλυθεί λίγο αργότερα.Παρακάτω φαίνεται η περίοδος που ξεφεύγει πάνω από τα όρια άνεσης η θερμοκρασία σε τρεις καλοκαιρινές μέρες και πως αυτή ταυτίζεται με την περίοδο που κλείνουν τα κλιματιστικά,για το διαμέρισμα με τοίχο Trombe.



162Εικόνα 3.3.7: Θερμοκρασίες και σχετικές υγρασίες σε όλα τα δωμάτια, τρεις καλοκαιρινές μέρες για μοντέλο με τοίχο Trombe

Στην πιο πάνω εικόνα φαίνεται και η επίδραση που έχουν τα ανοίγματα των παραθύρων στο αντίστοιχο ποσοστό υγρασίας ενός χώρου. Κάθε φορά που υπάρχει μια απότομη άνοδος ή πτώση της θερμοκρασίας στο θερμοκρασιακό προφίλ, υπάρχει και μια πτώση στο αντίστοιχο υγρασιακό προφίλ. Είναι άλλωστε γνωστό ότι ο συχνός αερισμός των χώρων βοηθά στον έλεγχο της υγρασίας τους. Εντούτοις υπάρχουν όπως φάνηκε και στις πιο πάνω εικόνες, περιόδους που τα όρια άνεσης της υγρασίας-έχει σχεδιαστεί μια κόκκινη οριακή γραμμή στο 70%-ξεπερνιούνται κατά πολύ. Μια τέτοια περίοδος είναι αυτή του Οκτωβρίου-Νοεμβρίου, όπου και στο απλό διαμέρισμα αλλά και σε αυτό με την εφαρμογή Trombe απλά σε μικρότερο βαθμό, το ποσοστό σχετικής υγρασίας φτάνουν μέχρι και το 100% και μάλιστα σε περιόδους όπου οι χώροι φιλοξενούν την οικογένεια. Σε αυτές τις περιόδους, ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας μέσω του αερισμού αποτυγχάνει και αυτό συμβαίνει γιατί η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή είναι μηδενική. Αυτό φαίνεται παρακάτω, όπου γίνεται συσχέτιση σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου για δύο μέρες που τα όρια άνεσης έχουν ξεπεραστεί. Το διάγραμμα αφορά το παιδικό δωμάτιο, αλλά μπορεί να γενικευτεί σε όλους τους χώρους.



163 Εικόνα 3.3.8: Σύγκριση σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου σε περιόδους με μεγάλα ποσοστά υγρασίας

Όπως φαίνεται τα διαστήματα με άπνοια είναι και αυτά που επιτρέπουν μεγάλη αύξηση του ποσοστού σχετικής υγρασίας, ενώ όταν υπάρχει έστω και λίγος άνεμος ο χώρος αερίζεται και έτσι περιορίζεται κάπως η υγρασία του. Σημειώνεται εδώ ότι εκτός των άλλων φαίνεται και η αδυναμία των κλιματιστικών να παρέχουν επαρκή αφύγρανση των χώρων, όπως επίσης και το ότι παρά την μηδενική προσπάθεια ύγρανσης των χώρων είναι λίγες οι φορές που ο αέρας γίνεται ξηρότερος του 30% σχετικής υγρασίας. Οι συνθήκες τότε δεν είναι εντελώς ανυπόφορες.

Αν κοιτάξει κανείς στα αποτελέσματα του EnergyPlus, μπορεί να διαπιστώσει ότι υπάρχουν αρκετές ώρες κατά τις οποίες δεν ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις άνεσης. Αυτό γίνεται για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, και αγνοούνται ακριβώς γιατί η άνεση δεν επιτυγχάνεται σε ώρες που λείπουν τα άτομα από τα εξεταζόμενα δωμάτια. Όπως φαίνεται παρακάτω οι ώρες που ικανοποιούνται οι συνθήκες άνεσης είναι περισσότερες στο μοντέλο χωρίς τον τοίχο Trombe. Όμως στο μοντέλο με την προσθήκη του τοίχου Trombe, οι ώρες που οι συνθήκες είναι εκτός ορίων που

τέθηκαν από τους θερμοστάτες-υγροστάτες είναι λιγότερες από αυτές στο μοντέλο χωρίς Trombe,κατα τις περιόδους θέρμανσης ή ψύξης.Άρα επιβεβαιώνεται ότι οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στο διαμέρισμα είναι και στις δύο περιπτώσεις,με ή χωρίς τοίχο Trombe, αποδεκτές.

#### Comfort and Setpoint Not Met Summary

**Χωρίς Trombe**

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	60.10
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	278.70
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	3251.45

#### Comfort and Setpoint Not Met Summary

**Με Trombe**

	Facility [Hours]
Time Setpoint Not Met During Occupied Heating	24.10
Time Setpoint Not Met During Occupied Cooling	71.15
Time Not Comfortable Based on Simple ASHRAE 55-2004	4168.45

164 Εικόνα 3.3.9: Σύγκριση ωρών που δεν ικανοποιούνται συνθήκες άνεσης ανάμεσα στα δύο μοντέλα, με ή χωρίς Trombe

## *4.Συμπεράσματα*

#### **4.1 Ενεργειακά αποτελέσματα για το διαμέρισμα**

Το θέμα τώρα, και ο σκοπός αυτής της εργασίας, είναι να αποδειχθεί ότι ο τοίχος Trombe μπορεί να βοηθήσει στην εξοικονόμηση ενέργειας που ξοδεύεται για τον κλιματισμό των χώρων ενός κτιρίου και άρα και στην εξοικονόμηση οικονομικών πόρων σε βάθος χρόνου. Παρακάτω φαίνονται η συνολική ενέργεια που απαιτεί το διαμέρισμα για να λειτουργήσουν όλοι οι εξοπλισμοί του, φωτισμός, συσκευές και κλιματισμός (site energy), αλλά και η ενέργεια που μετράται από τα πολύ πρώιμα βήματα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας που τελικά καταναλώνεται (source energy).

##### Site and Source Energy

##### Χωρίς Trombe

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]
Total Site Energy	49.86	733.21	804.17
Net Site Energy	49.86	733.21	804.17
Total Source Energy	157.90	2322.09	2546.81
Net Source Energy	157.90	2322.09	2546.81

##### Site and Source Energy

##### Με Trombe

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m <sup>2</sup> ]
Total Site Energy	43.65	630.79	659.38
Net Site Energy	43.65	630.79	659.38
Total Source Energy	138.24	1997.71	2088.24
Net Source Energy	138.24	1997.71	2088.24

165 Εικόνα 4.1.1: Σύγκριση καταναλισκόμενης ενέργειας ανάμεσα στα δύο μοντέλα, με ή χωρίς Trombe

Όπως φαίνεται η ενέργεια που καταναλώνεται στο μοντέλο χωρίς τοίχο Trombe είναι κατά τι περισσότερη από αυτή στο μοντέλο μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe. Αφού η ενέργεια που καταναλώνει το κτίριο είναι λιγότερη και η ενέργεια της πηγής είναι λιγότερη στο μοντέλο με τον τοίχο Trombe. Σημειώνεται ότι η ενέργεια που «πληρώνει» η οικογένεια που ζεί στο διαμέρισμα είναι αυτή που καταναλώνει το κτίριο (site energy). Επομένως στο μοντέλο με τον τοίχο Trombe η οικογένεια πληρώνει λιγότερο για το ρεύμα που καταναλώνει.

Πρέπει βέβαια να αναλυθεί και που κατανέμεται η ενέργεια που καταναλώνεται στο διαμέρισμα. Προφανώς υπάρχει η αίσθηση λόγω του εξοπλισμού του διαμερίσματος, ότι η ενέργεια που καταναλώνεται, μοιράζεται μεταξύ κλιματισμού, φωτισμού, συσκευών και οποιασδήποτε άλλης χρήσης. Παρακάτω λοιπόν φαίνεται που μοιράζεται η ενέργεια στις περιπτώσεις των δύο μοντέλων.



## End Uses

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Additional Fuel [GJ]	District Cooling [GJ]	District Heating [GJ]	Water [m3]
Heating	8.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	11.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	12.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	8.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	43.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

166Εικόνα 4.1.2: Ανάλυση καταναλισκόμενης ενέργειας στο μοντέλο με τοίχο Trombe

## End Uses

	Electricity [GJ]	Natural Gas [GJ]	Additional Fuel [GJ]	District Cooling [GJ]	District Heating [GJ]	Water [m3]
Heating	18.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cooling	8.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Lighting	1.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Lighting	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Interior Equipment	12.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Exterior Equipment	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fans	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pumps	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Rejection	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Humidification	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Heat Recovery	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Water Systems	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Refrigeration	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Generators	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total End Uses	49.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: Electricity appears to be the principal heating source based on energy usage.

167Εικόνα 4.1.3: Ανάλυση καταναλισκόμενης ενέργειας στο μοντέλο χωρίς τοίχο Trombe

Φαίνεται λοιπόν ότι στις κατηγορίες φωτισμού και συσκευών δεν υπάρχει καμία διαφορά μεταξύ των δύο μοντέλων, όπως είναι και λογικό αφού δεν υπήρξε κάποια παραλλαγή όσον αφορά αυτές τις κατηγορίες. Η διαφορά έγκειται στον κλιματισμό και στην ενέργεια που καταναλώνεται από τους ανεμιστήρες κλιματισμού και Trombe. Η ενέργεια που καταναλώνεται για θέρμανση είναι σημαντικά μικρότερη στο μοντέλο με Trombe από ότι σε αυτό χωρίς. Αυτό είναι βέβαιο και το ζητούμενο, καθώς ο τοίχος Trombe προσφέρει θέρμανση στο διαμέρισμα. Ακριβώς για αυτό η ενέργεια για ψύξη στο μοντέλο με Trombe είναι αυξημένη, καθώς πρέπει να καλυφθούν οι ανάγκες του διαμερίσματος σε περιπτώσεις υπερθέρμανσης κυρίως την θερινή περίοδο. Παρ'όλα αυτά όπως φαίνεται και στο σύνολο, η ενέργεια αυτή δεν είναι τόσο σημαντική ώστε να μην είναι συμφέρουσα η προσθήκη του τοίχου Trombe. Σημειώνεται ότι υπάρχει και μια αύξηση στην ενέργεια που καταναλώνεται από τους ανεμιστήρες στο μοντέλο με τον Trombe, η οποία δικαιολογείται με την προσθήκη επιπλέον ανεμιστήρα Trombe. Συμπερασματικά η ενέργεια που καταναλώνεται από το μοντέλο με τον τοίχο Trombe είναι λιγότερη από το απλό μοντέλο, χωρίς να επηρεάζεται σημαντικά

η κατάσταση που επικρατεί μέσα στο διαμέρισμα. Οι ώρες που επικρατούν συνθήκες άνεσης, τις περιόδους που η οικογένεια είναι μέσα στο διαμέρισμα, είναι σχεδόν ίδιες αν όχι και περισσότερες στο μοντέλο με τον τοίχο Trombe. Αυτό είναι και το πιο σημαντικό καθώς δεν θυσιάζονται οι συνθήκες που επικρατούν μέσα στο διαμέρισμα ώστε να εξοικονομηθεί ρεύμα.

Για να γίνει σύγκριση με τις θεωρητικές τιμές εξοικονόμησης ενέργειας, που αναφέρθηκαν στην εισαγωγή και κυμαίνονται από το 70 έως το 76%, πρέπει να βρεθούν οι ποσοστιαίες τιμές της εξοικονόμησης για το διαμέρισμα. Αυτές είναι η  $E_{\theta} = \frac{(18,53 - 8,98)}{18,53} = 0,51538 = 51,538\%$  για το

ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που χρησιμοποιείται για την θέρμανση, η  $E_{\psi} = \frac{(11,52 - 8,28)}{8,28}$

$= 0,3913 = 39,13\%$  το ποσοστό επιπλέον ενέργειας που χρειάζεται για ψύξη λόγω υπερθέρμανσης το καλοκαίρι,  $E_{\alpha} = \frac{(8,61 - 8,5)}{8,5} = 0,0129 = 1,29\%$  το ποσοστό αύξησης της ενέργειας που χρειάζεται

από τους ανεμιστήρες του διαμερίσματος και  $E_{\sigma} = \frac{(49,86 - 43,65)}{49,86} = 0,1245 = 12,45\%$  το ποσοστό εξοικονόμησης της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας του διαμερίσματος.

### Σύγκριση με πραγματικά εφαρμοσμένα παραδείγματα

Το σπίτι στο Montmedy εξοικονομούσε 70% της ενέργειας που απαιτούνταν για θέρμανση, ενώ το σπίτι Kelbaugh στο Princeton 76%, που συγκρινόμενα με το ποσοστό αυτής της περίπτωσης του διαμερίσματος στην Αθήνα είναι αρκετά μεγαλύτερα. Αυτό όμως δεν σημαίνει ότι υπάρχει αποτυχία της ιδέας της προσθήκης τοίχου Trombe στο διαμέρισμα, καθώς γίνεται λόγος για διαφορετικό γεωγραφικό πλάτος σε κάθε περίπτωση άρα και διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες - όπως η μέση θερμοκρασία που επικρατεί τον χειμώνα. Στο Princeton η μέση θερμοκρασία τον Ιανουάριο είναι κοντά στους 0°C, στο Montmedy είναι κοντά στους 5°C ενώ στην Αθήνα είναι κοντά στους 10°C. Αυτό σημαίνει ότι μια εφαρμογή που βασίζεται στον ήλιο για περαιτέρω παθητική θέρμανση, παρ'όλο που θα βρεί αρκετό ηλιακό δυναμικό, δεν θα ζεσταίνει σημαντικά ένα διαμέρισμα που πιθανόν είναι ήδη αρκετά ζεστό το μεγαλύτερο μέρος του χειμώνα. Επίσης υπάρχει διαφορά στο καύσιμο που χρησιμοποιούν οι παραπάνω συγκρινόμενες εφαρμογές, καθώς στα σπίτια στο Montmedy και στο Princeton χρησιμοποιούσαν φυσικό αέριο ενώ στην Αθήνα το διαμέρισμα θερμαίνεται με κλιματιστικό και άρα υπάρχουν διαφορές και στην απόδοση του κάθε συστήματος.

Ακριβώς λόγω κλιματολογικών διαφορών, τα προηγούμενα σπίτια δεν αναφέρουν την εξοικονόμηση που γίνεται στην ενέργεια που κατατάσσεται για την ψύξη. Υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να μην υπάρχουν μεγάλες ανάγκες για ψύξη σε αυτά τα σπίτια, παρότι υπάρχουν θυρίδες που συμβάλλουν στην θερινή λειτουργία του Trombe. Σε αντίθεση το διαμέρισμα στην Αθήνα έχει προφανή ανάγκη για ψύξη την θερινή περίοδο, αλλά σε αυτή την εργασία δεν έχει προστεθεί στον τοίχο Trombe η δυνατότητα για ψυκτική λειτουργία. Αυτό συνέβη λόγω της αδυναμίας του EnergyPlus να τρέξει προσομοίωση με μοντελοποίηση ροής αέρα από το εξωτερικό περιβάλλον και διαμέσω πολλών θερμικών ζωνών. Όλα αυτά σημαίνουν ότι την ψύξη του διαμερίσματος, την επωμίζεται μόνο το κλιματιστικό κάθε χώρου. Λόγω υπερθέρμανσης λοιπόν του διαμερίσματος την θερινή περίοδο, που προκαλείται μετά την προσθήκη του τοίχου Trombe στο διαμέρισμα, η ενέργεια που καταναλώνεται για ψύξη με τον τοίχο Trombe είναι περισσότερη από αυτήν χωρίς τον τοίχο Trombe. Το ποσοστό δε αύξησης αυτής της ενέργειας δεν είναι αμελητέο καθώς πλησιάζει το 40%. Αυτό σημαίνει ότι είναι επιτακτική η ανάγκη για ενεργοποίηση της ψυκτικής λειτουργίας του τοίχου Trombe, σε περίπτωση εγκατάστασης τοίχου Trombe σε κάποιο κτίριο στην Αθήνα, ώστε να εξοικονομηθεί ακόμα περισσότερη ενέργεια από ότι φαίνεται να εξοικονομείται σε αυτή την εργασία. Άλλωστε δεν πρέπει να ξεχαστεί ότι σε περίοδο ακραίου καύσωνα, όπως παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 2021, η υπερθέρμανση του διαμερίσματος με τοίχο Trombe που δεν λειτουργεί και για να ψύξει το διαμέρισμα, θα είναι πολύ μεγάλη οδηγώντας έτσι και στην αύξηση της ενέργειας

που σπαταλάται για την ψύξη. Αυτό σημαίνει τελικά ότι υπάρχει περίπτωση τα ενεργειακά οφέλη την χειμερινή περίοδο να ισοσταθμηθούν με τις ενεργειακές ζημιές την θερινή, κάτι που θα καθιστούσε την εγκατάσταση του τοίχου Trombe σε ένα κτίριο ανούσια.

Τέλος η συνολική ενέργεια που εξοικονομείται φτάνει κοντά στο 10%, κάτι που είναι μεν ικανοποιητικό αλλά ίσως όχι όσο θα μπορούσε, αν υπήρχε επιπλέον ψυκτική λειτουργία στον τοίχο Trombe ή αν υπήρχε συνδυασμός και άλλων παθητικών συστημάτων όπως είναι η ηλιακή καμινάδα για περεταίρω ψύξη.

### **Εξοικονόμηση χρημάτων στο διαμέρισμα**

Μπορεί σε αυτό το σημείο να γίνει και μια εκτίμηση για το πόσα χρήματα δύναται να εξοικονομηθούν από την οικογένεια, μετά την επένδυση της προσθήκης του τοίχου Trombe. Η διαφορά της καταναλισκόμενης ενέργειας ανάμεσα στα δύο μοντέλα είναι  $48,86\text{GJ} - 43,65\text{GJ} = 5,21\text{GJ}$  τον χρόνο. Ισχύει επίσης ότι  $\text{GJ} = 277,78\text{kWh}$ . Επομένως η διαφορά σε kWh είναι  $277,78 \times 5,21 = 1447,2338\text{kWh}$ . Για να υπολογιστεί το ποσό που εξοικονομείται πρέπει να γίνει γνωστή η τιμή ανά kWh που πληρώνει η οικογένεια. Προφανώς θα αγνοηθούν έννοιες όπως το χρηματιστήριο ενέργειας, η ρήτρα αναπροσαρμογής και οι οποιοδήποτε πρόσθετοι φόροι που πληρώνονται μέσω του λογαριασμού ρεύματος.

Ο λογαριασμός του ρεύματος που ήρθε στον γράφοντα τον Μάιο του 2022, αναφέρει τιμή ανά κιλοβατώρα  $0,1227\text{€/kWh}$ . Επομένως η οικογένεια εξοικονομεί  $177,57\text{€}$  τον χρόνο από τον λογαριασμό ρεύματος, χωρίς να υπολογίζονται επιπλέον χρεώσεις που μπορεί να ανεβάσουν περισσότερο αυτό το ποσό. Προφανώς δεν είναι δυνατόν να συμβεί οποιαδήποτε σύγκριση με τα δεδομένα των σπιτιών παραδειγμάτων καθώς πρέπει να ληφθεί υπόψη ο πληθωρισμός, η ισοτιμία νομισμάτων και οι τιμές ρεύματος κάθε εποχής, έννοιες που είναι πολύ ρευστές για να τεθούν σε σύγκριση τουλάχιστον στα πλαίσια αυτής της εργασίας.

## **4.2 Συμπεράσματα για το απλό μοντέλο και τις παραλλαγές του**

Τα συμπεράσματα που βγήκαν από το αρχικό κεφάλαιο αυτής της εργασίας είναι κυρίως σχετιζόμενα με την θερμοκρασία και τις συνθήκες άνεσης που επικρατούν μέσα σε ένα απλό δωμάτιο μετά την προσθήκη της εφαρμογής Trombe. Σε περίπτωση παθητικής χρήσης του τοίχου Trombe υπάρχει μια θερμοκρασιακή διαφορά της τάξης των  $1-2\text{°C}$  από την περίπτωση του απλού δωματίου, ενώ με ενεργητική χρήση αυτή η διαφορά μπορεί να φτάσει και τους  $3-4\text{°C}$ . Αυτό είναι αρκετά ευεργετικό σε μέρες με χαμηλή εξωτερική θερμοκρασία που ο χώρος χρειάζεται θέρμανση, όμως το καλοκαίρι, ή ακόμα και σε ζεστές χειμερινές μέρες, παρατηρούνται φαινόμενα υπερθέρμανσης. Σημαντικό ρόλο παίζει λοιπόν η δυνατότητα ελέγχου της θερμικής μετάδοσης του τοίχου. Αυτό μπορεί να γίνει με την ρύθμιση του προγράμματος του ανεμιστήρα Trombe, ώστε να μην λειτουργεί όταν μπορεί να προκληθεί υπερθέρμανση, αλλά και με την προσθήκη ενός υποστέγου μπροστά από τον υαλοπίνακα Trombe την θερινή περίοδο. Ειδικά σε κλίμα όπως αυτό της Αθήνας το υπόστεγο μπορεί να χρειάζεται και τον χειμώνα, αν έχει προβλεφθεί να έχει μικρότερο μήκος από το καλοκαιρινό ώστε να περνάει κάποιο κομμάτι της ακτινοβολίας στον υαλοπίνακα Trombe.

Από την άλλη πλευρά ο τοίχος Trombe είναι μια εφαρμογή η οποία χρειάζεται απαραίτητα την ακτινοβολία του ήλιου για να λειτουργήσει. Τις μέρες που δεν υπάρχει αρκετό ηλιακό φορτίο η εφαρμογή δεν αποδίδει και καλύτερα να μην χρησιμοποιείται η ενεργητική της λειτουργία. Αυτό είναι και ένα μειονέκτημα που οδηγεί στην αναγκαστική προσθήκη συστήματος κλιματισμού σε οποιοδήποτε κτίριο με τοίχο Trombe, ώστε να καλυφθούν πιθανά ενεργειακά ελλείματα. Ο καιρός στην Ελλάδα είναι αρκετά ηλιόλουστος και οι μέρες που επικρατεί ηλιοφάνεια επιτρέπουν την εύρυθμη λειτουργία του τοίχου Trombe για την πλειοψηφία των ημερών του έτους. Σίγουρα όμως θα υπάρξουν και μέρες με μικρό ηλιακό φορτίο και τότε είναι που θα λειτουργήσει το σύστημα

κλιματισμού.

Επίσης σημειώνεται ότι ο τοίχος Trombe δεν μπορεί να αλλάξει τις συνθήκες υγρασίας που επικρατούν σε ένα χώρο, παρά το γεγονός ότι δημιουργεί μια ροή αέρα μεταξύ δύο χώρων. Αν δεν υπάρχει επαρκής αερισμός ενός χώρου και ίσως και κάποια μέθοδος αφύγρανσης, η εφαρμογή Trombe δεν εγγυάται κάποιο αποτέλεσμα που θα πληροί τις συνθήκες άνεσης όσον αφορά την υγρασία ενός δωματίου.

### **4.3 Γενικότερα συμπεράσματα**

Εν κατακλείδι σημειώνεται ότι η προσθήκη της εφαρμογής του τοίχου Trombe σε ένα τυπικό διαμέρισμα μέσα στον αστικό ιστό της Αθήνας είναι πολύ δύσκολη. Ο προσανατολισμός, που είναι ένα από τα πιο δομικά στοιχεία για την κατασκευή του τοίχου Trombe, είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί αφού λίγα σπίτια έχουν εγγυημένα μια μεγάλη επιφάνεια προσανατολισμένη ακριβώς προς τον νότο. Επίσης συνήθως τα διαμερίσματα, είτε είναι σε πολυκατοικίες ή σε μονοκατοικίες, μοιράζονται επιφάνειες με τα γύρω κτίρια και άρα υπάρχει πιθανότητα να μην εκτίθενται στον ήλιο. Τέλος λόγω της πυκνότητας των κατοικιών στην πόλη δεν υπάρχει περίπτωση ένα διαμέρισμα να εκτίθεται απρόσκοπτα στην ακτινοβολία, αφού η σκιά των γύρω κτιρίων μπορεί να πέφτει πάνω σε αρκετές επιφάνειες ενός διαμερίσματος για μεγάλα διαστήματα μέσα στην ημέρα. Όλα αυτά λειτουργούν αποτρεπτικά για την λειτουργία του τοίχου Trombe για την πλειοψηφία των διαμερισμάτων μέσα στον αστικό ιστό, τουλάχιστον για μεγάλες πόλεις.

Παρ'όλα αυτά θα μπορούσε να εφαρμοστεί η ιδέα του τοίχου Trombe σε κάποιο προάστιο πόλης, όπου υπάρχουν περισσότερες αραιοκατοικημένες μονοκατοικίες, ή σε κάποιο επαρχιακό οικισμό. Το κριτήριο που πρέπει να ικανοποιείται οπωσδήποτε είναι να υπάρχει ένα μεγάλο διάστημα μέσα στην μέρα που μια νότια προσανατολισμένη επιφάνεια του κτιρίου να είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία.

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και οι αισθητικοί λόγοι που κάποιος κάτοικος μπορεί να επικαλεστεί για να αποφύγει να αναβαθμίσει το διαμέρισμα του προσθέτοντας τον τοίχο Trombe. Ο τοίχος Trombe καταλαμβάνει μια ολόκληρη πλευρά του διαμερίσματος με ένα μαύρο τοίχο πίσω από ένα υαλοστάσιο στο εξωτερικό του και μπορεί να αφήσει τυφλό ένα δωμάτιο απαγορεύοντας τον φυσικό φωτισμό, στο εσωτερικό του. Ακόμα και σε μια κατοικία που δεν περικλείεται από άλλα κτίρια, ένα τυφλό δωμάτιο ή μια πλευρά που δεν επιτρέπει την θέα σε κάποιο κομμάτι του πεδίου, δεν είναι ότι καλύτερο. Έτσι θα μπορούσε να συμπεριληφθεί ένα άνοιγμα στον τοίχο Trombe -σε μορφή λειτουργικού μπαλκονιού ή παραθύρου- που θα μείωνε μεν την αποτελεσματικότητα του αλλά θα έδινε μια αισθητική αναβάθμιση στον χώρο, ώστε αυτός να είναι πιο ελκυστικός προς τους κατοίκους. Το μόνο που μένει είναι η εξωτερική ακαλαισθησία, την οποία αν κάποιος δεν μπορεί να παραβλέψει για χάρη της ενεργειακής εξοικονόμησης δεν υπάρχει κάτι από αυτά που προτείνονται εδώ που θα τον πείσει.

Μια πρόταση λοιπόν για αξιοποίηση της εφαρμογής Trombe μέσα στον αστικό ιστό είναι τα δημόσια κτίρια, παραδειγματος χάρη ένα σχολείο. Το προαύλιο του σχολείου εξασφαλίζει λίγο ελεύθερο χώρο γύρω από το κυρίως κτίριο, όπως επίσης και το ύψος του κτιρίου εξασφαλίζει σίγουρα κάποιο κομμάτι μιας επιφάνειας του να δέχεται ανεμπόδιστα ηλιακή ακτινοβολία. Το μόνο που προβληματίζει είναι τα λειτουργικά παράθυρα που πρέπει να υπάρχουν σε κάθε χώρο που κυκλοφορούν οι μαθητές. Αυτό μπορεί να εξασφαλιστεί αν τα παράθυρα τοποθετηθούν στην ανατολική πλευρά του κτιρίου παρέχοντας φωτισμό μόνο κατά τις πρωινές ώρες, που είναι άλλωστε και αυτές που χρησιμοποιείται το σχολείο. Έτσι η νότια πλευρά θα μπορεί να φιλοξενήσει σε κάποιες περιοχές της υαλοστάσια τύπου Trombe ώστε να θερμαίνονται παθητικά οι χώροι.

Τέλος, επισημαίνεται ότι ο τοίχος Trombe είναι μια αναμφίβολα αποδοτική εφαρμογή με αρκετά μειονεκτήματα. Τα ενεργειακά μπορούν να λυθούν με σμίκρυνση της κλίμακας της εφαρμογής ή και με συνδυασμό με άλλα παθητικά συστήματα και αναβαθμισμένα συστήματα κλιματισμού. Τα αισθητικά λύνονται αν μικρύνει η κλίμακα της εφαρμογής και έχοντας καλή θέληση.

## **Βιβλιογραφία**

- [1] Larry Brackney, Andrew Parker, Daniel Macumber, Kyle Benne , Building Energy Modeling with OpenStudio-A Practical Guide for Students and Professionals , 2018 , Springer International Publishing AG
- [2] Douglas Kelbaugh , “Kelbaugh House: Recent Performance,” in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> National Passive Solar Conference (Newark, Delaware: American Section of the International Solar Energy Society, 1978) , 69–75
- [3] The Kelbaugh House Text by Pierre-Édouard Latouche , <https://www.cca.qc.ca/en/articles/issues/19/the-planet-is-the-client/33741/the-kelbaugh-house>
- [4] Medici, Piero , "The Trombe Wall during the 1970s: technological device or architectural space? Critical inquiry on the Trombe Wall in Europe and the role of architectural magazines" , 2018 , <https://www.spool.ac/index.php/spool/article/view/102>
- [5] EnergyPlus Weather Data, (<https://energyplus.net/weather>)
- [6] EnergyPlus Engineering Reference, <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/8-9/engineering-reference/>
- [7] Κ.Α Αντωνόπουλος , Θερμικά-Ηλιακά Συστήματα-Μέρος Πρώτο , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2015
- [8] Κ.Α Αντωνόπουλος , Κλιματισμός-Μέρος Πρώτο , Εκδόσεις Ε.Μ.Π , Αθήνα 2015
- [9] Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων (pdf του μαθήματος Θερμικής Συμπεριφοράς Κτιρίων-Τζιβανίδης Χ.)
- [10] Trombe Wall Wikipedia , [https://en.wikipedia.org/wiki/Trombe\\_wall](https://en.wikipedia.org/wiki/Trombe_wall)
- [11] Unmet Hours-Question-and-Answer Resource for the Building Energy Modeling Community , <https://unmethours.com/questions/>
- [12] Active Trombe Wall .idf file example , <https://github.com/joshwentz/virtualpulse/blob/master/EnergyPlus-7-1-0/Examples/ActiveTrombeWall.idf>