



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΑΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΨΥΞΗΣ, ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΣΙΟΝΤΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΧΡΗΣΤΟΣ ΤΖΙΒΑΝΙΔΗΣ (ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ)

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2018

Copyright © ΒΑΣΙΛΙΚΗ ΣΙΟΝΤΗ 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν επιτρέπεται να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Ευχαριστίες...

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών κ. Χρήστο Τζιβανίδη, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με το παρόν θέμα της διπλωματικής μου εργασίας καθώς επίσης και για την αμέριστη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης του.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Ευάγγελο Μπέλλο για την πολύτιμη βοήθεια, την προθυμία του και τις συμβουλές που μου προσέφερε κατά την διεκπεραίωση της εργασίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου για όλη την συμπαράσταση και την αρωγή τους καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου και κυρίως τους γονείς μου για όσα μου έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια, την κατανόηση και την απaráμιλλη στήριξη τους σε κάθε μου βήμα.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η επίδραση των υλικών αλλαγής φάσης στο παθητικό ηλιακό σύστημα εμμέσου κέρδους, τον τοίχο Trombe - Michel. Συγκεκριμένα, πραγματοποιείται η ενεργειακή μελέτη ενός απλοποιημένου μοντέλου κατοικίας που περιλαμβάνει διάταξη τοίχου Trombe με προσθήκη υλικών αλλαγής φάσης. Ο τοίχος Trombe απαιτεί μεγάλη θερμική μάζα κάτι το οποίο συνεπάγεται βαριές και ογκώδεις κατασκευές. Η ιδέα χρήσης υλικών αλλαγής φάσης, στο συγκεκριμένο σύστημα, προήλθε από την ιδιότητα τους να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες θερμικής ενέργειας απαιτώντας πολύ μικρότερο χώρο σε σχέση με τα συμβατικά δομικά υλικά. Για την διεξαγωγή της παρούσας μελέτης εξετάζεται η επίδραση που έχουν διαφορετικές εκδοχές του τοίχου Trombe σε μια απλοποιημένη κατοικία στην τοποθεσία της Αθήνας. Οι διαφορετικές εκδοχές του τοίχου Trombe αφορούν την διαφορετική κατασκευή του τοίχου θερμικής μάζας η οποία περιλαμβάνει διαφορετικούς συνδυασμούς δομικών υλικών και υλικών αλλαγής φάσης. Η μελέτη πραγματοποιείται μέσω ενεργειακών προσομοιώσεων που διεξάγονται με χρήση του λογισμικού EnergyPlus.

Στο **πρώτο** κεφάλαιο αναλύεται η ενεργειακή κατάσταση, οι τάσεις και οι προβλέψεις καθώς επίσης και η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Στο **δεύτερο** κεφάλαιο αναπτύσσονται οι αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού καθώς και οι τρόποι μέσω των οποίων εφαρμόζεται. Περιγράφονται οι διατάξεις και ο τρόπος λειτουργίας των παθητικών ηλιακών συστημάτων, των συστημάτων και τεχνικών φυσικού δροσισμού και των διατάξεων φυσικού φωτισμού. Το **τρίτο** κεφάλαιο περιλαμβάνει τον τρόπο λειτουργίας της διάταξης του τοίχου Trombe-Michel και τα κύρια μέρη και χαρακτηριστικά της. Στο **τέταρτο** κεφάλαιο αναλύεται ο μηχανισμός αποθήκευσης με χρήση υλικών αλλαγής φάσης, οι κατηγορίες και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την χρήση τους. Το **πέμπτο** κεφάλαιο πραγματεύεται τους τρόπους αποθήκευσης θερμικής ενέργειας στα κτίρια με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης, τις διατάξεις μέσα από τις οποίες επιτυγχάνεται καθώς και τους τρόπους που αυτά ενσωματώνονται στα δομικά υλικά.

Στο **έκτο** κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση του σχεδιασμού των κτιρίων ο οποίος πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού Sketch Up με το plug-in του Open Studio και περιγράφεται λεπτομερώς η δομή των αρχείων προσομοίωσης του προγράμματος EnergyPlus. Στο **έβδομο** κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα τα οποία προέκυψαν καθώς και κάποιες προτάσεις για μελλοντική μελέτη. Πιο συγκεκριμένα διαπιστώθηκε ότι σε έναν τοίχο θερμικής μάζας συνολικού πάχους 45 cm η αντικατάσταση των 20 από τα 40 cm σκυροδέματος με 1 cm υλικού αλλαγής φάσης BioPCM Q29 εκτός από μείωση του συνολικού πάχους κατά 42.22% βελτιώνει την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Αυξάνει τις εσωτερικές θερμοκρασίες τον χειμώνα, μειώνει τις αντίστοιχες το καλοκαίρι και βελτιώνει την θερμική αποθηκευτική ικανότητα του τοίχου. Επίσης διαπιστώθηκε ότι με την αντικατάσταση των 40 cm σκυροδέματος με 1 cm BioPCM Q29 και 4 cm γυψοσανίδα επίσης βελτιώνεται η θερμική αποθηκευτική ικανότητα του τοίχου θερμικής μάζας. Υπάρχει μείωση του συνολικού πάχους κατά 77.78%, βελτιώνεται η παθητική ψύξη του κτιρίου αλλά οι θερμοκρασίες που προκύπτουν κατά την διάρκεια του χειμώνα είναι εν γένει χαμηλότερες. Τέλος αποδείχθηκε ότι η τοποθέτηση συσκευής σκίασης στην διάταξη του τοίχου Trombe βελτιώνει την λειτουργία της για όλο το έτος.

Abstract

The subject of this diploma thesis is the effect of phase change materials on the indirect gain passive solar system, the Trombe-Michel wall. In particular, the energy study of a simplified building model including a Trombe wall with the addition of phase change materials is carried out. The Trombe wall requires a large thermal mass which involves heavy and bulky structures. The idea of using phase change materials in this system came from their ability to store large amounts of thermal energy requiring much less space than conventional building materials. For the purpose of the present study, the effect of different versions of the Trombe wall on a simplified building in the location of Athens is investigated. The different versions of the Trombe wall refer to the different construction of the thermal mass wall, which includes different combinations of building materials and phase change materials. The study is carried out through energy simulations performed with the EnergyPlus software.

The **first** chapter analyzes the energy situation, trends and forecasts as well as energy consumption in buildings. The **second** chapter develops the principles of bioclimatic design and the ways in which it is applied. Also, it describes the arrangements and mode of operation of passive solar systems, systems and techniques of natural cooling and natural lighting systems. The **third** chapter includes how the Trombe Michel wall operates and its basic features. The **fourth** chapter analyzes the thermal energy storage mechanism using phase change materials, the categories and problems that arise during their use. The **fifth** chapter deals with the ways of storing thermal energy in buildings using phase change materials, the devices through which they are achieved, and how they are incorporated into building materials.

The **sixth** chapter presents the building design that was created through the Sketch Up software with the Open Studio plug-in and describes in detail the structure of the Energyplus simulation files. The **seventh** chapter presents the results and conclusions that have emerged as well as some proposals for future studies. In particular, it has been found that in a 45 cm thick thermal mass wall replacing 20 of the 40 cm concrete with 1 cm of BioPCM Q29, the total thickness is reduced by 42.22% and the thermal behavior of the building is improved throughout the year. It increases indoor temperatures in winter, reduces the summer temperatures and improves the thermal storage capacity of the wall. It was also found that replacing 40 cm of concrete with 1 cm of BioPCM Q29 and 4 cm of plasterboard also improved thermal storage capacity of the thermal mass wall. There is a reduction in the total thickness by 77.78%, the passive cooling of the building is improved, but the temperatures during the winter are generally lower. Finally, it has been shown that the installation of a shading device in the Trombe wall improves the operation of the device throughout the year.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract.....	vii
1 Ενεργειακή Κατάσταση	1
1.1 Γενικά.....	1
1.2 Ενεργειακές Τάσεις και Προβλέψεις	2
1.3 Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια	3
2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός	5
2.1 Σχετικά με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό.....	5
2.2 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης.....	6
2.2.1 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης	6
2.2.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης	8
2.2.2.1 Συστήματα Άμεσου Κέρδους.....	8
2.2.2.2 Συστήματα Έμμεσου Κέρδους	9
2.2.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους	11
2.3 Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού.....	12
2.3.1 Φυσικός αερισμός	12
2.3.1.1 Διαμπερής Φυσικός Αερισμός (ημερήσιος ή νυκτερινός).....	13
2.3.1.2 Πύργος αερισμού	14
2.3.1.3 Ηλιακή Καμινάδα.....	15
2.3.2 Σκίαση και Ηλιοπροστασία	16
2.3.3 Ψύξη μέσου εδάφους.....	17
2.3.3.1 Υπόσκαφα ή Ημιυπόσκαφα Κτίρια	17
2.3.3.2 Υπεδάφιο Σύστημα Αγωγών (Εναλλάκτες Εδάφους - Αέρα).....	18
2.3.4 Νυκτερινή Ακτινοβολία	18
2.3.5 Εξατμιστικός Δροσισμός	19
2.4 Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού.....	20
3 Τοίχος Trombe-Michel	23
3.1 Γενική Λειτουργία	23
3.2 Διάταξη Τοίχου Trombe.....	24
3.2.1 Τοίχος Θερμικής Αποθήκευσης.....	25
3.2.2 Υαλοστάσιο.....	26
3.2.3 Άνω Θυρίδα Εξαερισμού.....	26
3.2.4 Κάτω Θυρίδα Εξαερισμού	26
3.2.5 Θυρίδα Αποφόρτισης.....	27
3.2.6 Διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου θερμικής αποθήκευσης.....	27
3.3 Παραλλαγές Τοίχου Trombe.....	27

4	Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM)	29
4.1	Τρόποι Αποθήκευσης της Θερμικής Ενέργειας	29
4.1.1	Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας (STHES)	29
4.1.2	Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας	30
4.2	Σχετικά με τα Υλικά Αλλαγής Φάσης	31
4.3	Κατηγοριοποίηση Υλικών Αλλαγής Φάσης	33
4.3.1	Οργανικά Υλικά Αλλαγής Φάσης	33
4.3.1.1	Παραφίνες	34
4.3.1.2	Λιπαρά Οξέα	34
4.3.1.3	Αλκοόλες	34
4.3.1.4	Εστέρες	35
4.3.1.5	BioPCM	35
4.3.2	Ανόργανα Υλικά Αλλαγής Φάσης	35
4.3.2.1	Ένυδρα Άλατα	35
4.3.2.2	Μεταλλικά Κράματα	36
4.3.3	Ευκτητικά Μείγματα	36
4.4	Προβλήματα κατά την Χρήση Υλικών Αλλαγής Φάσης	36
4.4.1	Φαινόμενο Διαχωρισμού Φάσεων	37
4.4.2	Φαινόμενο υπέρψυξης (supercooling)	37
4.4.3	Αποφυγή διαρροών και βελτίωση της μεταφοράς θερμότητας	38
4.4.4	Χαμηλή Θερμική Αγωγιμότητα	39
5	Παθητική Αποθήκευση Ενέργειας σε Κτίρια με Χρήση PCM	41
5.1	Γενικά	41
5.2	Ενσωμάτωση Υλικών Αλλαγής Φάσης στα Δομικά Υλικά	42
5.2.1	Άμεση Ενσωμάτωση	42
5.2.2	Απορρόφηση	42
5.2.3	Ενθυλάκωση	43
5.2.4	Πολυστρωματική σανίδα από PCM	43
5.3	Κτιριακές Εφαρμογές	44
5.3.1	Τοίχοι με PCM	44
5.3.2	Τοίχος Trombe με PCM	45
5.3.3	Παραθυρόφυλλα με PCM	45
5.3.4	Σύστημα θέρμανσης με PCM	45
5.3.5	Ενδοδαπέδια Θέρμανση με PCM	46
5.3.6	Οροφές με PCM	46
6	Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίου	49
6.1	Γενική Περιγραφή Κτιρίου	50

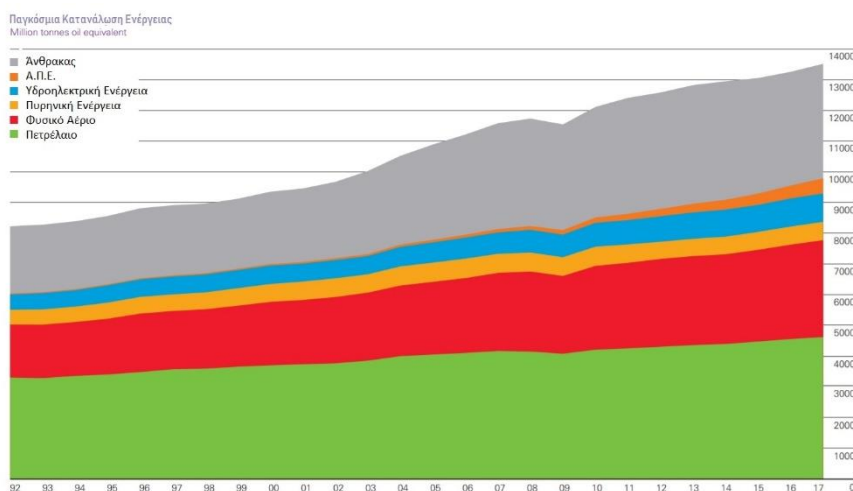
6.2	Λογισμικά Προσομοίωσης.....	51
6.2.1	Sketch Up 2018	51
6.2.2	Open Studio plug in.....	51
6.2.3	EnergyPlus	51
6.2.3.1	EP-Launch	53
6.2.3.2	IDF Editor.....	53
6.3	Σχεδιασμός κτιρίου στο Sketch Up.....	55
6.3.1	Σχεδιασμός Κύριας Θερμικής Ζώνης (House Zone).....	55
6.3.2	Σχεδιασμός Διάταξης Τοίχου Trombe (Trombe Zone)	61
6.4	Επεξεργασία δεδομένων στο Open Studio.....	68
6.5	Προσομοίωση με το λογισμικό EnergyPlus	70
6.5.1	Εισαγωγή καιρικών δεδομένων	70
6.5.2	Επεξεργασία δεδομένων στο IDF Editor.....	72
6.5.2.1	Simulation Parameters.....	72
6.5.2.2	Location and Climate	78
6.5.2.3	Schedules	80
6.5.2.4	Surface Construction Elements.....	87
6.5.2.5	Thermal Zones and Surfaces	102
6.5.2.6	Internal Gains.....	112
6.5.2.7	Natural Ventilation and Duct Leakage	116
6.5.2.8	Output Reporting.....	127
7	Αποτελέσματα Ενεργειακής Προσομοίωσης.....	129
7.1	Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15 ^{ης} Ιανουαρίου.....	130
7.2	Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15 ^{ης} Απριλίου	134
7.3	Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15 ^{ης} Ιουλίου	138
7.4	Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15 ^{ης} Οκτωβρίου.....	142
7.5	Ενεργειακή Προσομοίωση Κατά την Διάρκεια του Έτους	146
7.5.1	Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Κύριας Θερμικής Ζώνης.....	146
7.5.2	Μηνιαία Αποθηκευμένη Θερμική Ενέργεια Τοίχου Θερμικής Μάζας.	147
7.6	Μελέτη της Επίδρασης της Συσκευής Σκίασης στο Παθητικό Ηλιακό Σύστημα	150
7.7	Συμπεράσματα- Προτάσεις για μελλοντική Μελέτη.....	152
	Βιβλιογραφία.....	155

1 Ενεργειακή Κατάσταση

1.1 Γενικά

Καθοριστικός παράγοντας για την παρούσα ενεργειακή κατάσταση είναι η εξέλιξη του πληθυσμού του πλανήτη αλλά και η ανάπτυξη του επιπέδου ζωής, [1]. Η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850 μέχρι σήμερα, δεκαπλασιάστηκε από το 1900 και τετραπλασιάστηκε από το 1950. Η δραματική αυτή αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης βοήθησε την οικονομική ανάπτυξη και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου ενός σημαντικού τμήματος, αλλά όχι ολόκληρου, του πληθυσμού του πλανήτη. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης της ενεργειακής κατανάλωσης κατά την τελευταία εκατονταετία έγινε στις ανεπτυγμένες βιομηχανικά χώρες, που αποτελούν το 20% περίπου του παγκόσμιου πληθυσμού. Παράλληλα στην ίδια περίοδο υπήρξε μία τεράστια ανάπτυξη της επιστημονικής και τεχνικής γνώσης. Από το τέλος της δεκαετίας του '60 άρχισαν να αναγνωρίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της βιομηχανικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα των επιπτώσεων που προκαλεί η καύση των ορυκτών καυσίμων. Οι ενεργειακές κρίσεις της δεκαετίας του '70 ώθησαν την ανάπτυξη διαφόρων τεχνικών που καθιστούν πιο αποδοτική την χρήση ενέργειας και άρχισε να δίνεται έμφαση στην παραγωγή ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), [2].

Όπως φαίνεται και από το ακόλουθο Σχήμα 1.1, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας συνεχίζει να αυξάνεται παρατηρείται ότι όντως τα τελευταία 20 χρόνια έχουμε μια αισθητή αύξηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (εξαιρώντας την υδροηλεκτρική) στο μερίδιο της κατανάλωσης.



Σχήμα 1.1 Η εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας από το 1992 έως το 2017 σε μονάδες Mtoe, [3].

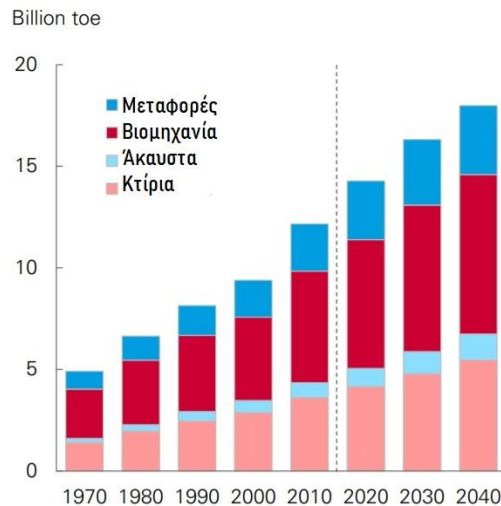
Φτάνοντας στο σήμερα η παγκόσμια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας αυξήθηκε έντονα το 2017, με βασικές πηγές παραγωγής ενέργειας το φυσικό αέριο αλλά και τις ανανεώσιμες και με το μερίδιο του άνθρακα στον ενεργειακό χάρτη των πόρων να συνεχίζει να μειώνεται. Η αύξηση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας ήταν κατά μέσο όρο 2.2% το 2017, μεγαλύτερη από την 1.2% πέρυσι ενώ επρόκειτο και για την ταχύτερη ανάπτυξη από το 2013 συγκρινόμενη με τον δεκαετή μέσο όρο 1.7% ετησίως. Η κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκε κατά 3.1% στην Κίνα, η οποία είχε την μεγαλύτερη ανάπτυξη αγοράς ενέργειας για 17η συνεχή χρονιά. Τέλος, οι εκπομπές άνθρακα από την κατανάλωση ενέργειας αυξήθηκαν κατά 1.6%, μετά από μικρή ή καθόλου ανάπτυξη για τα τρία χρόνια από το 2014 έως το 2016, [3].

1.2 Ενεργειακές Τάσεις και Προβλέψεις.

Ένα ενεργειακό μέλλον στηριζόμενο σε υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης και στην εντατική χρήση των ορυκτών καυσίμων παρουσιάζει μία σειρά από προβλήματα και προκλήσεις για την ανθρωπότητα. Είναι σαφές ότι από το 1990 και μετά καταναλώνουμε περισσότερο απ' ότι ανακαλύπτουμε νέα αποθέματα. Με άλλα λόγια μειώνουμε τα υπάρχοντα αποθέματα. Και η κατάσταση χρόνο με το χρόνο χειροτερεύει. Η ενεργειακή κατανάλωση, όπως και τα εισοδήματα, είναι πολύ άνισα καταμεμημένα στον πλανήτη. Οι ρυθμοί αύξησης είναι πολύ υψηλότεροι στις αναπτυσσόμενες χώρες, αλλά οι χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ) συνεχίζουν και σήμερα να καταναλώνουν εξαπλάσιες ποσότητες κατά κεφαλή απ' ότι οι αναπτυσσόμενες χώρες, [2].

Στα επόμενα χρόνια όμως με την ραγδαία οικονομική ανάπτυξη των πολυπληθυσμιακών χωρών όπως η Κίνα και η Ινδία, αναπόφευκτα, θα υπάρξει μια ραγδαία αύξηση της παγκόσμιας ενεργειακής ζήτησης και κατ' επέκταση αύξηση της χρήσης πρωτογενών ενεργειακών πόρων με επακόλουθο την επιβάρυνση του περιβάλλοντος, [1].

Σύμφωνα με μια πρόγνωση της BP, τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.2, η αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας θα συνεχίσει να υφίσταται, με τον τομέα των κτιρίων να έχει και την μεγαλύτερη αύξηση μεταξύ όλων των άλλων.



Σχήμα 1.2: Η εξέλιξη της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας από το 1970 έως το 2040 ανά τομέα σε Billion tone, [4].

1.3 Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια

Τα σημερινά κτίρια καταναλώνουν περισσότερο από το 40% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας, τα οποία ευθύνονται για το 30% των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό είναι περισσότερη ενέργεια από κάθε άλλο τομέα της παγκόσμιας οικονομίας, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών και της βιομηχανίας. Μόνο η οικιακή θέρμανση και η ψύξη καταναλώνουν το ένα πέμπτο της συνολικής παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα παγκοσμίως, που σημαίνει ότι τα σπίτια μας προσθέτουν πολλά περιβαλλοντικά προβλήματα όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, που συμβάλλουν στην ανθρωπογενή υπερθέρμανση του πλανήτη. Συνεπώς, πληρώνουμε ένα υψηλό περιβαλλοντικό κόστος για το μέλλον μας, [4].

Η κατανάλωση αυτή, είτε σε μορφή θερμικής (κυρίως πετρέλαιο) είτε σε μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα, εκτός της σημαντικής οικονομικής επιβάρυνσης λόγω του υψηλού κόστους της ενέργειας, τη μεγάλη επιβάρυνση της ατμόσφαιρας με ρύπους, κυρίως διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο, αντιστοιχούν στο 35.5% του

συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα.

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή. Επί πλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι.

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων, η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν. Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτιρίου, μία συστηματική, οργανωμένη και συνεχής δραστηριότητα που αποτελείται από ένα προγραμματισμένο σύνολο διοικητικών, τεχνικών και οικονομικών δράσεων.

Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν:

- Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα).
- Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης).
- Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές.
- Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας), [6].

2 Βιοκλιματικός σχεδιασμός

2.1 Σχετικά με τον βιοκλιματικό σχεδιασμό

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι ένας τομέας της αρχιτεκτονικής που κυριαρχείται από τις αρχές της οικολογίας και της βιωσιμότητας και συνεπάγεται σχεδιασμό που αποσκοπεί στην προστασία του περιβάλλοντος και των φυσικών πόρων. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά τον σχεδιασμό κτιρίων και χώρων (εσωτερικών - εξωτερικών - υπαίθριων) με βάση το τοπικό κλίμα, με στόχο την παροχή θερμικής και οπτικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και άλλες περιβαλλοντικές πηγές. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός περιλαμβάνει τις ακόλουθες αρχές:

- Προστασία θερμότητας των κτιρίων τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες τεχνικές που εφαρμόζονται στον εξωτερικό φάκελο του κτιρίου, ιδίως με επαρκή μόνωση και αεροστεγανότητα του κτιρίου και των ανοιγμάτων του.
- Χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση των κτιρίων τη χειμερινή περίοδο και για το φως της ημέρας όλο το χρόνο. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των κτιρίων και ιδιαίτερα των ανοιγμάτων τους (κατά προτίμηση προς το νότο για το βόρειο ημισφαίριο), με τη διάταξη των εσωτερικών χώρων σύμφωνα με τις απαιτήσεις θέρμανσής τους και με τα παθητικά ηλιακά συστήματα που συλλέγουν ηλιακή ακτινοβολία και λειτουργούν ως «φυσική» θέρμανση καθώς και συστήματα φωτισμού.
- Προστασία των κτιρίων από τον καλοκαιρινό ήλιο, κυρίως με σκίαση, αλλά και με κατάλληλη επεξεργασία του περιβλήματος του κτιρίου (δηλαδή χρήση ανακλαστικών χρωμάτων και επιφανειών).
- Απομάκρυνση της θερμότητας που συσσωρεύεται το καλοκαίρι στο κτίριο με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας φυσικά μέσα (παθητικά συστήματα και τεχνικές ψύξης), όπως ο φυσικός αερισμός, κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας.
- Βελτίωση - προσαρμογή των περιβαλλοντικών συνθηκών στους εσωτερικούς χώρους των κτιρίων έτσι ώστε οι κάτοικοί τους να τα βρουν άνετα και ευχάριστα (δηλ. αύξηση της κίνησης του αέρα μέσα στους χώρους, αποθήκευση θερμότητας ή δροσερή αποθήκευση στους τοίχους).

Βασικά στοιχεία του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι τα παθητικά συστήματα που ενσωματώνονται σε κτίρια και εκμεταλλεύονται περιβαλλοντικές πηγές (για παράδειγμα, τον ήλιο, τον αέρα, τον άνεμο, τη βλάστηση, το νερό, το έδαφος, τον

ουρανό) για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων. Τα Παθητικά Συστήματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες:

- Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης
- Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού
- Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού, [7],[8].

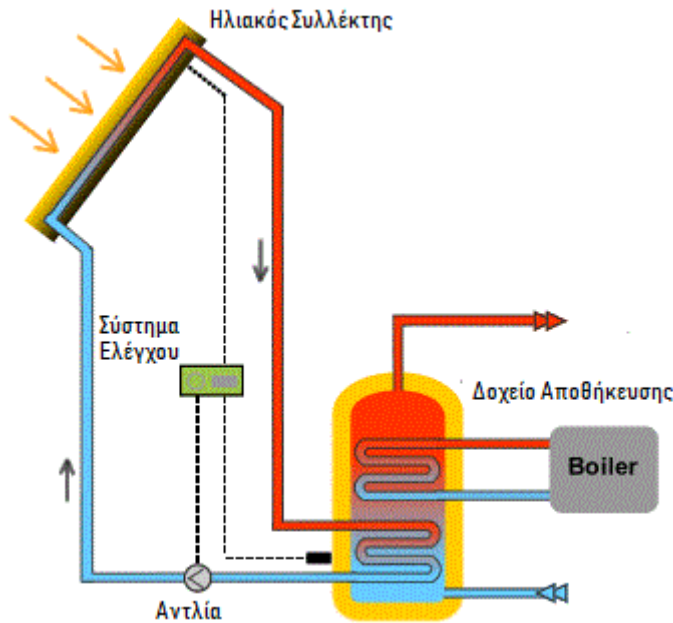
2.2 Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

2.2.1 Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

Ενεργητικά ηλιακά συστήματα είναι όσα συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία, χρησιμοποιώντας ηλιακούς συλλέκτες, και στη συνέχεια τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε νερό, σε αέρα ή σε κάποιο άλλο ρευστό, [9]. Τα συγκεκριμένα συστήματα για την συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ενέργειας χρησιμοποιούν βοηθητικές συσκευές για την μεταφορά του αποθηκευτικού ή τελικά θερμαινόμενου ρευστού, [10].

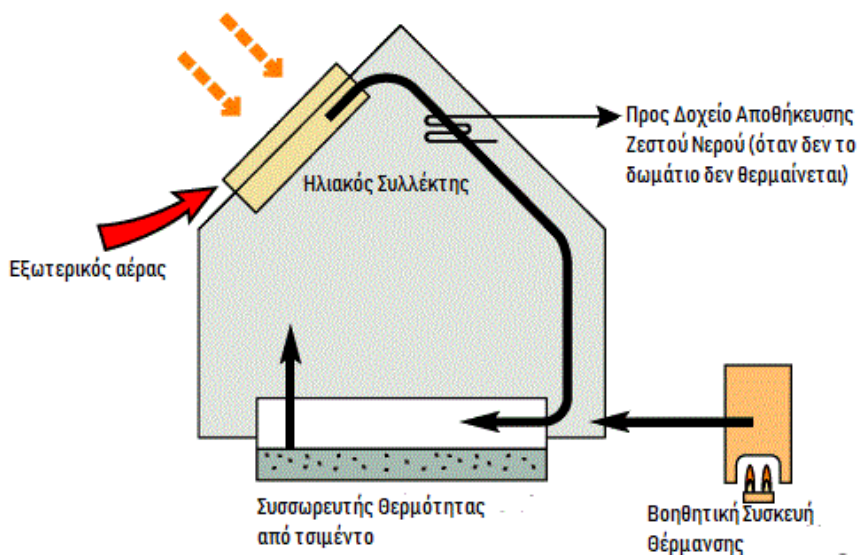
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ενεργών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης που βασίζονται στον τύπο ρευστού, υγρού ή αέρα, που θερμαίνεται στους συλλέκτες ηλιακής ενέργειας. Τα δύο αυτά συστήματα συλλέγουν και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία και στη συνέχεια μεταφέρουν την ηλιακή θερμότητα κατευθείαν στον εσωτερικό χώρο ή σε ένα σύστημα αποθήκευσης από το οποίο διανέμεται η θερμότητα. Εάν το σύστημα δεν μπορεί να παράσχει επαρκή θέρμανση, ένα βοηθητικό ή εφεδρικό σύστημα παρέχει την πρόσθετη θερμότητα, [11].

Στο Σχήμα 2.1 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη ενός ενεργητικού συστήματος θέρμανσης η οποία μεταφέρει μέσω υγρού την ηλιακή θερμότητα σε μια συσκευή αποθήκευσης. Παρατηρείται ότι εκτός από τους ηλιακούς συλλέκτες και την συσκευή αποθήκευσης υπάρχει επιπλέον ένας κυκλοφορητής και μια συσκευή ελέγχου της θερμοκρασίας. Στη δεξαμενή αποθήκευσης νερού χρησιμοποιείται ένας εναλλάκτης θερμότητας για τη μεταφορά της θερμότητας από το ρευστό μεταφοράς στο νερό της δεξαμενής καθώς και μια βοηθητική συσκευή θέρμανσης.



Σχήμα 2.1: Τυπική διάταξη ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης με υγρό ρευστό μεταφοράς θερμότητας, [11].

Όσον αφορά τα συστήματα που μεταφέρουν μέσω αερίου την ηλιακή θερμότητα, μια τυπική διάταξη φαίνεται στο Σχήμα 2.2. Πιο συγκεκριμένα ο αέρας μέσω των ηλιακών συλλεκτών παραλαμβάνει την ηλιακή θερμότητα, μέσω σωλήνων οδηγείται σε μια πλάκα τσιμέντου η οποία λειτουργεί ως συσσωρευτής θερμότητας και διαχέει τη θερμότητα στον χώρο. Παρατηρούνται επίσης μια διάταξη η οποία χρησιμοποιείται για την θέρμανση νερού όταν δεν είναι αναγκαία η θέρμανση του χώρου αλλά και μια εφεδρική πηγή θέρμανσης όταν η θερμότητα από τους συλλέκτες δεν επαρκεί.



Σχήμα 2.2 Τυπική διάταξη ενεργητικού ηλιακού συστήματος θέρμανσης με αέριο ρευστό μεταφοράς θερμότητας, [12].

2.2.2 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Θέρμανσης

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

Συνήθως προσαρτώνται σε όψεις του κτιρίου με νότιο προσανατολισμό (για βόρεια γεωγραφικά πλάτη), οι οποίες θα πρέπει να μη σκιάζονται κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Οι παθητικές ηλιακές τεχνολογίες συνδυάζονται με την απαιτούμενη θερμική προστασία (θερμομόνωση) καθώς και την απαιτούμενη θερμική μάζα του κτιρίου ή την χρήση υλικών αλλαγής φάσης για την αποθήκευση και την απόδοση της θερμότητας στο χώρο με χρονική υστέρηση.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα βασιζόμενα στον τρόπο που προσλαμβάνουν και αποδίδουν την ηλιακή θερμότητα, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες :

- Συστήματα Άμεσου Κέρδους
- Συστήματα Έμμεσου Κέρδους
- Συστήματα Απομονωμένου Κέρδους, [13],[14].

2.2.2.1 Συστήματα Άμεσου Κέρδους

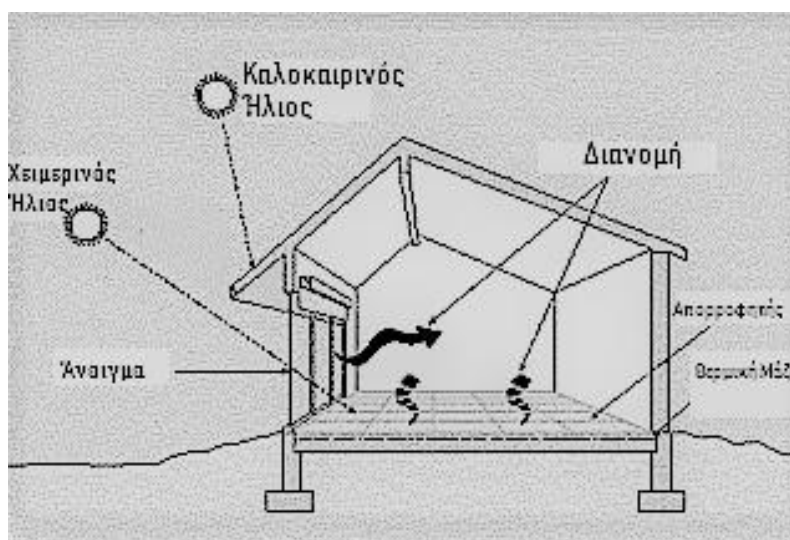
Ως σύστημα άμεσου κέρδους ορίζεται το σύστημα το οποίο αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια, η οποία συλλέγεται από ανοίγματα κατάλληλου προσανατολισμού για θέρμανση των χώρων. Αποτελείται από τα ανοίγματα, κατάλληλα τοποθετημένα και διαστασιολογημένα, την απαιτούμενη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), την κατάλληλη θερμική προστασία (μόνωση του περιβλήματος, διπλοί υαλοπίνακες, νυκτερινή μόνωση), αλλά και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου: Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους υαλοπίνακες, τους οποίους και διαπερνά κατά το μεγαλύτερο μέρος της, μέρος αυτής αποδίδεται σε μορφή θερμότητας άμεσα στον αέρα του χώρου, ενώ μέρος αποθηκεύεται στη μάζα του κτιρίου (τοίχοι, δάπεδα, οροφές, όταν αυτά έχουν επαρκή θερμοχωρητικότητα) και αποδίδεται στο χώρο με χρονική υστέρηση.

Τα συστήματα άμεσου κέρδους, μια τυπική διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 2.3, χρησιμοποιούν τους χώρους που καταλαμβάνει το κτίριο για τη συλλογή, την αποθήκευση και τη διανομή της ηλιακής θερμότητας και εφόσον είναι σωστά σχεδιασμένα, μπορεί να αποτελέσουν μια πολύ αποτελεσματική και πρακτική λύση ενεργειακής εξοικονόμησης. Το θέρος, το μεγάλο ύψος του ήλιου περιορίζει την ακτινοβολία που μεταδίδεται από τα τζάμια και ένα σκίαστρο μπορεί να αποκλείσει τελείως τον ήλιο.

Οι παράγοντες που καθορίζουν την λειτουργία του συστήματος με άμεσο ηλιακό κέρδος είναι:

1. Οι μεγάλες γυάλινες επιφάνειες στην νότια πρόσοψη.
2. Η λειτουργική διάρθρωση των εσωτερικών χώρων του κτιρίου, με κύρια οργάνωση προς νότο.
3. Η μεγάλη θερμική μάζα στο εσωτερικό του κτιρίου ώστε να απορροφάται οποιαδήποτε απότομη μεταβολή της θερμοκρασίας.
4. Η θερμική προστασία στην εξωτερική πλευρά του κελύφους, [15],[16].



Σχήμα 2.3: Παθητικό ηλιακό σύστημα άμεσου κέρδους, [14].

2.2.2.2 Συστήματα Έμμεσου Κέρδους

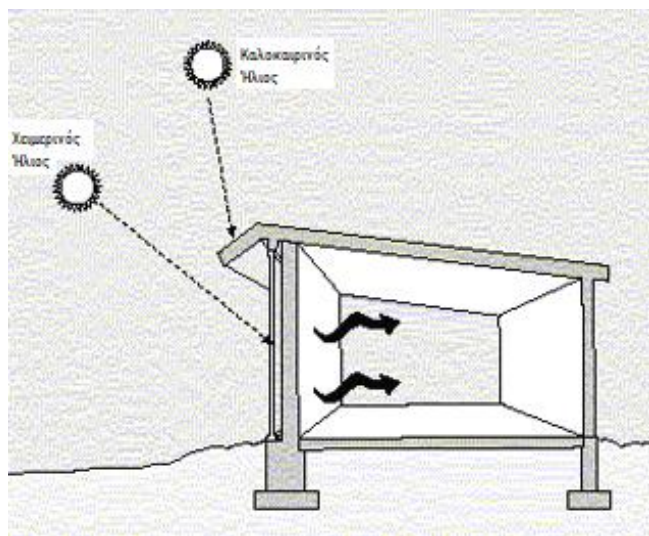
Σε αυτή τη κατηγορία υπάρχουν οι τοίχοι-συλλέκτες οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από υλικά υψηλής θερμοχωρητικότητας όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγή τούβλα, ή δοχεία που περιέχουν νερό ή άλλο υλικό (υλικό αλλαγής φάσης). Οι ηλιακοί τοίχοι αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσιο, τοποθετημένο εξωτερικά, σε απόσταση 5 – 15 cm. Το υαλοστάσιο μπορεί να είναι σταθερό ή ανοιγόμενο και να φέρει μονούς ή διπλούς υαλοπίνακες.

Οι ηλιακοί τοίχοι συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια και τη μεταδίδουν σε μορφή θερμότητας στους χώρους. Στην Ελλάδα έχουν εφαρμοστεί ηλιακοί τοίχοι κυρίως σε κατοικίες. Ένας τέτοιος τοίχος δεσμεύει την ηλιακή θερμότητα που περνάει από το τζάμι και την αποταμιεύει. Η ενέργεια αυτή, ύστερα από ένα χρονικό διάστημα που εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του τοίχου, εμφανίζεται στην εσωτερική του επιφάνεια και προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας στον αέρα του εσωτερικού χώρου.

Όλες οι λειτουργίες του συστήματος αυτού, όπως: συλλογή, αποταμίευση, διανομή, έλεγχος και ρύθμιση, είναι τοποθετημένες στον τοίχο αποταμιεύσεως, μεσημβρινού προσανατολισμού και πρακτικά δε διαχωρίζονται. Μόνο η ενέργεια που μεταβιβάζεται στο χώρο με φυσική κυκλοφορία του αέρα μπορεί να διαχωριστεί από αυτή που μεταβιβάζεται με αγωγή μέσα από τον τοίχο.

Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης μπορεί να είναι:

- απλοί τοίχοι μάζας (μη θερμοσιφωνικής ροής, χωρίς θυρίδες) είτε συμπαγούς κατασκευής, όπως του Σχήματος 2.4, είτε αποτελούμενοι από δοχεία νερού.
- τοίχοι μάζας θερμοσιφωνικής ροής (Trombe – Michel).



Σχήμα 2.4: Παθητικό ηλιακό σύστημα εμμέσου κέρδους- Τοίχος θερμικής αποθήκευσης, [18].

Ο κύριος μηχανισμός θερμάνσεως του σπιτιού γίνεται με ακτινοβολία και συναγωγή από τη θερμική ενέργεια που μεταφέρεται με αργό ρυθμό μέσα από τον παχύ τοίχο προς την εσωτερική του επιφάνεια και η οποία στη συνέχεια διαχέεται προς το εσωτερικό του σπιτιού. Ο τοίχος ως συλλέκτης θερμικής αποθήκευσης, συμπεριφέρεται σαν μηχανισμός χρονικής μετάθεσης και αδρανιοποίησης των κυμάτων της εξωτερικής θερμοκρασίας με αποτέλεσμα το εσωτερικό περιβάλλον να

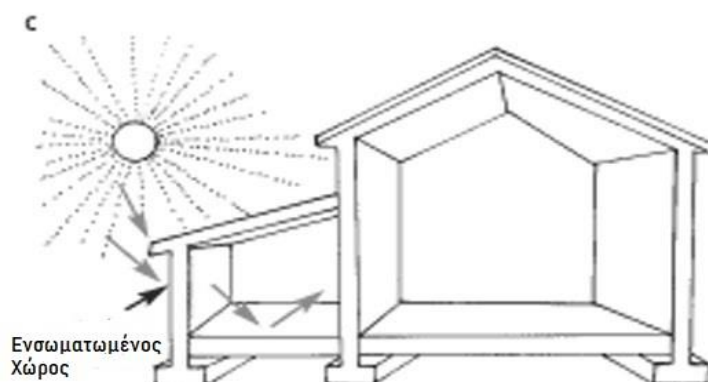
επωφελεείται του θερμικού κέρδους όταν δεν υπάρχει ηλιασμός παρατείνοντας αποτελεσματικά την θέρμανση του χώρου χωρίς την χρήση συμπληρωματικών πηγών ενέργειας, [16],[17].

2.2.3 Συστήματα απομονωμένου κέρδους

Αυτός ο σχεδιασμός χρησιμοποιεί ξεχωριστό χώρο για την συλλογή και την αποθήκευση ηλιακής θερμότητας. Ένα τέτοιος χώρος μπορεί να κατασκευαστεί ως μέρος ενός νέου κτηρίου ή ως προσθήκη σε ένα υπάρχον και πρόκειται για έναν κλειστό χώρο, με μεγάλο ποσοστό γυάλινης επιφάνειας. Αυτή η αποθηκευμένη θερμότητα διανέμεται σε όλο το κτίριο μέσω ειδικού δικτύου διασύνδεσης, μερικές φορές και με την προσθήκη ανεμιστήρων.

Στην ιδανική περίπτωση, ο χώρος θα πρέπει να είναι στραμμένος προς τα νότια (για βόρεια γεωγραφικά πλάτη). Η γωνία και ο τύπος των υαλοπινάκων ηλιακού χώρου έχουν ιδιαίτερη σημασία για την απόδοση του συστήματος. Παρόλο που οι κεκλιμένοι υαλοπίνακες συλλέγουν περισσότερη θερμότητα το χειμώνα, χάνουν επίσης περισσότερη θερμότητα τη νύχτα, μπορούν να καλυφθούν με χιόνι το χειμώνα και προκαλούν υπερθέρμανση σε ζεστό καιρό. Ο κάθετος υαλοπίνακας μεγιστοποιεί την αύξηση θερμότητας το χειμώνα, όταν η γωνία του ήλιου είναι χαμηλή και η θερμότητα είναι περισσότερο αναγκαία, και είναι πιο εύκολη στη σκίαση συλλέγοντας λιγότερη θερμότητα καθώς ο ήλιος ανεβαίνει προς το θερινό ζενίθ.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα συστημάτων απομονωμένου κέρδους είναι οι ηλιακοί χώροι, μια τυπική διάταξη των οποίων φαίνεται στο Σχήμα 2.5, τα θερμοκήπια και τα ηλιακά αίθρια, [16],[19],[20].



Σχήμα 2.5: Παθητικό ηλιακό σύστημα απομονωμένου κέρδους-Ενσωματωμένος ηλιακός χώρος, [21].

2.3 Παθητικά Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Δροσισμού

Παθητικά συστήματα δροσισμού θεωρούνται αυτά στα οποία η μεταφορά θερμότητας επιτελείται με φυσικό τρόπο, χωρίς την παρεμβολή μηχανικών μέσων. Τα παθητικά συστήματα εκμεταλλεύονται τις ιδιότητες των δομικών στοιχείων, του άνεμου καθώς και τον προσανατολισμό του κτιρίου στο χώρο. Η εφαρμογή τεχνικών παθητικής ψύξης δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν μεμονωμένη διαδικασία αλλά σαν τμήμα του όλου σχεδιασμού του κτιρίου και σε στενή συσχέτιση με το είδος του κτιρίου, τον τρόπο χρήσης του, το κλίμα, κλπ.

Το πλαίσιο ορισμού των τεχνικών και συστημάτων παθητικής ψύξης οροθετείται από τρεις βασικούς σχεδιαστικούς άξονες: προστασία του κτιρίου από τα λεγόμενα θερμικά κέρδη, απόσβεση και απορρόφηση των θερμικών εισροών στο κτίριο, απόρριψη της πλεονάζουσας θερμότητας σε περιβαλλοντικές πηγές χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτής του κτιρίου. Οι χρησιμοποιούμενες πηγές του περιβάλλοντος καθώς και οι αντίστοιχοι τρόποι μετάδοσης θερμότητας είναι ο ουρανός με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την ακτινοβολία (ψύξη με ακτινοβολία), ο αέρας και το νερό με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την εξάτμιση (ψύξη με εξάτμιση), ο αέρας με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την συναγωγή (αερισμός) και το έδαφος με τρόπο μετάδοσης θερμότητας την αγωγιμότητα (ψύξη με χρήση του εδάφους).

Οι πιο βασικές διατάξεις και τεχνικές φυσικού δροσισμού είναι:

- ο Φυσικός Αερισμός
- η Σκίαση και η Ηλιοπροστασία
- η Ψύξη μέσω Εδάφους
- η Νυκτερινή Ακτινοβολία
- και ο Εξατμιστικός Δροσισμός, [16],[22].

2.3.1 Φυσικός αερισμός

Φυσικός αερισμός κτιρίων ονομάζεται η είσοδος του ατμοσφαιρικού αέρα μέσω κατάλληλων ανοιγμάτων, χωρίς τη χρήση φυσητήρων, με σκοπό τον έλεγχο της θερμοκρασίας και της ποιότητας του αέρα των εσωτερικών χώρων (π.χ. μείωση της συγκέντρωσης αέριων ρύπων, οσμών κτλ.). Η είσοδος και έξοδος του αέρα από ένα κτίριο πραγματοποιείται επίσης και μέσω διαφόρων σχισμών (infiltration - exfiltration),[23]. Αποτελεί τη σημαντικότερη και συνηθέστερη μέθοδο φυσικού δροσισμού, εφόσον γίνεται με τον κατάλληλο τρόπο, ενώ είναι και η βασικότερη τεχνική

απομάκρυνσης της θερμότητας από το κτίριο τους θερμούς μήνες, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με φυσικά μέσα.

Με το φυσικό δροσισμό επιτυγχάνονται τρία πράγματα:

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

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

- Διαμπερής, διαμέσου παραθύρων και άλλων ανοιγμάτων
- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού ελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Κατακόρυφος ενισχυμένος από Ηλιακή Καμινάδα, [24].

2.3.1.1 Διαμπερής Φυσικός Αερισμός (ημερήσιος ή νυκτερινός)

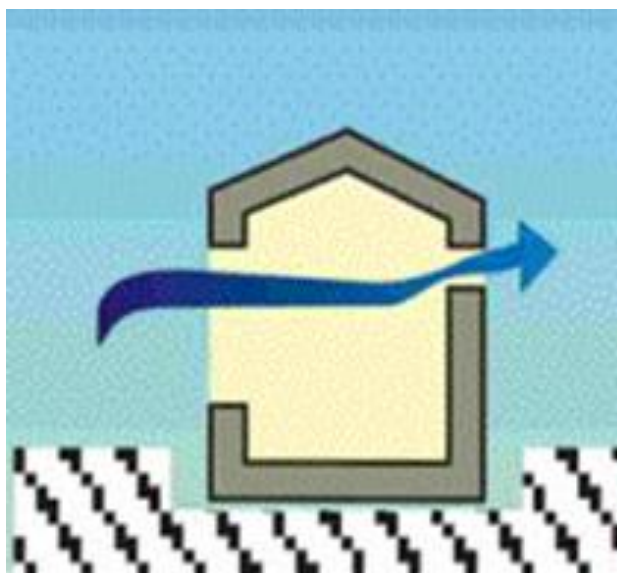
Διαμπερής αερισμός επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό των ανοιγμάτων στο κέλυφος και στις εσωτερικές τοιχοποιίες. Θυρίδες στο άνω και κάτω τμήμα των διαχωριστικών εσωτερικών τοίχων επιτρέπουν την κίνηση του αέρα στους εσωτερικούς χώρους και την απομάκρυνση της συσσωρευμένης θερμικής ενέργειας.

Ο διαμπερής αερισμός επηρεάζεται από την εξωτερική και εσωτερική διαρρύθμιση του κτιρίου σε σχέση με τους επικρατούντες ανέμους. Η θέση του κτιρίου σε σχέση με τον πολεοδομικό ιστό, και εν γένει τα εξωτερικά εμπόδια διευκολύνουν ή ενισχύουν την είσοδο του αέρα μέσα στο κτίριο. Πλευρικοί τοίχοι προσαρτημένοι στα ανοίγματα μπορούν να εκτρέψουν τον άνεμο εσωτερικά στο κτίριο, ενισχύοντας έτσι τη δυνατότητα φυσικού αερισμού. Σημαντικό ρόλο επίσης κατέχει η βλάστηση έξω από την οικία καθώς δροσίζει και φιλτράρει τα ρεύματα αέρα, [24],[25].

Ο νυκτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Η απόδοση του εξαρτάται από τη σχετική διαφορά της εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας. Όσο πιο χαμηλή είναι η εξωτερική θερμοκρασία, τόσο πιο αποτελεσματικός είναι ο αερισμός. Συνεπώς είναι πολύ εύκολο

να ψυχθούν οι εσωτερικοί χώροι του κτιρίου, επιτρέποντας στον εξωτερικό αέρα να εισέλθει σε αυτούς. Η κίνηση του αέρα απάγει τη θερμότητα που έχει αποθηκευτεί στα δομικά στοιχεία του κτιρίου σαρώνοντας τις επιφάνειες του κτιρίου με δροσερό αέρα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα, [16],[24].

Ενδεικτικά η ροή του αέρα μέσω ανοιγμάτων σε ένα κτίριο παριστάνεται στο Σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6: Αναπαράσταση ροής αέρα μέσω ανοιγμάτων σε κτίριο,[24].

2.3.1.2 Πύργος αερισμού

Οι θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στο εσωτερικό και εξωτερικό του κτιρίου δημιουργούν διαφορές πυκνότητας στις αντίστοιχες ζώνες. Η καμινάδα αερισμού, η λειτουργία της όποιας φαίνεται στο Σχήμα 2.7, λειτουργεί αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, καθώς ο θερμός αέρας κινείται προς τα επάνω και έτσι δημιουργείται ρεύμα στο εσωτερικό των χώρων, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του κτιρίου.

Οι καμινάδες αερισμού έχουν κατάλληλο άνοιγμα προς την κατεύθυνση του ανέμου ώστε να συλλέγουν τα ψυχρά ρεύματα και να τα κατευθύνουν μέσα στο ζωτικό χώρο της οικίας. Όταν η εσωτερική θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την εξωτερική, κρύος αέρας εισέρχεται από τα χαμηλότερα ανοίγματα του κτιρίου, ενώ θερμός αέρας εξέρχεται από τα υψηλότερα ανοίγματα που βρίσκονται στην υπήνεμη πλευρά, [16],[24].

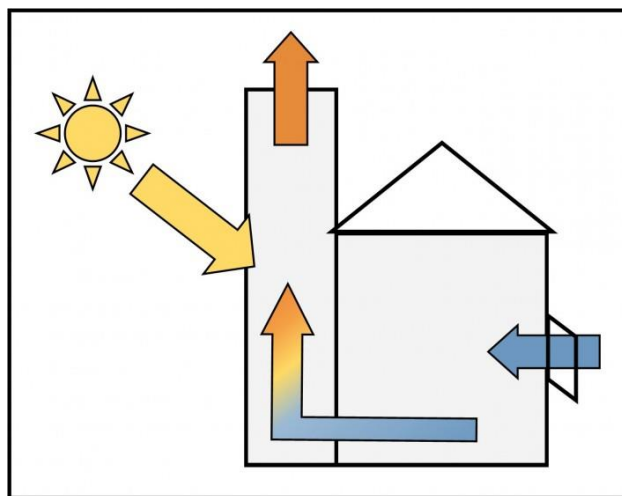


Σχήμα 2.7: Διάταξη πύργου αερισμού και αναπαράσταση ροής του αέρα, [24].

2.3.1.3 Ηλιακή Καμινάδα

Πρόκειται για κατασκευή καμινάδας, η οποία φέρει στη νότια ή νοτιοδυτική επιφάνειά της (για βόρεια γεωγραφικά πλάτη) υαλοπίνακα αντί τοιχοποιίας (εν γένει έναν μικρό ηλιακό τοίχο) και περσίδες στο άνω τμήμα αυτής της πλευράς.

Η λειτουργία της, της οποίας η αναπαράσταση φαίνεται στο Σχήμα 2.8, βασίζεται στο φαινόμενο Venturi και συμβάλλει αποτελεσματικά στον αερισμό και στην απομάκρυνση της υγρασίας από τους εσωτερικούς χώρους, καθώς μέσω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα που προκύπτει μέσα στην καμινάδα, ενισχύεται σημαντικά το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού κι έτσι ο ζεστός αέρας κατευθύνεται προς το περιβάλλον με αποτέλεσμα να ανανεώνεται με φρέσκο δροσερό αέρα η κατοικία. Καθώς επιτυγχάνει διαρκή ανανέωση του εσωτερικού αέρα, η ηλιακή καμινάδα συνιστάται σε περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία κατά τη θερινή περίοδο, [16],[24],[25].



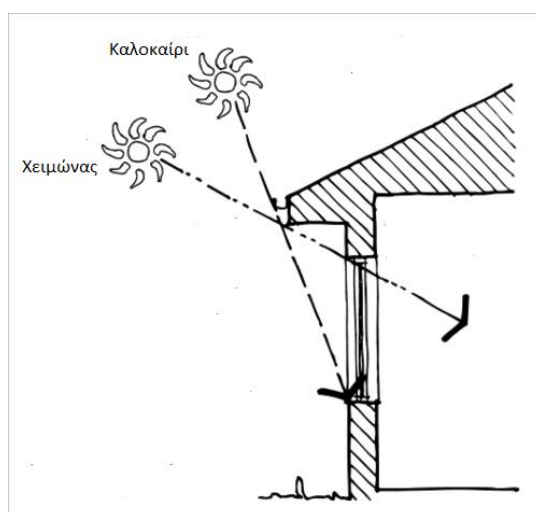
Σχήμα 2.8: Διάταξη ηλιακής καμινάδας και αναπαράσταση ροής του αέρα, [26].

2.3.2 Σκίαση και Ηλιοπροστασία

Η ηλιοπροστασία είναι μια ιδιαίτερα διαδεδομένη στρατηγική για την προστασία του κτιρίου από τα θερμικά κέρδη. Επιτυχής ηλιοπροστασία συνεισφέρει αφενός στη μείωση των ηλιακών κερδών στο κτίριο μέσω των διάφανων αλλά και αδιαφανών στοιχείων του κελύφους, αλλά και στη ρύθμιση του φυσικού φωτισμού εντός των χώρων και την προστασία των ενοίκων από τη θάμπωση και την υπεριώδη ακτινοβολία.

Ο βαθμός και ο τύπος της αναγκαίας σκίασης εξαρτάται από τη θέση του ήλιου, την τοποθεσία και τη γεωμετρία του τμήματος του κτιρίου που πρέπει να σκιασθεί. Η ηλιοπροστασία επιτυγχάνεται με τη χρήση σκιάστρων και τη χρήση βλάστησης. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται είναι εξωτερικές ή εσωτερικές, κινητές ή σταθερές ή και συνδυασμοί αυτών.

Τα σταθερά σκιάστρα μπορούν να είναι μόνο εξωτερικά και χαρακτηρίζονται από το κύριο μειονέκτημα ότι το ποσό της σκίασης είναι σταθερό και εξαρτάται από τη θέση του ήλιου σε κάθε εποχή και όχι από το κλίμα που θα επικρατεί. Για τα νότια παράθυρα του κτιρίου (για βόρεια γεωγραφικά πλάτη) έχει αποδειχθεί ότι τα πιο αποτελεσματικά σταθερά σκιάστρα είναι τα οριζόντια και αυτό διότι, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.9, κατά την διάρκεια του χειμώνα, που ο ήλιος είναι πιο χαμηλά, δεν εμποδίζεται η εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ το καλοκαίρι, που ο ήλιος είναι πιο ψηλά, αποτρέπει. Η σκίαση των δυτικών και ανατολικών παραθύρων είναι πιο δύσκολη διότι ο ήλιος κατά την ανατολή και τη δύση βρίσκεται σε πιο χαμηλή κλίση στον ουρανό, στις συγκεκριμένες περιπτώσεις ενδείκνυνται τα κατακόρυφα σκιάστρα. Παρ' όλα αυτά, ακόμα και στις ενδειγμένες θέσεις τοποθέτησης θα αποκόπτουν μέρος της διάχυτης ακτινοβολίας που εισέρχεται στο κτίριο κατά το χειμώνα.



Σχήμα 2.9: Διάταξη σταθερού σκιάστρου σε νότιο παράθυρο, [27].

Τα κινητά σκίαστρα μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Τα εσωτερικά σκίαστρα μπορεί να έχουν πιο χαμηλό κόστος και να είναι πιο εύκολα στο χειρισμό τους όμως είναι λιγότερο αποτελεσματικά σε σχέση με τα εξωτερικά διότι το φως του ήλιου εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο και στη συνέχεια σταματά στο σκίαστρο. Για να μην παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο δωμάτιο θα πρέπει το φως του ήλιου να ανακλάται πάλι πίσω μέσω του παραθύρου κάτι το οποίο είναι αδύνατο να επιτευχθεί, επομένως ένα μέρος της ηλιακής ενέργειας θα απορροφηθεί και θα μεταφερθεί υπό τη μορφή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Για το λόγο αυτό όταν υπάρχουν εσωτερικά σκίαστρα δεν πρέπει να έχουν σκούρο χρώμα. Πιο χαρακτηριστικά κινητά συστήματα εσωτερικής σκίασης είναι οι κουρτίνες και τα ρολά. Τα εξωτερικά σκίαστρα αποδίδουν όση ενέργεια έχουν απορροφήσει στον εξωτερικό αέρα με πιο χαρακτηριστικά συστήματα τις τέντες και τις περσίδες, [16].

2.3.3 Ψύξη μέσου εδάφους

Η χρήση του εδάφους για την ψύξη των κτιρίων στηρίζεται στη διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται ανάμεσα στο έδαφος και τον περιβάλλοντα αέρα. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η θερμοκρασία του εδάφους σε κάποια βάθη είναι κατά πολύ χαμηλότερη από αυτήν του περιβάλλοντος και επομένως είναι δυνατή η μεταφορά του πλεονάζοντος θερμικού φορτίου του κτιρίου στο έδαφος. Η εποχιακή διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους μειώνεται ανάλογα με το βάθος, το ποσοστό υγρασίας που εμπεριέχει καθώς και με την αγωγιμότητα του. Υπάρχουν δύο τεχνικές για τη χρησιμοποίηση του εδάφους ως δεξαμενή θερμότητας:

- η άμεση χρήση του εδάφους που προϋποθέτει την απευθείας επαφή του κτιρίου ή ενός μέρους του με το έδαφος μέσω Υπόσκαφων ή Ημιυπόσκαφων Κτιρίων
- η έμμεση χρήση του χρησιμοποιώντας Υπεδάφιο Σύστημα Αγωγών, [16],[28].

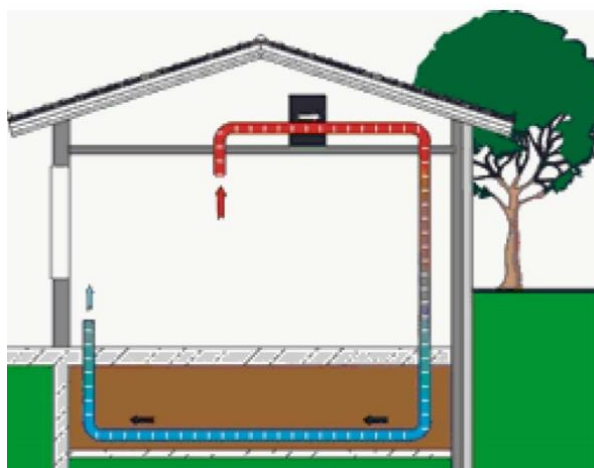
2.3.3.1 Υπόσκαφα ή Ημιυπόσκαφα Κτίρια

Η κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτιρίων συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του ψυκτικού φορτίου των κτιρίων καθώς γίνεται μετάδοση της θερμότητας με αγωγιμότητα, μέσω της άμεσης επαφής του περιβλήματος του κτίσματος με το έδαφος. Κατά τους θερμούς μήνες, το έδαφος βρίσκεται σε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον και, ερχόμενο σε επαφή με το κτιριακό κέλυφος, βοηθά στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο. Το χειμώνα, η επαφή του κτιρίου με το έδαφος μειώνει τις θερμικές απώλειες προς το ψυχρό περιβάλλον. Σε περιοχές με πολύ ψυχρούς χειμώνες συνιστάται η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, ώστε να

μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το έδαφος, ενώ σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια συνιστάται να παραμένει αμόνωντο ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή προς το έδαφος. Στα σημεία κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, τα οποία βρίσκονται σε θερμοκρασία που πλησιάζει αυτή του εξωτερικού αέρα, συνιστάται περιμετρική θερμομόνωση για παρεμπόδιση της μετάδοσης της θερμότητας στο κτίριο, [16],[28].

2.3.3.2 Υπεδάφιο Σύστημα Αγωγών (Εναλλάκτες Εδάφους - Αέρα)

Πρόκειται για ένα σύστημα μεταλλικών αγωγών (ή PVC) που τοποθετούνται σε βάθος 1-3 μέτρων. Με το σύστημα αυτό αέρας εισάγεται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον (εναλλάκτης εδάφους – αέρα ανοικτού κυκλώματος) είτε από το εσωτερικό του κτιρίου (εναλλάκτης εδάφους – αέρα κλειστού κυκλώματος) και κυκλοφορεί στο δίκτυο αγωγών με τη βοήθεια φυσητήρων, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.10. Ο θερμός αέρας που κυκλοφορεί εντός του αγωγού μεταδίδει τη θερμότητα του με συναγωγή και εξάτμιση (εάν το έδαφος περιέχει υγρασία) στη γη, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και εισέρχεται στο κτίριο ψυχρότερος. Παράλληλα, το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα, [16],[28].



Σχήμα 2.10: Διάταξη εναλλάκτη εδάφους-αέρα κλειστού κυκλώματος,[16].

2.3.4 Νυκτερινή Ακτινοβολία

Όλες οι εξωτερικές επιφάνειες των κτιρίων ακτινοβολούν θερμότητα κατά τη διάρκεια της νύχτας προς τον ουρανό, ο οποίος λειτουργεί ως «μαύρο σώμα». Όσο πιο καθαρός είναι ο ουρανός (χωρίς σύννεφα) και όσο χαμηλότερη είναι η υγρασία που περιέχει ο αέρας, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό ακτινοβολίας που εκπέμπεται.

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

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

Τα συνηθέστερα συστήματα νυχτερινής ακτινοβολίας είναι ο μεταλλικός ακτινοβολητής τοποθετημένος στην οροφή του κτιρίου και η λίμνη οροφής, [16].

2.3.5 Εξατμιστικός Δροσισμός

Ο εξατμιστικός δροσισμός χρησιμοποιεί το φαινόμενο της εξάτμισης για την απαγωγή της πλεονάζουσας θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου στο περιβάλλον. Σε περιοχές με σχετικά χαμηλή υγρασία, μπορεί να επιτευχθεί δροσισμός με την εξάτμιση νερού.

Ο αέρας, διερχόμενος από κάποιο σώμα νερού και προκαλώντας την εξάτμισή του, ψύχεται ενώ εμπλουτίζεται με υδρατμούς. Όταν ο αέρας αυτός εισέρχεται απ' ευθείας στο κτίριο έχουμε άμεσο εξατμιστικό δροσισμό, ενώ όταν ψύχει το κέλυφος του κτιρίου ή εναλλάκτη, τότε έχουμε έμμεσο εξατμιστικό δροσισμό.

Τα συστήματα ψύξης με άμεση εξάτμιση αυξάνουν την υγρασία του ψυχθέντος αέρα ανεβάζοντας τη σχετική υγρασία του αέρα του εσωτερικού χώρου (μαζί και το λόγο υγρασίας αυτού). Αυτό μπορεί να είναι αποδεκτό ειδικά εάν ο αριθμός εναλλαγών του αέρα ανά ώρα είναι επαρκής. Αλλιώς είναι δυνατό να επηρεαστεί δυσμενώς η άνεση και να παρατηρηθεί συμπύκνωση ή σχηματισμός μούχλας. Τεχνικές άμεσου φυσικού δροσισμού περιλαμβάνουν τη χρήση σωμάτων νερού (όπως λίμνες ή σιντριβάνια) σε εσωτερικές αυλές και αίθρια ή σε πύργους δροσισμού.

Τα συστήματα έμμεσης εξατμιστικής ψύξης βασίζονται στη χρήση ενός εναλλάκτη θερμότητας, όπου διέρχεται ο εσωτερικός αέρας που προωθείται με ανεμιστήρα και περνά από το πρωτεύον κύκλωμα στο οποίο πραγματοποιείται η εξάτμιση, ενώ ο εξωτερικός αέρας περνά από το δευτερεύον κύκλωμα. Αυτό μειώνει τη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα χωρίς να αυξάνει την υγρασία του. Τεχνικές έμμεσου φυσικού

δροσισμού είναι οι ανοιχτές λίμνες οροφής και ο ψεκασμός των δωματίων με νερό, [16],[29].

2.4 Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στοχεύει στην επίτευξη οπτικής άνεσης μέσα στα κτίρια, αλλά και στη γενικότερη βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης μέσα στους χώρους, συνδυάζοντας φως, θέα, δυνατότητα αερισμού, αξιοποίηση και ρύθμιση της εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία κατά το σχεδιασμό των συστημάτων φυσικού φωτισμού έχει η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη των απαιτήσεων σε φωτισμό από το φυσικό φως, ανάλογα με τη χρήση του κτιρίου και την εργασία που επιτελείται μέσα στους χώρους.

Μέσω των κατάλληλων συστημάτων και τεχνικών εξασφαλίζεται στους εσωτερικούς χώρους επαρκής ποσότητα (στάθμη φωτισμού), αλλά και ομαλή κατανομή, ώστε να αποφεύγονται έντονες διαφοροποιήσεις της στάθμης, οι οποίες προκαλούν φαινόμενο «θάμπωσης». Τόσο η επάρκεια όσο και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων, αλλά και από τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά των αδιαφανών επιφανειών (χρώμα/υφή) και των υαλοπινάκων (φωτοδιαπερατότητα / ανακλαστικότητα).

Σύστημα φυσικού φωτισμού νοείται το σύνολο που αποτελείται από:

- υαλοπίνακα ή άλλο φωτοδιαπερατό στοιχείο
- πλαίσιο
- διάταξη σκιασμού (είτε δομικό στοιχείο είτε άλλο)

Τα συστήματα φυσικού φωτισμού διακρίνονται σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες:

- ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- ανοίγματα οροφής
- αίθρια
- φωταγωγοί

Τα συστήματα αυτά συνδυάζονται με συγκεκριμένες τεχνικές που αφορούν στο σχεδιασμό των ανοιγμάτων, στις οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων, στα φωτομετρικά χαρακτηριστικά επιφανειών του χώρου και των ανοιγμάτων του (υφή, χρώμα, φωτοδιαπερατότητα υλικών) και στη χρήση ανακλαστήρων, για την εξασφάλιση επάρκειας και ομαλής κατανομής του φυσικού φωτός. Οι συνηθέστερες τεχνολογίες φυσικού φωτισμού αφορούν υαλοπίνακες με συγκεκριμένες ιδιότητες, πρισματικά

φωτοδιαπερατά στοιχεία, διαφανή μονωτικά υλικά και ανακλαστήρες (ράφια φωτισμού ή ανακλαστικές περσίδες),[30],[31].

3 Τοίχος Trombe-Michel

3.1 Γενική Λειτουργία

Ο τοίχος Trombe–Michel είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα τοίχου θερμικής αποθήκευσης που μελετήθηκε στη Γαλλία από τον καθηγητή F. Trombe και τον αρχιτέκτονα J. Michel του ερευνητικού κέντρου C.N.R.S. (Centre National de la Recherche Scientifique). Ο τοίχος αυτός εφαρμόστηκε στα πρώτα πειραματικά ηλιακά σπίτια στο Odeillo της Γαλλίας το 1967. Το σύστημα του τοίχου Trombe αποτελείται από συμπαγή τοίχο μεγάλης θερμοχωρητικότητας από σκυρόδεμα βαμμένο σε σκούρο χρώμα, συνήθως μαύρο, στην εξωτερική του πλευρά. Σε απόσταση 5-15 cm υπάρχει γυάλινη επιφάνεια. Στο πάνω και κάτω μέρος του τοίχου υπάρχουν θυρίδες που διευκολύνουν την κίνηση του αέρα, ενώ θυρίδα υπάρχει και στο πάνω μέρος του υαλοστασίου.

Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοσιφονισμού και πραγματοποιείται με την κυκλοφορία του αέρα στο χώρο ανάμεσα στο γυαλί και τον τοίχο και μέσα από τις θυρίδες λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Στη διάρκεια της ημέρας, όταν ο ήλιος προσπίπτει στο γυαλί, θερμαίνει τον αέρα που βρίσκεται ανάμεσα στο τζάμι και τον τοίχο. Ο θερμός αέρας κινείται προς τα πάνω και μέσα από τη θυρίδα μπαίνει στον εσωτερικό χώρο. Ταυτόχρονα ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο, μπαίνει από την κάτω θυρίδα και αντικαθιστά το κενό που δημιουργήθηκε. Στη διάρκεια της νύχτας η λειτουργία προφανώς αντιστρέφεται. Οι δύο θυρίδες κλείνουν, πάνω και κάτω και η θέρμανση του χώρου επιτυγχάνεται με την απόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας του τοίχου στον χώρο.

Το καλοκαίρι η λειτουργία του τοίχου Trombe αντιστρέφεται. Η επάνω θυρίδα κλείνει ενώ ταυτόχρονα ανοίγει μια άλλη θυρίδα από την πλευρά του υαλοστασίου στο επάνω μέρος έτσι ώστε να απομακρύνεται ο ζεστός αέρας προς τα έξω. Επίσης με απλά συστήματα ηλιοπροστασίας, μιας και πρόκειται για νότιο προσανατολισμό, μπορεί να αποκλειστεί εντελώς η άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας.

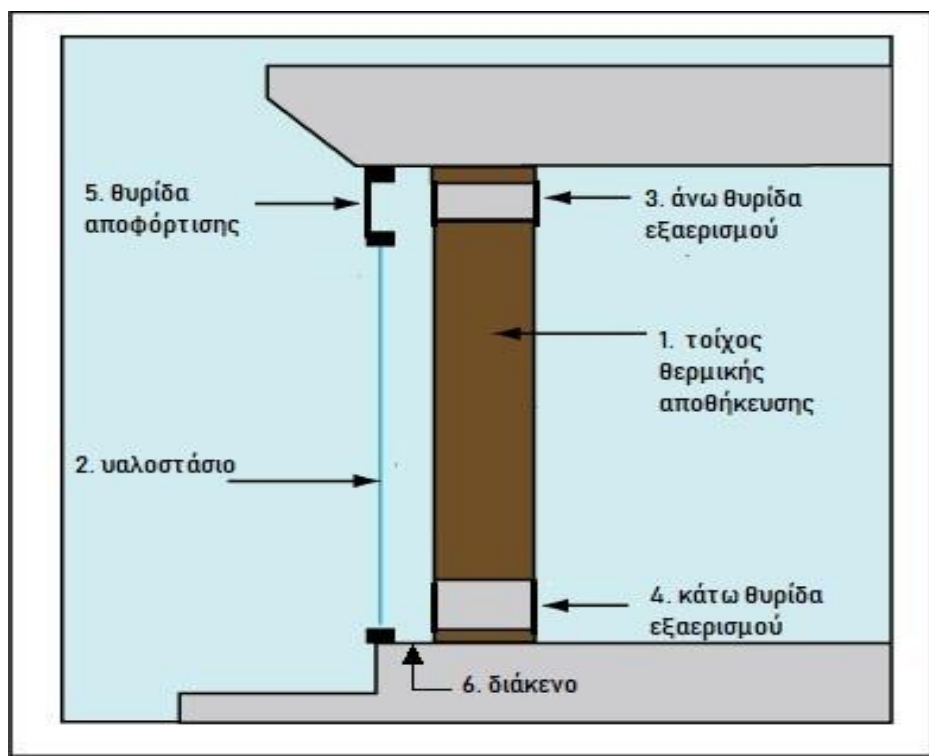
Η αποτελεσματικότητα της απορρόφησης και απόδοσης, στη συνέχεια, της θερμότητας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως:

- πόσο σκούρο είναι το χρώμα
- πόσο άμεσα η επιφάνεια του αντικειμένου είναι αντίθετη στη γωνία της ακτινοβολίας που την χτυπά,
- πόσο ματ ή αντανάκλαστική είναι η επιφάνεια της

- την θερμική ικανότητα του αντικειμένου και την αγωγιμότητα της επιφάνειας του αντικειμένου
- πόσο καθαρό είναι το γυαλί μπροστά από ένα τοίχωμα Trombe, [16],[32],[34].

3.2 Διάταξη Τοίχου Trombe

Ο τοίχος Trombe τοποθετείται πίσω από γυάλινο υαλοστάσιο μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται ένα μικρό διάκενο. Στη βάση και στη στέψη του τοίχου υπάρχουν θυρίδες ενώ στο άνω μέρος του κάδρου του υαλοστασίου, ενίοτε, τοποθετείται άλλη μια θυρίδα η οποία βοηθάει στην αποφόρτιση της συλλεγμένης θερμότητας.



Σχήμα 3.1:Τυπική διάταξη τοίχου Trombe, [33].

Στο Σχήμα 3.1 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη τοίχου Trombe όπου και διακρίνονται τα κύρια μέρη της τα οποία είναι:

1. ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης
2. το υαλοστάσιο
3. η άνω θυρίδα εξαερισμού
4. η κάτω θυρίδα εξαερισμού
5. η θυρίδα αποφόρτισης
6. το διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου θερμικής αποθήκευσης, [32],[34],[35].

3.2.1 Τοίχος Θερμικής Αποθήκευσης

Ο τοίχος θερμικής αποθήκευσης αποτελεί το πιο βασικό μέρος μιας διάταξης τοίχου Trombe και είναι υπεύθυνος για την συλλογή και αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο τοίχος συλλέγει θερμότητα στη μάζα του και την αποδίδει στο εσωτερικό. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τοίχου, τόσο μικρότερη είναι η διακύμανση της θερμοκρασίας στον εσωτερικό χώρο και τόσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος που απαιτείται για την αγωγή της θερμότητας από τη μια πλευρά του τοίχου στην άλλη.

Για την επιλογή των υλικών κατασκευής του τοίχου πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το πόση θερμότητα μπορεί ένα υλικό να αποθηκεύσει και πόσα γρήγορα μπορεί να την μεταδώσει. Τα θερμικά χαρακτηριστικά προσδιορίζονται από τις εξής φυσικές ιδιότητες:

- Πυκνότητα η οποία εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μια μονάδα όγκου. Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο πιο πυκνό είναι ένα υλικό, τόσο περισσότερη θερμότητα μπορεί να αποθηκεύσει.
- Θερμική αγωγιμότητα η οποία προσδιορίζει πόσο γρήγορα και εύκολα μπορεί η θερμότητα να μεταφέρεται μέσω ενός υλικού. Η μεταφορά της θερμότητας οφείλεται στη διαφορά θερμοκρασίας και γίνεται από το θερμό μέρος του υλικού στο πιο ψυχρό.
- Ειδική θερμότητα που εκφράζει την ποσότητα της θερμότητας που αποβάλλεται ή απορροφάται από κάποιο σώμα όταν η θερμοκρασία του μεταβληθεί κατά ένα βαθμό Kelvin.

Συνεπώς ο τοίχος συνήθως κατασκευάζεται από υλικά όπως το σκυρόδεμα και οι βαριές πέτρες. Στους τοίχους με βαριές πέτρες απαιτείται προσοχή στην πλήρωση των αρμών με συνδετικό κονίαμα, ώστε να αποφεύγονται τα κενά, που λειτουργούν ως εμπόδια στην αγωγή της θερμότητας. Τα βέλτιστα πάχη των τοίχων κυμαίνονται μεταξύ 25 - 50 cm. Η εξωτερική πλευρά του τοίχου βάφεται σε σκούρο χρώμα, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση θερμότητας, καθώς λόγω χρώματος απορροφά σχεδόν το σύνολο του ορατού φάσματος και λόγω υλικού απορροφά μεγάλο τμήμα του υπεριώδους φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας.

3.2.2 Υαλοστάσιο

Ένα επίσης σημαντικό μέρος του τοίχου Trombe-Michel είναι το υαλοστάσιο το οποίο ευθύνεται για την εισχώρηση ηλιακής ακτινοβολίας αλλά και την αποτροπή διαφυγής θερμικής ακτινοβολίας από τη θερμή επιφάνεια του τοίχου αποθήκευσης. Ένα γυαλί καλής ποιότητας μπορεί να επιτρέψει την εισχώρηση και να αποτρέψει την διαφυγή ακτινοβολίας διαφορετικού μήκους κύματος. Έτσι η ηλιακή ακτινοβολία μικρού κύματος διαπερνά το γυαλί ενώ η μεγάλη κύματος παγιδεύεται με σκοπό την θέρμανση του τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Τα υλικά που προτιμώνται είναι το γυαλί και το πλαστικό.

3.2.3 Άνω Θυρίδα Εξαερισμού

Η άνω θυρίδα εξαερισμού, όπως και η κάτω, επιτρέπουν τη μεταφορά μέρους της θερμότητας που εγκλωβίζεται στο διάκενο μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου στο εσωτερικό του χώρου, βελτιώνοντας την αποτελεσματικότητα του συστήματος τόσο ως προς την ταχύτητα θέρμανσης του όσο και ως προς την ετήσια ενεργειακή απόδοσή του. Ο αέρας του εσωτερικού χώρου ο οποίος έχει εισαχθεί από την κάτω θυρίδα θερμαίνεται και συνεπώς μειώνεται η πυκνότητά του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση του και, εφόσον η άνω θυρίδα εξαερισμού είναι ανοιχτή, την μεταφορά του στον εσωτερικό χώρο εάν αυτός είναι πιο ψυχρός. Συνεπώς έχουμε αύξηση της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου. Κατά την διάρκεια του χειμώνα η άνω θυρίδα εξαερισμού επιλέγεται να είναι ανοιχτή τις ώρες όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι μέγιστη ενώ τις υπόλοιπες ώρες παραμένει κλειστή και η θέρμανση του εσωτερικού χώρου επιτυγχάνεται με την απόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας του τοίχου. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού παραμένει διαρκώς κλειστή ώστε να αποφεύγεται η εισροή θερμών ρευμάτων στον χώρο.

3.2.4 Κάτω Θυρίδα Εξαερισμού

Η κάτω θυρίδα εξαερισμού μαζί με την πάνω, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελούν τα ανοίγματα μέσω των οποίων πραγματοποιείται η κυκλοφορία του αέρα στο διάκενο ανάμεσα στο υαλοστάσιο και τον τοίχο λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας. Κατά την διάρκεια του χειμώνα η λειτουργία τους είναι η ίδια, κατά τις πρωινές ώρες παραμένει ανοιχτή ενώ κατά τις ώρες που μειώνεται η ηλιακή ακτινοβολία κλείνει. Μέσω αυτής εισάγεται ο ψυχρότερος αέρας από τον εσωτερικό χώρο και αντικαθιστά το κενό που δημιουργείται. Κατά την διάρκεια του θέρους όμως η λειτουργία της δεν συνάδει με αυτήν της άνω. Ενώ κατά την διάρκεια της ημέρας παραμένει κλειστή, κατά την διάρκεια της νύχτας ανοίγει συμβάλλοντας στην αποφόρτιση του τοίχου Trombe

και στην απομάκρυνση του θερμού αέρα από τον εσωτερικό χώρο βασιζόμενη στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού.

Όσον αφορά τις διαστάσεις των θυρίδων, το συνολικό εμβαδό των ανοιγμάτων του τοίχου Trombe πρέπει να είναι ίσο με το 1-3% της επιφάνειας του τοίχου Trombe.

3.2.5 Θυρίδα Αποφόρτισης

Η θυρίδα αποφόρτισης, η οποία τοποθετείται πάνω από το υαλοστάσιο, είναι υπεύθυνη για την αποτροπή της υπερθέρμανσης της ζώνης του τοίχου Trombe. Ουσιαστικά είναι υπεύθυνη για την αποβολή της συσσωρευμένης θερμότητας τόσο του τοίχου Trombe όσο και του εσωτερικού του χώρου στο περιβάλλον. Κατά την διάρκεια του χειμώνα παραμένει κλειστή ενώ το καλοκαίρι κατά την διάρκεια της νύχτας ανοίγει μαζί με την κάτω θυρίδα για την θερμική αποφόρτιση του κτιρίου.

3.2.6 Διάκενο μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου θερμικής αποθήκευσης

Η ύπαρξη διακένου κρίνεται απαραίτητη για την θέρμανση και την κυκλοφορία του αέρα μέσω των ανοιγμάτων. Το μέγεθος του πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες αερισμού του χώρου αλλά να περιορίζονται και οι θερμικές απώλειες που μπορεί να προκύψουν λόγω των μεγάλων επιφανειών που έρχονται σε επαφή με το ρεύμα αέρα. Η απόσταση μεταξύ υαλοστασίου και τοίχου θερμικής αποθήκευσης είναι συνήθως 5-15 cm.

3.3 Παραλλαγές Τοίχου Trombe

Η προβληματική θερμική συμπεριφορά του τοίχου Trombe κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ο μεγάλος όγκος του τοίχου θερμικής μάζας, ο οποίος μειώνει τις διαστάσεις του εσωτερικού χώρου, καθώς και οι ανάγκες φυσικού φωτισμού έχουν οδηγήσει στην εφαρμογή διάφορων παραλλαγών του βασικού μοντέλου της διάταξης που παρουσιάστηκε παραπάνω. Ορισμένες από αυτές είναι:

- Τοίχος Trombe με Σκίαστρο (σταθερό ή κινητό). Πρόκειται για μια παραλλαγή η οποία στην περίπτωση του σταθερού σκιάστρου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όπου ο ήλιος έχει μεγάλη κλίση, εμποδίζει τη εισχώρηση της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ κατά την διάρκεια του χειμώνα, που ο ήλιος βρίσκεται πιο χαμηλά, γίνεται η πλήρης εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όσον αφορά τα κινητά σκίαστρα, όπως για παράδειγμα τις περσίδες, εκτός από την ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες,

προσφέρουν και μόνωση κατά την διάρκεια της νύχτας τον χειμώνα για τον περιορισμό των θερμικών απωλειών.

- Τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης (PCM): Η χρήση PCM στα κτίρια τα τελευταία χρόνια είναι ιδιαίτερος διαδεδομένη. Όσον αφορά τον τοίχο Trombe η χρήση τους κρίνεται άκρως αποδοτική καθώς εκτός από την βελτίωση της θερμικής μάζας, με την μείωση του πάχους τοιχώματος και την εξοικονόμηση χώρου, δεδομένου ότι η ταχύτητα του αέρα στο διάκενο είναι μεγαλύτερη από αυτή των κύριων χώρων, λόγω της επανακυκλοφορίας, η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του αέρα και του τοιχώματος είναι επίσης καλύτερη σε σχέση με την μετάδοση που γίνεται σε απλά κτίρια με ενσωματωμένα PCM.
- Τοίχος Trombe με φυσητήρες: Πρόκειται για διάταξη η οποία περιέχει ηλεκτρικούς φυσητήρες, που ελέγχονται από θερμοστάτες, για τη βελτίωση της ροής αέρα και θερμότητας. Η ρύθμιση τους όμως πρέπει να είναι πολύ προσεκτική καθώς εάν οι ταχύτητες είναι πολύ υψηλές υπάρχουν μεγάλες θερμικές απώλειες και καταναλώσεις ηλεκτρικής ενέργειας από τις συσκευές.
- Τοίχος Trombe με vortex generators (VGs): Η συγκεκριμένη διάταξη έχει προσαρτημένα στην επιφάνεια του τοίχου Trombe πτερύγια, γεννήτριες δίνης (vortex generators), τα οποία αποκολλάνε το θερμικό οριακό στρώμα που αναπτύχθηκε κατά μήκος του τοιχώματος και στη συνέχεια ενισχύουν την μετάδοση θερμότητας.
- Τοίχος Trombe με παράθυρα: Με την συγκεκριμένη διάταξη αναπόφευκτα υπάρχει μείωση της απόδοσης. Οι λόγοι για τους οποίους επιλέγεται είναι κυρίως για φυσικό φωτισμό ή αισθητικούς λόγους. Αν το εξωτερικό τζάμι έχει υψηλή υπεριώδη διαπερατότητα και το παράθυρο στο τοίχωμα Trombe είναι απλό γυαλί, επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του υπεριώδους φωτός για θέρμανση, ενώ ταυτόχρονα, προστατεύει τους ανθρώπους και τα έπιπλα από την υπεριώδη ακτινοβολία περισσότερο από τα παράθυρα με υψηλή υπεριώδη διαπερατότητα, [34],[35],[36],[37].

4 Υλικά Αλλαγής Φάσης (PCM)

4.1 Τρόποι Αποθήκευσης της Θερμικής Ενέργειας

Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας (Thermal Storage Energy - TES) μπορεί να επιτευχθεί με ψύξη, θέρμανση, τήξη, στερεοποίηση ή εξάτμιση ενός υλικού, με την ενέργεια να είναι διαθέσιμη ως θερμότητα όταν η διαδικασία αντιστρέφεται. Οι μέθοδοι της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας ταξινομούνται ως:

- Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας (Sensible Heat Thermal Energy Storage-SHTES)
- Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας (Latent Heat Energy Storage-LHTES).

4.1.1 Αποθήκευση Αισθητής Θερμότητας (SHTES)

Ο συγκεκριμένος τρόπος αποθήκευσης εμφανίζεται όταν ένα υλικό οδηγείται σε αύξηση ή μείωση της θερμοκρασίας του. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου εξαρτάται από τη συγκεκριμένη θερμική ικανότητα του υλικού και, αν ο όγκος είναι ένα σημαντικό στοιχείο, από την πυκνότητα του υλικού.

Η αποθήκευση αισθητής θερμότητας (SHTES) περιλαμβάνει την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας με την αύξηση της θερμοκρασίας ενός στερεού ή υγρού. Η αρχή βασίζεται στην αλλαγή της θερμικής ικανότητας και της θερμοκρασίας του υλικού κατά τη διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης. Η ποσότητα αποθηκευμένης θερμότητας είναι συνάρτηση της ειδικής θερμότητας του μέσου, της μεταβολής της θερμοκρασίας και της μάζας του μέσου αποθήκευσης και υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} m C_p dT = m C_{ap} (T_f - T_i) , \text{ όπου:}$$

- Q :η ποσότητα αποθηκευμένης θερμότητας (J)
- T_i :η αρχική θερμοκρασία ($^{\circ}C$)
- T_f :η τελική θερμοκρασία ($^{\circ}C$)
- m :η μάζα του μέσου αποθήκευσης θερμότητας (kg)
- C_p :η ειδική θερμότητα ($\frac{J}{kg K}$)
- C_{ap} :η μέση ειδική θερμότητα μεταξύ T_i και T_f ($\frac{J}{kg K}$)

Τα υλικά αποθήκευσης απορροφούν τη θερμότητα με τους συμβατικούς μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας ακτινοβολίας, αγωγής και συναγωγής. Καθώς τα

υλικά ψύχονται τη νύχτα ή τις νεφελώδεις ημέρες, η αποθηκευμένη θερμότητα απελευθερώνεται με τους ίδιους τρόπους λειτουργίας. Τα ενεργά συστήματα θέρμανσης χώρου χρησιμοποιούν συνήθως δεξαμενές από δοχεία νερού ή βράχων ως αποθήκες θερμικής ενέργειας. Το νερό, αποθηκευμένο σε πλαστικά, υαλοβάμβακα ή γυάλινα δοχεία, είναι το τυπικό θερμικό μέσο αποθήκευσης αισθητής θερμότητας για ηλιακά συστήματα θέρμανσης - καθώς απορροφά θερμότητα, αυξάνει τη θερμοκρασία του και θερμαίνει το εκάστοτε σύστημα. Το νερό είναι το καλύτερο διαθέσιμο υγρό αυτής της κατηγορίας λόγω του χαμηλού κόστους του και της υψηλής ειδικής θερμότητας.

4.1.2 Αποθήκευση Λανθάνουσας Θερμότητας

Η αποθήκευση με λανθάνουσα θερμότητα αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο αποθήκευσης της θερμικής ενέργειας. Η αποθήκευση με αυτό τον τρόπο βασίζεται στο υλικό αποθήκευσης που απορροφά ή απελευθερώνει θερμότητα καθώς υφίσταται μια στερεή σε υγρή ή υγρή σε αέρια αλλαγή φάσης ή αντίστροφα. Τα υλικά αποθηκεύουν θερμότητα σε μορφή λανθάνουσας θερμότητας σε ένα τμήμα του θερμοκρασιακού εύρους χρήσης τους (μέχρι το σημείο τήξης) ενώ στο υπόλοιπο τμήμα συναλλάσσουν θερμότητα με την μορφή αισθητής θερμότητας. Η χωρητικότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας για ένα υλικό αλλαγής φάσης δίνεται από την εξίσωση:

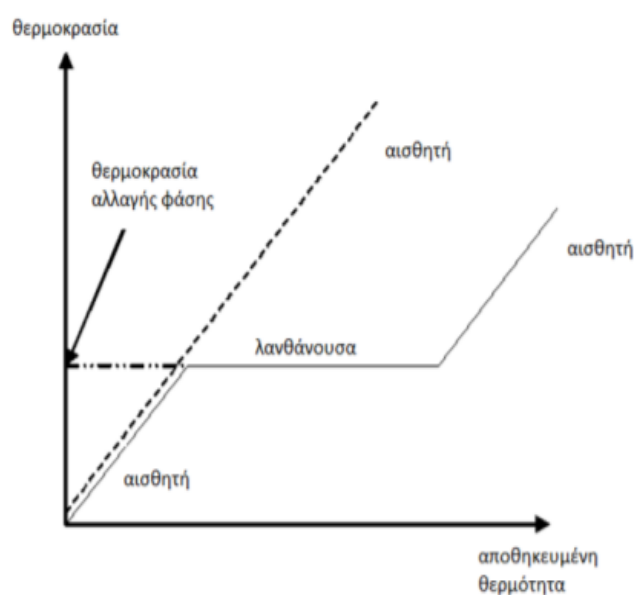
$$Q = \int_{T_i}^{T_m} m C_p dT + m a_m \Delta H_m + \int_{T_m}^{T_f} m C_p dT, \text{ όπου:}$$

- Q :η ποσότητα αποθηκευμένης θερμότητας (J)
- T_i :η αρχική θερμοκρασία ($^{\circ}C$)
- T_f :η τελική θερμοκρασία ($^{\circ}C$)
- m :η μάζα του μέσου αποθήκευσης θερμότητας (kg)
- C_p :η ειδική θερμότητα ($\frac{J}{kg K}$)
- T_m :η θερμοκρασία τήξης ($^{\circ}C$)
- a_m :το ποσοστό του του υλικού που έχει τηχθεί
- ΔH_m :η ειδική ενθαλπία του τηγμένου υλικού ($\frac{J}{kg}$)

Ο συγκεκριμένος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας εξαρτάται από την ικανότητα ενός υλικού να συσσωρεύει πυκνότητες ενέργειας σε σχεδόν ισοθερμικές συνθήκες και σε ένα στενό εύρος θερμοκρασιών. Τέτοια συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας με αλλαγή φάσης προσφέρουν ένα αριθμό πλεονεκτημάτων έναντι άλλων συστημάτων (π.χ. συστήματα αποθήκευσης χημικών), με πιο χαρακτηριστικά τη μικρή διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των κύκλων αποθήκευσης και ανάκτησης, τα μικρά μεγέθη

μονάδων και το χαμηλό βάρος ανά μονάδα χωρητικότητας αποθήκευσης. Τα υλικά αυτά απορροφούν ενέργεια καθώς η αλλαγή φάσης συμβαίνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας θέρμανσης και στη συνέχεια μπορεί να απελευθερώσει αυτή την ενέργεια κατά τη διάρκεια της ψύξης, [38].

Συνεπώς είναι προφανές ότι τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα αποθήκευσης με μικρότερο εύρος θερμοκρασιών μεταξύ αποθήκευσης και απελευθέρωσης θερμότητας από ότι τα αντίστοιχα αισθητής όπως φαίνεται και στο διάγραμμα στο Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Αποθήκευση θερμικής ενέργειας ως αισθητή και λανθάνουσα για υγρά υλικά.[39].

4.2 Σχετικά με τα Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα υλικά που αλλάζουν φάση στο εύρος των θερμοκρασιών της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται ονομάζονται στην διεθνή βιβλιογραφία PCMs (Phase Change Materials). Ένα υλικό αλλαγής φάσης είναι μια ουσία η οποία, κατά την αλλαγή φάσης του σε μια ορισμένη θερμοκρασία, είναι ικανή να αποθηκεύει και να απελευθερώνει μεγάλες ποσότητες ενέργειας. Συνεπώς θεωρούνται ως μονάδες αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας.

Ως υποψήφια PCMs θεωρούνται συνήθως υλικά τα οποία αλλάζουν μεταξύ στερεής και υγρής φάσης, αν και έχουν χρησιμοποιηθεί σε ερευνητικό επίπεδο και υλικά που μεταβαίνουν από την μια φάση σε άλλη με όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Τα υλικά που μεταπίπτουν σε αέρια κατάσταση κατά την αλλαγή φάσης δεν

παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω των πρακτικών δυσκολιών που παρουσιάζει η μεγάλη αλλαγή πυκνότητας αλλά και της ίδιας της φύσης των αερίων. Για αυτούς λοιπόν τους λόγους θα αναλυθούν στην συνέχεια τα υλικά αλλαγής φάσης τα οποία από στερεά μεταπίπτουν σε υγρά και τούμπαλιν.

Μια κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης και μια μεγάλη ενθαλπία τήξης είναι δύο προφανείς απαιτήσεις για ένα υλικό αλλαγής φάσης που πρέπει να εκπληρωθούν προκειμένου να αποθηκεύεται και να απελευθερώνεται όλη η θερμότητα. Ωστόσο, υπάρχουν περισσότερες απαιτήσεις για τα περισσότερα, όχι όμως και όλες οι εφαρμογές. Οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να ομαδοποιηθούν σε φυσικές, τεχνικές, και οικονομικές .

- Φυσικές απαιτήσεις αποθήκευσης και απελευθέρωσης θερμότητας:
 - Κατάλληλη θερμοκρασία αλλαγής φάσης $T_{pc} \Rightarrow$ για να εξασφαλιστεί η αποθήκευση και η απελευθέρωση της θερμότητας σε μια εφαρμογή με δεδομένες θερμοκρασίες.
 - Μεγάλη ενθαλπία αλλαγής φάσης $\Delta h_{pc} \Rightarrow$ για να επιτευχθεί υψηλή πυκνότητα αποθήκευσης σε σύγκριση με την αποθήκευση αισθητής θερμότητας.
 - Σταθερότητα κατά την διάρκεια αλλαγών φάσης \Rightarrow για να χρησιμοποιείται το ίδιο υλικό για πολλούς κύκλους αποθήκευσης και απελευθέρωσης θερμότητας όπως απαιτείται από μια εφαρμογή.
 - Μικρή υπέρψυξη \Rightarrow για να διασφαλιστεί ότι η τήξη και η στερεοποίηση μπορούν να πραγματοποιηθούν σε ένα στενό εύρος θερμοκρασίας.
 - Καλή θερμική αγωγιμότητα \Rightarrow για να είναι δυνατή η αποθήκευση ή η απελευθέρωση της λανθάνουσας θερμότητας σε έναν δεδομένο όγκο του υλικού αποθήκευσης σε σύντομο χρονικό διάστημα.
- Τεχνικές απαιτήσεις σχετικά με την κατασκευή ενός χώρου αποθήκευσης:
 - Χαμηλή πίεση ατμών \Rightarrow για μείωση των απαιτήσεων μηχανικής σταθερότητας και στεγανότητας του δοχείου που περιέχει το PCM.
 - Μικρή αλλαγή όγκου \Rightarrow για μείωση των απαιτήσεων μηχανικής σταθερότητας του δοχείου που περιέχει το PCM.
 - Χημική σταθερότητα του PCM \Rightarrow για να εξασφαλιστεί η μεγάλη διάρκεια ζωής του αν είναι εκτεθειμένο σε υψηλότερες θερμοκρασίες, ακτινοβολία και αέρια.
 - Συμβατότητα του PCM με άλλα υλικά \Rightarrow για να εξασφαλιστεί μεγάλη διάρκεια ζωής του δοχείου που περιέχει το PCM και των υλικών που το περιβάλλουν σε περίπτωση διαρροής του.

- Περιορισμοί ασφαλείας ⇒ η κατασκευή μιας αποθήκης μπορεί να περιοριστεί από νόμους που απαιτούν τη χρήση μη τοξικών, μη εύφλεκτων υλικών.
- Οικονομικές απαιτήσεις σχετικά με την ανάπτυξη ενός εμπορεύσιμου προϊόντος:
 - Χαμηλή τιμή ⇒ να είναι ανταγωνιστική με άλλες επιλογές για αποθήκευση θερμότητας και ψύξης, και να είναι ανταγωνιστική με τις μεθόδους παροχής θερμότητας και ψύξης χωρίς καθόλου αποθήκευση.
 - Δυνατότητα ανακύκλωσης ⇒ για περιβαλλοντικούς και οικονομικούς λόγους, [16],[40].

4.3 Κατηγοριοποίηση Υλικών Αλλαγής Φάσης

Τα υλικά που αλλάζουν φάση με βάση τη σύστασή τους χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

1. Οργανικά Υλικά
2. Ανόργανα Υλικά
3. Ευκτητικά Μείγματα

4.3.1 Οργανικά Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα οργανικά υλικά αλλαγής φάσης αποτελούνται από ένα ευρύ φάσμα υλικών, τα οποία χωρίζονται σε παραφίνες και μη παραφίνες. Οι μη παραφίνες, μπορεί να είναι λιπαρά οξέα, αλκοόλες και εστέρες.

Γενικώς τα οργανικά υλικά αποτελούν μια πολύ καλή επιλογή υλικού αλλαγής φάσης εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Αρχικά έχουν πολύ χαμηλό κόστος αγοράς σε σχέση με τις άλλες κατηγορίες των PCM, δεν είναι διαβρωτικά με τα περισσότερα υλικά ενώ χαρακτηρίζονται από χημική και θερμική σταθερότητα. Έχουν υψηλή θερμότητα τήξης, λειτουργούν σε πολύ μεγάλα θερμοκρασιακά εύρη, δεν δημιουργούν ρύπανση, καθώς ανακυκλώνονται, και παρουσιάζουν ομοιόμορφη τήξη. Τέλος ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μικρής τάξης ή ακόμα και απουσία εμφάνισης του φαινομένου supercooling. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν σε σχέση με τα μη οργανικά υλικά είναι η χαμηλότερη λανθάνουσα θερμότητα υγροποίησης, ο μικρότερος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας και η μικρότερη πυκνότητα. Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι είναι αναφλέξιμα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 200°C, [16],[38].

4.3.1.1 Παραφίνες

Οι παραφίνες είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες με τύπο C_nH_{2n+2} και αποτελούν τα ευρέως χρησιμοποιούμενα στερεά-υγρά PCMs, καθώς διαθέτουν υψηλή ικανότητα λανθάνουσας αποθήκευσης θερμότητας σε ένα στενό εύρος θερμοκρασίας και θεωρούνται ως μη τοξικά και οικολογικά αβλαβή. Τα κεριά παραφίνης εμφανίζουν μέτρια πυκνότητα θερμικής αποθήκευσης, αλλά απαιτούν μεγάλη επιφάνεια επειδή έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Αυτό μειώνει το ρυθμό θερμικής φόρτισης και εκφόρτισης κατά τη διάρκεια των κύκλων τήξης και στερεοποίησης. Η λανθάνουσα θερμότητα των παραφινών εξαρτάται από την μοριακή τους μάζα και οι διάφορες θερμοκρασίες αλλαγής φάσης τους δίνουν την ευελιξία επιλογής ενός κατάλληλου PCM για συγκεκριμένη εφαρμογή αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Είναι οικονομικές και ο επαναλαμβανόμενος κύκλος αλλαγής φάσεων δεν προκαλεί διαχωρισμό φάσεων, [16],[38].

4.3.1.2 Λιπαρά Οξέα

Τα λιπαρά οξέα που χαρακτηρίζονται από τον τύπο $CH_3(CH_2)_{2n}-COOH$ διαθέτουν επιθυμητά θερμοδυναμικά και κινητικά χαρακτηριστικά για αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας. Παρουσιάζουν υψηλή λανθάνουσα θερμότητα τήξης, σε σύγκριση με αυτή των παραφινών, με ελάχιστη ή καθόλου υπέρψυξη. Ωστόσο, τα λιπαρά οξέα είναι πιο ακριβά από τις παραφίνες, είναι ήπια διαβρωτικά και έχουν μια δυσάρεστη οσμή. Με αυξανόμενο αριθμό ατόμων άνθρακα στο μόριο των λιπαρών οξέων, τα σημεία τήξης και κατάψυξης, η θερμότητα τήξης και ο βαθμός κρυσταλλοποίησης αυξάνονται σταδιακά. Τα καρβοξυλικά οξέα με ομοιόμορφο αριθμό ατόμων άνθρακα στη δομή έχουν υψηλότερες τιμές θερμικών παραμέτρων από εκείνες με περιττό αριθμό ατόμων C, [38],[42],[43].

4.3.1.3 Αλκοόλες

Οι αλκοόλες έχουν δοκιμαστεί για εφαρμογές αποθήκευσης ενέργειας για τέσσερις δεκαετίες, αλλά οι πρόσφατες εξελίξεις σε τέτοιου είδους υλικά αλλαγής φάσης σχετίζονται με νανοϋλικά ή ειδικά σύνθετα με μοναδικές ιδιότητες, όπως η εισαγωγή ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Έχει διαπιστωθεί ότι μια αυξημένη ποσότητα νανοσωματιδίων Ag οδήγησε σε αυξημένη θερμική αγωγιμότητα των σύνθετων υλικών τετραδεκανόλης / nano-Ag όπως και ότι σύνθετα υλικά τετραδεκανόλης με πολυανιλίνη μπορούν ταυτόχρονα να άγουν ηλεκτρική ενέργεια και να αποθηκεύουν θερμική ενέργεια. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι μπορούν να υποστούν ένα βαθμό θερμικού σοκ όταν χρησιμοποιούνται ως αγωγή υλικά, [38].

4.3.1.4 Εστέρες

Οι εστέρες παρουσιάζουν μία μετάβαση στερεού-υγρού σε ένα στενό εύρος θερμοκρασίας και τα μίγματα αυτών μπορούν να σχηματίσουν ευτηκτικά, παρόμοια με πολυάριθμα μείγματα ανόργανων αλάτων, με ελάχιστο ή καθόλου supercooling. Οι περισσότεροι εστέρες διατίθενται στο εμπόριο καθώς παράγονται μεγάλες ποσότητες για τα πολυμερή, τα καλλυντικά, τις κλωστοϋφαντουργικές βιομηχανίες και άλλες εφαρμογές,[16],[38].

4.3.1.5 BioPCM

Ιδιαίτερη μνεία θα πρέπει να γίνει για τα υλικά αλλαγής φάσης BioPCM τα όποια είναι μια νέα τεχνολογία που χρησιμοποιείται κυρίως σε κτιριακές εφαρμογές. Εντοπίζονται συσκευασμένα με μορφή πλαστικής «κουβέρτας» με σφραγισμένα πακέτα οργανικής παραφίνης PCM που παράγεται κυρίως από σογιέλαιο, με λίγο φοινικέλαιο. Στην περίπτωση του BioPCM, καθώς απορροφά τη θερμότητα, το υλικό μεταβαίνει από στερεή μορφή σε μορφή πηκτώματος (gel) και αντίστροφα κατά την απελευθέρωση θερμότητας. Δεν είναι τοξικό, δεν είναι διαβρωτικό και είναι 100% ανακυκλώσιμο ενώ ο χρόνος ζωής του είναι παραπάνω από 100 χρόνια, [44],[45],[46],[47].

4.3.2 Ανόργανα Υλικά Αλλαγής Φάσης

Τα ανόργανα υλικά αλλαγής φάσης χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα ένυδρα άλατα και τα μεταλλικά κράματα. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν σε σχέση με τα οργανικά είναι ότι διαθέτουν μεγαλύτερη τιμή λανθάνουσας θερμότητας υγροποίησης, είναι μη αναφλέξιμα και έχουν υψηλότερη πυκνότητα. Δεν προτιμώνται όμως διότι εμφανίζουν το φαινόμενο supercooling ενώ είναι αβέβαιη η θερμική τους σταθερότητα σε κυκλική φόρτιση. Επίσης είναι διαβρωτικά, υπάρχει διαχωρισμός των φάσεων με πιθανότητα δημιουργίας ιζήματος ενώ το κόστος τους είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτό των οργανικών. Τέλος υπάρχει και ο φόβος εκφυλισμού των ιδιοτήτων τους σε βάθος χρόνου σε περίπτωση που μείνουν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υγρασία, [16],[48].

4.3.2.1 Ένυδρα Άλατα

Τα ένυδρα άλατα με τον γενικό τύπο $AB \cdot nH_2O$ είναι ανόργανα άλατα που περιέχουν νερό κρυσταλλοποίησης και είναι ο κύριος εκπρόσωπος των ανόργανων υλικών. Κατά τη διάρκεια της αλλαγής φάσης λαμβάνει χώρα αφυδάτωση του άλατος, σχηματίζοντας είτε ένα ένυδρο άλας που περιέχει λιγότερα μόρια νερού είτε την άνυδρη μορφή του άλατος. Έχουν αρκετά καλές ιδιότητες όπως υψηλή τιμή λανθάνουσας θερμότητας και αγωγιμότητας, μέτριο κόστος παραγωγής σε σχέση με τις παραφίνες αλλά υψηλό κόστος πώλησης λόγω της επιβεβλημένης ενσωμάτωσής τους σε προστατευτικό

κάλυμμα και χρήση πρόσθετων ουσιών σταθεροποίησης των ιδιοτήτων τους. Αν και είναι από τα φθηνότερα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αποθήκευση ενέργειας, τα προβλήματα διαχωρισμού και ο σχηματισμός ιζήματος καθώς και η εμφάνιση του φαινομένου supercooling περιορίζουν τις εφαρμογές του. Ερευνητές προτείνουν την προσθήκη επιπλέον νερού για την αποφυγή σχηματισμού ιζήματος, μέθοδος όμως που μειώνει την πυκνότητα αποθήκευσης. Αντί αυτού έχουν χρησιμοποιηθεί πολλών ειδών ουσίες, ως πρόσθετα σταθεροποίησης με προσπάθεια ταυτόχρονης αύξησης του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας, [16],[38].

4.3.2.2 Μεταλλικά Κράματα

Τα μεταλλικά κράματα χρησιμοποιούνται ως υλικά αλλαγής φάσης για εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας καθώς προσφέρουν υψηλή θερμική αξιοπιστία και επαναληψιμότητα. Σε σύγκριση με άλλα υλικά αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας προτιμώνται κυρίως για χρήση ως PCM στις συγκεκριμένες εφαρμογές λόγω της κατάλληλης θερμοκρασίας αλλαγής φάσης, της υψηλής πυκνότητας λανθάνουσας θερμότητας και της καλής θερμικής σταθερότητας, [38],[49].

4.3.3 Ευκτητικά Μείγματα

Τα ευκτητικά μείγματα υλικών αλλαγής φάσης αποτελούν συνδυασμό δύο ή περισσότερων συστατικών. Η σύσταση τους μπορεί να αποτελείται από οργανικές και ανόργανες ενώσεις ή μόνο από οργανικές και μόνο από ανόργανες. Κατά τη διάρκεια της κρυσταλλοποίησης τους σχηματίζεται ένα μίγμα κρυστάλλων από όλα τα συστατικά κάνοντας τα να ενεργούν σαν ένα μόνο στοιχείο κάτι που έχει ως αποτέλεσμα κατά την τήξη τους την ταυτόχρονη υγροποίηση τους. Η δυνατότητα συνδυασμού διαφορετικών ουσιών δίνει την δυνατότητα δημιουργίας υλικών αλλαγής φάσης τα οποία θα διατηρούν μόνο τα πλεονεκτήματα της εκάστοτε κατηγορίας υλικών, [38],[50],[51].

4.4 Προβλήματα κατά την Χρήση Υλικών Αλλαγής Φάσης

Συνήθως, ένα υποψήφιο υλικό αλλαγής φάσης δεν πληροί όλες τις επιθυμητές προϋποθέσεις. Παρ'όλα αυτά, συχνά είναι ακόμα δυνατή η χρήση ενός τέτοιου υλικού, εάν εφαρμοσθούν ορισμένες στρατηγικές για την επίλυση ή αποφυγή πιθανών προβλημάτων. Τα συνήθη προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα υλικά αλλαγής φάσης είναι:

- το Φαινόμενο Διαχωρισμού των Φάσεων.
- το Φαινόμενο της Υπέρψυξης (Supercooling).

- Η Αποφυγή Διαρροών και Βελτίωση της Μεταφοράς Θερμότητας.
- Η Χαμηλή Θερμική Αγωγιμότητα.

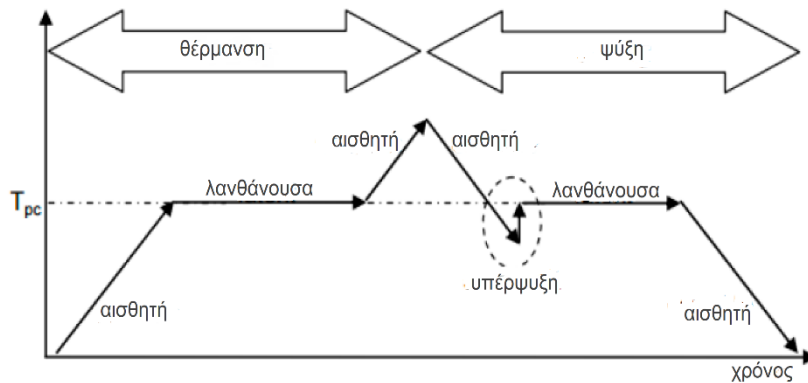
4.4.1 Φαινόμενο Διαχωρισμού Φάσεων

Η μεγάλη θερμοαποθηκευτική ικανότητα των ένυδρων αλάτων είναι δύσκολο να διατηρηθεί και συνήθως μειώνεται με τους κύκλους φόρτισης του υλικού. Αυτός είναι και ο λόγος όπου δεν μπορεί να υπολογιστεί με βεβαιότητα ο ωφέλιμος χρόνος ζωής των υλικών. Κύρια αιτία εκφυλισμού των θερμικών ιδιοτήτων των υλικών είναι ο διαχωρισμός των φάσεων του υλικού και ο πιθανός σχηματισμός άνυδρων αλάτων με δημιουργία ιζήματος. Το φαινόμενο λαμβάνει χώρα λόγω του ότι τα ένυδρα άλατα τήκονται σύμφωνα με το κατώτερο συστατικό του μίγματος, δημιουργώντας μη αναστρέψιμη διαδικασία που οδηγεί σε συνεχή εξασθένηση των ιδιοτήτων τους. Οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι:

- Η τεχνητή ανάμειξη για την ομογενοποίηση του υλικού αλλαγής φάσης. Έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλά ένυδρα άλατα αλλά χρειάζεται και τον απαραίτητο εξοπλισμό.
- Η βελτίωση της διαδικασίας διάχυσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με χρήση ρηχών δοχείων, πηκτωματοποίηση (gelling) του υλικού αλλαγής φάσης με χρήση πολυμερών, την διεύθυνση του σε μικρό πορώδες υλικό και την αύξηση του ιξώδους.
- Η αλλαγή του διαγράμματος φάσης με την προσθήκη άλλων υλικών ο οποίος είναι και ο πιο περίπλοκος τρόπος, [16],[38],[40].

4.4.2 Φαινόμενο Υπέρψυξης (Supercooling)

Το φαινόμενο supercooling αφορά το σύνολο των ανόργανων PCMs αλλά και μέρος των οργανικών το οποίο όσο εντείνεται τόσο μη αποδοτικότερη κάνει την αξιοποίηση της αποθηκευμένης θερμότητας. Το φαινόμενο είναι εμφανές αν παρατηρηθεί η καμπύλη θερμοκρασίας - χρόνου του υλικού αλλαγής φάσης στο Σχήμα 4.2, όπου παρουσιάζεται πτώση της θερμοκρασίας του υγρού PCM πριν την εκκίνηση της αλλαγής φάσης, κάτω από την θερμοκρασία στερεοποίησης. Κατά την συνέχιση της ψύξης, η θερμοκρασία του δείγματος αυξάνεται και σταθεροποιείται, τις περισσότερες φορές για μικρό χρονικό διάστημα, στη θερμοκρασία στερεοποίησης καθώς ακολουθεί πτώση της μέχρι την ολοκλήρωση της στερεοποίησης.



Σχήμα 4.2: Καμπύλη θερμοκρασίας - χρόνου υλικού αλλαγής φάσης,[78].

Η ύπαρξη supercooling οδηγεί στη μείωση της θερμοκρασίας κρυστάλλωσης, συνεπώς η λανθάνουσα θερμότητα αποδίδεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από την επιθυμητή ή σε μεγαλύτερο εύρος θερμοκρασιών. Βασική παρατήρηση είναι ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ψύξης του δείγματος τόσο μεγαλύτερος είναι και ο βαθμός του supercooling. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι ο βαθμός του supercooling δεν είναι φυσική ιδιότητα του υλικού με σταθερή τιμή αλλά μεταβάλλεται από διάφορες παραμέτρους όπως ο όγκος του δείγματος, η «καθαρότητα» του υλικού, ο ρυθμός ψύξης και η επιφάνεια του δοχείου αποθήκευσης.

Η πιο κοινή προσέγγιση για την επίλυση του προβλήματος της υπέρψυξης στα υλικά αλλαγής φάσης είναι η προσθήκη πρόσθετων πυρηνογενών (nucleators) τα οποία προκαλούν ετερογενή πυρήνωση. Οι περισσότεροι nucleators είναι υλικά που έχουν παρόμοια κρυσταλλική δομή με το στερεό υλικό αλλαγής φάσης, ώστε να επιτρέψουν στην στερεή φάση του PCM να αναπτυχθεί στην επιφάνειά τους, και υψηλότερη θερμοκρασία τήξης για να αποφευχθεί η απενεργοποίησή τους όταν το PCM λιώσει. Η δυσκολία που αντιμετωπίζεται έχει να κάνει με το ότι συνήθως παρόμοια κρυσταλλική δομή σημαίνει και παρόμοια θερμοκρασία τήξης, [16],[38],[40].

4.4.3 Αποφυγή Διαρροών και Βελτίωση της Μεταφοράς Θερμότητας

Στις περισσότερες περιπτώσεις, εκτός από ορισμένες εφαρμογές νερού-πάγου, το PCM πρέπει να ενθυλακωθεί. Η ενθυλάκωση του υλικού αλλαγής φάσης συνίσταται για την συγκράτηση της υγρής φάσης και την αποφυγή αλλαγής της σύστασης του PCM. Επιπλέον μέσω της ενθυλάκωσης αποφεύγεται η επαφή του με το περιβάλλον, η οποία μπορεί να το βλάψει. Εκτός όμως από την αποφυγή των παραπάνω προβλημάτων, η συγκεκριμένη λύση λειτουργεί ευεργετικά καθώς η επιφάνεια εγκλεισμού λειτουργεί ως επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας ενώ σε ορισμένες

περιπτώσεις χρησιμεύει ως κατασκευαστικό στοιχείο, πράγμα που σημαίνει ότι προσδίδει μηχανική σταθερότητα, [16],[38],[40].

4.4.4 Χαμηλή Θερμική Αγωγιμότητα

Όλα τα μη μεταλλικά υγρά, συμπεριλαμβανομένων των PCMs, έχουν χαμηλή θερμική αγωγιμότητα. Δεδομένου ότι τα PCMs αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας σε μικρό όγκο, και επειδή είναι απαραίτητο να μεταφερθεί αυτή η θερμότητα για να χρησιμοποιηθεί, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα μπορεί να είναι ένα πρόβλημα. Στην υγρή φάση, η συναγωγή βελτιώνει σημαντικά τη μεταφορά θερμότητας, ωστόσο συχνά αυτό δεν αρκεί, ενώ στην στερεή φάση, δεν υπάρχει συναγωγή. Όταν απαιτείται γρήγορη μεταφορά θερμότητας, μία επιλογή είναι η προσθήκη υλικών με μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα. Αυτό μπορεί να γίνει με την προσθήκη μεταλλικών στοιχείων. Ωστόσο, η προσθήκη οποιουδήποτε στοιχείου στο PCM θα μειώσει ή θα εξαλείψει τη ροή του αέρα στην υγρή του φάση. Άλλη μια προσέγγιση που εξετάζεται για την αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας είναι η τοποθέτηση του PCM σε μεταλλικά αφρολέξ, [16],[38],[40].

5 Παθητική Αποθήκευση Ενέργειας σε Κτίρια με Χρήση PCM

5.1 Γενικά

Τα σημερινά οικιστικά και εμπορικά κτίρια καθίστανται δομικά πιο ελαφριά και ανησυχίες έχουν προκύψει σχετικά με την εσωτερική θερμική άνεση λόγω του μειωμένου δυναμικού αποθήκευσης θερμότητας. Υπάρχει έντονη σύγκρουση μεταξύ της προσπάθειας για την κατασκευή αποτελεσματικότερων δομών, με μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον και της τάσης προσθήκης περισσότερης μάζας στη δομή θερμικής αποθήκευσης. Τα ζητήματα αυτά ενισχύονται περαιτέρω από την παγκόσμια αλλαγή του κλίματος και τη συνεχιζόμενη αύξηση του ενεργειακού κόστους.

Η ιδιότητα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας του PCM βασίζεται στην ικανότητα λανθάνουσας θερμικής αποθήκευσης, δεδομένου ότι μεγάλες ποσότητες ενέργειας μπορούν να αποθηκευτούν σε μικρό όγκο. Ως εκ τούτου, ένα υλικό αλλαγής φάσης μπορεί να απορροφήσει και να απελευθερώσει θερμότητα πιο αποτελεσματικά από τα συμβατικά οικοδομικά υλικά με ελάχιστη αλλαγή στον υπάρχοντα σχεδιασμό κτιρίου.

Όταν τα υλικά αποθήκευσης θερμότητας που αλλάζουν φάση ενσωματώνονται στο περίβλημα του κτιρίου ή στα εσωτερικά δομικά στοιχεία του κτιρίου, κατά τη διάρκεια της ημέρας απορροφούν θερμότητα από το τζάμι και το αδιαφανές περίβλημα. Καθώς το PCM λιώνει, σταθεροποιούν την εσωτερική θερμοκρασία. Την νύχτα, όταν μειώνονται οι θερμοκρασίες του εσωτερικού χώρου, σε σενάρια παθητικής θέρμανσης, το PCM απελευθερώνει την αποθηκευμένη ενέργεια, εμποδίζοντας έτσι την μεγάλη πτώση θερμοκρασίας του χώρου. Σε ορισμένες κτιριακές εγκαταστάσεις, αυτή η κυκλική διαδικασία μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της θερμικής ροής από το υπαίθριο σε εσωτερικούς χώρους, γεγονός που με τη σειρά του μετατοπίζει τα μέγιστα φορτία ψύξης, κατανέμοντας ομοιόμορφα τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και αποφεύγοντας τις ελλείψεις ενέργειας που συχνά συναντώνται κατά τη διάρκεια περιόδων αιχμής. Τα κτιριακά κελύφη ενισχυμένα με PCM προσφέρουν υψηλότερη χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα μάζας από τα συμβατικά δομικά υλικά και παρέχουν ελαφρές κατασκευές με το πλεονέκτημα της αυξημένης θερμικής μάζας. Δεδομένου ότι η διαθέσιμη επιφάνεια για τη μεταφορά θερμότητας είναι σημαντικά μεγαλύτερη στους κτιριακούς χώρους, σε σύγκριση με τις ενσωματωμένες εφαρμογές τοπικής αποθήκευσης θερμότητας, μπορούν να αποθηκευτούν μεγάλες ποσότητες ενέργειας με ελάχιστες διακυμάνσεις στη θερμοκρασία μετάβασης. Ως αποτέλεσμα της

βελτιωμένης θερμικής απόδοσης που αποκτάται από την ενσωμάτωση PCM, μπορούν να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν ελαφρότερα και λεπτότερα κτιριακά κελύφη, [52],[53].

5.2 Ενσωμάτωση Υλικών Αλλαγής Φάσης στα Δομικά Υλικά

Ο τρόπος ενσωμάτωσης των υλικών αλλαγής φάσης έχει υπάρξει κεντρικό θέμα ερευνών τα τελευταία χρόνια. Υπάρχουν διάφορα μέσα ενσωμάτωσης PCM με κυριότερα:

- την Άμεση Ενσωμάτωση
- την Εμβάπτιση
- την Απορρόφηση
- με την μορφή Πολυστρωματικής Σανίδας

5.2.1 Άμεση Ενσωμάτωση

Η άμεση ενσωμάτωση ίσως είναι η πιο οικονομική μέθοδος επειδή απαιτείται πολύ μικρός πρόσθετος εξοπλισμός επεξεργασίας. Υγρό ή κονιοποιημένο υλικό αλλαγής φάσης προστίθεται και αναμιγνύεται με δομικά υλικά όπως είναι ο γύψος και το σκυρόδεμα. Ένα παράδειγμα της μεθόδου είναι, σε επίπεδο εργαστηριακής έρευνας, η δημιουργία γυψοσανίδας αποθήκευσης που παράγεται από την άμεση ενσωμάτωση 21-22% εμπορικού βουτυλεστέρα στο στάδιο παραγωγής της συμβατικής γυψοσανίδας, [54].

5.2.2 Απορρόφηση

Σε αυτή τη μέθοδο, πορώδες δομικό υλικό (όπως γυψοσανίδα, τούβλο ή μπλοκ από σκυρόδεμα) βυθίζεται στο τηγμένο υλικό αλλαγής φάσης, το οποίο απορροφάται από τους πόρους λόγω των τριχοειδών φαινομένων που αναπτύσσονται. Στη συνέχεια το πορώδες υλικό αφαιρείται από το υγρό PCM και αφήνεται να κρυώσει και ενώ το PCM παραμένει στους πόρους του δομικού υλικού. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι επιτρέπει σε κάποιον να μετατρέψει μια συμβατική γυψοσανίδα σε γυψοσανίδα με PCM μέσω του εμποτισμού σε οποιοδήποτε χρόνο και τόπο. Ωστόσο, με τη συγκεκριμένη μέθοδο υπάρχει κίνδυνος διαρροής με το πέρασμα των χρόνων, [52],[55],[56],[57].

5.2.3 Ενθυλάκωση

Οι δυσμενείς επιπτώσεις της συνεργασίας των υλικών αλλαγής φάσης με τα υπόλοιπα υλικά μπορούν να αποφευχθούν όπως αναφέρθηκε και παραπάνω μέσω της ενθυλάκωσης. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι ενθυλάκωσης:

- η μακρο-ενθυλάκωση
- η μικρο-ενθυλάκωση.

Όσον αφορά την μακρο-ενθυλάκωση, το PCM συσκευάζεται σε σωληνάρια, θήκες, σφαίρες, πάνελ και άλλα δοχεία που στη συνέχεια ενσωματώνονται σε δομικά υλικά. Σε μια πειραματική εφαρμογή της μεθόδου αναπτύχθηκε και δοκιμάστηκε ένα πλαίσιο τοίχου στο οποίο ενσωματώθηκε υψηλής κρυστάλλωσης παραφίνη. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το τοίχωμα είχε μειώσει τις θερμοροές αιχμής κατά 38%. Ωστόσο, τα διάφορα δοχεία που περιέχουν το υλικό αλλαγής φάσης έχουν το μειονέκτημα ότι χρειάζονται προστασία από την καταστροφή και απαιτούν περισσότερες εργασίες για την ενσωμάτωσή τους στη δομή του κτιρίου και επομένως αύξηση του κόστους. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η μείωση του ρυθμού μεταφοράς κατά τη διάρκεια της διαδικασίας στερεοποίησης με μικρούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας του PCM στη στερεά κατάσταση, [52],[58],[59].

Η μικρο-ενθυλάκωση είναι μια μέθοδος κατά την οποία μικρά σωματίδια του υλικού αλλαγής φάσης περικλείονται σε ένα λεπτό, με υψηλό μοριακό βάρος πολυμερικό φιλμ το οποίο θα πρέπει να είναι συμβατό τόσο με το PCM όσο και με τα δομικά υλικά. Στα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η εύκολη εφαρμογή, η καλή μεταφορά θερμότητας λόγω της αυξημένης επιφάνειας συναλλαγής και το ότι δεν υπάρχει η ανάγκη προστασίας από καταστροφή ενώ μειονεκτεί στο ότι μπορεί να επηρεάσει τη μηχανική αντοχή της δομής, [52],[58],[60].

5.2.4 Πολυστρωματική σανίδα από PCM

Ένα υλικό αλλαγής φάσης μπορεί επίσης να ενσωματωθεί σε μια πολυστρωματική σανίδα και να χρησιμοποιηθεί ως δομικό στοιχείο (όπως εσωτερική επένδυση τοίχων) του κτιριακού κελύφους. Πειραματικές και αριθμητικές μελέτες σχετικά με την απόδοση των πολυστρωματικών σανίδων κατέληξαν στα εξής συμπεράσματα:

- Η πολυστρωματική σανίδα πέτυχε περίπου 17% μείωση της διάρκειας ανάκτησης θερμότητας.
- Η αύξηση της ροής θερμότητας ήταν της τάξεως του 20-50%.
- Η μεταφοράς θερμότητας αυξήθηκε κατά 7-18%.

Καταλήγοντας στο γενικό συμπέρασμα ότι η πολυστρωματική σανίδα είναι θερμικά καλύτερη, [52],[60],[61].

5.3 Κτιριακές Εφαρμογές

Η εφαρμογή των υλικών αλλαγής φάσης στα κτίρια για θέρμανση και ψύξη μπορεί να βασίζεται σε δύο διαφορετικούς μεθόδους. Είτε στην εκμετάλλευση της φυσικής θερμότητας όπως είναι η ηλιακή ενέργεια για θέρμανση ή ο νυκτερινός δροσισμός για ψύξη είτε στην χρήση τεχνητών πηγών θέρμανσης και ψύξης. Σε κάθε περίπτωση, η αποθήκευση ενέργειας είναι απαραίτητο να ταιριάζει με τη διαθεσιμότητα και την ζήτηση σε σχέση με το χρόνο.

Υπάρχουν δυο διαφορετικοί τρόποι για τη χρήση των PCM για παθητική θέρμανση και ψύξη κτιρίων:

- Η χρήση PCM στην τοιχοποιία
- Η χρήση PCM σε άλλα κατασκευαστικά στοιχεία εκτός των τοίχων

Διάφορες εφαρμογές αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας που μελετήθηκαν για την παθητική θέρμανση και ψύξη κτιρίων είναι οι εξής:

- Τοίχοι με PCM
- Τοίχος Trombe με PCM
- Παραθυρόφυλλα με PCM
- Σύστημα Θέρμανσης με PCM
- Ενδοδαπέδια Θέρμανση με PCM
- Οροφές με PCM.

5.3.1 Τοίχοι με PCM

Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν ενσωματωθεί με επιτυχία στην τοιχοποιία επιτυγχάνοντας αύξηση της χωρητικότητας αποθήκευσης θερμότητας των κτιρίων καθώς δίνουν τη δυνατότητα στον τοίχο να αποθηκεύσει ενέργεια με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας και να την αποδώσει στο χώρο, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί. Ουσιαστικά προσφέρουν δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας, μετατόπισης φορτίου αιχμής και αυξημένης θερμικής άνεσης στα κτίρια. Η επιλογή του κατάλληλου υλικού αλλαγής φάσης είναι διαφορετική από τοποθεσία σε τοποθεσία, από κτίριο σε κτίριο ακόμα και από τοίχο σε τοίχο του ίδιου κτιρίου για διαφορετικούς προσανατολισμούς.

Οι τρόποι ενσωμάτωσης των υλικών αλλαγής φάσης στους τοίχους είναι:

- Οι γυψοσανίδες με PCM. Εξαιτίας της χαμηλής τιμής τους γενικά οι γυψοσανίδες χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές κάτι που τις καθιστά κατάλληλες για μακρο-ενθυλάκωση των υλικών αλλαγής φάσης.
- Δομικά στοιχεία με PCM. Τα δομικά στοιχεία ή τα δομικά υλικά εμποτισμένα με PCM χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή ενός κτιρίου, με αποτέλεσμα την δημιουργία μιας κατασκευής με μεγάλη θερμική αδράνεια χωρίς την μεγάλη μάζα που συνήθως συνεπάγεται. [52],[63],[64].

5.3.2 Τοίχος Trombe με PCM

Παραδοσιακά οι τοίχοι Trombe βασίζονται στην αποθήκευση αισθητής θερμότητας αλλά λόγω της δυνατότητας μεγαλύτερης αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα μάζας ένας τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης αποτελεί μια πολύ ελκυστική ιδέα. Για μια δεδομένη ποσότητα αποθηκευμένης θερμότητας ένας τοίχος Trombe με υλικά αλλαγής φάσης καταλαμβάνει λιγότερο χώρο από ότι οι τοίχοι νερού ή οι συμβατικοί τοίχοι μεγάλης μάζας και είναι και πολύ ελαφρύτερος. Συνεπώς είναι πολύ βολική η χρήση του σε εκσυγχρονισμένες εφαρμογές κτιρίων. Σχετική έρευνα κατέληξε στο συμπέρασμα ότι τοίχος Trombe με PCM πάχους 8.1 cm μπορεί να έχει ελαφρώς καλύτερη θερμική απόδοση από έναν συμβατικό τοίχο μεγάλης μάζας πάχους 40 cm. Η ενσωμάτωση των υλικών αλλαγής φάσης στους τοίχους Trombe γίνεται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και στην απλή τοιχοποιία, [37],[52],[66].

5.3.3 Παραθυρόφυλλα με PCM

Η τοποθέτηση υλικών αλλαγής φάσης μπορεί να γίνει στα παραθυρόφυλλα-περσίδες των παραθύρων. Οι περσίδες οι οποίες περιέχουν PCM κατά τη διάρκεια της ημέρας παραμένουν ανοιχτές έτσι, ώστε η εξωτερική τους πλευρά να είναι εκτεθειμένη στην ηλιακή ακτινοβολία, συνεπώς το PCM απορροφά την ακτινοβολία, την αποθηκεύει ως λανθάνουσα θερμότητα και τήκεται. Κατά την διάρκεια της νύχτας, οι περσίδες κλείνουν και η αποθηκευμένη θερμότητα μεταδίδεται μέσω του παραθύρου στους εσωτερικούς χώρους, [65],[66],[67].

5.3.4 Σύστημα θέρμανσης με PCM

Οι Morrision και Abdel Khalik και οι Jurinak και Abdel Khalik μελέτησαν την απόδοση των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης με αέρα χρησιμοποιώντας ως μονάδα αποθήκευσης ενέργειας υλικά αλλαγής φάσης. Οι κύριοι στόχοι της εργασίας τους ήταν ο προσδιορισμός της επίδρασης της λανθάνουσας θερμότητας και της θερμοκρασίας

τήξης του υλικού αλλαγής φάσης στο ηλιακό σύστημα θέρμανσης με αέρα και η ανάπτυξη ενός εμπειρικού μοντέλου σημαντικών μονάδων αποθήκευσης ενέργειας με υλικά αλλαγής φάσης. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το PCM πρέπει να επιλεγεί με βάση το σημείο τήξης και τη λανθάνουσα θερμότητα και ότι σύστημα που βασίζεται στον αέρα και χρησιμοποιεί δεκαϋδρικό θειικό νάτριο ως αποθηκευτικό μέσο απαιτεί περίπου το ένα τέταρτο του όγκου αποθήκευσης ενός βράχου και το μισό του όγκου αποθήκευσης μιας δεξαμενής νερού. Οι Ghonein και Klein συνέκριναν θεωρητικά την απόδοση της αλλαγής φάσης και της αποθήκευσης αισθητής θερμότητας για ηλιακό σύστημα θέρμανσης αέρα και νερού κάνοντας χρήση δεκα-ένυδρου θειικού νάτριο και παραφίνης ως PCM καταλήγοντας σε παρόμοια αποτελέσματα με τους Morrison και Abdel Khalik.

5.3.5 Ενδοδαπέδια Θέρμανση με PCM

Το δάπεδο είναι ένα επίσης σημαντικό μέρος ενός κτιρίου και η θέρμανση και η ψύξη των κτιρίων προσπάθησε να το εκμεταλλευτεί. Η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης εγγυάται μεγάλη αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας, βελτιώνοντας έτσι το επίπεδο θερμικής άνεσης. Οι Athienities και Chen επικεντρώθηκαν στη μελέτη του φαινομένου μεταφοράς θερμότητας στα ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης. Επικεντρώθηκαν στην συμβολή που έχουν τόσο η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία όσο και η επένδυση του πατώματος στη θερμοκρασιακή κατανομή κατά μήκος αυτού και στην κατανάλωση ενέργειας. Μελέτησαν πως επηρεάζει η χρήση χαλιών, πλήρους η μερικής κάλυψης καθώς και η ξύλινη επένδυση πατώματος πάνω από τσιμέντο ή μίγμα γύψου τσιμέντου. Τα πειραματικά αποτελέσματα αποκάλυψαν ότι η θερμοκρασία, που προκαλείται από την εκπεμπόμενη ηλιακή ακτινοβολία στην προσπίπτουσα φωτισμένη περιοχή του δαπέδου, είναι αυξημένη κατά 8°C σε σχέση με τη θερμοκρασία της σκιασμένης, ενώ η χρήση χαλιού αυξάνει τη διαφορά θερμοκρασίας στους 15°C. Η ενέργεια που αποθηκεύεται στη θερμική μάζα του δαπέδου συμβάλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης για θέρμανση κατά τουλάχιστον 30%, [66],[68],[69],[70].

5.3.6 Οροφές με PCM

Οι Koschenz και Lehmann ανέπτυξαν ένα πάνελ οροφής με παραφίνη ως υλικό αλλαγής φάσης για εφαρμογή σε κτίρια. Η προσομοίωση τους και τα αποτελέσματα των δοκιμών έδειξαν ότι ένα στρώμα 5 cm με μικρο-ενθυλακωμένο το υλικό αλλαγής φάσης (25% κατά βάρος) και γύψο είναι επαρκές για την διατήρηση μιας άνετης θερμοκρασίας δωματίου βάσει των προδιαγραφών για κτίρια που στεγάζουν γραφεία.

Οι αναγκαίες θερμικές ιδιότητες των πάνελ οροφής προσδιορίστηκαν με υπολογισμούς προσομοίωσης και καθορίστηκαν οι απαιτήσεις για τα υλικά.

Άλλο ένα σύστημα θέρμανσης που περιλαμβάνει τοποθέτηση PCM στο διάκενο της οροφής ανέπτυξαν οι Guthertz και Schiler .Το συγκεκριμένο περιλάμβανε τοποθέτηση ηλιακών κάτοπτρων για να οδηγηθεί η ηλιακή ακτινοβολία από τα παράθυρα προς τα PCM. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου συστήματος είναι η δυνατότητα του αποθήκευσης θερμότητας, χωρίς την απαίτηση μεγάλων όγκων μέσου αποθήκευσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι με το συγκεκριμένο σύστημα μπορούν να ανακτηθούν από 17-36% της χαμένης θερμότητας.

Τέλος η επίδραση χρήσης PCM στις οροφές κτιρίων με γραφεία για ψύξη μελετήθηκε από τους Kodo και Ibamoto. Η μονωτική επένδυση της σανίδας οροφής ήταν εμπλουτισμένη με μικρο-ενθλακωμένο υλικό αλλαγής φάσης σημείου τήξης γύρω στους 25°C. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, από τη μονάδα διαχείρισης αέρα, εισέρχεται ψυχρός αέρας στο χώρο ψύχοντας τη σανίδα, με το PCM να αποθηκεύει ψυκτική ενέργεια στο εσωτερικό του και αυτή να αποδίδεται όταν το θερμικό φορτίο αυξηθεί. Από την πειραματική μελέτη αποδείχθηκε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιώντας το PCM είναι της τάξης των 2°C, ενώ στην περίπτωση απουσίας PCM έφτασε τους 6°C ,[66],[71],[72].

6 Ενεργειακή Προσομοίωση Κτιρίου

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να εξεταστεί η επίδραση των υλικών αλλαγής φάσης στο παθητικό ηλιακό σύστημα εμμέσου κέρδους, τον τοίχο Trombe - Michel. Αυτός είναι και ο λόγος ο οποίος έχει επιλεγεί ένα μοντέλο απλοποιημένης κατοικίας που αποτελείται μόνο από ένα δωμάτιο, ώστε να δοθεί βάση στην ενεργειακή απόδοση της διάταξης του τοίχου Trombe.

Η ιδέα χρήσης των υλικών αλλαγής φάσης στην συγκεκριμένη διάταξη προέκυψε από το γεγονός ότι το συγκεκριμένο σύστημα απαιτεί μεγάλη θερμική μάζα για την αποθήκευση θερμότητας, κάτι το οποίο στα συμβατικά δομικά υλικά συνεπάγεται ογκώδεις και βαριές κατασκευές. Από την άλλη μεριά τα υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να αυξήσουν την χωρητικότητα αποθήκευσης θερμότητας των κτιρίων καθώς δίνουν τη δυνατότητα στον τοίχο να αποθηκεύσει ενέργεια με τη μορφή λανθάνουσας θερμότητας και να την αποδώσει στο χώρο, όταν η θερμοκρασία του μειωθεί έχοντας πολύ μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας ανά μονάδα όγκου.

Η επιλογή του κατάλληλου υλικού αλλαγής φάσης έγινε έπειτα από μελέτη της θερμοκρασίας που επικρατούσε στο διάκενο του τοίχου Trombe-Michel καθώς το σημείο τήξης του πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να μπορεί να αποθηκεύσει και να αποδώσει την θερμότητα όποτε είναι απαραίτητο.

Η διάταξη του τοίχου Trombe ενώ ενδείκνυται για την θέρμανση κτιρίων κατά την διάρκεια του χειμώνα, το καλοκαίρι επιβαρύνει την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου καθώς οδηγεί σε υπερθέρμανση. Για αυτό το λόγο, για την μετατροπή της διάταξης σε μια διάταξη η οποία θα είναι αποδοτική για όλη την διάρκεια του χρόνου, τοποθετείται συσκευή σκίασης, πιο συγκεκριμένα περσίδες υψηλής ανακλαστικότητας, στο υαλοστάσιο του τοίχου Trombe. Σκοπός της τοποθέτησης τους είναι κυρίως η προστασία από την ηλιακή ακτινοβολία κατά τους θερινούς μήνες. Η λειτουργία της όμως κατά την διάρκεια της νύχτας τον χειμώνα μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική μόνωση ώστε να αποφεύγεται η εκπομπή της θερμότητας του διακένου από το υαλοστάσιο.

6.1 Γενική Περιγραφή Κτιρίου

Το κτίριο το οποίο προσομοιώθηκε με το λογισμικό Energyplus σχεδιάστηκε με το λογισμικό Sketch Up μαζί με την βοήθεια του Open Studio Plug in. Πρόκειται για την απλοποιημένη μορφή μιας κατοικίας η οποία απαρτίζεται από ένα δωμάτιο και μια διάταξη τοίχου Trombe. Η περιοχή προσομοίωσης είναι η Αθήνα με γεωγραφικό μήκος $23^{\circ} 7'$ και γεωγραφικό πλάτος $37^{\circ} 9'$ ενώ το κτίριο βρίσκεται σε υψόμετρο 15 m.

Το δωμάτιο έχει εμβαδό 49 m^2 ($7 \text{ m} \times 7 \text{ m}$) και ύψος 3.2 m. Στο κέντρο του δυτικού τοίχου υπάρχει παράθυρο επιφάνειας 3 m^2 ($3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) και μια πόρτα διαστάσεων $1.15 \text{ m} \times 2.25 \text{ m}$ στην ανατολική πλευρά του κτιρίου. Η διάταξη του τοίχου Trombe εκτείνεται στην νότια πλευρά του κτιρίου. Οι άνω και κάτω θυρίδες εξαερισμού έχουν διαστάσεις $6.7 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$ ενώ η θυρίδα αποφόρτισης έχει διαστάσεις $6.7 \text{ m} \times 0.1 \text{ m}$. Το υαλοστάσιο του έχει εμβαδό 10.24 m^2 και βρίσκεται σε απόσταση 0.1 m από τον τοίχο θερμικής μάζας, ο οποίος ουσιαστικά είναι ο νότιος τοίχος του δωματίου.

Ο χωρισμός του κτιρίου σε θερμικές ζώνες έγινε βάσει των προτύπων του KENAK στις εξής δύο θερμικές ζώνες:

- Την κύρια θερμική ζώνη της κατοικίας (House Zone)
- Την ζώνη που περιέχει την διάταξη του τοίχου Trombe (Trombe Zone)

Στην συγκεκριμένη εργασία εξετάστηκαν τέσσερα διαφορετικά σενάρια.

- Σενάριο 1^ο : Το απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας χωρίς την διάταξη του τοίχου Trombe.
- Σενάριο 2^ο : Το απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας με την διάταξη του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από σκυρόδεμα 40 cm και συνολικό πάχος 45 cm.
- Σενάριο 3^ο : Το απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας με την διάταξη του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από σκυρόδεμα 20 cm, υλικό αλλαγής φάσης BioPCM Q29 πάχους 1 cm και συνολικό πάχος 26 cm.
- Σενάριο 4^ο : Το απλοποιημένο μοντέλο κατοικίας με την διάταξη του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από γυψοσανίδα 4 cm, υλικό αλλαγής φάσης BioPCM Q29 1 cm και συνολικό πάχος 10 cm.

6.2 Λογισμικά Προσομοίωσης

Για την εκπόνηση των ενεργειακών προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα SketchUp 2018, OpenStudio plug-in και EnergyPlus.



6.2.1 Sketch Up 2018

Το SketchUp είναι ένα πρόγραμμα δημιουργίας 3D μοντέλων για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σχεδίασης όπως η αρχιτεκτονική, η μηχανολογία και ο σχεδιασμός παιχνιδιών και ανήκει στην Trimble Inc. Το πρόγραμμα επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη σχεδίαση 3D μοντέλων ενώ υποστηρίζει και προγράμματα «plug-in» άλλων κατασκευαστών που φιλοξενούνται σε μια τοποθεσία που ονομάζεται Extension Warehouse για να παράσχουν άλλες δυνατότητες, [73].



6.2.2 Open Studio plug in

Το Open Studio είναι μια πλατφόρμα που διαθέτει εργαλεία λογισμικού για τη στήριξη ολόκληρης της ενεργειακής μοντελοποίησης του κτιρίου χρησιμοποιώντας το EnergyPlus. Μεταξύ των γραφικών εφαρμογών του περιλαμβάνεται το Plug-in Open Studio για το Sketch Up το οποίο είναι μια επέκταση στο δημοφιλές εργαλείο μοντελοποίησης Sketch Up της Trimble και επιτρέπει στους χρήστες να δημιουργούν γρήγορα τη γεωμετρία που απαιτείται για το EnergyPlus ,[74].



6.2.3 EnergyPlus

Το EnergyPlus είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ενέργειας κτιρίων που χρησιμοποιούν μηχανικοί, αρχιτέκτονες και ερευνητές για την μοντελοποίηση της κατανάλωση ενέργειας - για θέρμανση, ψύξη, εξαερισμό, φωτισμό- ,την επεξεργασία φορτίων και την χρήση νερού σε κτίρια. Βασίστηκε στα προγράμματα BLAST και DOE-2 που αναπτύχθηκαν στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 ως εργαλεία προσομοίωσης ενέργειας και φορτίου και προσπάθησαν να λύσουν

το ίδιο πρόβλημα από δύο ελαφρώς διαφορετικές προοπτικές. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει ένα πλήθος βοηθημάτων, συμπεριλαμβανομένου του IDF Editor, για τη δημιουργία αρχείων εισόδου χρησιμοποιώντας μια απλή διασύνδεση που μοιάζει με υπολογιστικό φύλλο, το EP - Launch για τη διαχείριση αρχείων εισόδου και εξόδου και την εκτέλεση των προσομοιώσεων και το EP - Compare για τη σύγκριση γραφικών των αποτελεσμάτων δύο ή περισσότερων προσομοιώσεων. Τα βασικά χαρακτηριστικά προγράμματος προσομοίωσης EnergyPlus περιλαμβάνουν:

- Ολοκληρωμένη και ταυτόχρονη επίλυση της συμπεριφοράς του κτιρίου αλλά και των διασυνδεδεμένων πρωτεύοντων και δευτερευόντων συστημάτων πραγματοποιώντας επαναλήψεις όταν είναι απαραίτητο.
- Χρονικά βήματα που καθορίζονται από το χρήστη, μικρότερα της μιας ώρας, για την αλληλεπίδραση μεταξύ των θερμικών ζωνών και του περιβάλλοντος καθώς και μεταβλητά χρονικά βήματα για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των θερμικών ζωνών και των συστημάτων HVAC (συστήματα θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού) τα οποία διαφοροποιούνται για να εξασφαλίζεται η σταθερότητα της λύσης.
- ASCII αρχεία σε μορφή κειμένου που περιλαμβάνουν ωριαίες ή και μικρότερου χρονικού βήματος πληροφορίες εισόδου και περιβαλλοντικών συνθηκών και αποτελέσματα με τύπο και μορφή που ορίζονται από το χρήστη.
- Τεχνική επίλυσης με βάση την θερμική ισορροπία των θερμικών φορτίων του κτιρίου, που επιτρέπει τον ταυτόχρονο υπολογισμό των επιδράσεων της ακτινοβολίας και της συναγωγής στην εσωτερική και την εξωτερική επιφάνεια κατά τη διάρκεια κάθε χρονικού βήματος.
- Υπολογισμούς μεταφοράς θερμότητας με χρήση συναρτήσεων στις επιφάνειες των κτιρίων όπως είναι οι τοίχοι, οι στέγες, τα δάπεδα κλπ.
- Βελτιωμένη μοντελοποίηση της μεταφοράς θερμότητας μέσω εδάφους με χρήση μοντέλων που χρησιμοποιούν τρισδιάστατα πεπερασμένα διαστήματα και απλουστευμένες αναλυτικές τεχνικές.
- Συνδυασμένο μοντέλο μεταφοράς θερμότητας και μάζας που υπολογίζει την απορρόφηση / αποβολής υγρασίας με χρήση είτε των συναρτήσεων θερμικής αγωγιμότητας ή του μοντέλου EMPD (Effective Moisture Penetration Depth Model).
- Μοντέλα θερμικής άνεσης που βασίζονται στη δραστηριότητα των ενοίκων, την θερμοκρασία ξηρού βολβού, την υγρασία κλπ.
- Ανισοτροπικό μοντέλο ουρανού για βελτιωμένο υπολογισμό της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στις κεκλιμένες επιφάνειες.

- Προηγμένους υπολογισμούς ανοιγμάτων, που περιέχουν διατάξεις ελεγχόμενων περσίδων και ηλεκτροχρωμικά υαλοστάσια.
- Συστήματα HVAC βασισμένα σε βρόχους που επιτρέπουν στους χρήστες να διαμορφώνουν τυπικά και ελαφρώς τροποποιημένα συστήματα χωρίς να ανασυνθέτουν τον πηγαίο κώδικα του προγράμματος.
- Υπολογισμούς ατμοσφαιρικής ρύπανσης όπως οι εκπεμπόμενες ποσότητες CO₂, SO_x, NO_x, CO και υδρογονανθράκων τόσο για την επί τόπου όσο και για απομακρυσμένη μετατροπή ενέργειας.
- Συνδέσμους με άλλα δημοφιλή περιβάλλοντα προσομοίωσης όπως το WINDOW5, το WINDOW6 και το DElight για να επιτρέψουν την πιο λεπτομερή ανάλυση των κατασκευαστικών στοιχείων

6.2.3.1 EP-Launch

Το EP-Launch είναι μια συνιστώσα της εγκατάστασης του EnergyPlus. Για χρήστες που θέλουν έναν απλό τρόπο επιλογής αρχείων και λειτουργίας του EnergyPlus, το EP-Launch παρέχει αυτό και πολλά άλλα. Επιπλέον, παρέχει στον χρήστη την δυνατότητα να ανοίξει ένα πρόγραμμα επεξεργασίας κειμένου για τα αρχεία εισόδου και εξόδου, να ανοίξει ένα υπολογιστικό φύλλο για τα αρχεία αποτελεσμάτων μετά την επεξεργασία και ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού για το αρχείο αποτελεσμάτων.

6.2.3.2 IDF Editor

Ο επεξεργαστής IDF είναι και αυτός μια συνιστώσα της εγκατάστασης EnergyPlus. Για χρήστες που θέλουν έναν απλό τρόπο δημιουργίας ή επεξεργασίας αρχείων δεδομένων εισόδου EnergyPlus (IDF), ο επεξεργαστής IDF παρέχει αυτήν την υπηρεσία. Ο επεξεργαστής IDF δεν ελέγχει τις εισόδους για την εγκυρότητα, παρόλο που ορισμένα αριθμητικά πεδία επισημαίνονται εάν είναι εκτός εύρους και ορισμένα πεδία κειμένου επισημαίνονται εάν περιέχουν μια μη έγκυρη αναφορά.

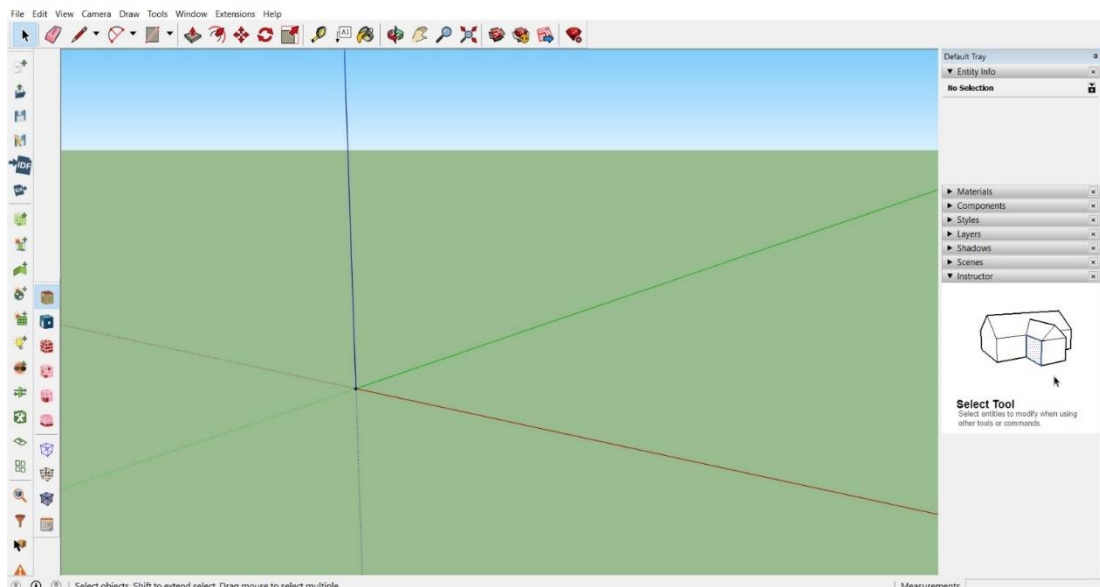
Οι κατηγορίες (Classes) που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργήσουν ένα αρχείο IDF αποτελούνται από μια ομάδα αντικειμένων (Objects) μέσω των οποίων εισάγονται οι επιθυμητές ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά του κτιρίου. Για την καλύτερη εποπτεία τους έχουν οργανωθεί σε ομάδες (Groups). Ενδεικτικά κάποιες από αυτές που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα είναι:

- Simulation Parameters: Η συγκεκριμένη ομάδα περιλαμβάνει πληροφορίες οι οποίες επηρεάζουν την προσομοίωση με διάφορους τρόπους.
- Location and Climate: Αυτή η ομάδα αντικειμένων περιγράφει τις συνθήκες περιβάλλοντος για την προσομοίωση.

- Schedules: Η ομάδα αντικειμένων επιτρέπει στον χρήστη να καθορίζει τα χρονοδιαγράμματα πολλών συνιστωσών λειτουργίας του κτιρίου (όπως ο φωτισμός, οι θερμοστατικοί έλεγχοι, η δραστηριότητα των ενοίκων κτλ.).
- Surface Construction Elements: Αυτή η ομάδα αντικειμένων περιγράφει τις φυσικές ιδιότητες και τη διαμόρφωση για το κέλυφος και τα εσωτερικά στοιχεία του κτιρίου όπως είναι οι τοίχοι, οι στέγες, τα δάπεδα, τα παράθυρα και οι πόρτες.
- Thermal Zones and Surfaces: Χωρίς θερμικές ζώνες και επιφάνειες, το κτίριο δεν μπορεί να προσομοιωθεί. Αυτή η ομάδα αντικειμένων περιγράφει τα χαρακτηριστικά της θερμικής ζώνης καθώς και τις λεπτομέρειες κάθε επιφάνειας που πρόκειται να μοντελοποιηθεί.
- Internal Gains: Η συγκεκριμένη ομάδα αντικειμένων περιγράφει όλα εσωτερικά κέρδη που μπορούν υπάρξουν σε έναν χώρο όπως οι άνθρωποι, τα φώτα και διάφοροι τύποι εξοπλισμού.
- Natural Ventilation and Duct Linkage: Στην ομάδα αυτή παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της προσομοίωσης των ροών αέρα πολλαπλών ζωνών που είτε κινούνται από τον άνεμο ή από ένα σύστημα εξαναγκασμένης ροής αέρα.

6.3 Σχεδιασμός κτιρίου στο Sketch Up

Έπειτα από την εγκατάσταση του Open Studio plug-in το περιβάλλον εργασίας του προγράμματος Sketch-up διαμορφώνεται ως εξής:




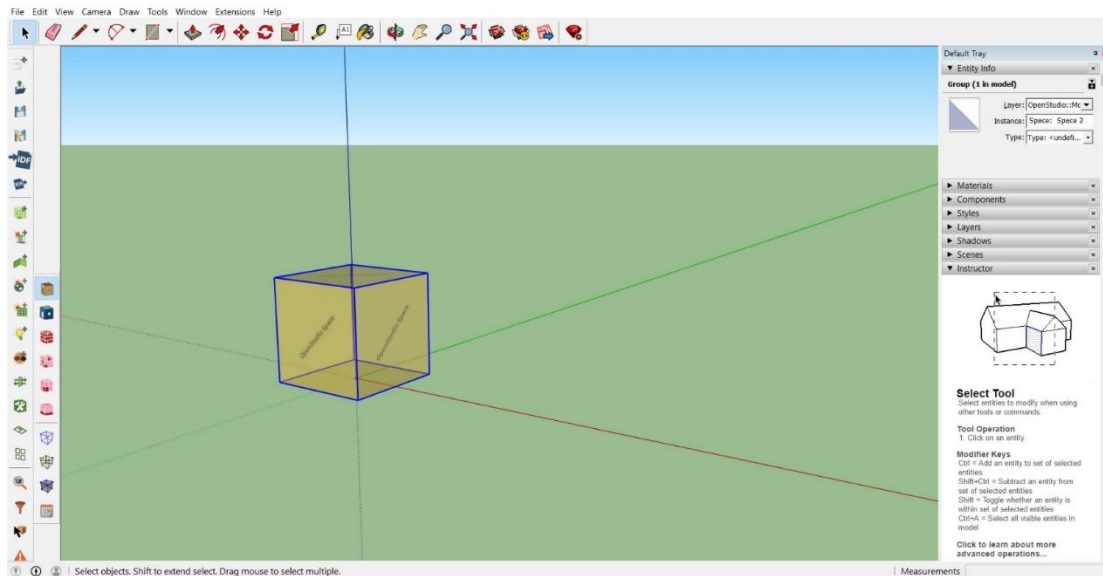
Σχήμα 6.1:Περιβάλλον εργασίας Sketch Up.

Στην οριζόντια γραμμή εργαλείων βρίσκονται τα εργαλεία σχεδίασης του Sketch Up ενώ οι δυο κατακόρυφες στήλες στα αριστερά της οθόνης αποτελούν τα εργαλεία του Open Studio. Οι 3 κατακόρυφες γραμμές της επιφάνειας εργασίας καθορίζουν τον προσανατολισμό του κτιρίου, με την πράσινη να αντιπροσωπεύει τον βορρά.

6.3.1 Σχεδιασμός Κύριας Θερμικής Ζώνης (House Zone)

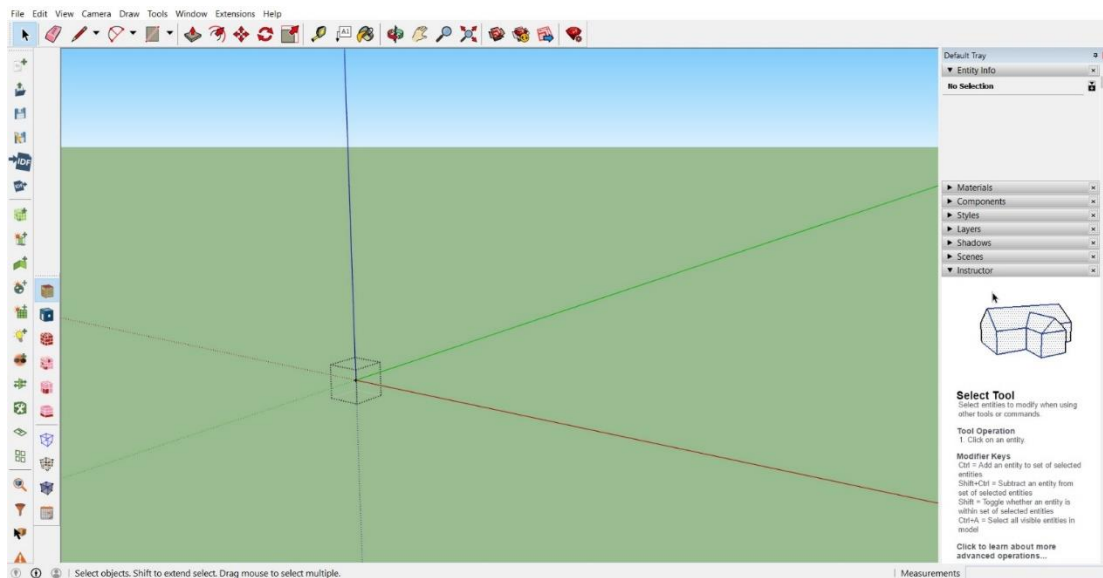
Δημιουργία Κτιριακού Κελύφους Κύριας Θερμικής Ζώνης

Για τον σχεδιασμό του κτιρίου αρχικά εισάγεται η κύρια θερμική ζώνη (House Zone) μέσω του εργαλείου του Open Studio **New Space**  και πατώντας στη συνέχεια σε ένα σημείο της επιφάνειας εργασίας εμφανίζεται ένας κύβος με μπλε ακμές οι οποίες ουσιαστικά αποτελούν τα όρια της θερμικής ζώνης.




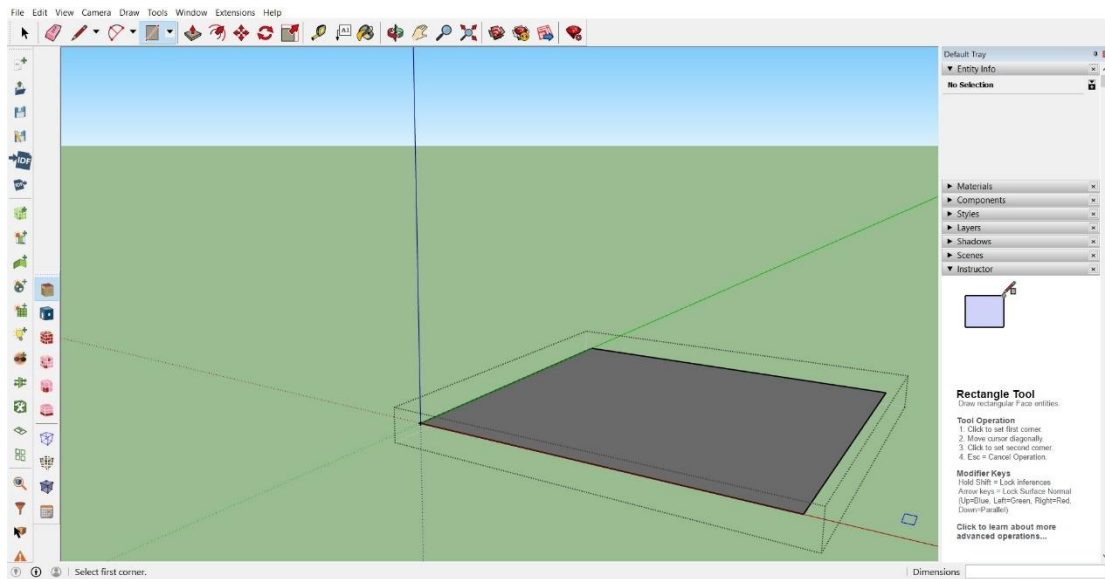
Σχήμα 6.2: Εισαγωγή Κύριας Θερμικής Ζώνης (House Zone).

Κάνοντας διπλό κλικ στον κύβο, ενεργοποιείται η θερμική ζώνη όπου ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει ένα νέο χώρο του οποίου οι επιφάνειες του θα αναγνωρίζονται ως κατασκευή αργότερα από το EnergyPlus.




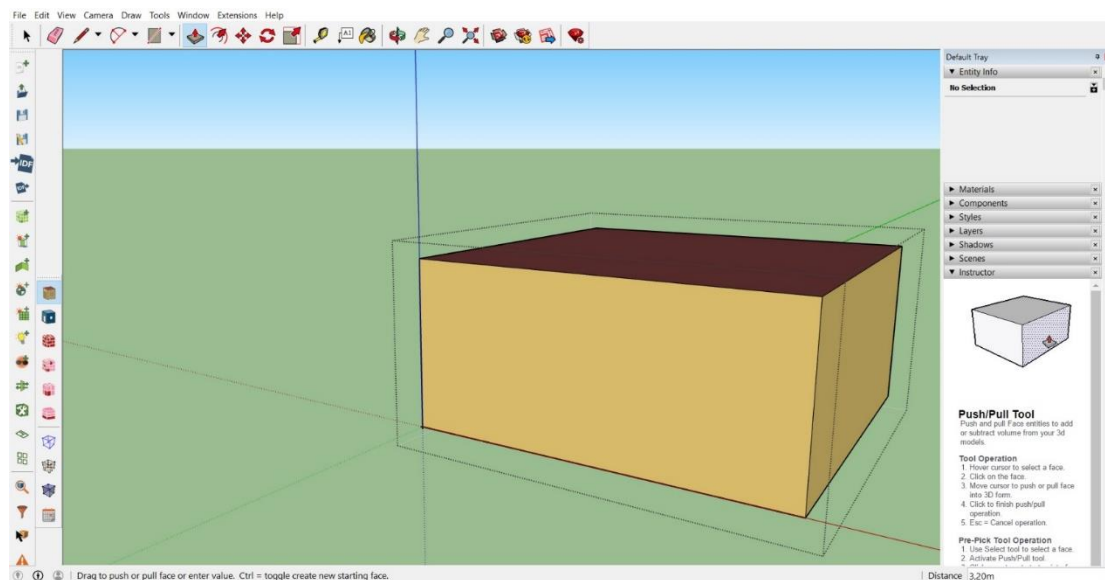
Σχήμα 6.3: Ενεργοποίηση Κύριας Θερμικής Ζώνης (House Zone).

Με χρήση της εντολής του Sketch Up **Shapes->Rectangle**  σχεδιάζεται το περίγραμμα της κάτοψης του χώρου με διαστάσεις 7m x 7m οι οποίες θα φαίνονται στο πλαίσιο **Dimensions** κατά την πληκτρολόγησή τους.




Σχήμα 6.4: Σχεδιασμός Κάτοψης Κτιρίου.

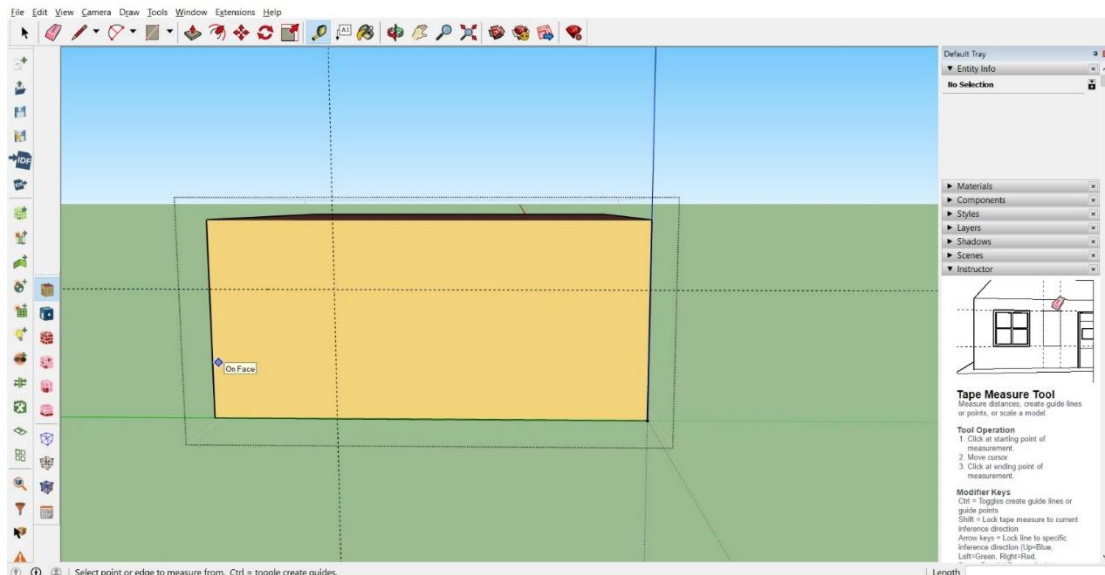
Με χρήση της εντολής του Sketch Up **Push/Pull**  υψώνεται η κάτοψη στο επιθυμητό ύψος των 3.2 m . Δημιουργείται με αυτό τον τρόπο το τελικό κέλυφος της κύριας ζώνης (House Zone) του κτιρίου. Είναι εμφανές ότι το κτίριο έχει διαφορετικά χρώματα στις επιφάνειες (surfaces) ανάλογα με το αν πρόκειται για οροφή, τοίχο ή δάπεδο δείχνοντας έτσι το ότι αναγνωρίζει περί τίνος επιφάνεια πρόκειται χωρίς κάποια ρύθμιση από τον χρήστη.



Σχήμα 6.5: Ολοκλήρωση Σχεδιασμού Κτιριακού Κελύφους Κύριας Θερμικής Ζώνης.

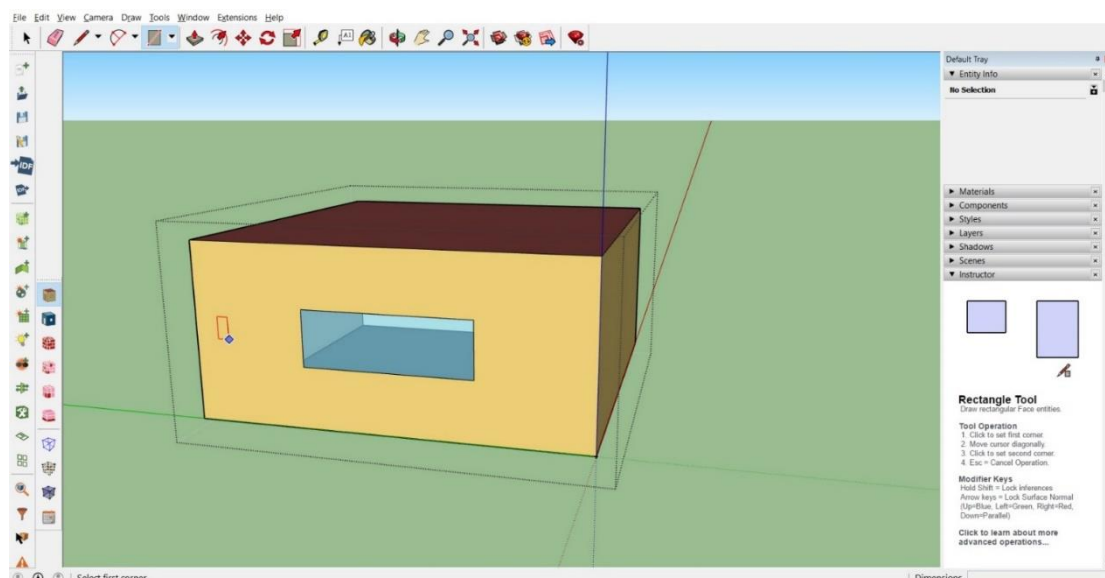
Σχεδιασμός Ανοιγμάτων Κύριας Θερμικής Ζώνης

Με χρήση της εντολής του Sketch Up **Tape Measure Tool**  ορίζονται τα όρια του προς σχηματισμό παραθύρου διαστάσεων 3 m x 1 m στο κέντρο του δυτικού τοίχου του κτιρίου.



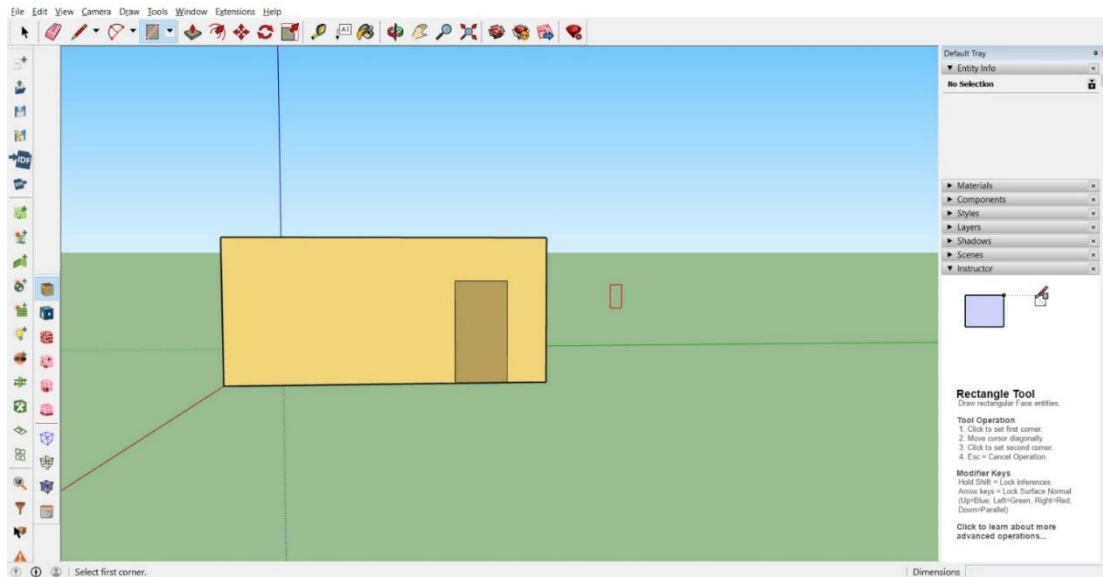
Σχήμα 6.6: Ορισμός ορίων προς σχηματισμού παραθύρων.

Στη συνέχεια με την εντολή του Sketch Up **Shapes->Rectangle**  σχηματίζεται το παράθυρο.



Σχήμα 6.7: Σχηματισμός παραθύρου δυτικού τοίχου.


Με την ίδια εντολή σχηματίζεται και η πόρτα διαστάσεων 1.15 m x 2.25 m στην ανατολική πλευρά του κτιρίου.

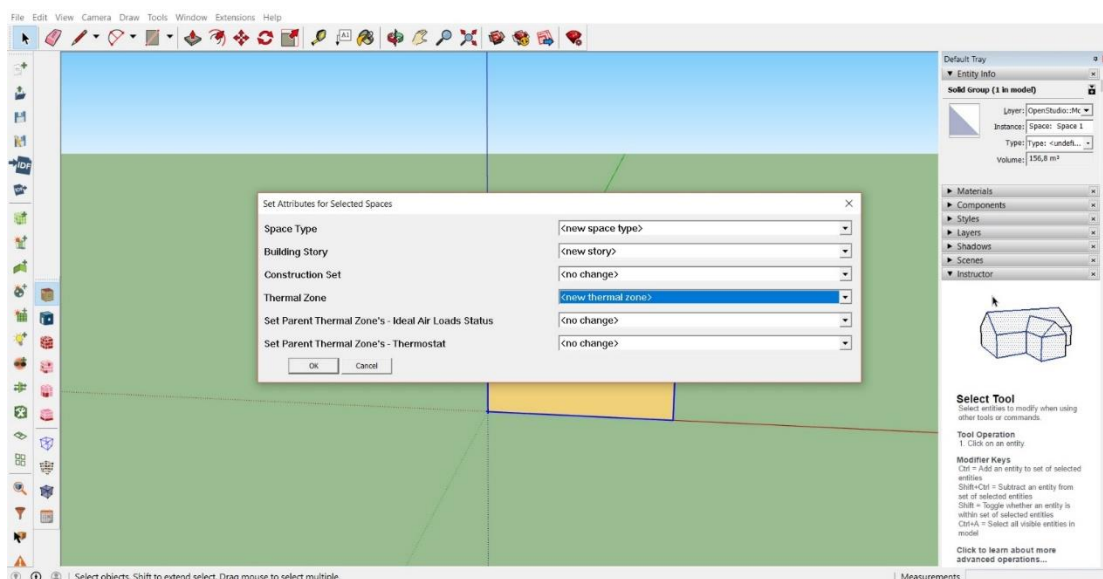


Σχήμα 6.8: Σχηματισμός παραθύρου στην ανατολική όψη του κτιρίου.


Παρατηρείται ότι το πρόγραμμα χωρίς κάποια επέμβαση από τον χρήστη κατά τον σχηματισμό των ανοιγμάτων (subsurfaces) στους τοίχους αναγνωρίζει αν επρόκειτο για παράθυρο ή πόρτα.

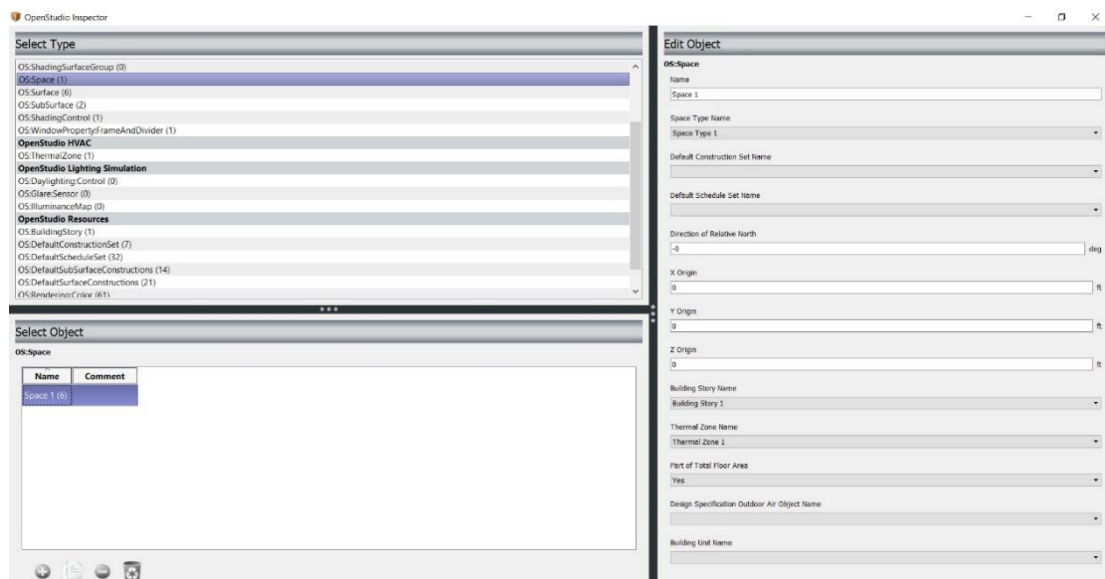
Καθορισμός Χαρακτηριστικών Κύριας Θερμικής Ζώνης

Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού της κύριας θερμικής ζώνης μέσω της εντολής του Open Studio **Set Attributes For Selected Spaces**  θα καθοριστούν τα χαρακτηριστικά της ζώνης.



Σχήμα 6.9: Καθορισμός χαρακτηριστικών Κύριας Θερμικής Ζώνης (House Zone).


Μέσω του εργαλείου του Open Studio **Inspector**  ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ελέγχει όλες τις πληροφορίες των επιφανειών, των χώρων και των θερμικών ζωνών.

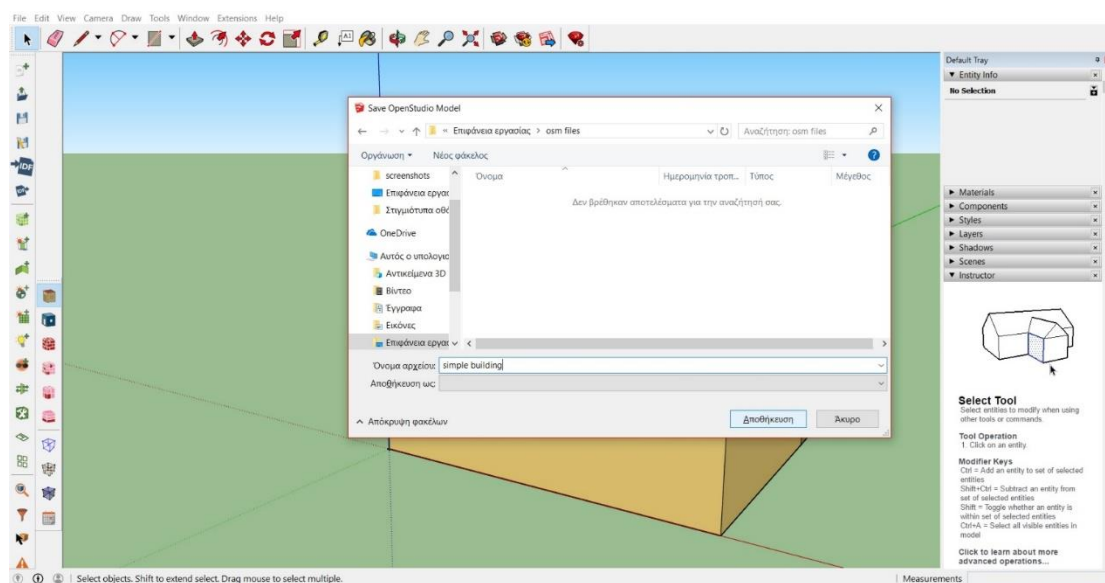


Σχήμα 6.10: Έλεγχος χαρακτηριστικών κτιρίου.

Έτσι ολοκληρώνεται ο σχεδιασμός του απλού κτιρίου χωρίς τον τοίχο Trombe.

Αποθήκευση αρχείου .osm


Με χρήση της εντολής του Open Studio **Save Open Studio Model As**  αποθηκεύεται η κατασκευή του απλού κτιρίου ως αρχείο .osm καθότι θα αποτελέσει ένα από τα τέσσερα σενάρια σύγκρισης.

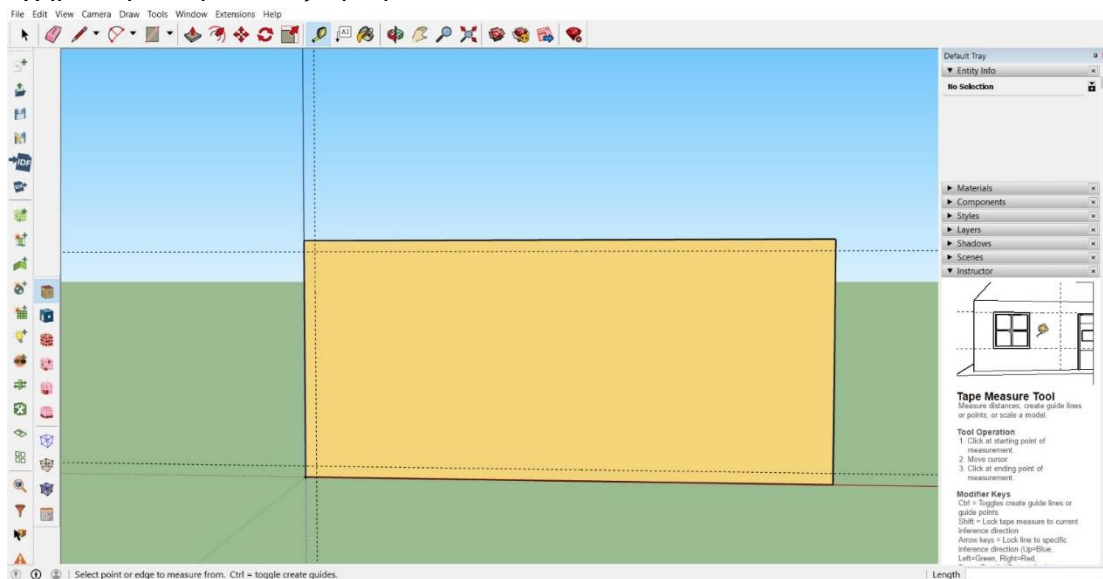


Σχήμα 6.11: Αποθήκευση αρχείου απλού κτιρίου ως αρχείο .osm.

6.3.2 Σχεδιασμός Διάταξης Τοίχου Trombe (Trombe Zone)

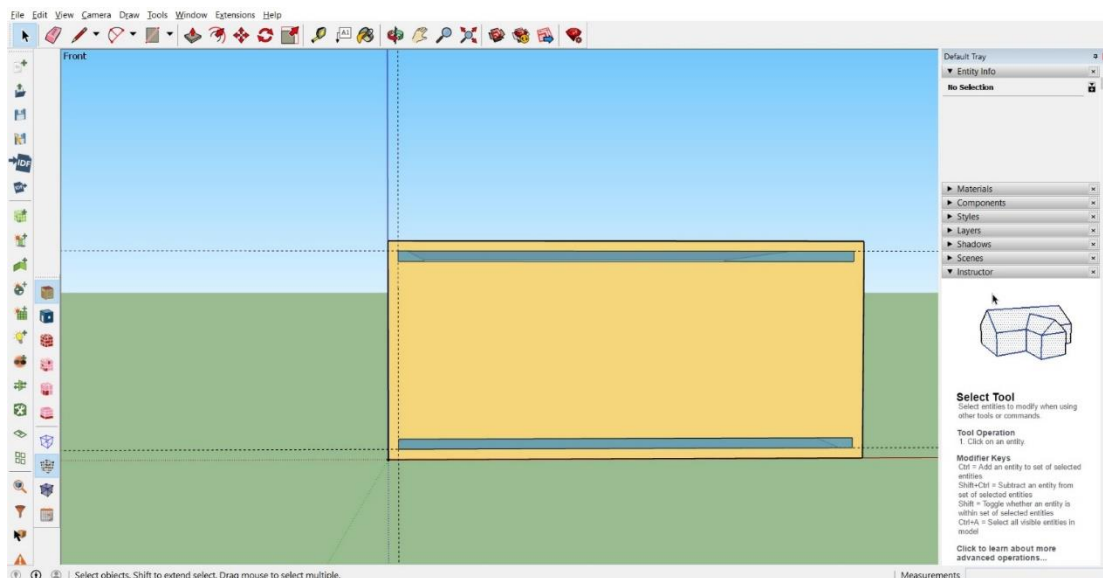
Δημιουργία Θυρίδων Εξαερισμού στον Τοίχο Θερμικής Μάζας (House Zone)

Στη συνέχεια βασιζόμενοι στην κατασκευή του απλού κτιρίου, για τον σχηματισμό της διάταξης του τοίχου Trombe είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός των θυρίδων εξαερισμού. Σε απόσταση 0.15 m από τα όρια της κατακόρυφης επιφάνειας του νότιου τοίχου του κτιρίου τοποθετούνται δύο θυρίδες εξαερισμού, άνω και κάτω, διαστάσεων 6.7 m x 0.15 m. Όμοια με τον σχεδιασμό του δυτικού παραθύρου κάνοντας χρήση της εντολής του Sketch Up **Tape Measure Tool**  ορίζονται τα όρια των προς σχηματισμό θυρίδων εξαερισμού.




Σχήμα 6.12: Προσδιορισμός ορίων για των σχεδιασμό των θυρίδων εξαερισμού.

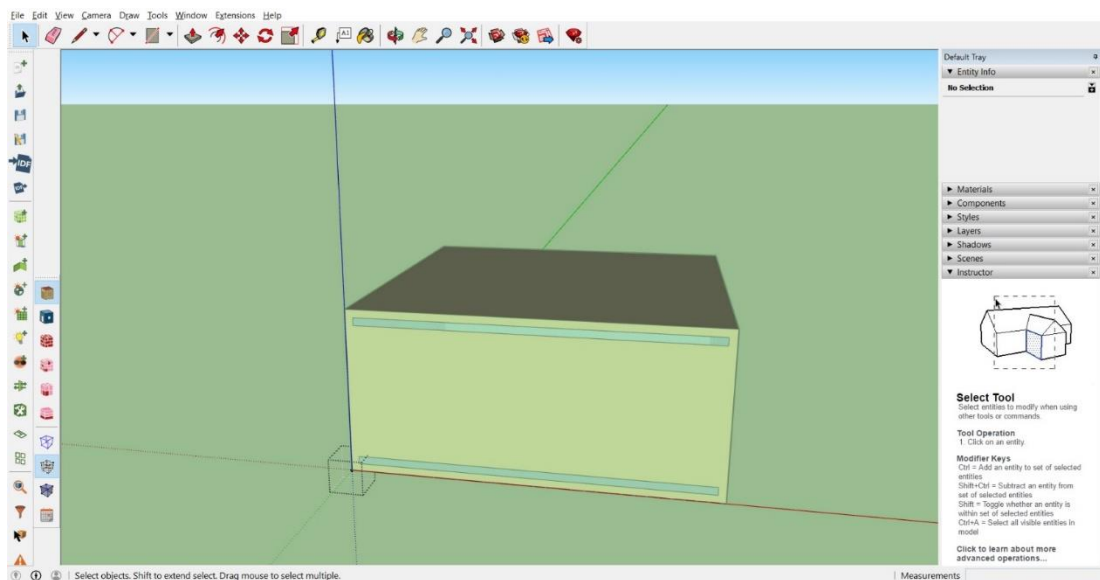
Έπειτα με την εντολή του Sketch Up **Shapes->Rectangle**  σχηματίζονται οι δυο θυρίδες εξαερισμού του τοίχου Trombe.




Σχήμα 6.13: Σχεδιασμός θυρίδων εξαερισμού.

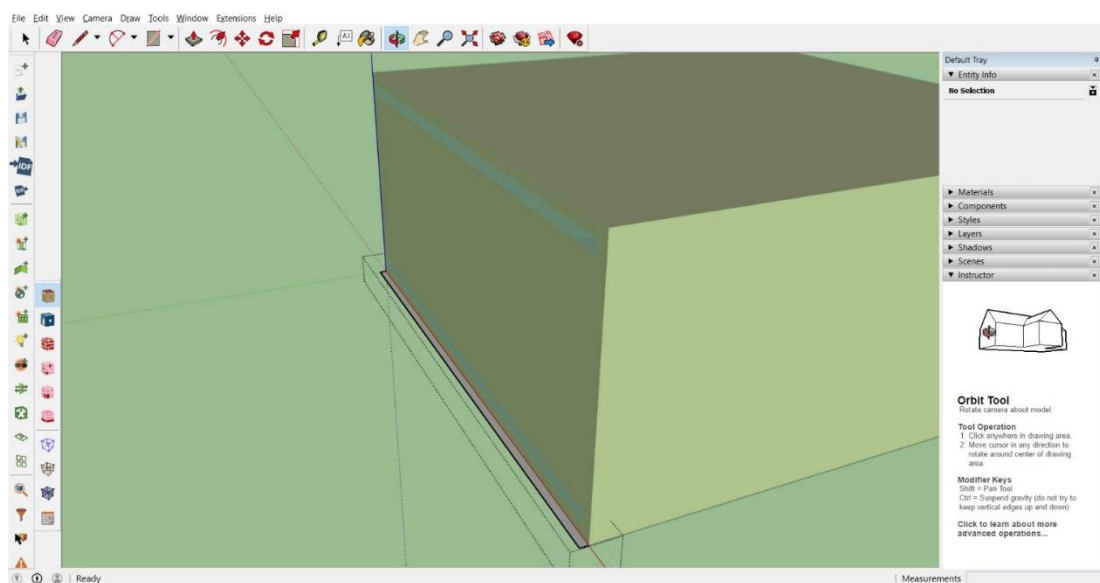
Δημιουργία Κελύφους Διάταξης Τοίχου Trombe

Για την δημιουργία της διάταξης του τοίχου Trombe απαραίτητη είναι η εισαγωγή μια νέας θερμικής ζώνης (Trombe Zone) μέσω του εργαλείου του Open Studio **New Space**  και κατόπιν η ενεργοποίησή της με το διπλό click.




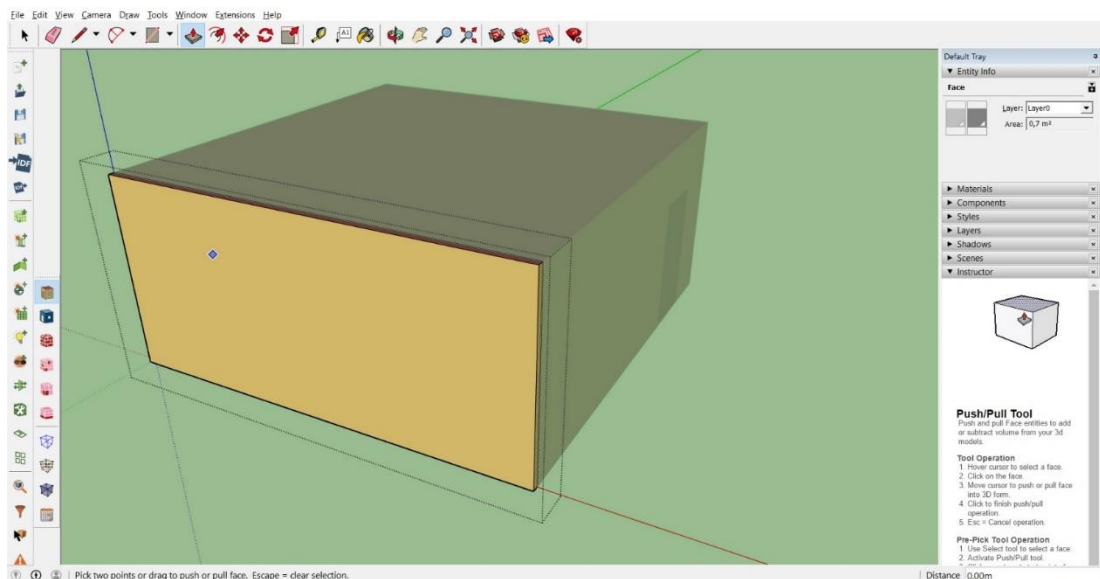
Σχήμα 6.14: Εισαγωγή θερμικής ζώνης τοίχου Trombe (Trombe Zone).

Κάνοντας χρήση της εντολής **Shapes->Rectangle**  του Sketch Up σχεδιάζεται μέσα στη νέα θερμική ζώνη ένα ορθογώνιο διαστάσεων 7 m x 0.10 m το οποίο ουσιαστικά αποτελεί το διάκενο μεταξύ του τοίχου Trombe και του υαλοστασίου.



Σχήμα 6.15: Σχεδιασμός κάτοψης διακένου διάταξης τοίχου Trombe.

Στη συνέχεια με χρήση της εντολής του Sketch Up **Push/Pull**  υψώνεται η κάτοψη του διακένου στο ύψος των 3.2 m , ουσιαστικά στο ύψος του κτιρίου.



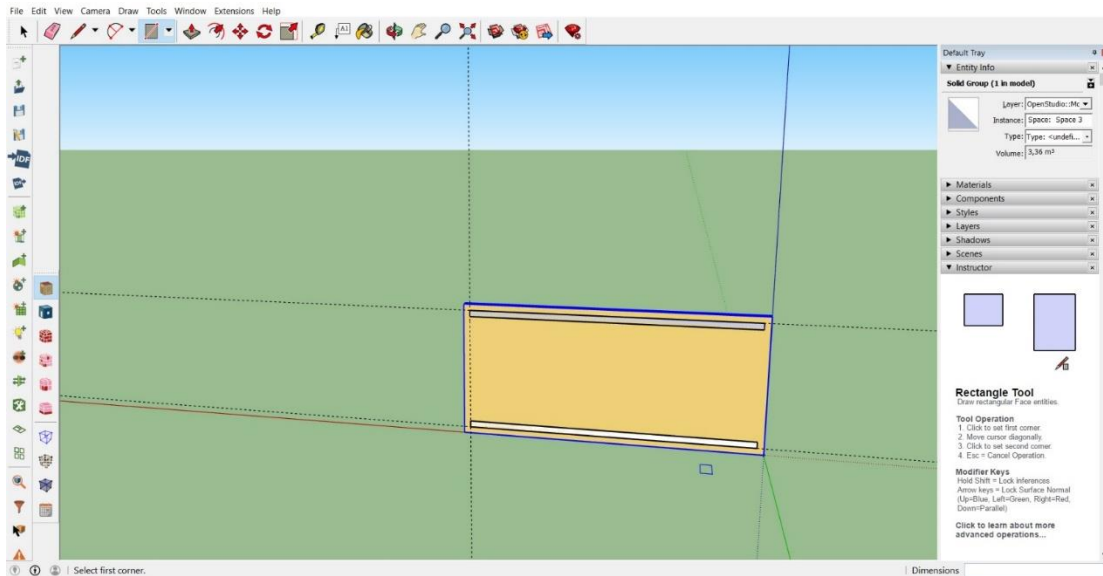
Σχήμα 6.16: Ολοκλήρωση σχεδιασμού διακένου διάταξης τοίχου Trombe.

Έτσι ολοκληρώνεται το τελικό κέλυφος της θερμικής ζώνης του τοίχου Trombe (Trombe Zone) .

Δημιουργία Θυρίδων Εξαερισμού στον Τοίχο Θερμικής Μάζας (Trombe Zone)

Πλέον έχουν σχηματιστεί οι 2 χώροι. Στη συνέχεια, για να υπάρχει η δυνατότητα ταύτισης του νότιου τοίχου του χώρου της κύριας θερμικής ζώνης και τον βόρειου τοίχου της θερμικής ζώνης της διάταξης του τοίχου Trombe (ο οποίος ουσιαστικά είναι ο τοίχος θερμικής μάζας), πρέπει να σχηματιστούν και στον δεύτερο χώρο οι θυρίδες εξαερισμού. Για τον σχηματισμό αρχικά, επιλέγοντας τον κύριο χώρο, με δεξί κλικ και την επιλογή **Hide**, αποκρύπτεται ο χώρος της κύριας θερμικής ζώνης ώστε να είναι ευκολότερη η πρόσβαση στον βόρειο τοίχο του υπό κατασκευή χώρου.


Με ακριβώς την ίδια διαδικασία σχηματίζονται οι θυρίδες εξαερισμού με τις ίδιες διαστάσεις και αποστάσεις με προηγουμένως.

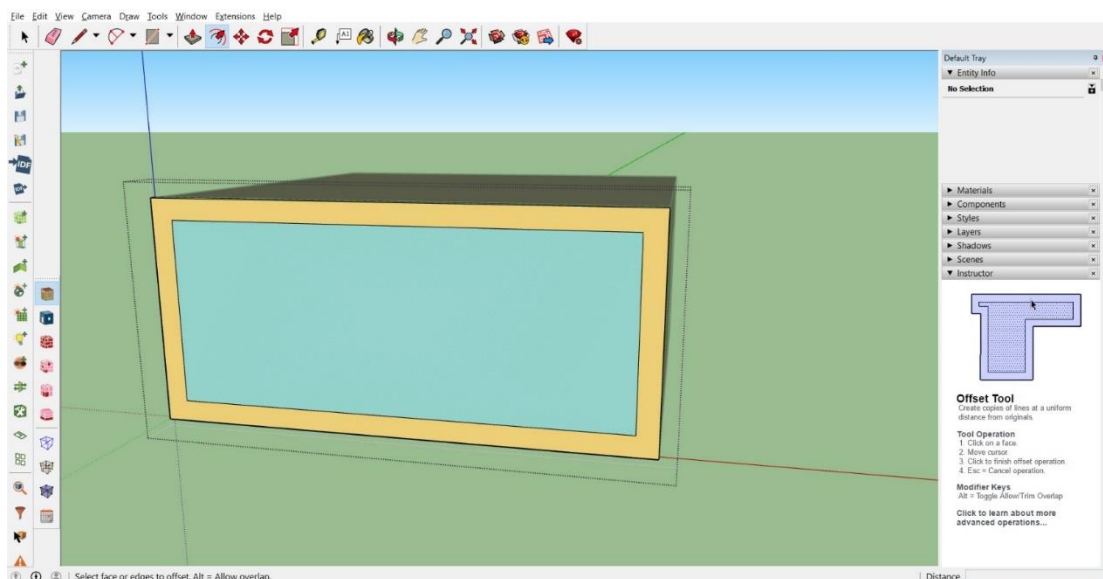


Σχήμα 6.17: Σχεδιασμός θυρίδων εξαερισμού στην ζώνη του τοίχου Trombe (Trombe Zone).

Ενώ στη συνέχεια διακόπτοντας την εντολή απόκρυψης, **Edit>Unhide>All**, εμφανίζονται και πάλι και οι 2 χώροι.


Σχηματισμός Υαλοστασίου Τοίχου Trombe

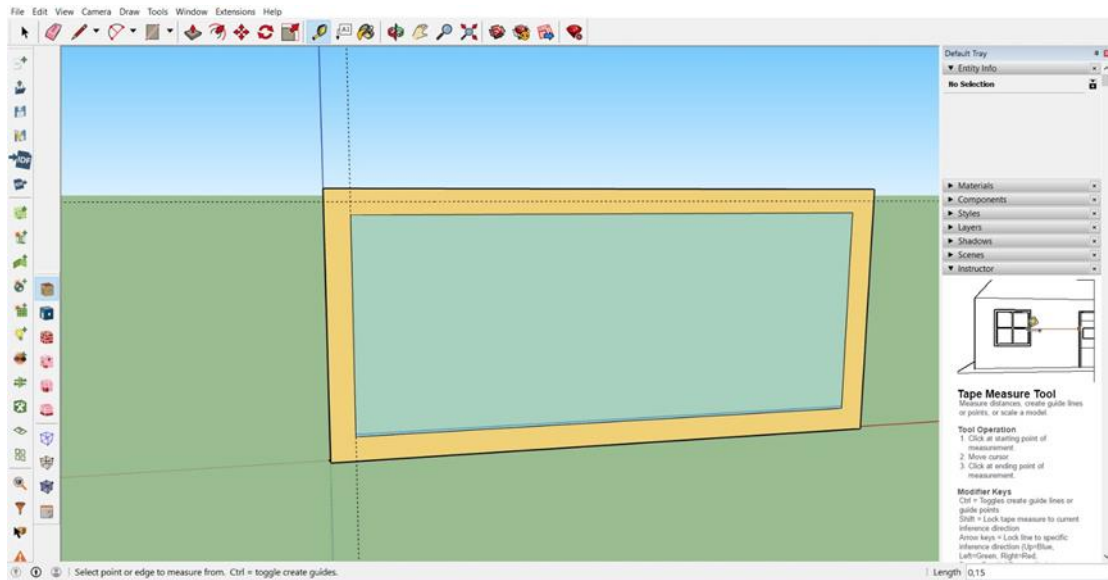
Για τον σχηματισμό του υαλοστασίου της διάταξης θα γίνει χρήση της εντολής του Sketch Up **Offset**  η οποία επιτρέπει την δημιουργία μιας νέας επιφάνειας με ίδιες αναλογίες με την επιλεγόμενη στην επιθυμητή απόσταση που ορίζεται από τον χρήστη. Επομένως επιλέγεται ο νότιος τοίχος του κελύφους της θερμικής ζώνης του τοίχου Trombe και σε απόσταση από τα όρια ίση με 0.3 m σχηματίζεται το υαλοστάσιο.



Σχήμα 6.18: Σχηματισμός υαλοστασίου διάταξης τοίχου Trombe.

Σχηματισμός Θυρίδας Αποφόρτισης

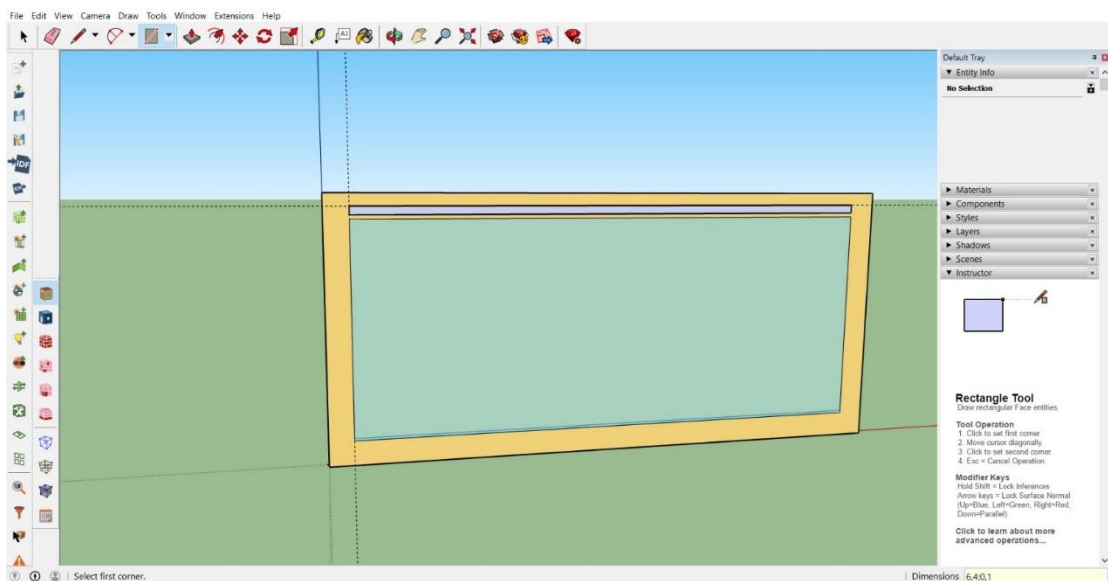
Ομοίως με τον σχηματισμό των παραπάνω θυρίδων εξαερισμού μέσω του εργαλείου του Sketch Up **Tape Measure Tool**  σχηματίζεται άνωθεν του υαλοστασίου τα όρια της προς σχηματισμό θυρίδας εξαερισμού η οποία θα απέχει 0.15 m από τις κατακόρυφες ακμές του νότιου τοίχου, 0.15 m από την άνω οριζόντια ακμή και θα έχει διαστάσεις 6.4 m x 0.10 m.



Σχήμα 6.19: Προσδιορισμός ορίων για τον σχηματισμό της θυρίδας αποφόρτισης.


Ο σχηματισμός των θυρίδων θα γίνει με χρήση της της εντολής **Shapes->Rectangle**

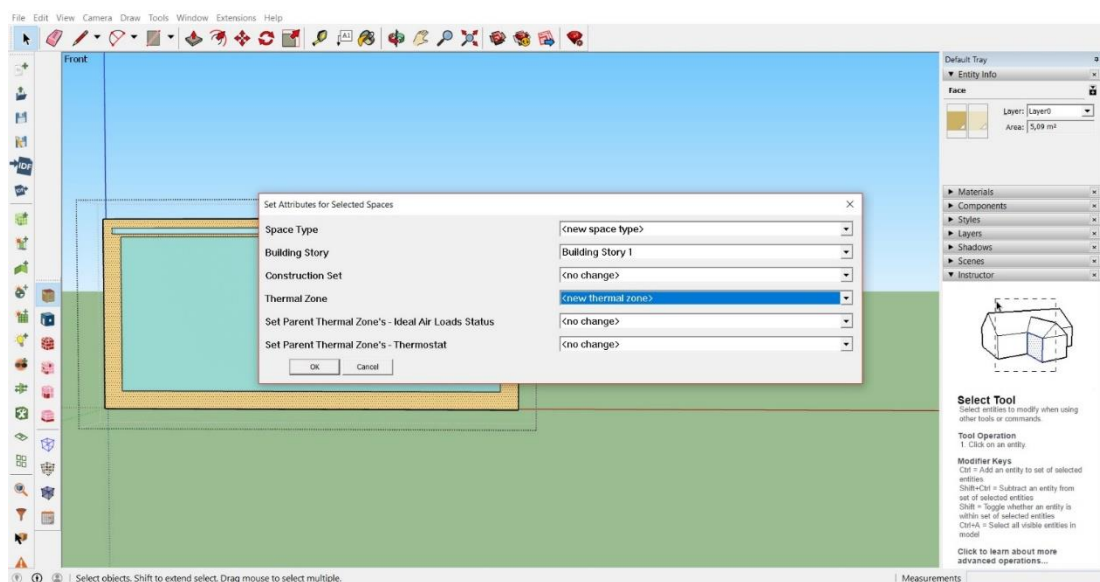
 του Sketch Up.



Σχήμα 6.20: Σχηματισμός θυρίδας αποφόρτισης.


Καθορισμός Χαρακτηριστικών Θερμικής Ζώνης Τοίχου Trombe

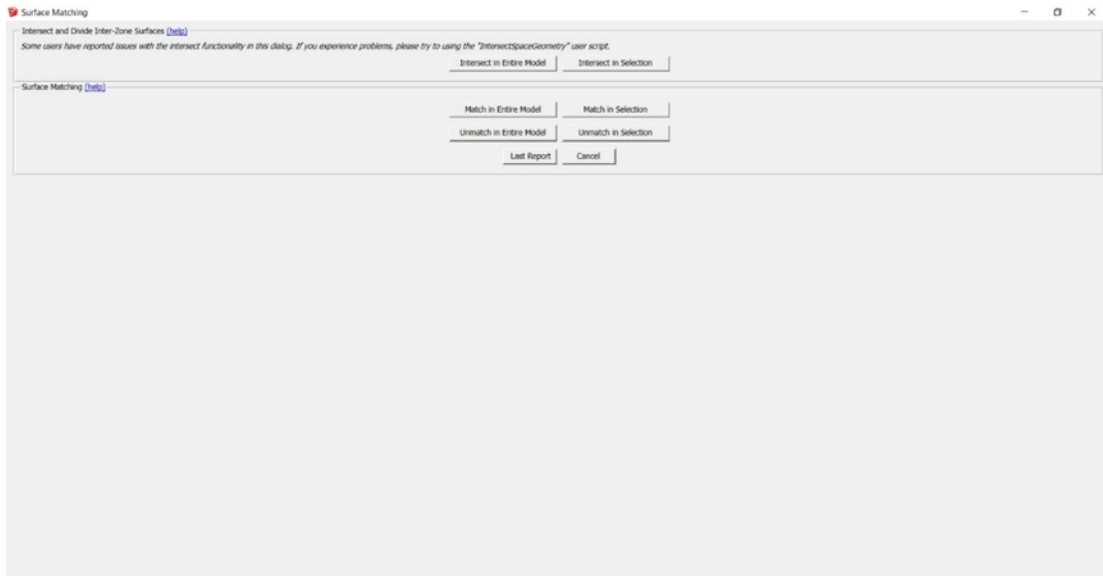
Για να ολοκληρωθεί ο καθορισμός της θερμικής ζώνης του τοίχου Trombe χρησιμοποιείται η εντολή του Open Studio **Set Attributes For Selected Spaces**  . Στην προκειμένη περίπτωση το κτίριο παραμένει ίδιο αλλά υπάρχει νέος χώρος και νέα θερμική ζώνη οπότε οι επιλογές που γίνονται είναι οι εξής.



Σχήμα 6.21: Καθορισμός χαρακτηριστικών θερμικής ζώνης τοίχου Trombe.

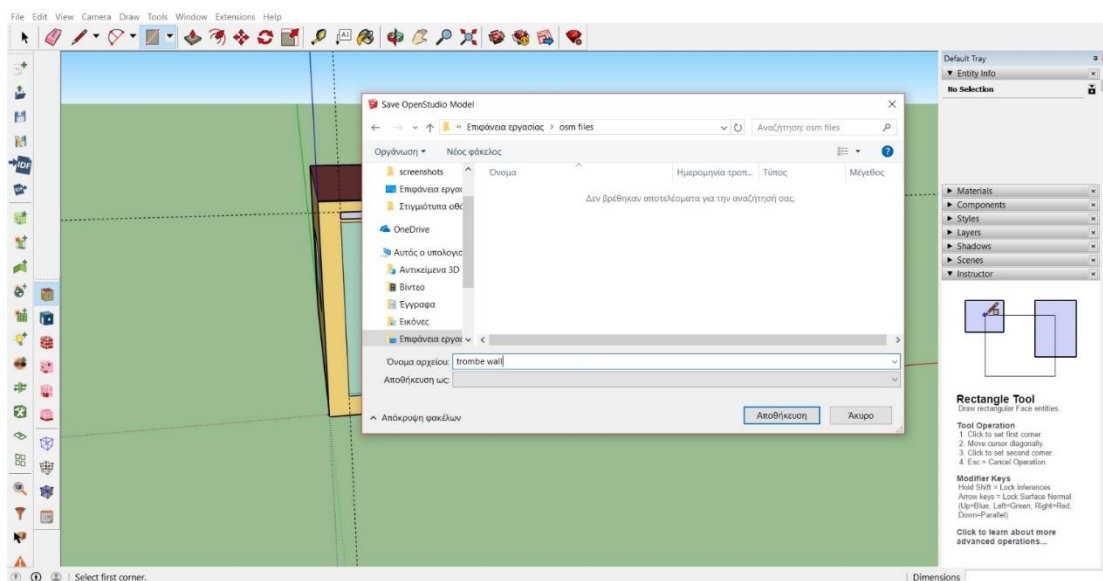
Σύζευξη των Θερμικών Ζωνών

Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του προς εξέταση κτιρίου απαραίτητη είναι η χρήση του εργαλείου του Open Studio **Surface Matching**  μέσω του οποίου θα γίνει η ταύτιση των επιφανειών αλλά και των ανοιγμάτων που βρίσκονται σε διαφορετικούς χώρους αλλά ουσιαστικά αποτελούν τα ίδια στοιχεία. Απαραίτητη στην προκειμένη περίπτωση είναι η ταύτιση μεταξύ των θυρίδων εξαερισμού που βρίσκονται στον κύριο χώρο και τον χώρο της διάταξης του τοίχου Trombe καθώς και των 2 τοίχων που έχουν σχηματισθεί αλλά ουσιαστικά πρόκειται για έναν. Κάνοντας κλικ στην εντολή ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπου με την επιλογή **Match in Entire Model** γίνεται η απαραίτητη ταύτιση των surfaces και subsurfaces.




Σχήμα 6.22: Ταύτιση επιφανειών και υποεπιφανειών των δυο θερμικών ζωνών.

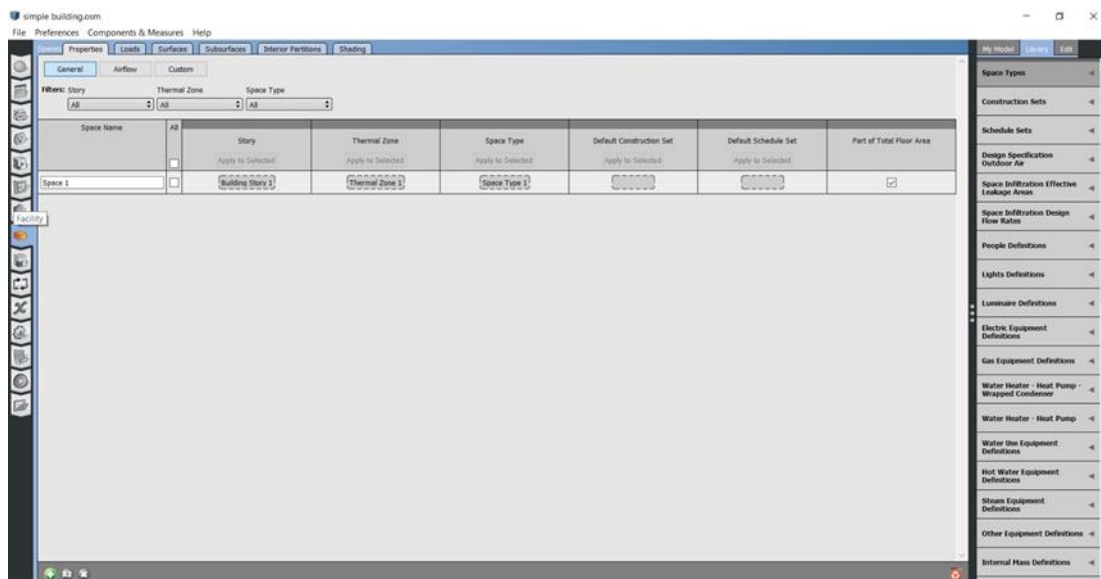
Τέλος, με χρήση της εντολής του Open Studio **Save Open Studio Model As** γίνεται η αποθήκευση της κατασκευής του κτιρίου με την διάταξη του τοίχου Trombe ως αρχείο .osm .



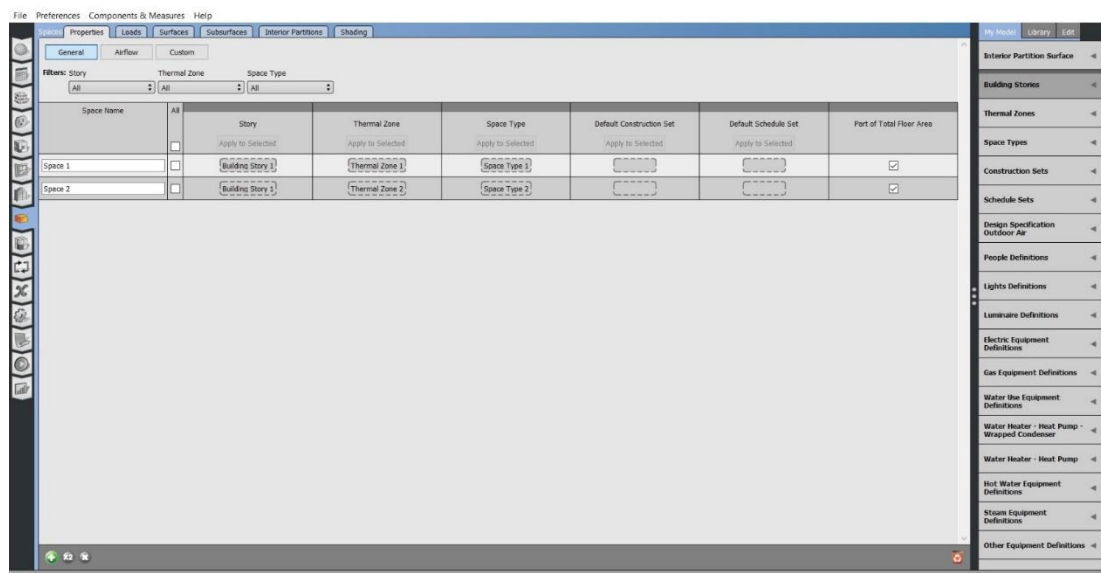
Σχήμα 6.23: Αποθήκευση κτιρίου με διάταξη Trombe ως αρχείο. osm.

6.4 Επεξεργασία δεδομένων στο Open Studio

Έπειτα από την ολοκλήρωση του σχεδιασμού των δυο προς εξέταση κτιρίων, μέσω του προγράμματος του Open Studio γίνεται αντιστοίχιση των χαρακτηριστικών του κτιρίου, των θερμικών ζωνών και των χώρων. Στην κατακόρυφη αριστερή στήλη και πιο συγκεκριμένα στην καρτέλα **Spaces**  γίνεται η κατάλληλη αντιστοίχιση για τα δυο κτίρια.



Σχήμα 6.24: Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών απλού κτιρίου.



Σχήμα 6.25: Αντιστοίχιση χαρακτηριστικών κτιρίου με διάταξη τοίχου Trombe.

Ενώ στη συνέχεια γίνεται εξαγωγή των αρχείων που θα επεξεργαστούν μέσω του προγράμματος **EnergyPlus** σε μορφή αρχείων .idf κάνοντας χρήση της εντολής

File>Export>IDF. Όσον αφορά το αρχείο trombe wall.osm θα γίνουν εξαγωγές σε αρχεία IDF τριών αρχείων με διαφορετικά ονόματα. Αυτό συμβαίνει καθότι τα υπό εξέταση σενάρια με την διάταξη του τοίχου Trombe θα διαφοροποιηθούν κατά την επεξεργασία τους με το πρόγραμμα EnergyPlus. Εφόσον ο σχεδιασμός τους παραμένει ο ίδιος και αλλάζει μόνο η σύσταση του τοίχου Trombe, δεν ήταν απαραίτητη από την αρχή η σχεδίαση διαφορετικών κτιρίων με την συγκεκριμένη διάταξη.

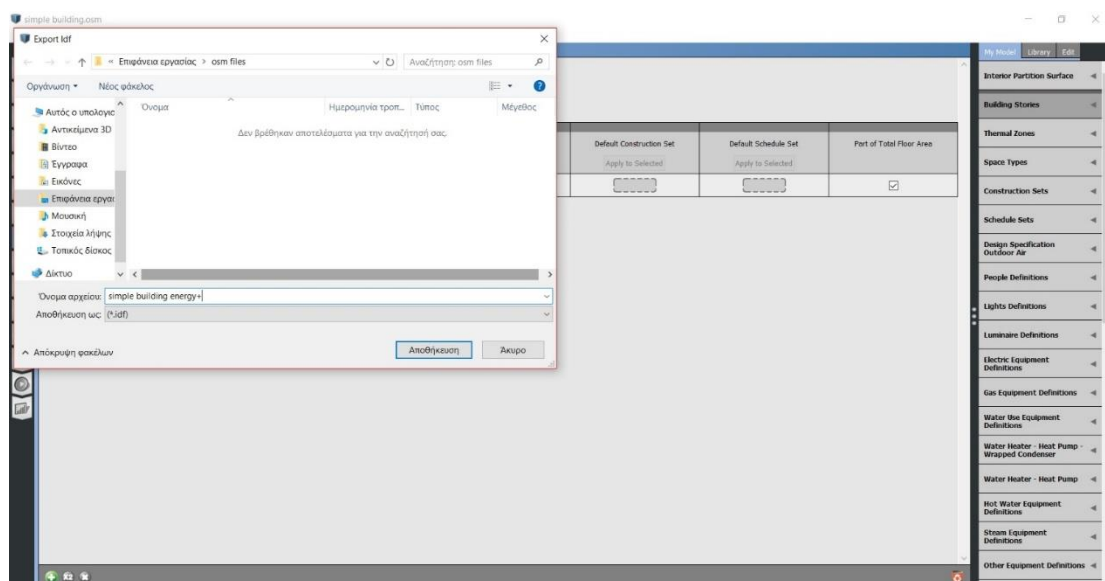
Επομένως από το αρχείο simple building.osm γίνεται εξαγωγή του αρχείου

- simple building energy+.idf.

Ενώ από το αρχείο trombe wall.osm εξαγωγή των αρχείων

- simple trombe wall energy+.idf
- trombe wall concrete pcm energy+.idf
- trombe wall pcm energy+.idf

Αυτά τα 4 αρχεία idf αποτελούν ουσιαστικά τα 4 προς εξέταση σενάρια της εργασίας.

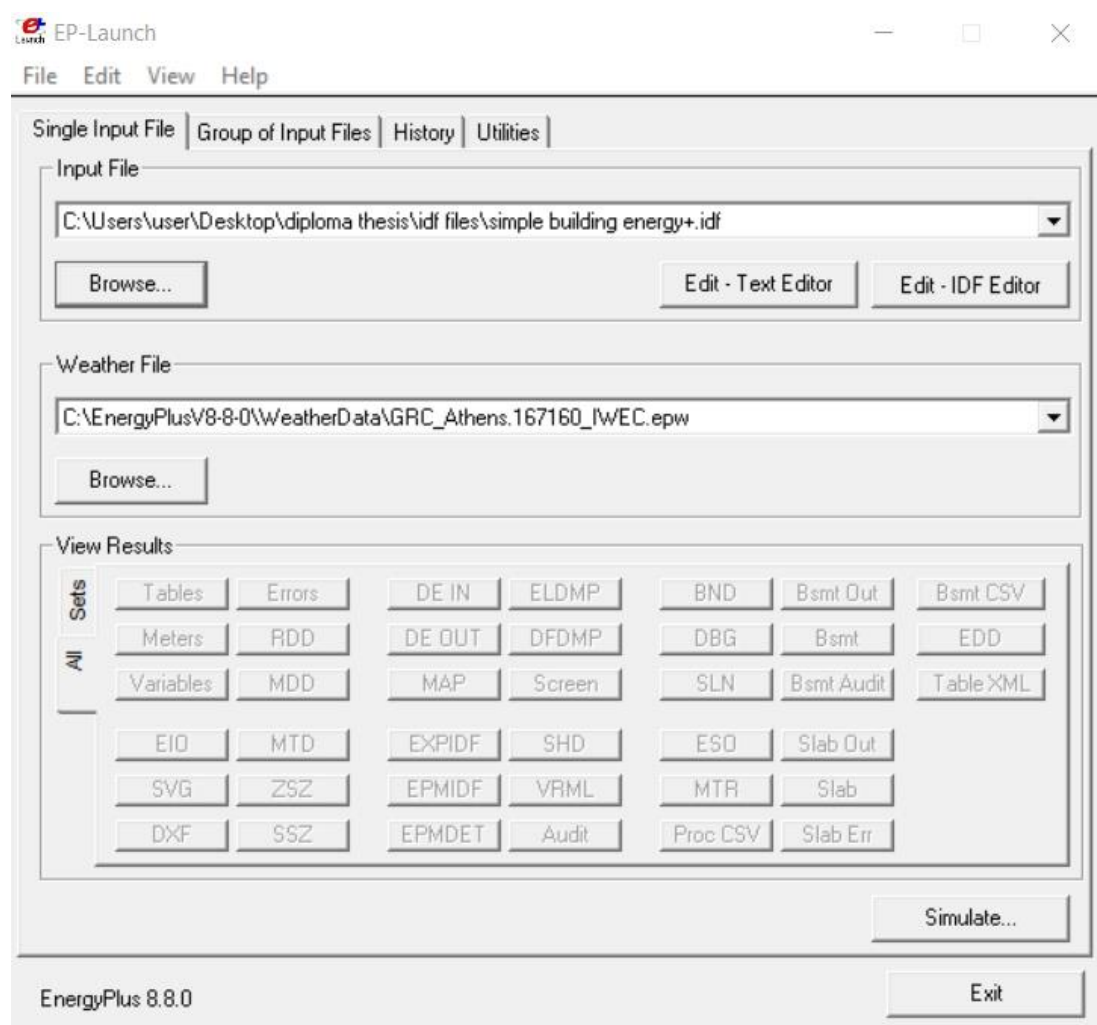


Σχήμα 6.26: Εξαγωγή αρχείου .idf.

6.5 Προσομοίωση με το λογισμικό EnergyPlus

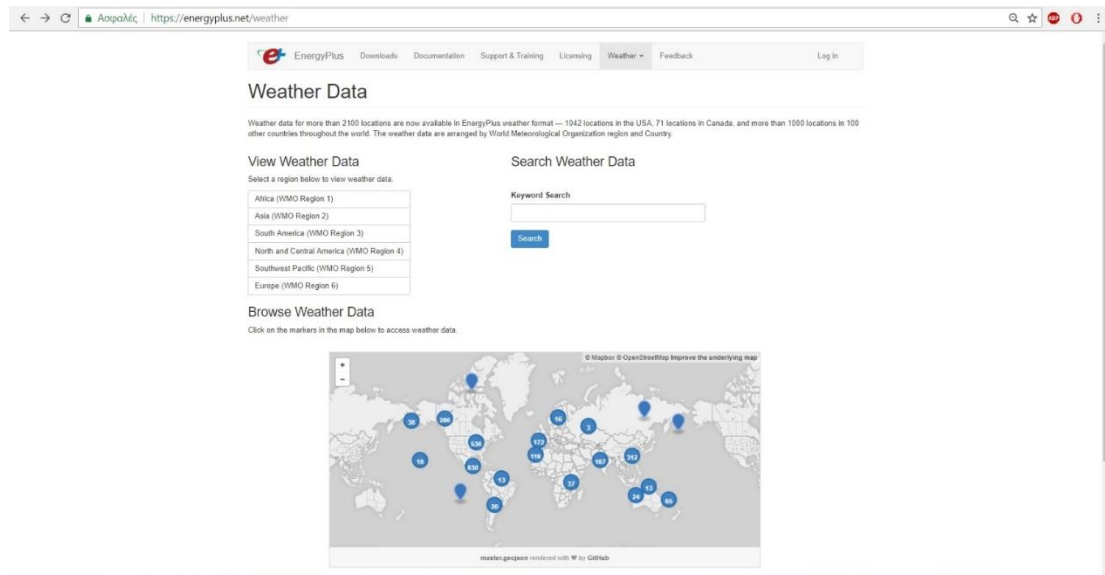
6.5.1 Εισαγωγή καιρικών δεδομένων

Ανοίγοντας ένα από τα αρχεία idf ανοίγει το παράθυρο Ep-Launch του προγράμματος του EnergyPlus. Στο πλαίσιο Input File βρίσκεται η θέση του υπό επεξεργασία αρχείου ενώ στο πλαίσιο Weather File επιλέγουμε το αρχείο με τα δεδομένα καιρού της τοποθεσίας που εξετάζεται, στην συγκεκριμένη εργασία εξετάζεται ένα κτίριο στην Αθήνα.



Σχήμα 6.27: Παράθυρο EP-Launch.

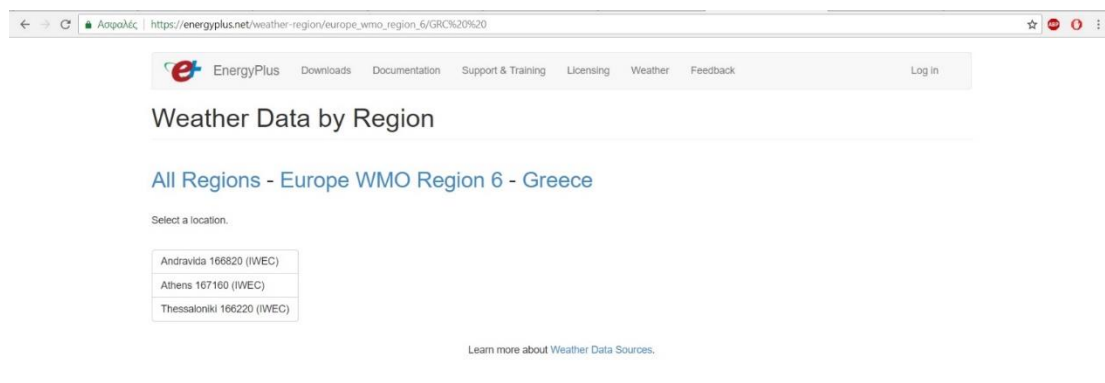
Η εύρεση των αρχείων με τα καιρικά δεδομένα μπορεί να γίνει ανατρέχοντας στο site του Energyplus στην ενότητα Weather.



Σχήμα 6.28: Καρτέλα με δεδομένα καιρού της ιστοσελίδας του EnergyPlus.

Όπου για την Ελλάδα υπάρχουν τα καιρικά δεδομένα για τις εξής περιοχές:

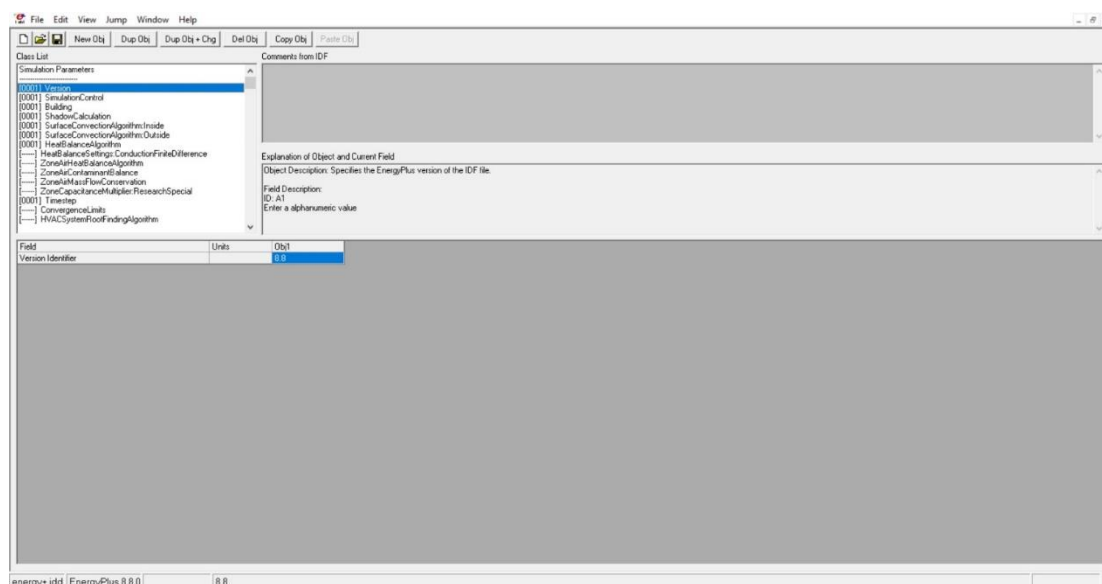
- της Ανδραβίδα (κωμόπολη του νομού Ηλείας)
- Αθήνας
- Θεσσαλονίκη



Σχήμα 6.29: Καιρικά δεδομένα για ελληνικές πόλεις.

6.5.2 Επεξεργασία δεδομένων στο IDF Editor [75]

Για την επεξεργασία του εκάστοτε αρχείου IDF αρκεί η επιλογή της εντολής Edit – IDF editor. Αυτόματα ανοίγει το πρόγραμμα επεξεργασίας του Energyplus, IDF editor.



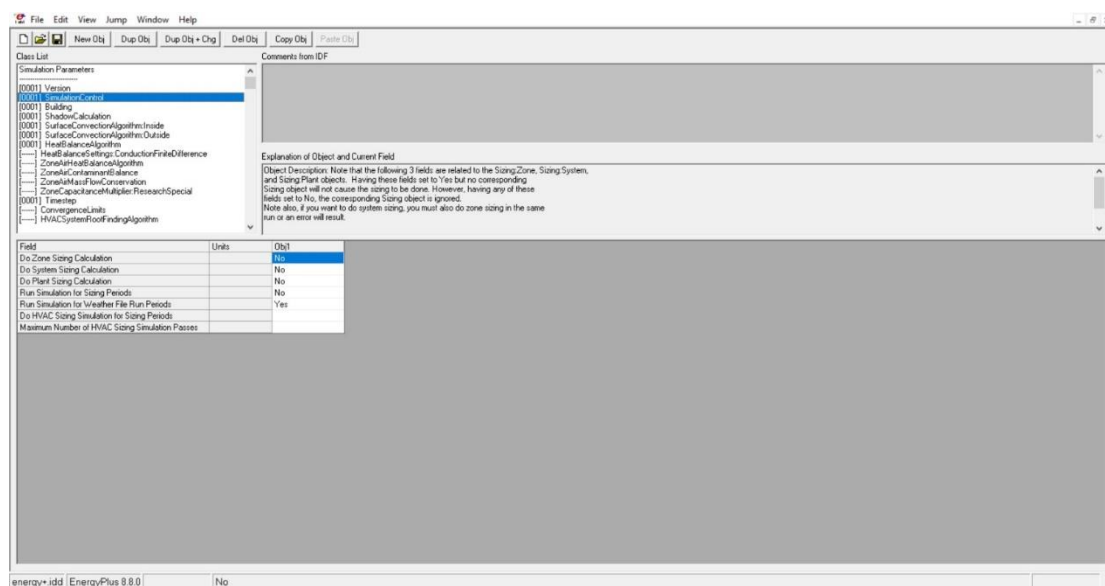
Σχήμα 6.30: Περιβάλλον IDF Editor.

Κατά την επεξεργασία του αρχείου IDF θα γίνει χρήση κάποιων από των κύριων κατηγοριών του προγράμματος Energyplus. Τα στοιχεία που θα αναφέρονται εν γένει θα προστίθενται και στα 4 υπό εξέταση σενάρια, οποιοδήποτε αντικείμενο προστεθεί το οποίο δεν θα υπάρχει και στα 4 σενάρια θα διευκρινίζεται.

6.5.2.1 Simulation Parameters

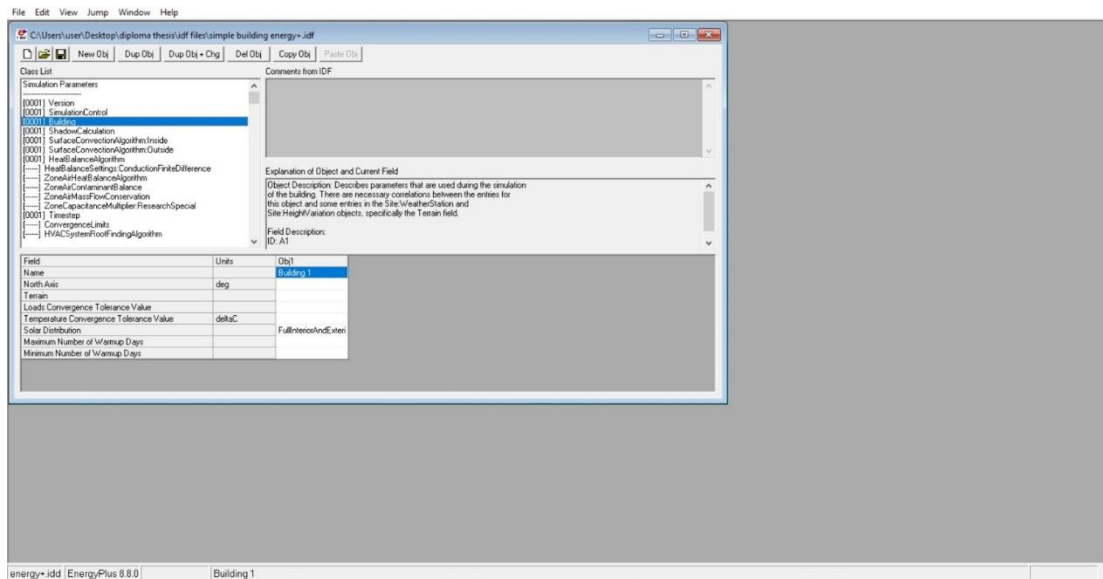
- **Version:** Καθορίζει την έκδοση EnergyPlus του αρχείου IDF.
- **Simulation Control:** Επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει τι είδους υπολογισμοί θα πραγματοποιήσει μια δεδομένη προσομοίωση EnergyPlus.
 - Do Zone Sizing Calculation : Το πρόγραμμα εκτελεί έναν ειδικό υπολογισμό χρησιμοποιώντας ένα θεωρητικό ιδανικό μοντέλο και καθορίζει τα επίπεδα ροής και φορτίων θέρμανσης και ψύξης. Επιλέγεται: **No**
 - Do System Sizing Calculation: Το πρόγραμμα εκτελεί έναν ειδικό υπολογισμό χρησιμοποιώντας ένα απλουστευμένο μοντέλο. Επιλέγεται: **No**

- Do Plant Sizing Calculation: Το πρόγραμμα εκτελεί υπολογισμό βασιζόμενο στις μεταβλητές που έχουν οριστεί στο Plant: Sizing, μην έχοντας όμως συστήματα ψύξης ή θέρμανσης στο πρόγραμμα δεν υπάρχει λόγος υπολογισμού της δυναμικότητας τους. Επιλέγεται: **No**
- Run Simulation for Sizing Periods: Το πρόγραμμα εκτελεί υπολογισμό βασιζόμενο σε πρότυπες μέρες. Επιλέγεται: **No**
- Run Simulation for Weather File Run Periods: Το πρόγραμμα εκτελεί υπολογισμό βασιζόμενο σε χρονικές περιόδους που ορίζονται από τον χρήστη μέσα από το αντικείμενο RunPeriod και σύμφωνα με τα καιρικά δεδομένα που έχει εισάγει. Επιλέγεται: **Yes**



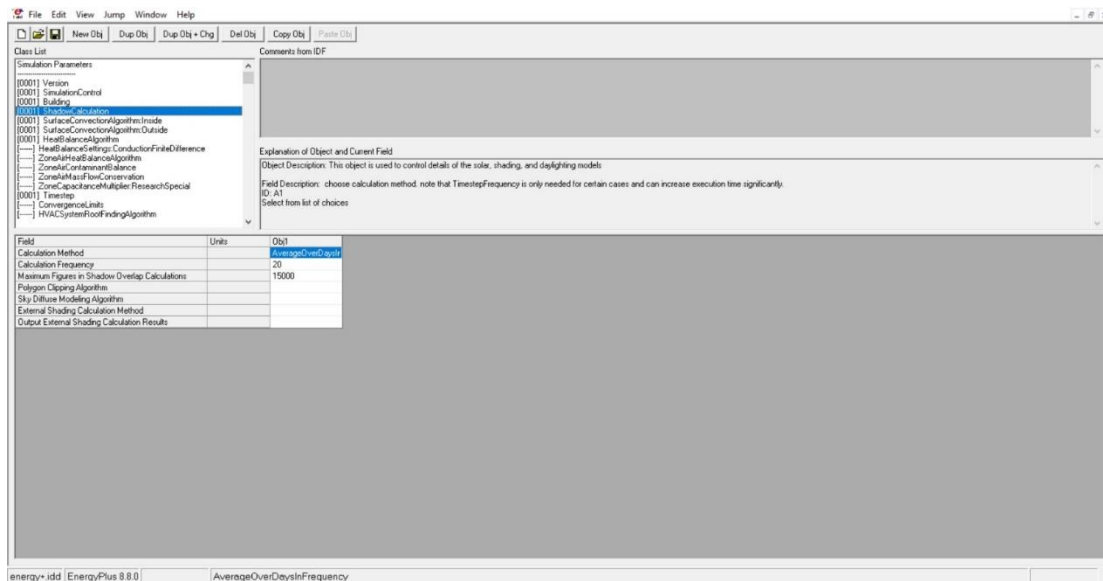
Σχήμα 6.31: Οι επιλογές της κατηγορίας *Simulation Parameters*.

- **Buiding:** Περιγράφει παραμέτρους που χρησιμοποιούνται κατά την προσομοίωση του κτιρίου
 - Name: Δηλώνεται το όνομα του κτιρίου. Επιλέγεται: **Building 1**
 - Solar Distribution: Καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το EnergyPlus αντιμετωπίζει την ηλιακή ακτινοβολία δέσμης και τις ανακλάσεις από τις εξωτερικές επιφάνειες που χτυπούν το κτίριο και τελικά εισέρχονται στη ζώνη. Επιλέγεται: **FullInteriorAndExterior**



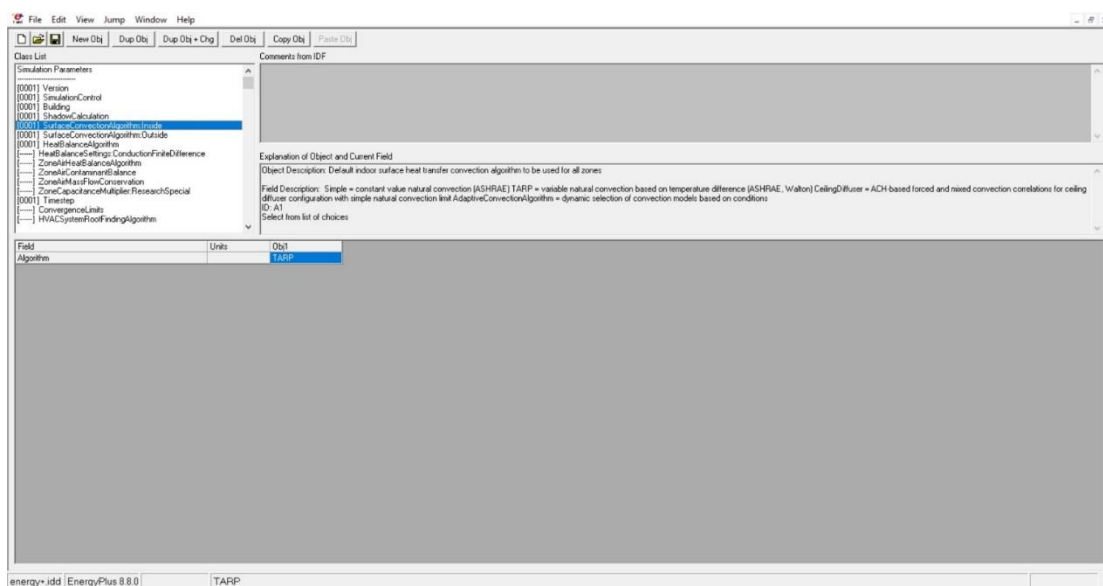
Σχήμα 6.32: Οι επιλογές της κατηγορίας Building.

- **ShadowCalculation:** Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των λεπτομερειών των ηλιακών μοντέλων, μοντέλων σκίασης και μοντέλων φωτισμού ημέρας.
 - Calculation Method: Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό του τρόπου με τον οποίο υπολογίζονται τα ηλιακά μοντέλα, μοντέλα σκίασης και μοντέλα φωτισμού ημέρας. σε σχέση με τον χρόνο υπολογισμού κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επιλέγεται: **AverageOverDaysInFrequency**
 - Calculation Frequency: Η χρήση αυτού του πεδίου επιτρέπει τον συγχρονισμό των υπολογισμών σκίασης με τις αλλαγές στις συσκευές σκίασης. Η χρήση των προεπιλεγμένων 20 ημερών σε κάθε περίοδο είναι ο μέσος αριθμός ημερών μεταξύ σημαντικών αλλαγών στις γωνίες θέσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιλέγεται: **20**
 - Maximum Figures in Shadow Overlap Calculations: Καθορίζει τον αριθμό επιτρεπτών μορφών σε υπολογισμούς επικάλυψης σκίασης, με προκαθορισμένο αριθμό τις 15000. Επιλέγεται: **15000**



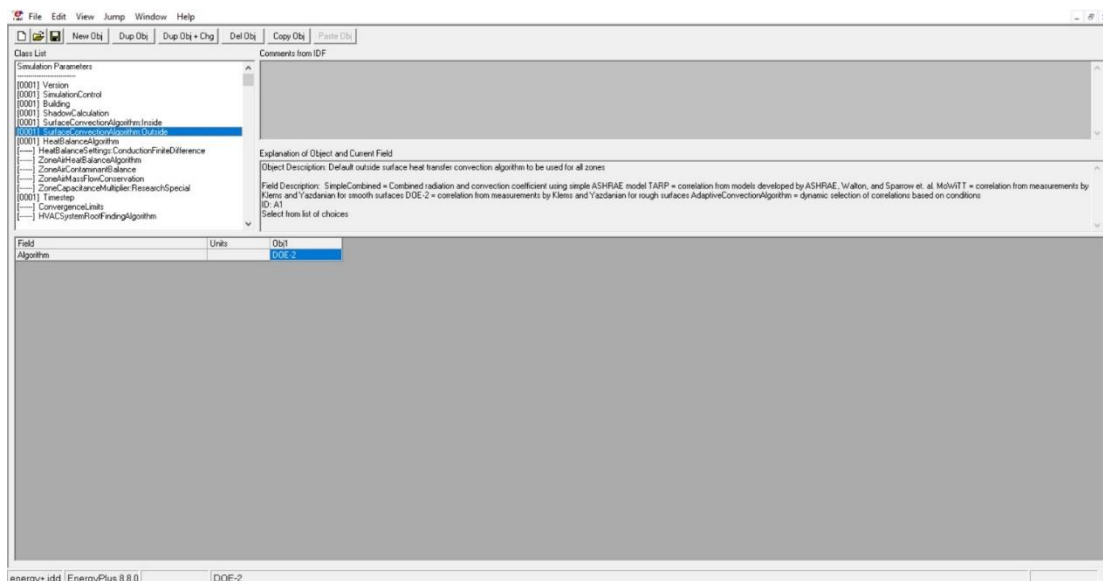
Σχήμα 6.33: Οι επιλογές της κατηγορίας *ShadowCalculation*.

- SurfaceConvectionAlgorithm:Inside:** Καθορίζει τον αλγόριθμο μεταφοράς θερμότητας εσωτερικής επιφάνειας όλων των ζωνών. Υπάρχει ανάγκη ενός αλγόριθμου ο οποίος συσχετίζει το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας με τη διαφορά θερμοκρασίας για διάφορους προσανατολισμούς. Επιλέγεται: **TARP**



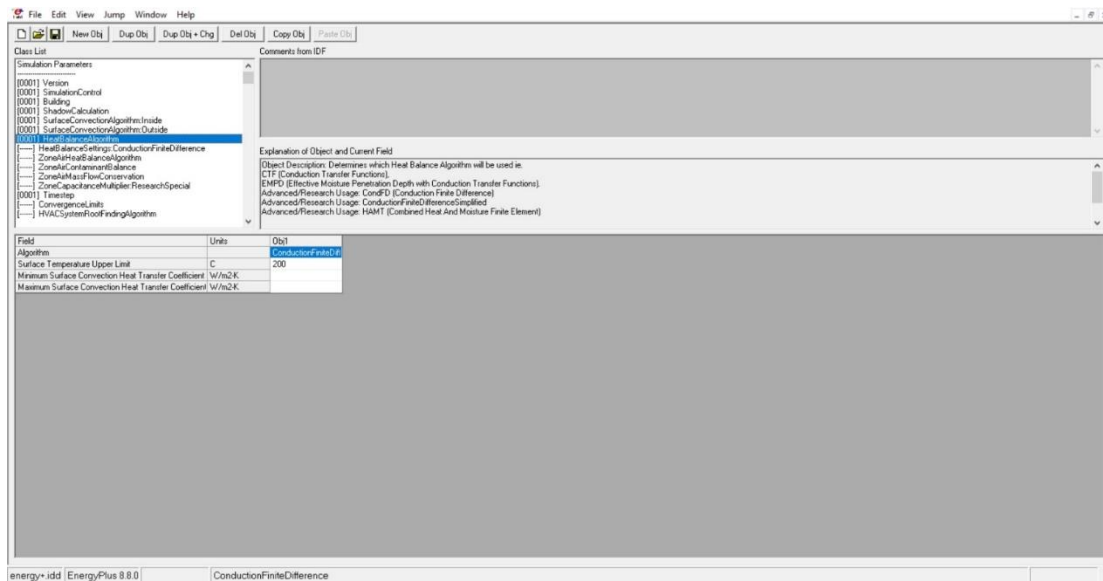
Σχήμα 6.34: Η επιλογή του αλγορίθμου της κατηγορίας *SurfaceConvectionAlgorithm:Inside*.

- **SurfaceConvectionAlgorithm:Outside:** Καθορίζει τον αλγόριθμο μεταφοράς θερμότητας εξωτερικής επιφάνειας που πρέπει να χρησιμοποιείται για όλες τις ζώνες. Επιλέγεται: **DOE-2**



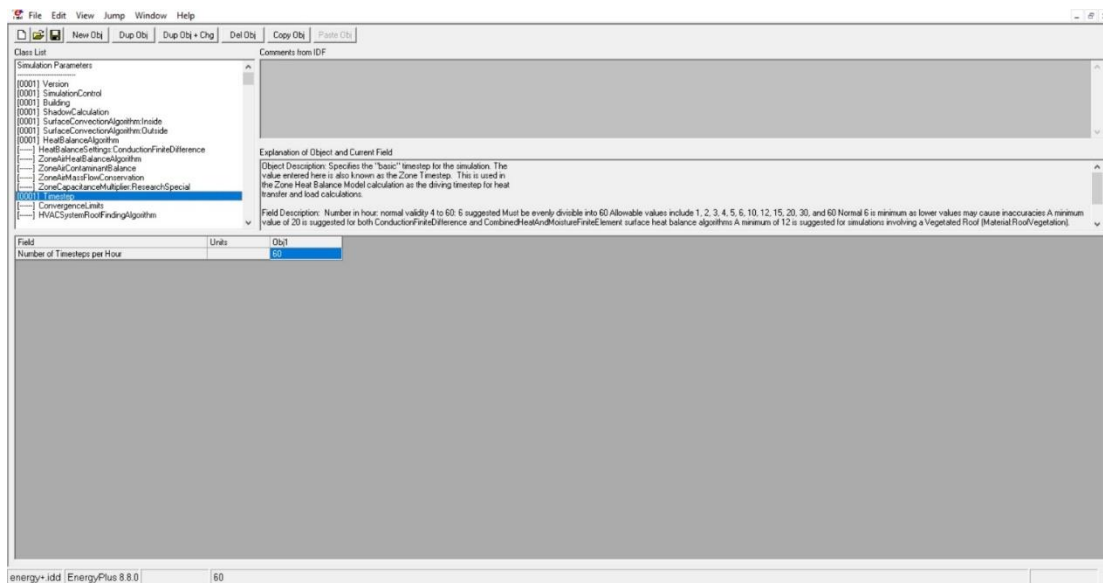
Σχήμα 6.35: Η επιλογή αλγορίθμου της κατηγορίας *SurfaceConvectionAlgorithm:Outside*.

- **HeatBalanceAlgorithm:** Μέσω αυτού γίνεται η επιλογή του αλγορίθμου μεταφοράς θερμότητας και υγρασίας που θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της απόδοσης των επιφανειακών τμημάτων του κτιρίου.
 - Algorithm: Εφόσον τα σενάρια εμπεριέχουν την χρήση υλικών αλλαγής φάσης θα επιλεγθεί ο εξειδικευμένος αλγόριθμος που προτείνεται από το πρόγραμμα ο οποίος μεταξύ άλλων δεν λαμβάνει υπόψη την αποθήκευση υγρασίας ή τη διάχυση στα στοιχεία κατασκευής, ενώ υπερτερεί μεταξύ των άλλων καθώς χρησιμοποιεί μία επίλυση πεπερασμένης διαφοράς 1-D στα κατασκευαστικά στοιχεία. Επιλέγεται: **ConductionFiniteDifference**
 - Surface Temperature Upper Limit: Χρησιμοποιείται μόνο όταν αποτύχει η προσομοίωση έχοντας ως προεπιλεγμένη τιμή τους 200° C. Επιλέγεται: **200**



Σχήμα 6.36: Οι επιλογές της κατηγορίας HeatBalanceAlgorithm.

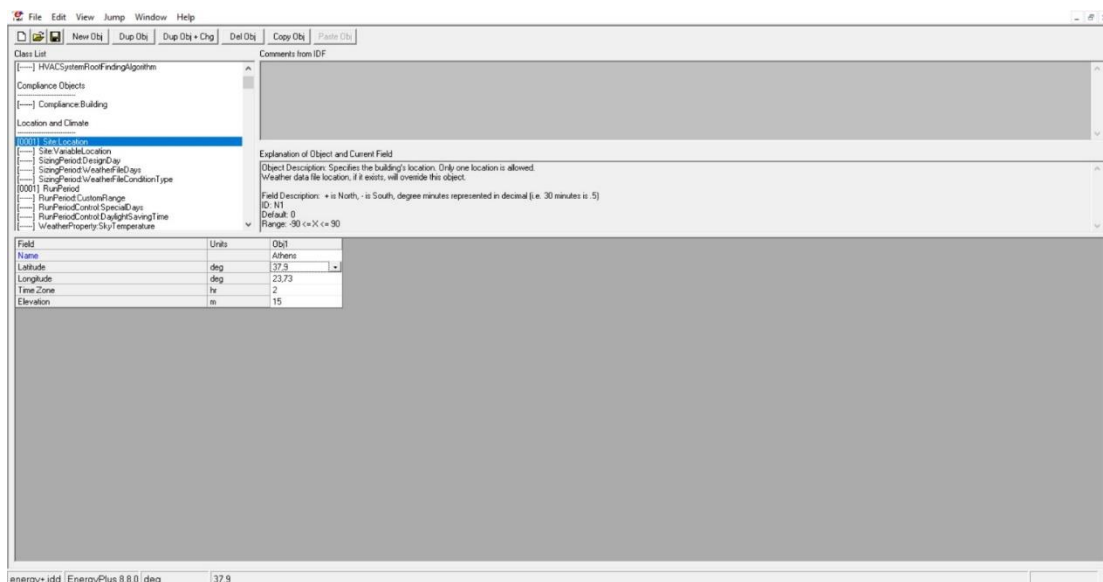
- **Timestep:** Καθορίζει το «βασικό» χρονικό διάστημα για την προσομοίωση.
 - Number of Timesteps per Hour: Καθορίζει τον αριθμό των χρονικών διαστημάτων μέσα σε μια ώρα με αποδεκτές τιμές 4-60. Επιλέγεται: **60**



Σχήμα 6.37: Η επιλογή του χρονικού βήματος στην κατηγορία Timestep.

6.5.2.2 Location and Climate

- **Site:Location:** Περιγράφει τις παραμέτρους για την τοποθεσία του κτιρίου. Επιτρέπεται μόνο μία τοποθεσία.
 - Name: Καθορίζει το όνομα της περιοχής στην οποία γίνεται η προσομοίωση. Επιλέγεται: **Athens**
 - Latitude: Αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό πλάτος (σε μοίρες) της εγκατάστασης. Με βάση τη σύμβαση, το βόρειο γεωγραφικό πλάτος αντιπροσωπεύεται ως θετικό. Επιλέγεται: **37.9**
 - Longitude: Αντιπροσωπεύει το γεωγραφικό μήκος (σε μοίρες) της εγκατάστασης. Κατά σύμβαση, το ανατολικό μήκος αντιπροσωπεύεται ως θετικό. Επιλέγεται: **23.73**
 - Time Zone: Αντιπροσωπεύει τη ζώνη ώρας της εγκατάστασης (σε σχέση με τη μέση ώρα Greenwich ή τον 0^ο μεσημβρινό). Οι ζώνες ώρας δυτικά του GMT (π.χ. Βόρεια Αμερική) παρουσιάζονται αρνητικές. Επιλέγεται: **2**
 - Elevation: Αντιπροσωπεύει το υψόμετρο της εγκατάστασης σε μέτρα (σε σχέση με τη στάθμη της θάλασσας). Επιλέγεται: **15**



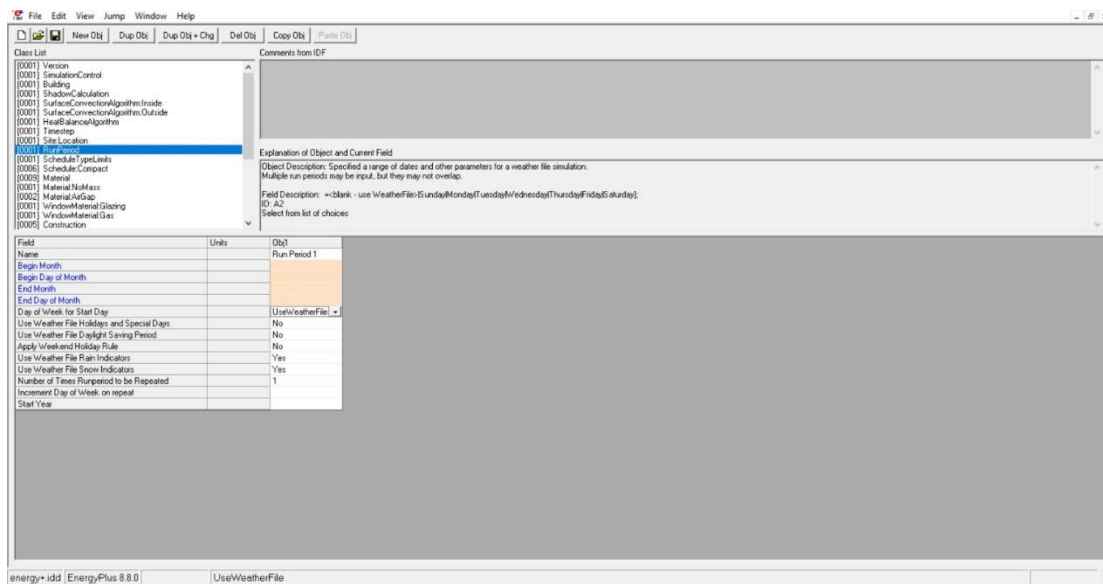
Σχήμα 6.38: Οι επιλογές στην κατηγορία Site:Location.

- **RunPeriod:** Περιγράφει τα στοιχεία που είναι απαραίτητα για τη δημιουργία προσομοίωσης αρχείων καιρού
 - Name: Καθορίζεται το όνομα της εκάστοτε περιόδου προσομοίωσης.
 - Begin Month: Περιέχει τον αριθμό του μήνα έναρξης (1 = Ιανουάριος, 2 = Φεβρουάριος, κ.λπ.) για την επιθυμητή ετήσια περίοδο εκτέλεσης.
 - Begin Day of Month: Περιέχει την ημέρα έναρξης του μήνα εκκίνησης (πρέπει να είναι αποδεκτή για κάθε μήνα) για την επιθυμητή ετήσια περίοδο εκτέλεσης.
 - End Month: Περιέχει τον τελικό αριθμό μηνός (1 = Ιανουάριος, 2 = Φεβρουάριος, κ.λπ.) για την επιθυμητή ετήσια περίοδο εκτέλεσης.
 - End Day of Month: Περιέχει την τελική ημέρα του μηνός λήξης (πρέπει να είναι αποδεκτή για κάθε μήνα) για την επιθυμητή ετήσια περίοδο εκτέλεσης.

Σε κάθε τρέξιμο που θα γίνει σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα για την σύγκριση των 4 σεναρίων τα παραπάνω αντικείμενα αλλάζουν για αυτό ο καθορισμός τους θα γίνεται ξεχωριστά για κάθε περίπτωση.

- Day of Week for Start Day: Για ευελιξία, η ημέρα της εβδομάδας που αναγράφεται στο αρχείο καιρού μπορεί να αντικατασταθεί από την τιμή αυτού του πεδίου. Ο υπολογισμός της είναι επιθυμητό να γίνει από το αρχείο καιρού. Επιλέγεται: **UseWeatherFile**
- Use Weather File Holidays and Special Days: Τα αρχεία του καιρού μπορούν να περιέχουν ονομασίες διακοπών ή άλλα είδη ειδικών ημερών. Αποφασίζεται να αγνοηθούν οι αργίες ή οποιοσδήποτε άλλες ειδικές ημέρες στο αρχείο καιρού. Επιλέγεται: **No**
- Use Weather File Daylight Saving Period: Τα αρχεία καιρού μπορούν να περιέχουν δείκτες ημερών περιόδου θερινής ώρας. Για απλούστευση προτιμάται η αγνόηση τους. Επιλέγεται: **No**
- Apply Weekend Holiday Rule: Σε ορισμένες χώρες (κυρίως στις ΗΠΑ), όταν οι αργίες πέφτουν τα σαββατοκύριακα, μετατίθενται συχνά σε μια μέρα της εβδομάδας κοντά στην ημέρα των διακοπών. Στη συγκεκριμένη εργασία δεν λαμβάνονται καν υπόψη οι αργίες. Επιλέγεται: **No**

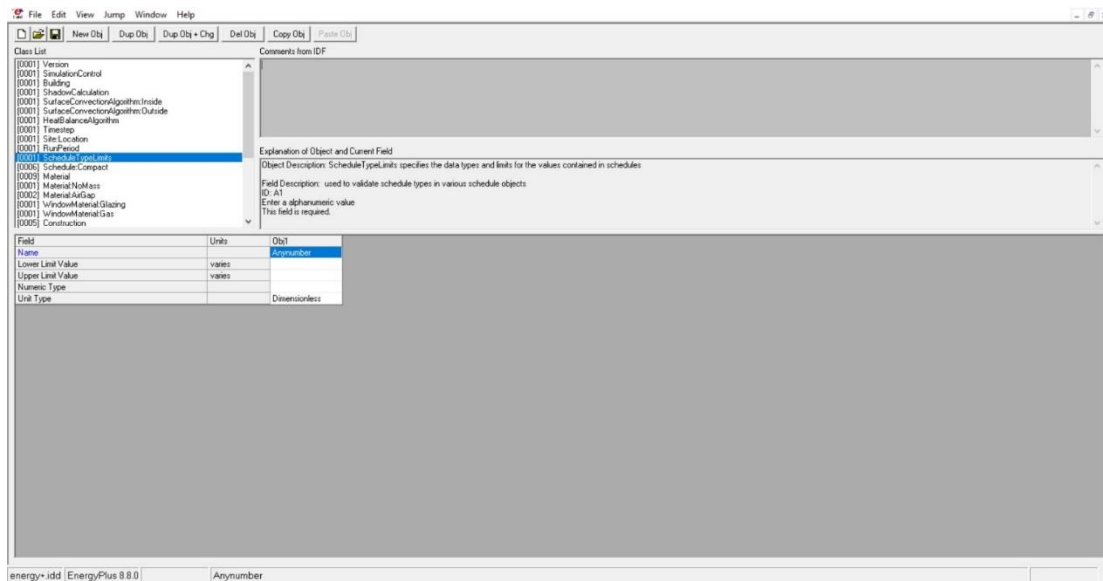
- Use Weather File Rain Indicators: Τα αρχεία καιρού μπορούν να περιέχουν δείκτες «βροχής». Οι υγρές επιφάνειες επηρεάζουν τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Προτιμάται να ληφθούν υπόψη οι δείκτες βροχής. Επιλέγεται: **Yes**
- Use Weather File Snow Indicators: Τα αρχεία καιρού μπορούν να περιέχουν δείκτες «χιονιού». Το χιόνι αλλάζει την αντανάκλαστικότητα του εδάφους. Προτιμάται να ληφθούν υπόψη οι δείκτες χιονιού. Επιλέγεται: **Yes**
- Number of Times Runperiod to be Repeated: Αντιπροσωπεύει τον αριθμό των φορών (συνήθως ετών) που πρέπει να γίνει η προσομοίωση σε μια προσομοίωση πολλαπλών χρονικών διαστημάτων. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 1. Επιλέγεται: **1**



Σχήμα 6.39: Οι ρυθμίσεις της κλάσης RunPeriod.

6.5.2.3 Schedules

- **ScheduleTypeLimits:** Καθορίζει τους τύπους δεδομένων και τα όρια για τις τιμές που περιέχονται στα χρονοδιαγράμματα.
 - Name: Καθορίζει το όνομα του ορίου του κάθε τύπου δεδομένου.
 - Unit Type: Εφόσον δεν τίθεται κάποιο όριο στις τιμές που θα ληφθούν υπόψη κατά την εκτέλεση των χρονοδιαγραμμάτων και για απλούστευση, δεν τίθεται καν προϋπόθεση τύπου δεδομένων. Επιλέγεται: **Dimensionless**



Σχήμα 6.40: Οι επιλογές στην κατηγορία *ScheduleTypeLimits*.

- **Schedule:Compact:** Για ευελιξία, ένα χρονοδιάγραμμα μπορεί να εισαχθεί κατευθείαν, δηλαδή με ένα αντικείμενο. Όπως και οι συνήθεις κατηγορίες των χρονοδιαγραμμάτων η καταχώρηση στην συγκεκριμένη κατηγορία πρέπει να καλύπτει όλες τις ημέρες για ένα έτος και για τις 24 ώρες τις ημέρας αλλά και για όλους τους τύπους ημερών. Η συγκεκριμένη κατηγορία περιέχει ασυνήθιστα αντικείμενα για περιγραφή. Για τα δοθέντα δεδομένα δεν έχει ρυθμιστεί ο αριθμός των πεδίων και της θέσης και δεν μπορούν να περιγράψουν με τον συνήθη τρόπο όπως και έγινε παραπάνω. Εξαιρέση αποτελούν τα πεδία *Name* και *Schedule Type Limits Name*.
 - Name: Καθορίζει το όνομα του χρονοδιαγράμματος, το οποίο θα πρέπει να είναι και μοναδικό. Χρησιμοποιείται από διάφορα προγραμματισμένα στοιχεία (π.χ. Lights, ElectricEquipment) για τον καθορισμό της λειτουργίας τους.
 - Schedule Type Limits Name: Αναφέρεται στα αντικείμενα της παραπάνω κατηγορίας **ScheduleTypeLimits** τα οποία καθορίζουν τον τύπο και τα όρια των τιμών που εμπεριέχονται στα χρονοδιαγράμματα.
 - Field #: Κάθε συμπαγές πρόγραμμα πρέπει να περιέχει τα στοιχεία:
 - **Through:** Περιέχει τη λήξη της περιόδου προγραμματισμού και είναι ημερομηνία της μορφής (MM/DD).
 - **For:** Περιέχει τις μέρες για τις οποίες εφαρμόζεται το εκάστοτε χρονοδιάγραμμα. Οι επιλογές αυτής της κατηγορίας είναι οι

εξής: *Weekdays, Weekends, Holidays, Alldays, SummerDesignDay, WinterDesignDay, Sunday, Monday, Tuesday, Wednesday, Thursday, Friday, Saturday, CustomDay1, CustomDay2.*

- Until: Περιέχει την ώρα λήξης η οποία εισάγεται σε μορφή 24ωρου.
- Τέλος είναι απαραίτητη η εισαγωγή της εκάστοτε τιμής που θα ισχύει για το κάθε χρονοδιάγραμμα την κάθε στιγμή. Δεν χρειάζεται κάποια λέξη κλειδί.

Έπειτα από την επεξήγηση της μορφής που θα πρέπει να έχει το εκάστοτε αντικείμενο των χρονοδιαγραμμάτων θα γίνει η παρουσίαση αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στο συγκεκριμένο πρόγραμμα.

- ▶ **Number of People Schedule**: Καθορίζει το ποσοστό του συνόλου των ατόμων που βρίσκονται στο δωμάτιο κατά την διάρκεια του χρόνου. Θεωρείται κατά την διάρκεια όλου του έτους ότι ο αριθμός των ατόμων είναι ο μέγιστος , επομένως επιλέγεται **1.0**.
- ▶ **Work Efficiency Schedule**: Καθορίζει την απόδοση της κατανάλωσης ενέργειας στο ανθρώπινο σώμα που θα χρησιμοποιηθεί για τους υπολογισμούς θερμικής άνεσης. Οι τιμές για αυτήν την παράμετρο πρέπει να είναι μεταξύ 0.0 και 1.0. Μια μηδενική τιμή θεωρεί ότι όλη η ενέργεια που παράγεται στο σώμα μετατρέπεται σε θερμότητα. Μια μοναδιαία τιμή θεωρεί ότι όλη η ενέργεια που παράγεται στο σώμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Θεωρείται για όλο το χρόνο ότι η παράμετρος είναι ίση με **0.24**.
- ▶ **Activity Level Schedule**: Καθορίζει την ποσότητα θερμικού κέρδους ανά άτομο στη ζώνη υπό τις συνθήκες σχεδιασμού. Οι τιμές του χρονοδιαγράμματος μπορεί να είναι οποιοσδήποτε θετικός αριθμός και οι μονάδες για αυτήν την παράμετρο είναι Watts ανά άτομο. Βασιζόμενοι στον παρακάτω πίνακα τιμών (Σχήμα 6.41) και υποθέτοντας ότι:
 - ▲ Μεταξύ 24:00-07:00: Τα άτομα κοιμούνται
 - ▲ Μεταξύ: 07:00-24:00: Τα άτομα είναι καθιστά

Επιλέγονται οι τιμές **72 W/άτομο** και **128 W/άτομο** αντίστοιχα

Activity	Activity Level w/ Person EnergyPlus Schedule Value	Activity W/m ²	Level met*
<i>Resting</i>			
Sleeping	72	40	0.7
Reclining	81	45	0.8
Seated, quiet	108	60	1
Standing, relaxed	126	70	1.2
<i>Walking (on level surface)</i>			
3.2 km/h (0.9 m/s)	207	115	2
4.3 km/h (1.2 m/s)	270	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	396	220	3.8
<i>Office Activities</i>			
Reading, seated	99	55	1
Writing	108	60	1
Typing	117	65	1.1
Filing, seated	126	70	1.2
Filing, standing	144	80	1.4
Walking about	180	100	1.7
Lifting/packing	216	120	2.1
<i>Miscellaneous Occupational Activities</i>			
Cooking	171 to 207	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	207 to 360	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	234	130	2.2
Machine work	189	105	1.8
sawing (table saw)	207 to 252	115 to 140	2.0 to 2.4
light (electrical industry)	423	235	4
Handling 50 kg bags	423	235	4
Pick and shovel work	423 to 504	235 to 280	4.0 to 4.8
<i>Miscellaneous Leisure Activities</i>			
Dancing, social	252 to 459	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	315 to 423	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	378 to 486	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball, competitive	522 to 792	290 to 440	5.0 to 7.6

Σχήμα 6.41: Τυπικές τιμές θερμικού κέρδους βάσει δραστηριότητας, [75].

- Clothing Insulation Schedule: Ορίζει την ποσότητα ενδυμάτων που φοριούνται από ένα άτομο κατά τη διάρκεια διαφόρων περιόδων που λαμβάνει χώρα η προσομοίωση. Αυτή η παράμετρος πρέπει να είναι θετικός πραγματικός αριθμός και να έχει μονάδες Clo. Σύμφωνα με τον πίνακα τιμών του Σχήματος 6.42, αλλά και λαμβάνοντας υπόψη ότι:

- ▲ Κατά την χειμερινή περίοδο 01/01-15/04 και 15/10-31/12 το εκάστοτε άτομο φοράει μακρύ παντελόνι και μακρυμάνικο πουκάμισο
- ▲ Κατά την θερινή περίοδο 15/04-15/10 το εκάστοτε άτομο φοράει κοντό παντελόνι και κοντομάνικο μπλουζάκι

Επιλέγονται οι τιμές **0.61** Clo και **0.36** Clo για την εκάστοτε περίοδο.

Ensemble Description	I _{cl} (clo)
Walking shorts, short-sleeved shirt	0.36
Trousers, short-sleeved shirt	0.57
Trousers, long-sleeved shirt	0.61
Same as above, plus suit jacket	0.96
Same as above, plus vest and T-shirt	0.96
Trousers, long-sleeved shirt, long-sleeved sweater, T-shirt	1.01
Same as above, plus suit jacket and long underwear bottoms	1.30
Sweat pants, sweat shirt	0.74
Long-sleeved pajama top, long pajama trousers, short 3/4 sleeved robe, slippers (no socks)	0.96
Knee-length skirt, short-sleeved shirt, panty hose, sandals	0.54
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, full slip, panty hose	0.67
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, long-sleeved sweater	1.10
Knee-length skirt, long-sleeved shirt, half slip, panty hose, suit jacket	1.04
Ankle-length skirt, long-sleeved shirt, suit jacket, panty hose	1.10
Long-sleeved coveralls, T-shirt	0.72
Overalls, long-sleeved shirt, T-shirt	0.89
Insulated coveralls, long-sleeved thermal underwear, long underwear bottoms	1.37

Σχήμα 6.42: Τυπικές τιμές μόνωσης των ενδυμάτων, [76].

- ▶ Air Velocity Schedule: Προσεγγίζει το μέγεθος της κίνησης του αέρα στο χώρο ως συνάρτηση του χρόνου καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Η τιμή είναι σε μονάδες (m/s) και επιλέγεται καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου ίση με **0.16**.
- ▶ Venting Availability Schedule: Καθορίζει πότε είναι διαθέσιμος ο φυσικός αερισμός με το άνοιγμα των παραθύρων και πορτών. Μία μηδενική τιμή σημαίνει ότι ο αερισμός δεν επιτρέπεται ενώ η μοναδιαία σημαίνει ότι μπορεί να λάβει χώρα αερισμός εάν ικανοποιηθούν άλλες συνθήκες ελέγχου αερισμού. Θεωρείται ότι:
 - ▲ Κατά την χειμερινή περίοδο 01/01 - 15/04 και 15/10 - 31/12 τα παράθυρα ανοίγουν:
 - ✦ 08:00-08:30
 - ✦ 14:00-14:30
 - ✦ 18:00-18:30
 - ▲ Κατά την θερινή περίοδο 15/04-15/10 τα παράθυρα ανοίγουν:
 - ✦ 24:00-09:00
- ▶ Lights Schedule: Καθορίζει το ποσοστό του συνολικού τεχνητού φωτισμού που είναι σε λειτουργία κατά την διάρκεια της κάθε ημέρας. Στην συγκεκριμένη εργασία θεωρείται ότι:

- ▲ Κατά την διάρκεια της χειμερινής περιόδου 01/01-15/04 και 15/10-31/12 τις ώρες:
 - ✦ 24:00-08:00 βρίσκεται σε λειτουργία το 30% του συνολικού τεχνητού φωτισμού
 - ✦ 08:00-18:00 το 10%
 - ✦ 18:00-24:00 το 80%
- ▲ Κατά την διάρκεια της θερινής περιόδου 15/04-15/10 τις ώρες:
 - ✦ 24:00-08:00 βρίσκεται σε λειτουργία το 30% του συνολικού τεχνητού φωτισμού
 - ✦ 08:00-20:00 το 10%
 - ✦ 20:00-24:00 το 80%
- Electric Equipment Schedule: Καθορίζει το ποσοστό του συνολικού ηλεκτρικού εξοπλισμού που είναι σε λειτουργία κατά την διάρκεια της κάθε ημέρας. Πιο συγκεκριμένα θεωρείται ότι καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου τις ώρες:
 - ▲ 07:00-13:00 η χρήση φτάνει το 30% του ηλεκτρικού εξοπλισμού
 - ▲ 13:00-14:00 το 80%
 - ▲ 14:00-18:00 το 40%
 - ▲ 18:00-24:00 το 30%

– Σενάριο 1

Η κατηγορία Schedule Compact διαμορφώνεται ως εξής:

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Number of People	Activity Level Sched.	Work Efficiency Scl	Clothing Insulation	Air Velocity Sched	Ventilating Availability	Lights Schedule	Electric Equipment
Schedule Type Limits Name	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber	Anynumber
Field 1	values	Through 12/31	Through 12/31	Through 12/31	Through 04/15	Through 12/31	Through 04/15	Through 12/31	
Field 2	values	For AIDays	For AIDays	For AIDays	For AIDays	For AIDays	For AIDays	For AIDays	For AIDays
Field 3	values	Until 24:00	Until 07:00	Until 24:00	Until 24:00	Until 24:00	Until 8:00	Until 09:00	Until 07:00
Field 4	values	2	72	24	61	16	0	3	3
Field 5	values	Until 24:00			Through 10/15		Until 08:30	Until 18:00	Until 13:00
Field 6	values		125		For AIDays		1	1	6
Field 7	values				Until 24:00		Until 14:00	Until 24:00	Until 14:00
Field 8	values				36		0	8	3
Field 9	values				Through 12/31		Until 14:30	Through 10/15	Until 18:00
Field 10	values				For AIDays		1	For AIDays	4
Field 11	values				Until 24:00		Until 18:00	Until 09:00	Until 24:00
Field 12	values				61		0	3	3
Field 13	values						Until 18:30	Until 20:00	
Field 14	values						1	1	
Field 15	values						Until 24:00	Until 24:00	
Field 16	values						0	8	
Field 17	values						Through 10/15	Through 12/31	
Field 18	values						For AIDays	For AIDays	
Field 19	values						Until 09:00	Until 09:00	
Field 20	values						1	3	
Field 21	values						Until 19:00	Until 18:00	
Field 22	values						0	1	
Field 23	values						Until 24:00	Until 24:00	
Field 24	values						1	8	
Field 25	values						Through 12/31		
Field 26	values						For AIDays		
Field 27	values						Until 08:00		
Field 28	values						0		
Field 29	values						Until 08:30		
Field 30	values						1		
Field 31	values						Until 14:00		
Field 32	values						0		
Field 33	values						Until 14:30		
Field 34	values						1		
Field 35	values						Until 18:00		
Field 36	values						0		
Field 37	values						Until 18:30		
Field 38	values						1		
Field 39	values						Until 24:00		
Field 40	values						0		

Σχήμα 6.43: Επιλογές αντικειμένων κατηγορίας Schedule:Compact για το Σενάριο 1.

Τα παραπάνω χρονοδιαγράμματα εφαρμόζονται και στα 4 υπό εξέταση σενάρια. Όσον αφορά τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάρια 2,3 και 4) απαραίτητη είναι η προσθήκη άλλων 4 χρονοδιαγραμμάτων τα οποία είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία της διάταξης.

- ▶ Upper Trombe Wall Vent: Καθορίζει το πότε η άνω θυρίδα εξαερισμού του τοίχου Trombe θα είναι ανοιχτή. Λαμβάνει τιμές 0 όταν η θυρίδα είναι κλειστή και 1 όταν είναι ανοικτή. Θεωρείται ότι:
 - ▲ Κατά την χειμερινή περίοδο 01/01-15/04 και 15/10-31/12 η θυρίδα ανοίγει:
 - ✦ 08:00-12:00
 - ▲ Κατά την θερινή περίοδο 15/04-15/10 η θυρίδα παραμένει κλειστή καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας.
- ▶ Lower Trombe Wall Vent: Καθορίζει το πότε η κάτω θυρίδα εξαερισμού του τοίχου Trombe θα είναι ανοιχτή. Λαμβάνει τιμές 0 όταν η θυρίδα είναι κλειστή και 1 όταν είναι ανοικτή. Θεωρείται ότι:
 - ▲ Κατά την χειμερινή περίοδο 01/01-15/04 και 15/10-31/12 η θυρίδα ανοίγει:
 - ✦ 08:00-12:00
 - ▲ Κατά την θερινή περίοδο 15/04-15/10 η θυρίδα ανοίγει:
 - ✦ 24:00-08:00
 - ✦ 18:00-24:00
- ▶ Exhaust Trombe Wall Vent: Καθορίζει το πότε η θυρίδα «αποφόρτισης» του τοίχου Trombe θα είναι ανοιχτή. Λαμβάνει τιμές 0 όταν η θυρίδα είναι κλειστή και 1 όταν είναι ανοικτή. Θεωρείται ότι:
 - ▲ Κατά την χειμερινή περίοδο 01/01-15/04 και 15/10-31/12 η θυρίδα παραμένει κλειστή
 - ▲ Κατά την θερινή περίοδο 15/04-15/10 η θυρίδα ανοίγει:
 - ✦ 24:00-08:00
 - ✦ 18:00-24:00

- **Blinds Schedule:** Καθορίζει πότε η διάταξη σκίασης που βρίσκεται στο υαλοστάσιο του τοίχου Trombe είναι κλειστή. Λαμβάνει την τιμή 0 όταν δεν είναι σε λειτουργία και την τιμή 1 όταν είναι. Θεωρείται ότι:

- ▲ Κατά την περίοδο 01/01-15/05 και 15/09-31/12 η διάταξη σκίασης λειτουργεί:

- ✦ 24:00-06:30

- ✦ 17:00-24:00

- ▲ Κατά την περίοδο 15/05-15/09 η διάταξη λειτουργεί:

- ✦ 06:00-20:00

– **Σενάρια 2,3,4**

Field	Units	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Activity Level Sched	Work Efficiency Sched	Clothing Insulation Sched	Air Velocity Sched	Venting Availability	Lights Schedule	Electric Equipment	Upper Trombe Wall	Lower Trombe Wall	Exhaus Trombe W	Blinds Schedule
Schedule Type Limit Name		Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber	Asynumber
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 04/15	Through: 12/31	Through: 04/15	Through: 04/15	Through: 12/31	Through: 04/15	Through: 04/15	Through: 04/15	Through: 05/15
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Unit: 07:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 8:00	Unit: 08:00	Unit: 07:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 06:30
Field 4	varies	72	24	61	16	0	3	3	0	0	0	1
Field 5	varies	Unit: 24:00		Through: 10/15		Unit: 08:30	Unit: 18:00	Unit: 13:00	Unit: 12:00	Unit: 12:00	Unit: 18:00	Unit: 17:00
Field 6	varies	126		For: AllDays		1	1	6	1	0	0	0
Field 7	varies			Unit: 24:00		Unit: 14:00	Unit: 24:00	Unit: 14:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 8	varies			36		0	8	3	0	0	0	1
Field 9	varies			Through: 12/31		Unit: 14:30	Through: 10/15	Unit: 18:00	Through: 10/15	Through: 10/15	Through: 10/15	Through: 05/15
Field 10	varies			For: AllDays		1	For: AllDays	4	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 11	varies			Unit: 24:00		Unit: 18:00	Unit: 08:00	Unit: 24:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 06:00
Field 12	varies			61		0	3	3	0	1	1	0
Field 13	varies			Unit: 18:30		Unit: 18:30	Unit: 20:00		Unit: 18:00	Unit: 18:00	Unit: 18:00	Unit: 20:00
Field 14	varies			1		1	1	0	0	0	0	1
Field 15	varies			Unit: 24:00		Unit: 24:00	Unit: 24:00		Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 16	varies			0		0	8	0	1	1	0	0
Field 17	varies			Through: 12/31		Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 18	varies			Unit: 09:00		Unit: 09:00	Unit: 08:00		Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 08:00	Unit: 06:30
Field 19	varies			1		1	3	0	0	0	0	1
Field 20	varies			Unit: 19:00		Unit: 19:00	Unit: 18:00		Unit: 12:00	Unit: 12:00	Unit: 18:00	Unit: 17:00
Field 21	varies			0		0	1	0	1	0	0	0
Field 22	varies			Unit: 24:00		Unit: 24:00	Unit: 24:00		Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00	Unit: 24:00
Field 23	varies			1		1	8	0	0	0	0	1
Field 24	varies			Through: 12/31		For: AllDays						
Field 25	varies			Unit: 08:00		Unit: 08:00						
Field 26	varies			1		1	0					
Field 27	varies			Unit: 14:00		Unit: 14:00						
Field 28	varies			0		0						
Field 29	varies			Unit: 08:30		Unit: 08:30						
Field 30	varies			1		1						
Field 31	varies			Unit: 18:00		Unit: 18:00						
Field 32	varies			0		0						
Field 33	varies			Unit: 14:30		Unit: 14:30						
Field 34	varies			1		1						
Field 35	varies			Unit: 18:00		Unit: 18:00						
Field 36	varies			0		0						
Field 37	varies			Unit: 18:30		Unit: 18:30						
Field 38	varies			1		1						
Field 39	varies			Unit: 24:00		Unit: 24:00						
Field 40	varies			0		0						
Field 41	varies											

Σχήμα 6.44: Τα αντικείμενα της κατηγορίας Schedule:Compact για τα Σενάρια 2,3,4.

6.5.2.4 Surface Construction Elements

- **Material:** Πρόκειται για την πιο συνηθισμένη κατηγορία προσδιορισμού των υλικών. Απαιτεί γνώση πολλών από τις θερμικές ιδιότητες του υλικού και με απαραίτητες τις τέσσερις κύριες (πάχος, αγωγιμότητα, πυκνότητα και ειδική θερμότητα). Χρησιμοποιείται μόνο για την περιγραφή αδιαφανών

κατασκευαστικών στοιχείων ενώ επιτρέπει στο EnergyPlus να λαμβάνει υπόψη τη θερμική μάζα του υλικού.

- Name: Ορίζει το μοναδικό όνομα αναφοράς το οποίο ο χρήστης εκχωρεί σε ένα συγκεκριμένο υλικό.
- Roughness: Καθορίζει τη σχετική τραχύτητα ενός συγκεκριμένου στρώματος υλικού. Αυτή η παράμετρος επηρεάζει μόνο τους συντελεστές μεταφοράς, ειδικότερα τον συντελεστή εξωτερικής ροής. Οι επιλογές αυτής της κατηγορίας είναι *VeryRough*, *Rough*, *MediumRough*, *MediumSmooth*, *Smooth*, και *VerySmooth* κατά σειρά από τις τραχύτερες έως τις ομαλότερες επιλογές.
- Thickness: Χαρακτηρίζει το πάχος του στρώματος υλικού σε μέτρα. Αυτή θα πρέπει να είναι η διάσταση του στρώματος στην κατεύθυνση κάθετη προς την κύρια διαδρομή της αγωγής θερμότητας και τιμή πρέπει να είναι θετική. Μοντελοποίηση στρώσεων λεπτότερων από 0.003 m δεν συνιστάται.
- Conductivity: Εισάγει την θερμική αγωγιμότητα του στρώματος υλικού. Οι μονάδες της παραμέτρου είναι $\frac{W}{m K}$ ενώ η θερμική αγωγιμότητα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από μηδέν. Μοντελοποίηση στρώσεων με αγωγιμότητα μεγαλύτερη από $5.0 \frac{W}{m K}$ δεν προτείνεται.
- Density: Εισάγει την πυκνότητα του στρώματος υλικού σε μονάδες $\frac{kg}{m^3}$ και πρέπει να είναι μια θετική ποσότητα.
- Specific Heat: Αντιπροσωπεύει την ειδική θερμότητα του στρώματος υλικού σε μονάδες $\frac{J}{kg K}$. Επιτρέπονται μόνο τιμές 100 ή μεγαλύτερες ενώ οι τυπικές κλίμακες κυμαίνονται από 800 έως $2000 \frac{J}{kg K}$.

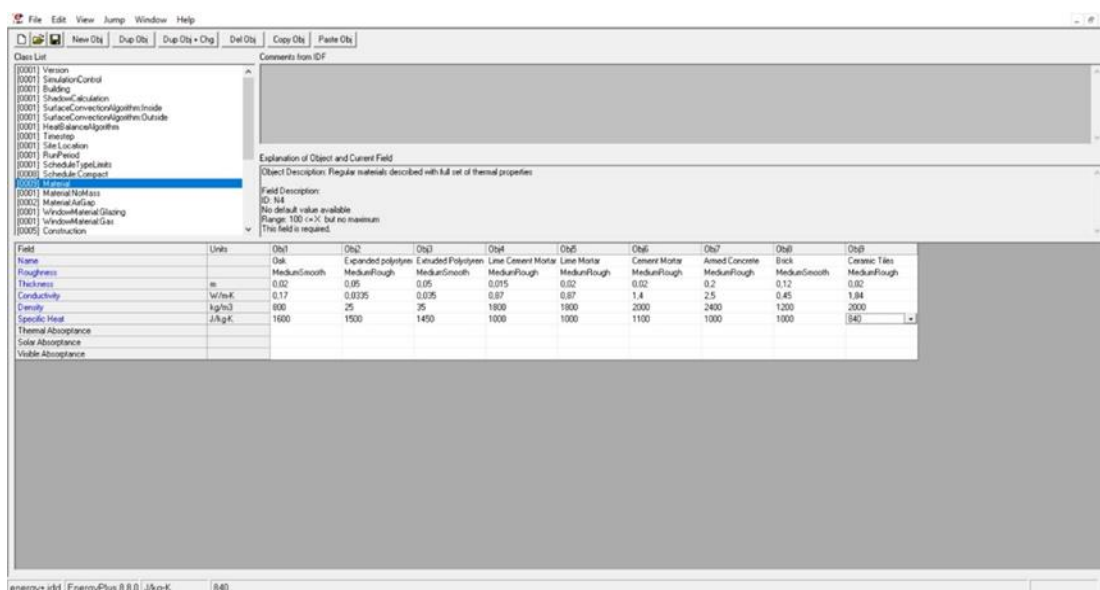
Τα υλικά από τα οποία είναι κατασκευασμένα τα δομικά στοιχεία του κτιρίου φαίνονται στον Πίνακα 6.1 μαζί με τις θερμοφυσικές τους ιδιότητες οι οποίες καθορίστηκαν βάσει της τεχνική οδηγίας του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος (ΤΕΕ) **T.O.T.E.E 20701-2/2010**

Υλικό	Τραχύτητα	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα ($\frac{W}{mK}$)	Πυκνότητα ($\frac{kg}{m^3}$)	Ειδική Θερμότητα ($\frac{J}{kgK}$)
Δρυς (Oak)	Medium Smooth	0.02	0.17	800	1600
Διογκωμένη Πολυστερίνη (Expanded Polystyrene)	Medium Rough	0.05	0.0335	25	1500
Αφρώδης Εξηλασμένη Πολυστερίνη σε πλάκες (Extruded Polystyrene)	Medium Smooth	0.05	0.035	35	1450
Ασβεστοσιμεντοκονίαμα (Lime Cement Mortar)	Medium Rough	0.015	0.870	1800	1000
Ασβεστοκονίαμα (Lime Mortar)	Medium Rough	0.02	0.870	1800	1000
Τσιμεντοκονίαμα (Cement Mortar)	Medium Rough	0.02	1.4	2000	1100
Οπλισμένο Σκυρόδεμα (Armed Concrete)	Medium Rough	0.2	2.5	2400	1000
Οπτοπλινθοδομή (Brick)	Medium Smooth	0.12	0.45	1200	1000
Κεραμικά Πλακίδια επίστρωσης δαπέδου (Ceramic Tiles)	Medium Rough	0.02	1.84	2000	840

Πίνακας 6.1: Θερμοφυσικές ιδιότητες υλικών κατασκευής κτιρίου.

Τα παραπάνω υλικά χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και των 4 υπό εξέταση σεναρίων.

Σενάριο 1



Σχήμα 6.45: Επιλογές υλικών στην κατηγορία Materials για το Σενάριο 1.

Όσον αφορά τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάρια 2,3 και 4) απαραίτητη είναι η προσθήκη ενός ακόμα υλικού, του ηλιοαπορροφητικού που θα εκτείνεται στην νότια πλευρά του τοίχου Trombe και θα έχει τις θερμικές ιδιότητες που παρατίθενται στον Πίνακα 6.2.

Υλικό	Τραχύτητα	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα ($\frac{W}{mK}$)	Πυκνότητα ($\frac{kg}{m^3}$)	Ειδική Θερμότητα ($\frac{J}{kgK}$)
Ηλιοαπορροφητικό (Solar Absorber)	Medium Smooth	0.01	0.16	600	1000

Πίνακας 6.2: Θερμοφυσικές ιδιότητες ηλιοαπορροφητικού, [5].

Απαραίτητος είναι και ο ορισμός του υλικού αλλαγής φάσης (PCM) που εμπεριέχεται στην δομή του τοίχου Trombe στα Σενάρια 3 και 4 και το οποίο θα έχει θερμοκρασία τήξης 29 °C και τις θερμοφυσικές ιδιότητες του Πίνακα 6.3.

Υλικό	Τραχύτητα	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα ($\frac{W}{mK}$)	Πυκνότητα ($\frac{kg}{m^3}$)	Ειδική Θερμότητα ($\frac{J}{kgK}$)
BioPCM	Medium Smooth	0.01	0.2	860	970

Πίνακας 6.3:Θερμοφυσικές ιδιότητες Υλικού αλλαγής Φάσης BioPCM,[77].

Ενώ τέλος όσον αφορά το Σενάριο 4 θα πρέπει να προστεθεί ακόμα ένα υλικό το οποίο είναι η γυψοσανίδα και θα έχει τις θερμικές ιδιότητες που παρατίθενται στον Πίνακα 6.4.

Υλικό	Τραχύτητα	Πάχος (m)	Θερμική Αγωγιμότητα ($\frac{W}{mK}$)	Πυκνότητα ($\frac{kg}{m^3}$)	Ειδική Θερμότητα ($\frac{J}{kgK}$)
Γυψοσανίδα (Plasterboard)	Medium Smooth	0.04	0.36	1150	1000

Πίνακας 6.4: Θερμοφυσικές ιδιότητες Γυψοσανίδας.

– Σενάριο 2

Field	Units	Obs1	Obs2	Obs3	Obs4	Obs5	Obs6	Obs7	Obs8	Obs9	Obs10
Name	Obs	Expanded polystyrene	Extruded Polystyrene	Lime Cement Mortar	Lime Mortar	Cement Mortar	Aerated Concrete	Brick	Ceramic Tiles	Solar Absorber	Solar Absorber
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0.02	0.05	0.05	0.015	0.02	0.02	0.2	0.12	0.02	0.01
Conductivity	W/m.K	0.17	0.0395	0.025	0.87	0.87	1.4	2.5	0.45	1.84	0.16
Density	kg/m3	800	25	35	1800	1800	2000	2400	2000	2000	800
Specific Heat	J/kg.K	1600	1500	1450	1000	1000	1100	1000	1000	840	1000
Thermal Absorptance											
Solar Absorptance											
Visible Absorptance											

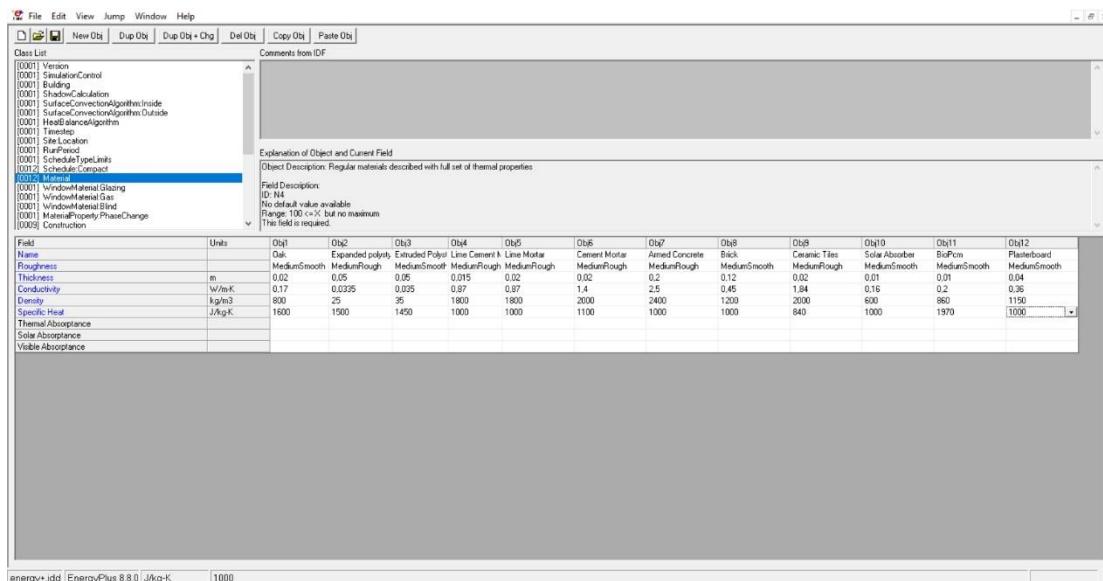
Σχήμα 6.46: Επιλογές υλικών στην κατηγορία Materials για το Σενάριο 2.

– Σενάριο 3

Field	Units	Obs1	Obs2	Obs3	Obs4	Obs5	Obs6	Obs7	Obs8	Obs9	Obs10	Obs11
Name	Obs	Expanded polystyrene	Extruded Polystyrene	Lime Cement Mortar	Lime Mortar	Cement Mortar	Aerated Concrete	Brick	Ceramic Tiles	Solar Absorber	Solar Absorber	Solar Absorber
Roughness		MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0.02	0.05	0.05	0.015	0.02	0.02	0.2	0.12	0.02	0.01	0.01
Conductivity	W/m.K	0.17	0.0395	0.025	0.87	0.87	1.4	2.5	0.45	1.84	0.16	0.2
Density	kg/m3	800	25	35	1800	1800	2000	2400	2000	2000	600	860
Specific Heat	J/kg.K	1600	1500	1450	1000	1000	1100	1000	1000	840	1000	1920
Thermal Absorptance												
Solar Absorptance												
Visible Absorptance												

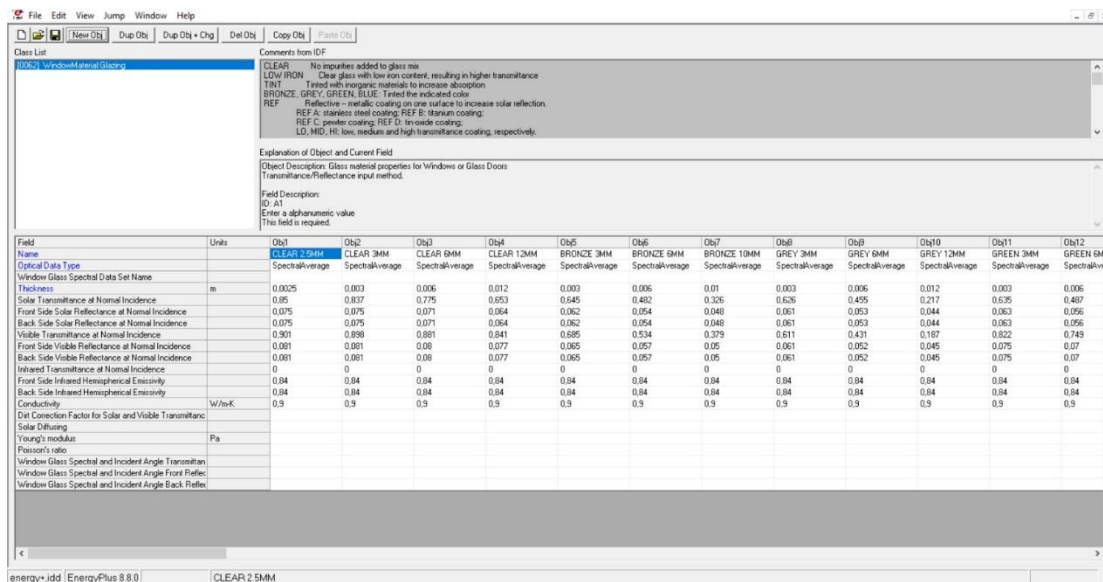
Σχήμα 6.47: Επιλογές υλικών στην κατηγορία Materials για το Σενάριο 3.

Σενάριο 4



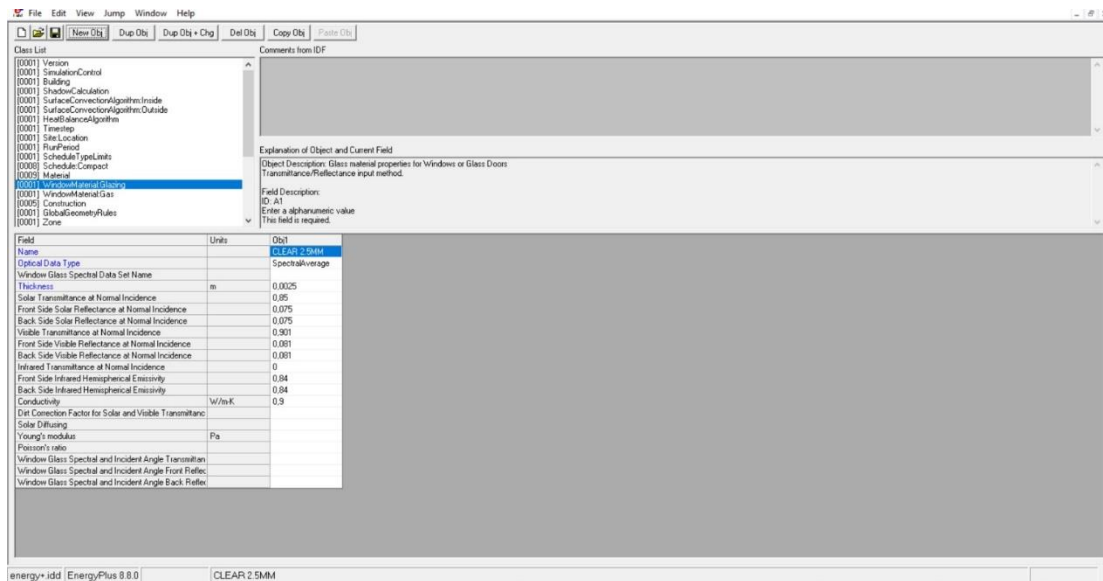
Σχήμα 6.48: Επιλογές υλικών στην κατηγορία Materials για το Σενάριο 4.

- WindowMaterial: Glazing:** Καθορίζει τις ιδιότητες των γυάλινων υποεπιφανειών είτε πρόκειται για παράθυρα ή γυάλινες πόρτες. Το υλικό το οποίο επιλέγεται υπάρχει έτοιμο στην βιβλιοθήκη του προγράμματος **File>Open DataSet>WindowGlassMaterials.idf** όπου ανοίγεται το κάτωθι παράθυρο.



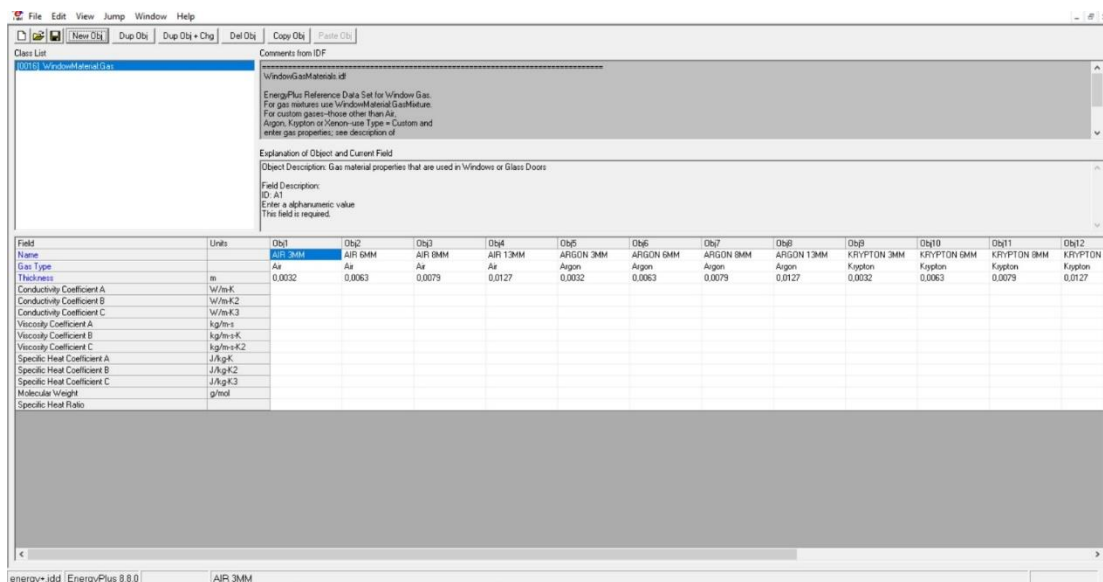
Σχήμα 6.49: Βιβλιοθήκη IDF Editor της κατηγορίας WindowMaterial: Glazing.

όπου επιλέγεται ένα καθαρό γυαλί πάχους 2.5 mm το οποίο έχει τις προκαθορισμένες ιδιότητες από την βιβλιοθήκη του προγράμματος.



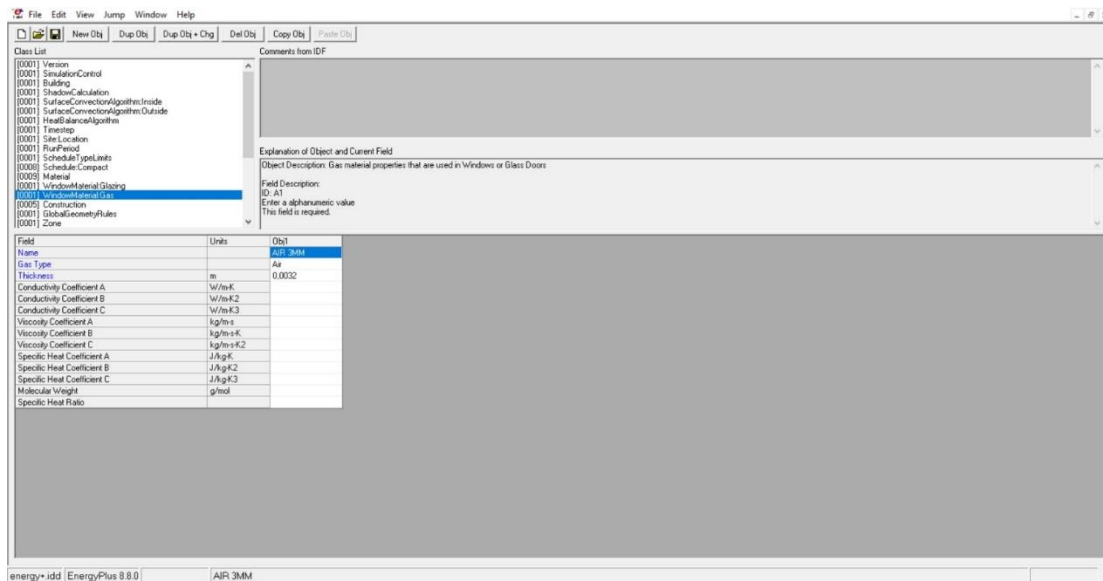
Σχήμα 6.50: Επιλογή υλικού στην κατηγορία WindowMaterial:Glazing.

- WindowMaterial:Gas:** Καθορίζει τις ιδιότητες του αερίου μεταξύ των υαλοπινάκων ενός παράθυρου πολλαπλών τζαμιών. Το υλικό το οποίο έχει εισαχθεί υπάρχει έτοιμο από την βιβλιοθήκη του προγράμματος **File>Open DataSet>WindowGasMaterials.idf** όπου ανοίγεται το κάτωθι παράθυρο.



Σχήμα 6.51: Βιβλιοθήκη IDF Editor της κατηγορίας WindowMaterial: Gas.

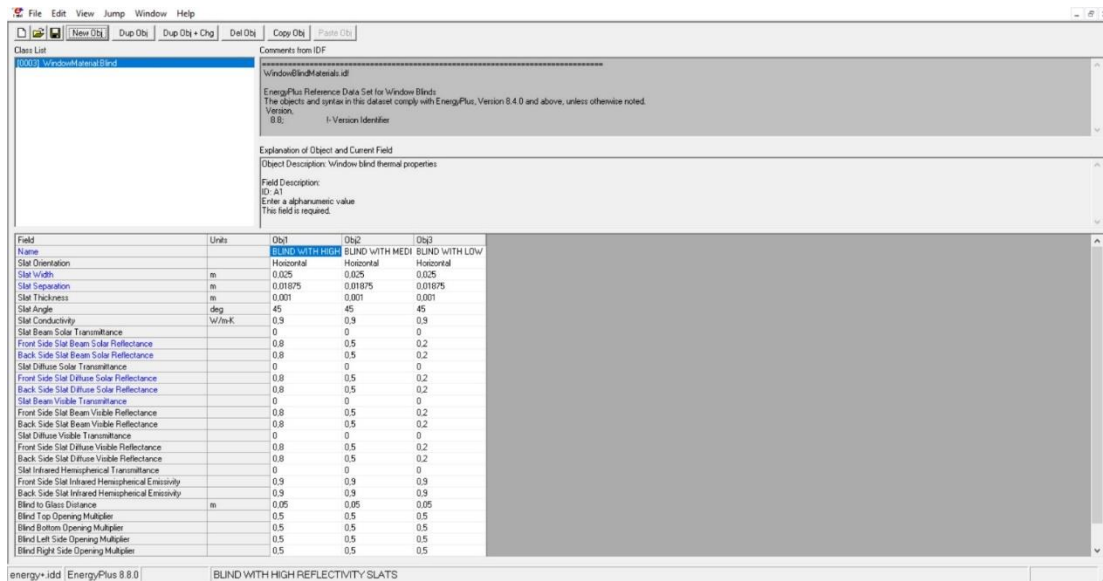
Επιλέγεται το διάκενο να αποτελείται από αέρα και να έχει πάχος 3 mm.



Σχήμα 6.52: Επιλογή υλικού στην κατηγορία *WindowMaterial: Gas*.

Όσον αφορά τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάρια 2,3 και 4) απαραίτητη είναι η προσθήκη του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένες οι περσίδες τα οποία είναι απαραίτητα για την ορθή λειτουργία της διάταξης το καλοκαίρι.

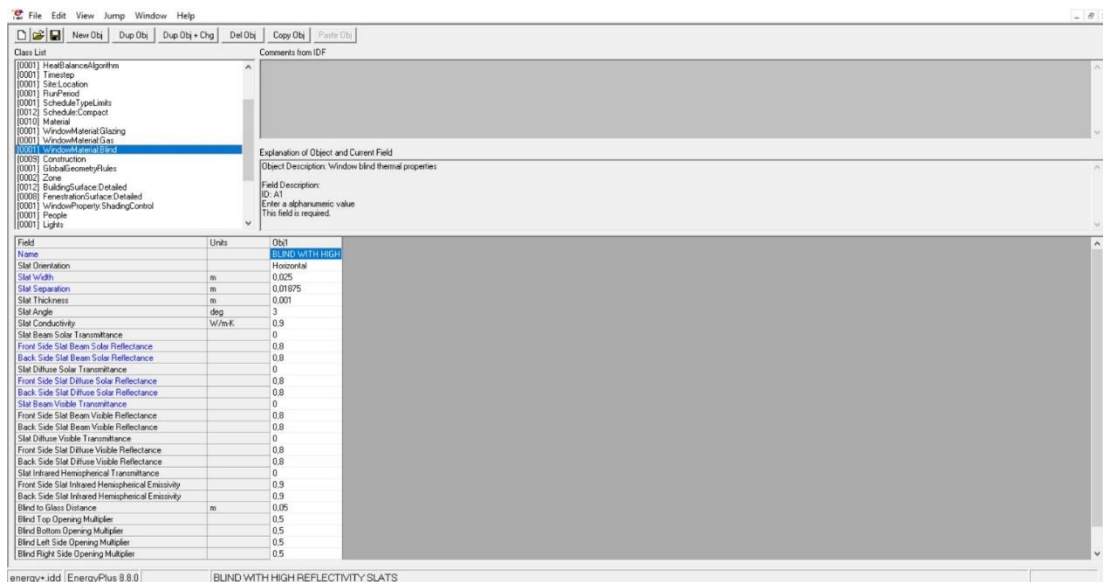
- WindowMaterial:Blind:** Καθορίζει τις ιδιότητες των περσίδων ενός παραθύρου που αποτελείται από επίπεδες, ισαπέχουσες σανίδες. Σε αντίθεση με τις σκιάσεις των παραθύρων, οι οποίες διαμορφώνονται ως τέλειοι διαχύτες, οι περσίδες έχουν ιδιότητες μετάδοσης και ανάκλασης που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γωνία και τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο τύπος των περσίδων που έχει εισαχθεί βρίσκεται έτοιμος από την βιβλιοθήκη του προγράμματος **File>Open DataSet>WindowBlindMaterials.idf** όπου ανοίγεται το κάτωθι παράθυρο.



Σχήμα 6.53: Βιβλιοθήκη IDF Editor της κατηγορίας WindowMaterial: Blind.

Όπου επιλέγονται περσίδες με υψηλή ανάκλαση. Το υλικό έχει όλες τις προκαθορισμένες ιδιότητες από την βιβλιοθήκη του προγράμματος εκτός από την γωνία που σχηματίζουν οι σανίδες μεταξύ τους την οποία ,εφόσον θέλουμε κατά την λειτουργία τους να είναι ερμητικά κλειστές, ορίζουμε ίση με **Slat Angle= 3°**

– Σενάρια 2,3,4

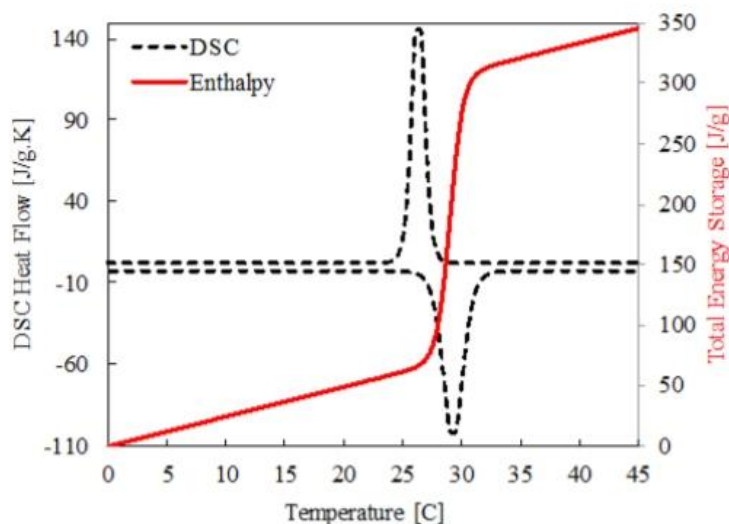


Σχήμα 6.54: Επιλογή υλικού στην κατηγορία WindowMaterial:Blind.

Για τα Σενάρια 3 και 4 που η δομή του τοίχου Trombe εμπεριέχει το PCM δεν αρκεί ο ορισμός του στα Materials αλλά απαραίτητη είναι και η προσθήκη της καμπύλης ενθαλπίας θερμοκρασίας η οποία γίνεται ως εξής.

- **MaterialProperty:PhaseChange:** Περιγράφει τις πρόσθετες ιδιότητες υλικού που εξαρτώνται από τη θερμοκρασία, στην περίπτωση των υλικών αλλαγής φάσης την ενθαλπία. Στο πεδίο HeatBalanceAlgorithm απαραίτητος είναι ο ορισμός του αλγορίθμου επίλυσης CondFD (ConductionFiniteDifference).
 - Name: Καθορίζει το υλικό με το οποίο θα συσχετιστούν αυτές οι πρόσθετες πληροφορίες ιδιοτήτων εξαρτώμενες από τη θερμοκρασία. Επιλέγουμε: **BioPcm**
 - Πεδία Temperature-Enthalpy: Προσδιορίζουν το διάγραμμα της συνάρτησης θερμοκρασίας-ενθαλπίας για το εκάστοτε υλικό. Μπορούν να καθοριστούν δεκαέξι ζεύγη. Οι τιμές που δίνονται πρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την περιοχή θερμοκρασιών που θα παρατηρηθεί από το υλικό στην προσομοίωση. Προτείνεται η λειτουργία να ξεκινά σε χαμηλή θερμοκρασία και να επεκταθεί μέχρι τους 100°C. Οι τιμές θερμοκρασίας πρέπει αυστηρά να αυξάνονται.

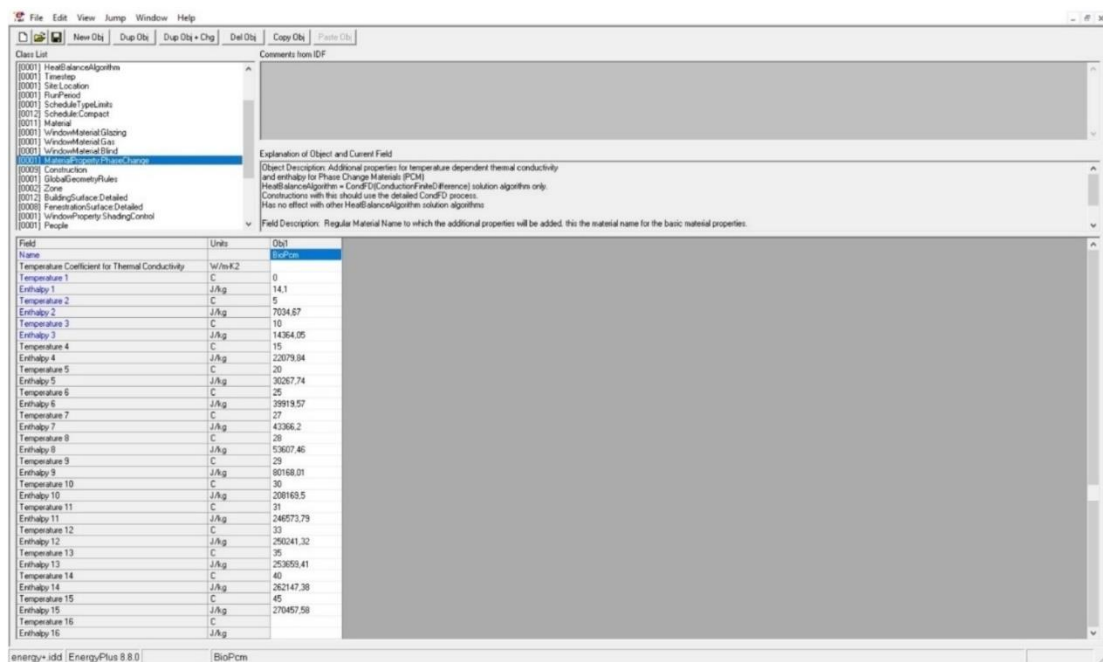
Επιλέγεται υλικό αλλαγής φάσης BioPCM Q29 με θερμοκρασία τήξης 29°C. Με βάση το διάγραμμα ενθαλπίας – θερμοκρασίας που δίνεται από τα φύλλα δεδομένων του επιλεγμένου υλικού αλλαγής φάσης και το οποίο παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.55



Σχήμα 6.55: Καμπύλη θερμοκρασίας-ενθαλπίας BioPCM Q29,[77].

Και προσέχοντας ότι η ενθαλπία πρέπει να εισάγεται σε μονάδες $\frac{J}{kg}$ συμπληρώνονται τα απαραίτητα πεδία.

– Σενάρια 3,4



Σχήμα 6.56: Σημεία καμπύλης θερμοκρασίας-ενθαλπίας BioPCM στην κατηγορία *MaterialProperty:PhaseChange*.

- Construction:** Προσδιορίζει την δομή της εκάστοτε κατασκευής βάσει των υλικών που έχουν δηλωθεί παραπάνω. Κάθε στρώμα της κατασκευής είναι ένα όνομα υλικού που παρατίθεται σε σειρά από «έξω» προς τα «μέσα». Μπορούν να καθοριστούν έως και δέκα στρώματα (οκτώ για παράθυρα). «Εξωτερικά» είναι το στρώμα που βρίσκεται πιο μακριά από τον αέρα ζώνης, όχι απαραίτητα το εξωτερικό περιβάλλον, ενώ το «εσωτερικό» είναι το στρώμα δίπλα στον αέρα ζώνης.
 - Name: Καθορίζει το όνομα της κατασκευής η οποία θα αντιστοιχισθεί στην εκάστοτε επιφάνεια ή υποεπιφάνεια του κτιρίου και ουσιαστικά θα προσδιορίσει την δομή της.
 - Outside Layer: Αυτό το πεδίο ορίζει το όνομα του υλικού που αποτελεί το στρώμα στο εξωτερικό της κατασκευής είτε πρόκειται για το εξωτερικό περιβάλλον είτε για άλλη ζώνη. Κάθε κατασκευή πρέπει να έχει τουλάχιστον ένα στρώμα οπότε είναι απαραίτητη η συμπλήρωση τουλάχιστον αυτού του πεδίου.
 - Πεδία Layer #: Τα συγκεκριμένα πεδία είναι προαιρετικά και ο αριθμός τους εξαρτάται αποκλειστικά από τον αριθμό των στρώσεων υλικού

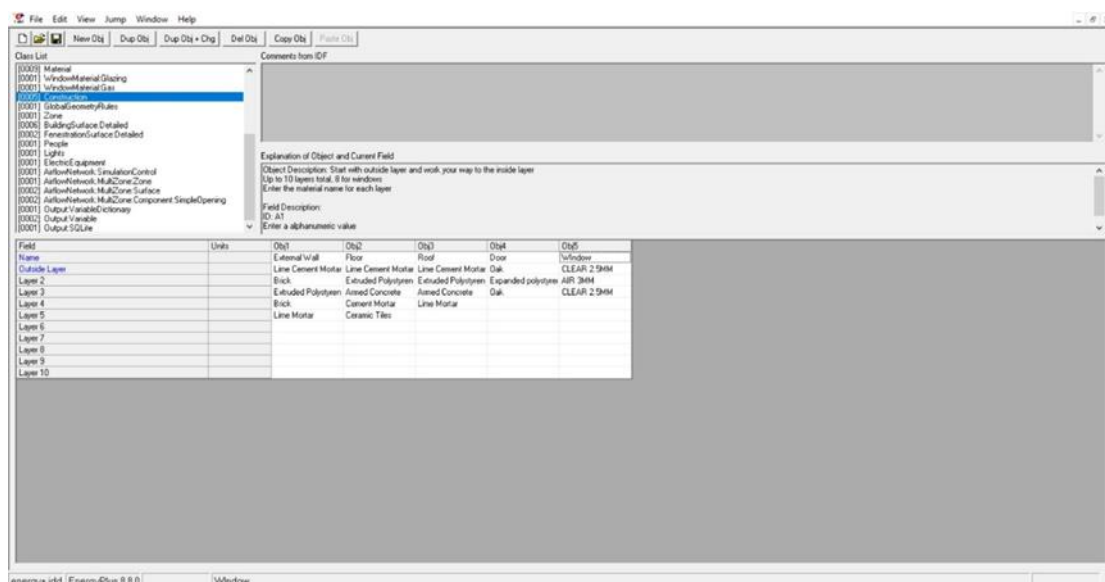
που υπάρχουν σε αυτή την κατασκευή. Προσδιορίζουν το όνομα του υλικού που υπάρχει σε κάθε στρώμα

Οι κατασκευές οι οποίες επιλέγονται παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα μαζί με την αλληλουχία των στρωμάτων τους ξεκινώντας από το εξωτερικό τους μέρος.

Κατασκευή	Στρώμα 1	Στρώμα 2	Στρώμα 3	Στρώμα 4	Στρώμα 5
Εξωτερικός Τοίχος	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	Οπτοπλιθοδομή	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Οπτοπλιθοδομή	Ασβεστοκονίαμα
Δάπεδο	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Τσιμεντοκονίαμα	Κεραμικά Πλακίδια Δαπέδου
Οροφή	Ασβεστοσιμεντοκονίαμα	Εξηλασμένη Πολυστερίνη	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Ασβεστοκονίαμα	-
Πόρτα	Δρυς	Διογκωμένη Πολυστερίνη	Δρυς	-	-
Παράθυρο	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-	-

Πίνακας 6.5: Αλληλουχία στρωμάτων υλικών της εκάστοτε κατασκευής.

– Σενάριο 1



Σχήμα 6.57: Επιλογές κατασκευών για την κατηγορία Construction στο Σενάριο 1.

Οι παραπάνω κατασκευές υπάρχουν στις επιφάνειες και υποεπιφάνειες των 4 υπό εξέταση σεναρίων. Όσον αφορά τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάρια 2,3 και 4) απαραίτητη είναι η προσθήκη ακόμη τεσσάρων κατασκευών για το εκάστοτε σενάριο τα οποία θα περιέχουν την δομή του τοίχου Trombe όπως είναι στις δυο ζώνες καθώς και του υαλοστασίου του με και χωρίς περσίδες το οποίο θα παραμένει το ίδιο και για τις 3 αυτές περιπτώσεις.

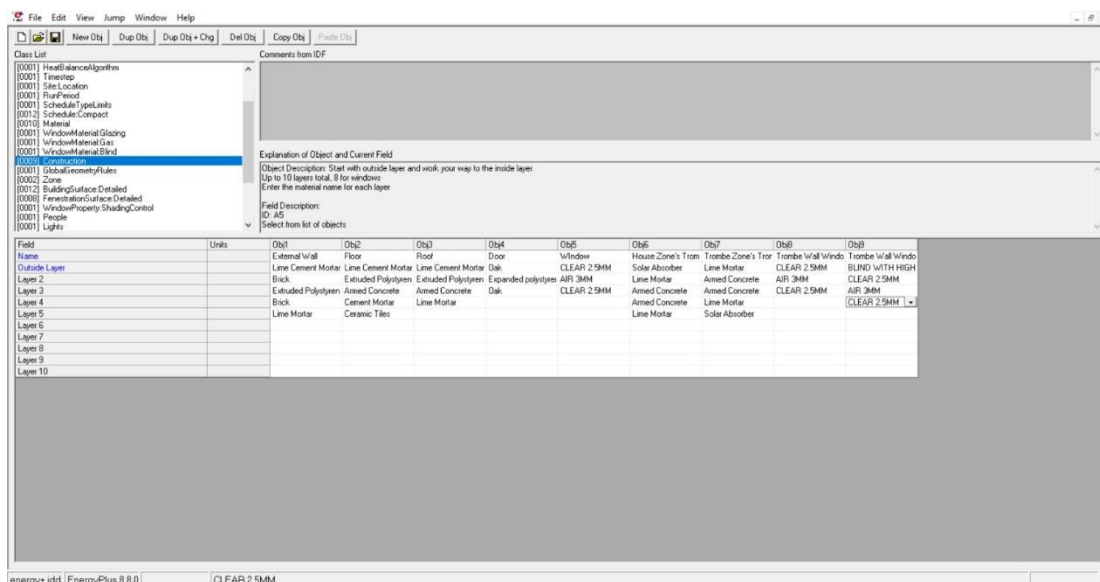
– Σενάριο 2

Οι κατασκευές οι οποίες θα προστεθούν φαίνονται στον Πίνακα 6.6.

Κατασκευή	Στρώμα 1	Στρώμα 2	Στρώμα 3	Στρώμα 4	Στρώμα 5
Τοίχος Trombe- House Zone	Ηλιοαπορροφητικό	Ασβεστοκονίαμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Ασβεστοκονίαμα
Τοίχος Trombe- Trombe Zone	Ασβεστοκονίαμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Ασβεστοκονίαμα	Ηλιοαπορροφητικό
Παράθυρο Τοίχου Trombe	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-	-
Παράθυρο Τοίχου Trombe με Περσίδες	Περσίδες	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-

Πίνακας 6.6: Αλληλουχία στρωμάτων που προστίθενται επιπλέον στο Σενάριο 2.

Όπου στο πρόγραμμα θα προστίθενται με την παρακάτω μορφή.



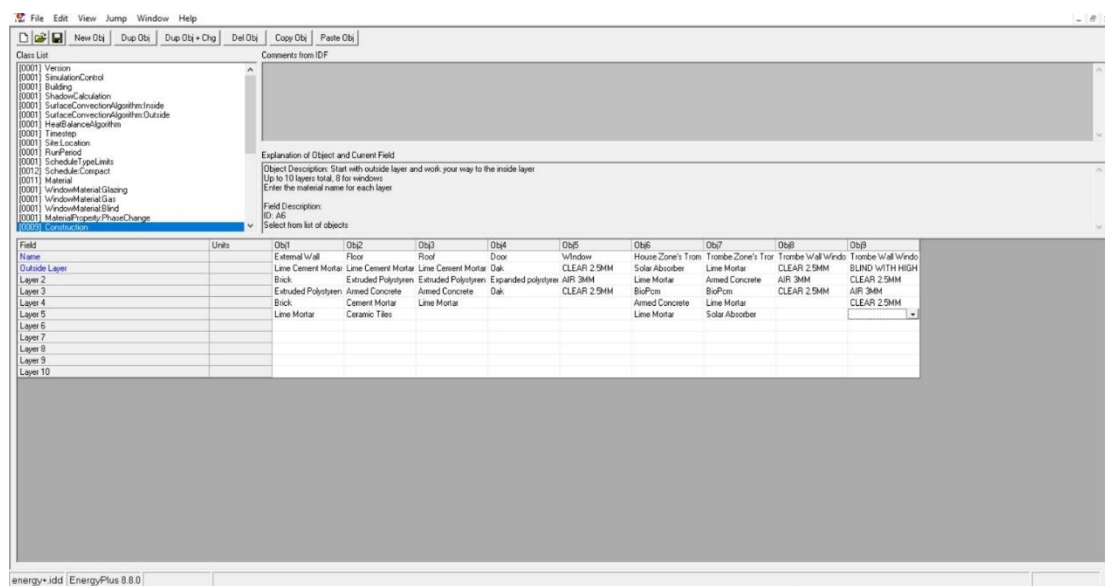
Σχήμα 6.58: Επιλογές κατασκευών για την κατηγορία Construction στο Σενάριο 2.

– Σενάριο 3

Οι κατασκευές οι οποίες προστίθενται φαίνονται στον Πίνακα 6.7.

Κατασκευή	Στρώμα 1	Στρώμα 2	Στρώμα 3	Στρώμα 4	Στρώμα 5
Τοίχος Trombe-House Zone	Ηλιοαπορροφητικό	Ασβεστοκονίαμα	BioPcm	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Ασβεστοκονίαμα
Τοίχος Trombe-Trombe Zone	Ασβεστοκονίαμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	BioPcm	Ασβεστοκονίαμα	Ηλιοαπορροφητικό
Παράθυρο Τοίχου Trombe	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-	-
Παράθυρο Τοίχου Trombe με Περσίδες	Περσίδες	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-

Πίνακας 6.7: Αλληλουχία στρωμάτων που προστίθενται επιπλέον στο Σενάριο 3.



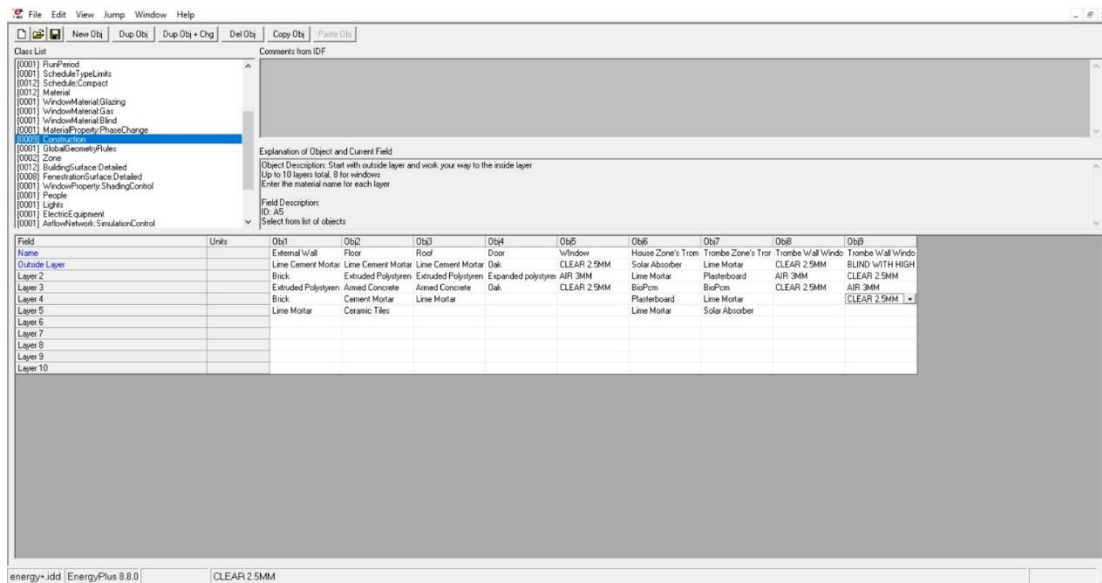
Σχήμα 6.59: Επιλογές κατασκευών για την κατηγορία Construction στο Σενάριο 3.

– Σενάριο 4

Οι κατασκευές οι οποίες προστίθενται φαίνονται στον Πίνακα 6.8.

Κατασκευή	Στρώμα 1	Στρώμα 2	Στρώμα 3	Στρώμα 4	Στρώμα 5
Τοίχος Trombe- House Zone	Ηλιοαπορροφητικό	Ασβεστοκονίαμα	BioPcm	Γυψοσανίδα	Ασβεστοκονίαμα
Τοίχος Trombe- Trombe Zone	Ασβεστοκονίαμα	Γυψοσανίδα	BioPcm	Ασβεστοκονίαμα	Ηλιοαπορροφητικό
Παράθυρο Τοίχου Trombe	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	-	
Παράθυρο Τοίχου Trombe με Περσίδες	Περσίδες	Γυαλί 2.5 mm	Διάκενο Αέρα 3 mm	Γυαλί 2.5 mm	

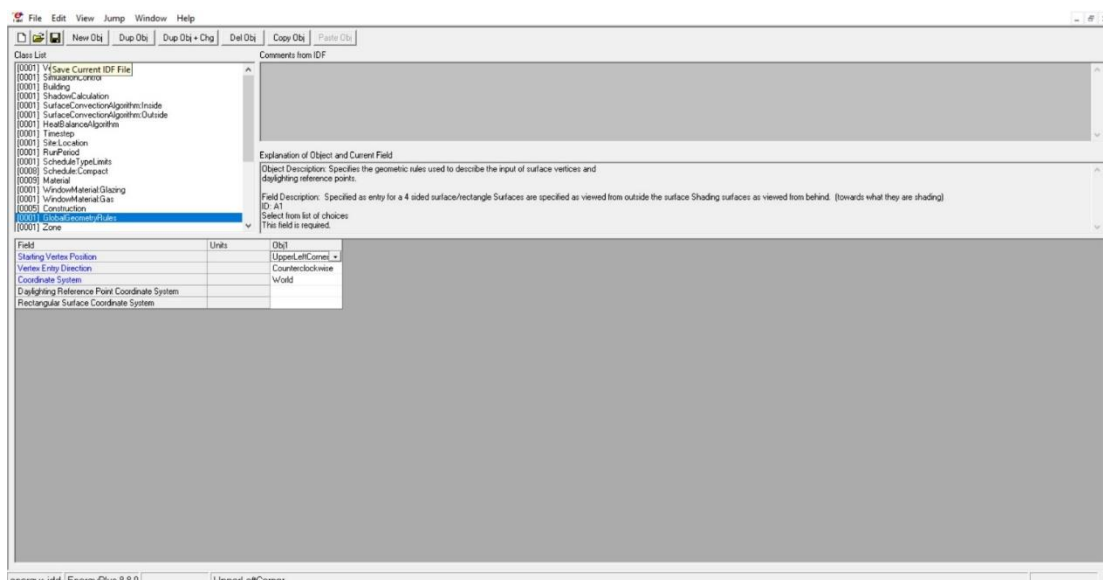
Πίνακας 6.8: Αλληλουχία στρωμάτων που προστίθενται επιπλέον στο Σενάριο 4.



Σχήμα 6.60: Επιλογές κατασκευών για την κατηγορία Construction στο Σενάριο 4.

6.5.2.5 Thermal Zones and Surfaces

- **GlobalGeometryRules:** Καθορίζει την γεωμετρία που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των κορυφών επιφάνειας και των σημείων αναφοράς για το φως της ημέρας.
 - Starting Vertex Position: Καθορίζει το σημείο εκκίνησης για κάθε είσοδο επιφάνειας που πρέπει να γνωρίζει ο μεταφραστής. Εφόσον οι αλγόριθμοι σκίασης στο EnergyPlus βασίζονται σε επιφάνειες που έχουν κορυφές σε συγκεκριμένη σειρά και δομή θέσης οι επιλογές είναι: *UpperLeftCorner*, *LowerLeftCorner*, *UpperRightCorner* ή *LowerRightCorner*. Δεδομένου ότι οι περισσότερες επιφάνειες θα έχουν 4 όψεις, η σύμβαση θα καθορίζει αυτή τη θέση σαν να ήταν κάθε επιφάνεια 4 όψεων. Επιλέγεται: **UpperLeftCorner**
 - Vertex Entry Direction: Δηλώνει αν οι επιφάνειες καθορίζονται αντίθετα από τη φορά των δεικτών του ρολογιού ή δεξιόστροφα (από την αρχική θέση των κορυφών). Επιλέγεται: **Counterclockwise**
 - Coordinate System: Καθορίζει την κατηγορία των συντεταγμένων. Οι κορυφές μπορούν να οριστούν με δύο τρόπους: χρησιμοποιώντας συντεταγμένες απόλυτες (Absolute) ή παγκόσμιες (World) ή διαφορετικά με τον ορισμό σχετικών συντεταγμένων. Επιλέγεται: **World**



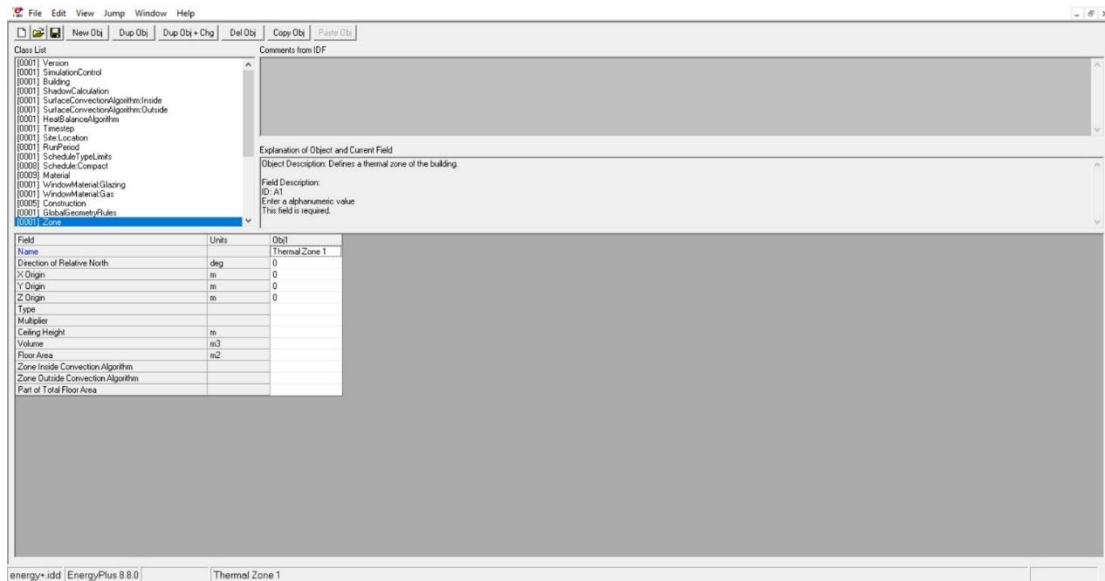
Σχήμα 6.61: Οι επιλογές της κατηγορίας GlobalGeometryRules.

- **Zone:** Ορίζει μια θερμική ζώνη του κτιρίου. Έχοντας εισάγει μέσω του Open Studio Plug in κατά την σχεδίαση του κτιρίου στο Sketch Up την εκάστοτε

θερμική ζώνη, αυτές εμφανίζονται με τα χαρακτηριστικά τους στο αρχείο που έχει εξαχθεί από τη εκάστοτε κατασκευή.

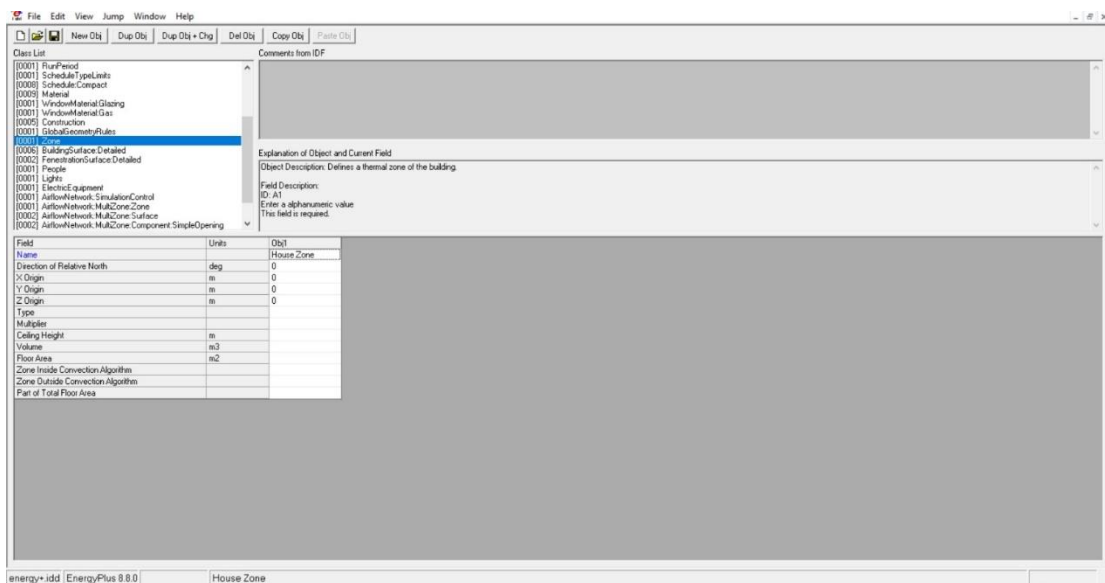
– **Σενάριο 1**

Έτσι στην περίπτωση του Σεναρίου 1 υπάρχει η θερμική ζώνη με όνομα Thermal Zone 1, όπως και όλα τα χαρακτηριστικά της, η οποία ουσιαστικά αποτελεί την κύρια θερμική ζώνη του σπιτιού.



Σχήμα 6.62: Η μορφή της κατηγορίας Zone για το Σενάριο 1 βάσει των πληροφοριών που έχουν εισαχθεί κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου.

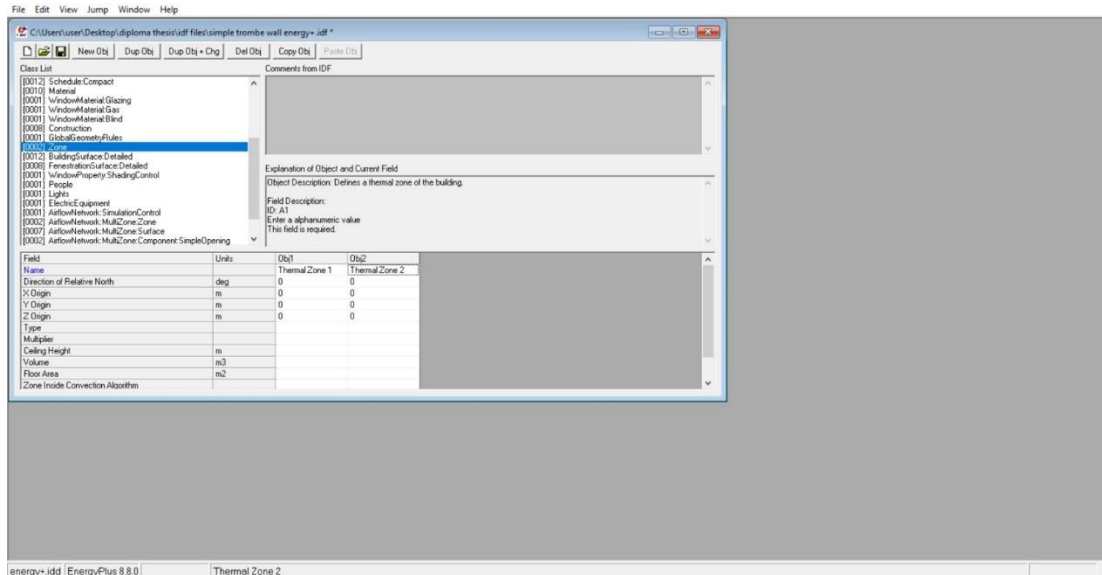
Οπότε η μόνη αλλαγή που γίνεται είναι η μετονομασία της ζώνης σε House Zone.



Σχήμα 6.63: Οι επιλογές της κατηγορίας Zone για το Σενάριο 1.

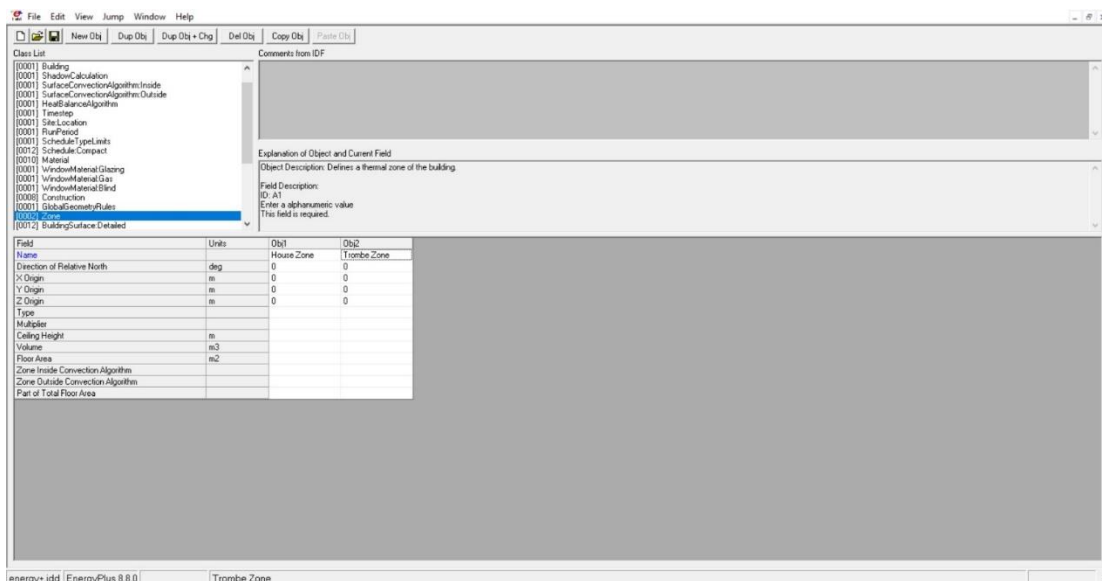
– Σενάρια 2,3,4

Όσον αφορά τα Σενάρια 2, 3 και 4 εμφανίζονται δυο θερμικές ζώνες, η Thermal Zone 1 και η Thermal Zone 2. Η Thermal Zone 1 αποτελεί και εδώ την κύρια θερμική ζώνη του σπιτιού ενώ η Thermal Zone 2 την θερμική ζώνη του τοίχου Trombe.



Σχήμα 6.64: Η μορφή της κατηγορίας Zone για τα Σενάρια 2,3,4 βάσει των πληροφοριών που έχουν εισαχθεί κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου.

Όπότε και στην προκειμένη περίπτωση οι μόνες αλλαγές που γίνονται είναι η μετονομασία της Thermal Zone 1 σε House Zone και της Thermal Zone 2 σε Trombe Zone.



Σχήμα 6.65: Οι επιλογές της κατηγορίας Zone για τα Σενάρια 2,3,4.

- **BuildingSurface:Detailed:** Είναι υπεύθυνο για τη λεπτομερή καταχώριση των επιφανειών μεταφοράς θερμότητας του κτιρίου. Δεν περιλαμβάνει τις υποεπιφάνειες όπως παράθυρα ή πόρτες. Πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία επιφάνεια κτιρίου ανά ζώνη. Παρατηρείται ότι ήδη υπάρχουν σαν αντικείμενα οι επιφάνειες που σχεδιάστηκαν με το Sketch Up καθώς και τα χαρακτηριστικά τους στο αρχείο που έχει εξαχθεί από τη εκάστοτε κατασκευή.
 - Name: Διευκρινίζει το όνομα της εκάστοτε επιφάνειας, το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίδιο με αυτό που έχει στο πρόγραμμα Sketch Up.
 - Surface Type: Χρησιμοποιείται κυρίως για λόγους ευκολίας, ο τύπος επιφάνειας μπορεί να είναι μία από τις εξής επιλογές: *Wall, Floor, Ceiling, Roof*. Το αζιμούθιο και η κλίση προσδιορίζονται από τις συντεταγμένες των κορυφών, τα «κανονικά» δάπεδα θα γέρνουν 180 °, οι επίπεδες οροφές θα γέρνουν 0° ενώ η «κανονική» κλίση των τοίχων είναι 90°.
 - Construction Name: Καθορίζει την κατασκευή (Construction) που χρησιμοποιείται στην επιφάνεια. Ανεξάρτητα από την τοποθεσία στο κτίριο, χρησιμοποιείται η «πλήρης» κατασκευή δηλαδή όλα τα στρώματα της κατασκευής.
 - Zone Name: Προσδιορίζει το όνομα της ζώνης στην οποία ανήκει η επιφάνεια.
 - Outside Boundary Condition: Ανάλογα με το πραγματικό είδος επιφάνειας οι επιλογές είναι οι εξής: *Surface, Adiabatic, Zone, Outdoors, Foundation, Ground, GroundFCfactorMethod, OtherSideCoefficients, OtherSideConditionsModel, GroundSlabPreprocessorAverage, GroundSlabPreprocessorCore, GroundSlabPreprocessorPerimeter, GroundBasementPreprocessorAverageWall, GroundBasementPreprocessorAverageFloor, GroundBasementPreprocessorUpperWall, GroundBasementPreprocessorLowerWall*.
 - Outside Boundary Condition Object: Εάν δεν έχει επιλεγεί στο παραπάνω πεδίο κάποια από τις επιλογές *Surface, Zone, Foundation, OtherSideCoefficients, OtherSideConditionsModel* το πεδίο πρέπει να

παραμένει κενό. Για παράδειγμα αν έχει επιλεγεί παραπάνω Surface, τότε η τιμή του πεδίου πρέπει να είναι το όνομα της επιφάνειας του οποίου η εσωτερική θερμοκρασία θα επιβληθεί στην εξωτερική όψη της επιφάνειας βάσης. Οι κατασκευές της επιφάνειας και της αντίθετης επιφάνειας πρέπει να ταιριάζουν, ενώ πιο συγκεκριμένα για τις κατασκευές πολλαπλών στρώσεων, η σειρά των επιπέδων της αντίθετης επιφάνειας πρέπει να είναι το αντίστροφο αυτής της επιφάνειας.

- Sun Exposure: Προσδιορίζει αν η επιφάνεια είναι εκτεθειμένη στον ήλιο, σε περίπτωση που είναι τότε θα πρέπει να εισαχθεί το *SunExposed* στο πεδίο αυτό αλλιώς πρέπει να εισαχθεί *NoSun*.
- Wind Exposure: Προσδιορίζει αν η επιφάνεια είναι εκτεθειμένη στον άνεμο, σε περίπτωση που είναι τότε θα πρέπει να εισαχθεί το *WindExposed* στο πεδίο αυτό αλλιώς πρέπει να εισαχθεί *NoWind*.

Παρατηρείται ότι ήδη στο πρόγραμμα έχουν εισαχθεί τα παραπάνω στοιχεία αυτόματα.

Για παράδειγμα στο Σενάριο 1 υπάρχουν τα εξής δεδομένα:

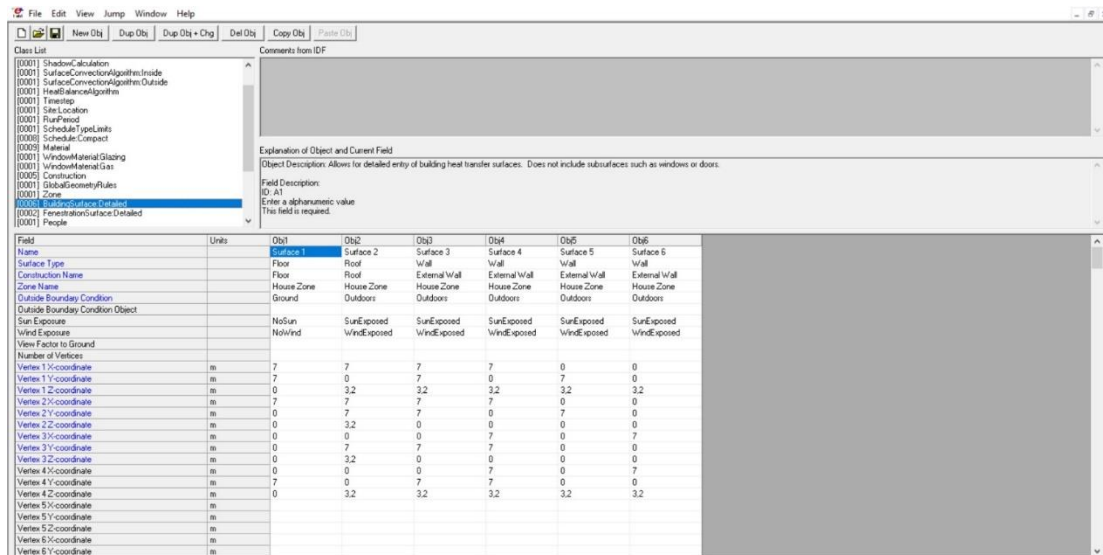
Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Surface 1	Surface 2	Surface 3	Surface 4	Surface 5	Surface 6
Surface Type		Floor	Roof	Wall	Wall	Wall	Wall
Construction Name		ExtSlabCape1 4n C	ASHRAE 189 1-20X	ASHRAE 189 1-20X	ASHRAE 189 1-20X	ASHRAE 189 1-20X	ASHRAE 189 1-20X
Zone Name		ThermalZone 1	ThermalZone 1	ThermalZone 1	ThermalZone 1	ThermalZone 1	ThermalZone 1
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object							
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground							
Number of Vertices							
Vertex 1 X-coordinate	m	7	7	7	7	0	0
Vertex 1 Y-coordinate	m	7	0	7	0	7	0
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vertex 2 X-coordinate	m	7	7	7	7	0	0
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	7	7	0	7	0
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	3.2	0	0	0	0
Vertex 3 X-coordinate	m	0	0	0	7	0	7
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	7	7	7	0	0
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	3.2	0	0	0	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0	0	0	7	0	7
Vertex 4 Y-coordinate	m	7	0	7	7	0	0
Vertex 4 Z-coordinate	m	0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Vertex 5 X-coordinate	m						
Vertex 5 Y-coordinate	m						
Vertex 5 Z-coordinate	m						
Vertex 6 X-coordinate	m						
Vertex 6 Y-coordinate	m						

Σχήμα 6.66: Η μορφή της κατηγορίας *BuildingSurface:Detailed* βάσει των πληροφοριών που έχουν εισαχθεί κατά τον σχεδιασμό του κτιρίου.

Οπότε στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος του Sketch Up και με χρήση του εργαλείου του Open Studio **Info Tool** είναι δυνατό να εντοπιστεί σε ποια επιφάνεια αντιστοιχεί το κάθε όνομα και αναλόγως να καθοριστεί και η κατασκευή της. Επίσης αλλαγή πρέπει να γίνει και στο πεδίο που καθορίζει την

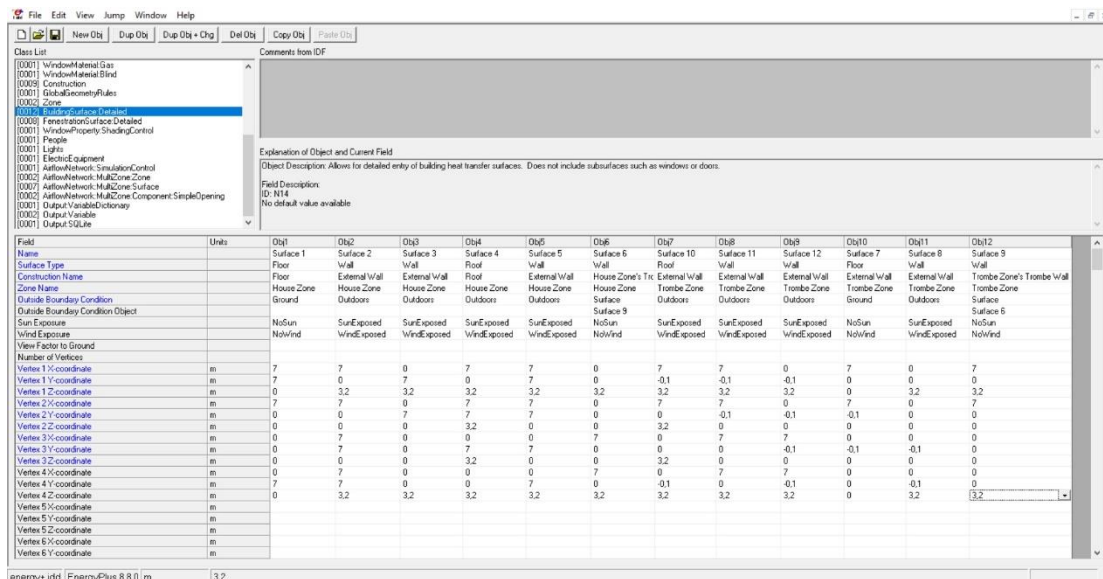
Θερμική ζώνη του εκάστοτε αντικείμενου καθώς παραπάνω οι θερμικές ζώνες μετονομάστηκαν. Έτσι όπου Thermal Zone 1 επιλέγεται House Zone και όπου Thermal Zone 2 επιλέγεται Trombe Zone. Επομένως για κάθε σενάριο:

– Σενάριο 1



Σχήμα 6.67: Επιλογές της κατηγορίας BuildingSurface:Detailed για το Σενάριο 1.

– Σενάρια 2,3,4



Σχήμα 6.68: Επιλογές της κατηγορίας BuildingSurface:Detailed για τα Σενάρια 2,3,4.

- **FenestrationSurface:Detailed:** Χρησιμοποιείται για τη λεπτομερή καταχώριση των υποεπιφανειών του κτιρίου όπως παράθυρα ή πόρτες. Παρατηρείται ότι ήδη υπάρχουν σαν αντικείμενα οι υποεπιφάνειες που

σχεδιάστηκαν με το Sketch Up καθώς και τα χαρακτηριστικά τους στο αρχείο που έχει εξαχθεί από τη εκάστοτε κατασκευή.

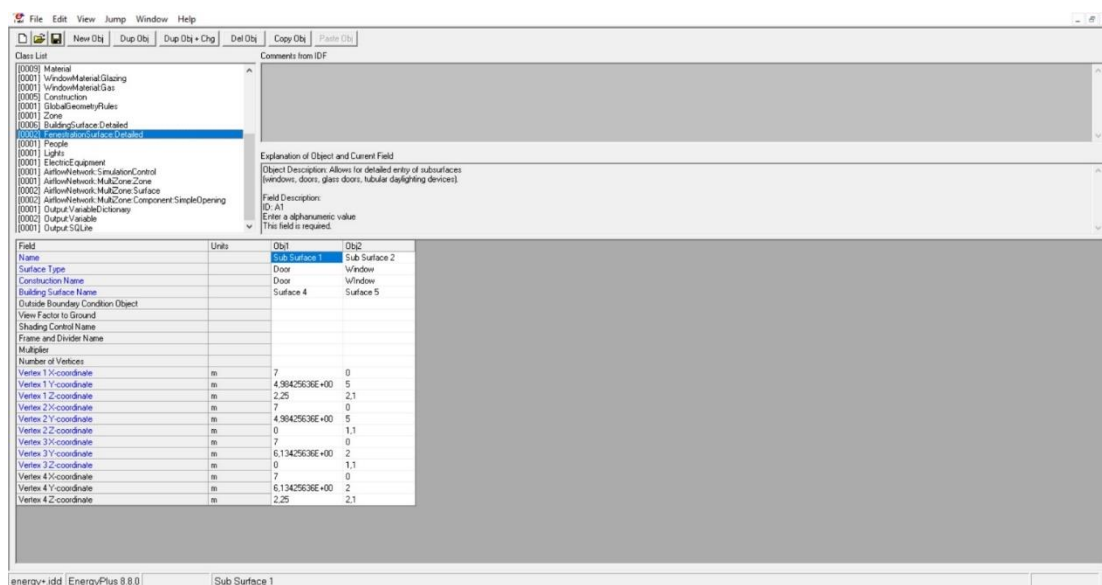
- Name: Διευκρινίζει το όνομα της εκάστοτε υποεπιφάνειας, το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι ίδιο με αυτό που έχει στο πρόγραμμα Sketch Up.
- Surface Type: Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των υποεπιφανειών, οι οποίες μπορούν να είναι πέντε διαφορετικών τύπων: *Windows*, *Doors*, *GlassDoors*, *TubularDaylightDomes* και *TubularDaylightDiffusers*. Μια υποεπιφάνεια (όπως ένα παράθυρο) μιας επιφάνειας (όπως ένας τοίχος) κληρονομεί αρκετές από τις ιδιότητες (όπως η εξωτερικές οριακές συνθήκες, έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κλπ.) της βασικής επιφάνειας. Οι επιλογές *Windows*, *GlassDoors*, *TubularDaylightDomes* και *TubularDaylightDiffusers* θεωρούνται ότι έχουν ένα ή περισσότερα γυάλινα στρώματα και έτσι μεταδίδουν ηλιακή ακτινοβολία ενώ στην επιλογή *Doors* η υποεπιφάνεια θεωρείται αδιαφανής.
- Construction Name: Καθορίζει την κατασκευή (Construction) που χρησιμοποιείται στην υποεπιφάνεια.
- Building Surface Name: Προσδιορίζει το όνομα της επιφάνειας που περιέχει αυτή την υποεπιφάνεια. Ορισμένα είδη επιφανειών ενδέχεται να μην επιτρέπεται να έχουν υποεπιφάνειες. Για παράδειγμα, μια επιφάνεια που έρχεται σε επαφή με το έδαφος (Outside Boundary Condition = *Ground*) δεν μπορεί να περιέχει παράθυρο.
- Outside Boundary Condition: Εάν η επιφάνεια βάσης έχει την εξωτερική οριακή συνθήκη = *Surface* ή *OtherSideCoefficients*, τότε αυτό το πεδίο πρέπει επίσης να καθοριστεί και για την υποεπιφάνεια. Διαφορετικά, μπορεί να αφεθεί κενό. Οι κατασκευές της υποεπιφάνειας και της αντίθετης υποεπιφάνειας πρέπει να ταιριάζουν, εκτός από το ότι, για τις κατασκευές πολλαπλών στρώσεων, η σειρά των επιπέδων της αντίθετης υποεπιφάνειας πρέπει να είναι το αντίστροφο αυτής της υποεπιφάνειας.
- Shading Control Name: Καθορίζει το όνομα του στοιχείου ελέγχου σκίασης παραθύρου (βλ. παρακάτω: *WindowProperty*:

ShadingControl) για αυτήν την υποεπιφάνεια. Χρησιμοποιείται για τύπους επιφάνειας *Window* και *GlassDoor*.

Όπως και παραπάνω στο περιβάλλον εργασίας του προγράμματος του Google Sketch Up και με χρήση του εργαλείου του Open Studio **Info Tool** γίνεται γνωστό το όνομα της εκάστοτε υποεπιφάνειας και αναλόγως καθορίζεται η κατασκευή της.

Συνεπώς για κάθε σενάριο θα γίνουν οι εξής επιλογές στα αρχεία προσομοίωσης του IDF Editor:

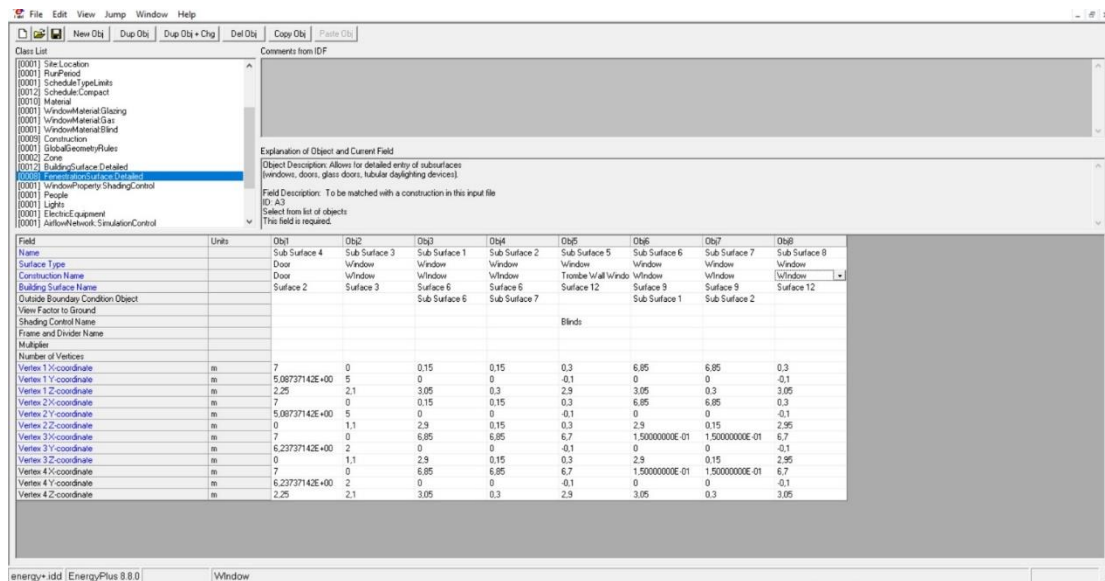
– Σενάριο 1



Σχήμα 6.69: Επιλογές στην κατηγορία *FenestrationSurface:Detailed* για το Σενάριο 1.

– Σενάρια 2,3 και 4

Στο παράθυρο του τοίχου Trombe εισάγεται επιπλέον και διάταξη σκίασης. Κατά την δημιουργία του προγράμματος απαραίτητο είναι χρονικά να γίνει πρώτα ο προσδιορισμός της διάταξης σκίασης και έπειτα η ενεργοποίηση της στην εκάστοτε υποεπιφάνεια. Έχοντας καθορίσει τον τρόπο λειτουργίας, εισάγουμε στο πεδίο Shading Control Name το αντικείμενο με όνομα **Blinds** του οποίου η λειτουργία και τα χαρακτηριστικά προσδιορίζονται παρακάτω.



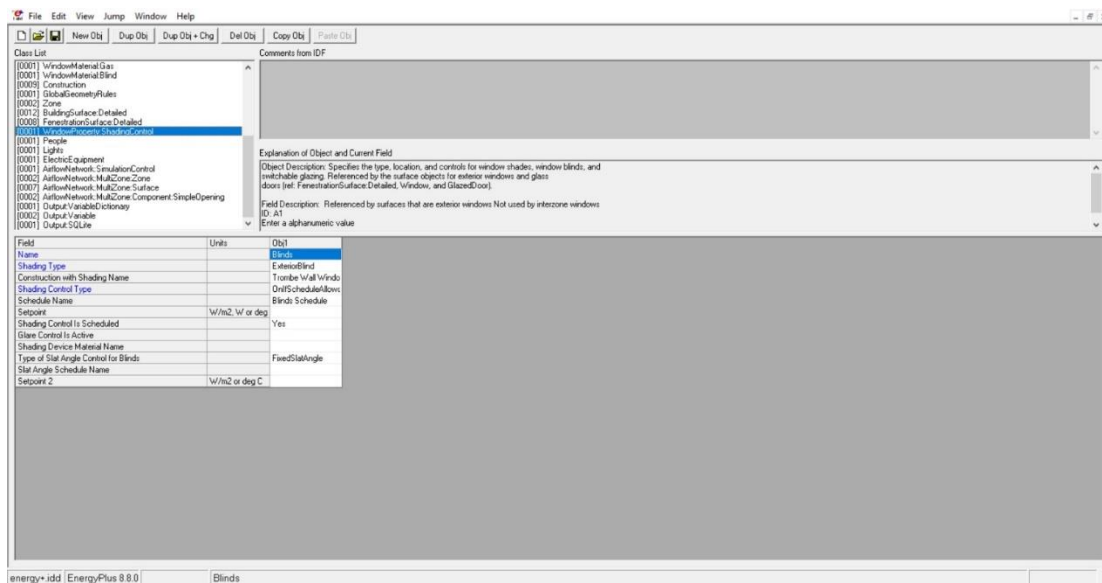
Σχήμα 6.70: Επιλογές στην κατηγορία FenestrationSurface:Detailed για τα Σενάρια 2,3,4.

- WindowProperty:ShadingControl:** Καθορίζει την σκίαση των παραθύρων με καλύμματα όπως κουρτίνες, περσίδες η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μείωση της ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο παράθυρο ή για τη μείωση του φωτισμού της ημέρας ή τη μείωση της απώλειας θερμότητας μέσω του παραθύρου. Σε περίπτωση που η συσκευή σκίασης είναι περσίδες υπάρχει η δυνατότητα προσδιορισμού της γωνίας σχισμής. Όταν υπάρχει μια συσκευή σκίασης, είτε αποσύρεται είτε ενεργοποιείται. Όταν αποσύρεται, δεν καλύπτει κανένα από τα παράθυρα ενώ κατά την ενεργοποίησή της, καλύπτει ολόκληρο το τζάμι του παραθύρου (αλλά όχι το πλαίσιο).
 - Name: Προσδιορίζει το όνομα του ελέγχου σκίασης παραθύρου το οποίο στη συνέχεια επιλέγεται για το εκάστοτε παράθυρο εφαρμογή στο πεδίο Shading Control Name. Επιλέγεται: **Blinds**
 - Shading Type: Προσδιορίζει τον τύπο σκίασης της εκάστοτε συσκευής. Οι επιλογές είναι: *InteriorShade*, *ExteriorShade*, *BetweenGlassShade*, *ExteriorScreen*, *InteriorBlind*, *ExteriorBlind*, *BetweenGlassBlind*, *SwitchableGlazing*. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιθυμείται να τοποθετηθούν περσίδες στο εξωτερικό μέρος του παραθύρου. Επιλέγεται: **ExteriorBlind**
 - Construction with Shading Name: Προσδιορίζει την κατασκευή του παραθύρου που έχει και τη συσκευή σκίασης.

- Shading Control Type: Προσδιορίζει τον τρόπο λειτουργίας της συσκευής σκίασης, δηλαδή αν είναι σε κατάσταση «on» ή «off». Για τις περσίδες όταν η συσκευή είναι «on», θεωρείται ότι καλύπτει όλο το παράθυρο όχι όμως και το πλαίσιο ενώ όταν η συσκευή είναι «απενεργοποιημένη» θεωρείται ότι δεν καλύπτει καθόλου το παράθυρο. Οι επιλογές είναι οι εξής: *AlwaysOn*, *AlwaysOff*, *OnIfScheduleAllows*, *OnIfHighSolarOnWindow*, *OnIfHighHorizontalSolar*, *OnIfHighOutdoorAirTemperature*, *OnIfHighZoneAirTemperature*, *OnIfHighZoneCooling*, *OnIfHighGlare*, *MeetDaylightIlluminanceSetpoint*, *OnNightIfLowOutdoorTempAndOffDay*, *OnNightIfLowInsideTempAndOffDay*, *OnNightIfHeatingAndOffDay*, *OnNightIfLowOutdoorTempAndOnDayIfCooling*, *OnNightIfHeatingAndOnDayIfCooling*, *OffNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow*, *OnNightAndOnDayIfCoolingAndHighSolarOnWindow*, *OnIfHighOutdoorAirTempAndHighSolarOnWindow*, *OnIfHighOutdoorAirTempAndHighHorizontalSolar*. Έχει ορισθεί χρονοδιάγραμμα για την λειτουργία των περσίδων το οποίο καθορίζει το πότε είναι επιθυμητό η σκίαση να είναι ενεργοποιημένη. Επιλέγεται: **OnIfScheduleAllows**
- Schedule Name: Καθορίζει το χρονοδιάγραμμα βάσει του οποίου λειτουργεί η συσκευή σκίασης. Επιλέγεται: **Blinds Schedule**
- Shading Control Is Scheduled: Προσδιορίζει αν η λειτουργία της συσκευής σκίασης ακολουθεί κάποιο χρονοδιάγραμμα. Οι επιλογές είναι *Yes* και *No*. Επιλέγεται: **Yes**
- Type of Slat Angle Control for Blinds: Καθορίζει πως ελέγχεται η γωνία σχισμής. Οι επιλογές είναι: *FixedSlatAngle*, *ScheduledSlatAngle* και *BlockBeamSolar*. Σε περίπτωση που επιλεγθεί *FixedSlatAngle* η γωνία σχισμής είναι καθορισμένη. Επιλέγεται: **FixedSlatAngle**

Εφόσον σκίαση υπάρχει μόνο στο υαλοστάσιο του τοίχου Trombe αντικείμενα στη συγκεκριμένη κατηγορία θα εισαχθούν για τα 3 σενάρια που υπάρχει τοίχος Trombe.

– Σενάρια 2,3,4



Σχήμα 6.71: Επιλογές στην κατηγορία *WindowProperty: ShadingControl*.

6.5.2.6 Internal Gains

- People:** Μοντελοποιεί τα εσωτερικά κέρδη και τα ποσοστά ρύπων που δημιουργούν τα άτομα που βρίσκονται στη ζώνη. Ο ακόλουθος ορισμός καλύπτει τις βασικές επιπτώσεις και παρέχει πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναφορά της θερμικής άνεσης μιας ομάδας ανθρώπων.
 - Name:** Διευκρινίζει το όνομα του κάθε αντικειμένου το οποίο πρέπει να είναι μοναδικό για την συγκεκριμένη κατηγορία. Επιλέγεται: **Room People**
 - Zone or ZoneList Name:** Καθορίζει σε ποια θερμική ζώνη ή σύνολο θερμικών ζωνών ισχύει η εκάστοτε μοντελοποίηση εσωτερικών κερδών και ποσοστού ρύπων. Επιλέγεται: **House Zone**
 - Number of People Schedule Name:** Προσδιορίζει το χρονοδιάγραμμα που τροποποιεί την παράμετρο του αριθμού των ατόμων. Οι τιμές του χρονοδιαγράμματος μπορεί να είναι οποιοσδήποτε θετικός αριθμός. Επιλέγεται: **Number of People Schedule**
 - Number of People:** Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει το μέγιστο αριθμό ατόμων σε μια ζώνη που στη

συνέχεια πολλαπλασιάζεται με την τιμή του Number of People Schedule. Επιλέγεται: **1**

- Fraction Radiant: Χαρακτηρίζει τον τύπο θερμότητας που εκπέμπεται από τα άτομα σε μια ζώνη. Το πεδίο παίρνει δεκαδικές τιμές από 0.0 έως 1.0 και καθορίζει το ποσοστό της ολικής αισθητής θερμότητας που εκπέμπεται από τους ανθρώπους η οποία αποδίδεται υπό μορφή ακτινοβολίας. Το υπόλοιπο του αισθητού φορτίου θεωρείται ότι είναι η επαγωγική αύξηση θερμότητας. Επιλέγεται: **0.3**
- Activity Level Schedule: Προσδιορίζει το χρονοδιάγραμμα μέσω του οποίου καθορίζεται η συνολική ποσότητα κέρδους ανά άτομο ανά πάσα στιγμή. Επιλέγεται: **Activity Level Schedule**
- Carbon Dioxide Generation Rate: Καθορίζει το ρυθμό παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα ανά άτομο σε μονάδες $\frac{m^3}{sW}$. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι $0.0000000382 \frac{m^3}{sW}$ ενώ η μέγιστη μπορεί να είναι 10 φορές μεγαλύτερη. Επιλέγεται: **0.0000000382**
- ASHRAE 55 comfort warnings: Γνωστοποιεί εάν οι συνθήκες του χώρου βρίσκονται εκτός του εύρους άνεσης ASHRAE 55 εμφανίζοντας προειδοποιήσεις. Λαμβάνει τιμές Yes και No. Επιλέγεται: **Yes**
- Work Efficiency Schedule Name: Προσδιορίζει το χρονοδιάγραμμα το οποίο καθορίζει την ποσότητα θερμικού κέρδους ανά άτομο στη ζώνη υπό τις συνθήκες σχεδιασμού. Επιλέγεται: **Work Efficiency Schedule**
- Clothing Insulation Calculation Method: Περιγράφει την μέθοδο υπολογισμού της τιμής μόνωσης των ενδυμάτων των ατόμων στην ζώνη. Οι επιλογές είναι *ClothingInsulationSchedule*, *DynamicClothingModelASHRAE55* και *CalculationMethodSchedule*. Επιλέγεται: **ClothingInsulationSchedule**
- Clothing Insulation Schedule Name: Προσδιορίζει το όνομα του χρονοδιαγράμματος που καθορίζει την ποσότητα ενδυμάτων που φοριούνται από ένα άτομο κατά τη διάρκεια διαφόρων περιόδων που λαμβάνει χώρα η προσομοίωση. Επιλέγεται: **Clothing Insulation Schedule**

- Air Velocity Schedule Name: Καθορίζει το χρονοδιάγραμμα το οποίο προσεγγίζει το μέγεθος της κίνησης του αέρα στο χώρο ως συνάρτηση του χρόνου καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου προσομοίωσης. Επιλέγεται: **Air Velocity Schedule Name**.
- Thermal Comfort Model Type: Καθορίζει ποιο μοντέλο θερμικής άνεσης εφαρμόζεται. Οι επιλογές είναι: *Fanger, Pierce, KSU, AdaptiveASH55* και *AdaptiveCEN15251*. Επιλέγεται: **AdaptiveASH55**



Σχήμα 6.72: Επιλογές στην κατηγορία People.

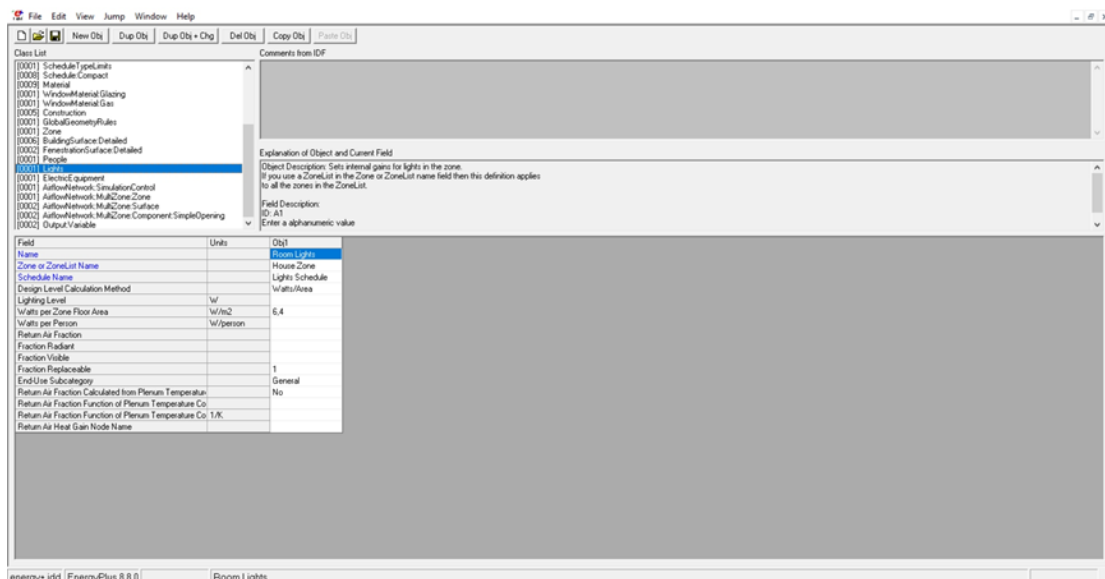
- **Lights:** Καθορίζει τη λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικού φωτισμού μιας ζώνης, συμπεριλαμβανομένου του επιπέδου σχεδιασμού ισχύος και του χρονοδιαγράμματος λειτουργίας, καθώς και το πώς η θερμότητα από τα φώτα διανέμεται θερμικά.
 - Name: Προσδιορίζει το όνομα του αντικειμένου. Επιλέγεται: **Room Lights**
 - Zone or ZoneList Name: Καθορίζει σε ποια θερμική ζώνη ή σύνολο θερμικών ζωνών εφαρμόζεται ο συγκεκριμένος τρόπος λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικού φωτισμού μιας ζώνης. Επιλέγεται: **House Zone**
 - Schedule Name: Προσδιορίζει το όνομα του χρονοδιαγράμματος βάσει του οποίου τροποποιείται το επίπεδο σχεδιασμού ισχύος φωτισμού. Επιλέγεται: **Lights Schedule**
 - Design Level Calculation Method: Ορίζει με ποιον τρόπο θα εισαχθεί η ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών στον χώρο. Οι

επιλογές είναι *LightingLevel*, *Watts/Area* και *Watts/Person*. Λαμβάνουμε υπόψη τις προτάσεις της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017 για εγκατεστημένη ισχύ τεχνητού φωτισμού / τετραγωνικό μέτρο.

Επιλέγεται: **Watts/Area**

- Watts per Zone Floor Area: Προσδιορίζει την ισχύ των εγκατεστημένων φωτιστικών που υπάρχει ανά τετραγωνικό μέτρο. Η τιμή ελήφθη λαμβάνοντας υπόψη ότι πρόκειται για κατοικία και έχει μονάδες W/m².

Επιλέγεται: **6.4**



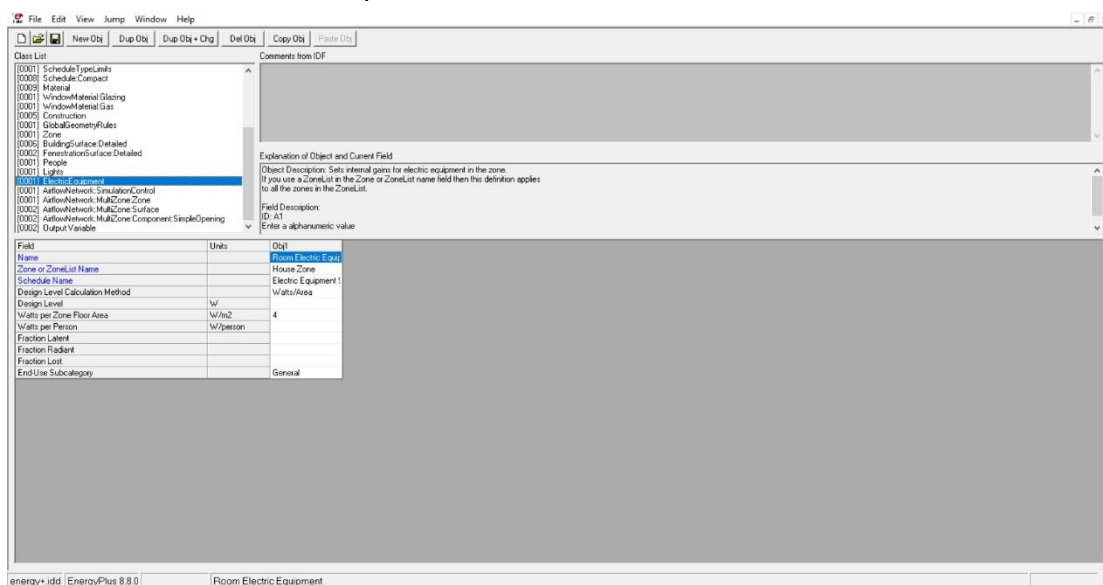
Σχήμα 6.73: Επιλογές στην κατηγορία Lights.

- **ElectricEquipment:** Ορίζει τα θερμικά κέρδη που δημιουργούνται κατά την λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών όπως υπολογιστές, τηλεοράσεις και μαγειρικές συσκευές.

- Προσδιορίζει το όνομα του αντικειμένου. Επιλέγεται: **Room Electric Equipment**
- Zone or ZoneList Name: Καθορίζει σε ποια θερμική ζώνη ή σύνολο θερμικών ζωνών είναι εγκατεστημένες οι ηλεκτρικές συσκευές. Επιλέγεται: **House Zone**

- Schedule Name: Προσδιορίζει το όνομα του χρονοδιαγράμματος το οποίο καθορίζει το ποσοστό του συνολικού ηλεκτρικού εξοπλισμού που είναι σε λειτουργία κατά την διάρκεια της κάθε ημέρας. Επιλέγεται: **Electric Equipment Schedule**

- Design Level Calculation Method: Ορίζει με ποιον τρόπο θα εισαχθεί η ηλεκτρική ισχύς όλων των εγκατεστημένων φωτιστικών στον χώρο. Οι επιλογές είναι *EquipmentLevel*, *Watts/Area* και *Watts/Person*. Λαμβάνουμε υπόψη τις προτάσεις της Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-1/2017 για εγκατεστημένη ισχύ ηλεκτρικών συσκευών ανά τετραγωνικό μέτρο. Επιλέγεται: **Watts/Area**
- Watts per Zone Floor Area: Προσδιορίζει την ισχύ των εγκατεστημένων ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχει ανά τετραγωνικό μέτρο. Η τιμή ελήφθη λαμβάνοντας υπόψη ότι πρόκειται για κατοικία και έχει μονάδες W/m^2 . Επιλέγεται: **4**



Σχήμα 6.74: Επιλογές στην κατηγορία *ElectricEquipment*.

6.5.2.7 Natural Ventilation and Duct Leakage

- **AirflowNetwork:SimulationControl:** Ορίζει τις βασικές παραμέτρους εκτέλεσης της προσομοίωσης της ροής του αέρα.
 - Name: Προσδιορίζει το όνομα του αντικειμένου που καθορίζουν την προσομοίωση της ροής του αέρα. Επιλέγεται: **Building Airflow**
 - AirflowNetwork Control: Ορίζει τον τρόπο ελέγχου της προσομοίωσης της ροής του αέρα. Οι επιλογές είναι:
 - *MultiZoneWithDistribution:* Οι υπολογισμοί της ροής αέρα εκτελούνται κατά την διάρκεια όλων των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης λαμβάνοντας υπόψη και τις επιπτώσεις του

συστήματος διανομής αέρα όταν λειτουργεί ένας ανεμιστήρας συστήματος HVAC.

- *MultiZoneWithoutDistribution*: Οι υπολογισμοί της ροής αέρα εκτελούνται κατά την διάρκεια όλων των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης αλλά το σύστημα διανομής αέρα δεν έχει διαμορφωθεί, συνεπώς δεν λαμβάνεται και υπόψη.
- *MultiZoneWithDistributionOnlyDuringFanOperation*: Οι υπολογισμοί της ροής αέρα εκτελούνται μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας του ανεμιστήρα του συστήματος HVAC.
- *NoMultiZoneOrDistribution*: Δεν εκτελούνται υπολογισμοί όσον αφορά την ροή του αέρα.

Στην παρούσα εργασία σε κανένα από τα 4 σενάρια δεν υπάρχει σύστημα HVAC ενώ λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς οι επιπτώσεις από την ροή του αέρα. Επιλέγεται:

MultiZoneWithoutDistribution

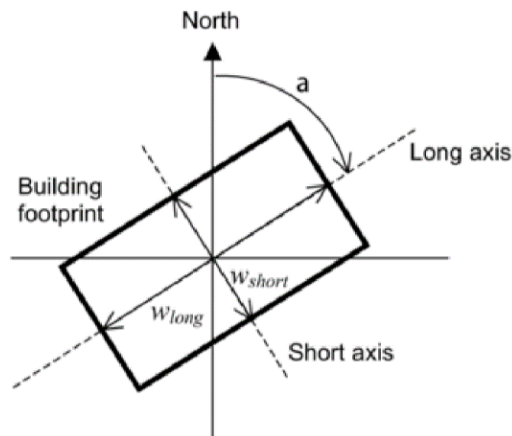
- Wind Pressure Coefficient Type: Καθορίζει αν οι συντελεστές πίεσης ανέμου εισάγονται από τον χρήστη ή υπολογίζονται (ισχύει μόνο για ορθογώνια κτίρια). Οι επιλογές είναι: *Input* και *SurfaceAverageCalculation*. Επιλέγεται: **SurfaceAverageCalculation**
- Height Selection for Local Wind Pressure Calculation: Καθορίζει αν η τοπική πίεση ανέμου υπολογίζεται με βάση τα εξωτερικά ύψη των εξωτερικών κόμβων ή τα ύψη των ανοιγμάτων επιφανείας. Οι επιλογές είναι: *ExternalNode* και *OpeningHeight*. Επιλέγεται: **OpeningHeight**
- Building Type: Η συμπλήρωσή του είναι απαραίτητη μόνο στην περίπτωση που έχει επιλεγεί για το πεδίο Wind Pressure Coefficient Type το SurfaceAverageCalculation. Οι επιλογές που υπάρχουν είναι:
 - *LowRise*: Αντιστοιχεί σε ορθογώνιο κτίριο το ύψος του οποίου είναι μικρότερο από το τριπλάσιο του πλάτους (w_{print}) και μικρότερο από το τριπλάσιο του μήκους (w_{long}) του αποτυπώματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.75.
 - *HighRise*: Αντιστοιχεί σε ορθογώνιο κτίριο το ύψος του οποίου είναι μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του πλάτους (w_{print}) και

μεγαλύτερο από το τριπλάσιο του μήκους (W_{long}) του αποτυπώματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.75.

Για το δυο κτίρια που εξετάζουμε ισχύει πάντα εάν συμβολίσουμε με H το ύψος, με L το μήκος (που αντιστοιχεί σε σε βόρειο και νότιο προσανατολισμό) και με B το πλάτος (που αντιστοιχεί ανατολικό και δυτικό προσανατολισμό)

- ❖ $W_{short}=L$
- ❖ $W_{long}=B$
- ❖ $H < 3W_{short}$ και $H < 3W_{long}$

Επιλέγεται: **LowRise**

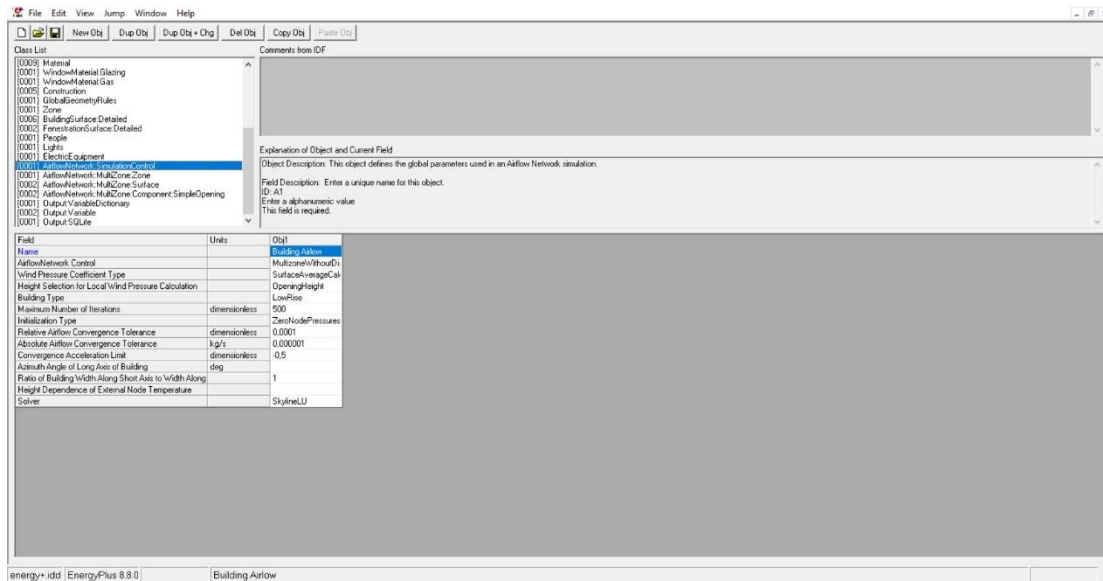


Σχήμα 6.75: Αποτύπωμα ορθογώνιου κτιρίου που δείχνει τις μεταβλητές που χρησιμοποιούνται από το πρόγραμμα για τον υπολογισμό των μέσων επιφανειακών συντελεστών πίεσης ανέμου.

- Maximum Number of Irritations: Ορίζει τον μέγιστο αριθμό επαναλήψεων που επιτρέπονται κατά την εύρεση μια λύσης AirflowNetwork. Αν ο αριθμός των επαναλήψεων σε κάθε χρονική στιγμή της προσομοίωσης υπερβαίνει τον μέγιστο το πρόγραμμα δεν μπορεί να βρει λύση, θα αναφερθεί σοβαρό πρόβλημα και θα διακοπεί η εκτέλεση του προγράμματος. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 500 επαναλήψεις. Επιλέγεται: **500**
- Initialization Type: Ορίζει ποια μέθοδο χρησιμοποιείται για την εκκίνηση της επίλυσης του AirflowNetwork. Οι επιλογές για τον τύπο αρχικοποίησης είναι *LinearInitializationMethod* και *ZeroNodePressures* η οποία είναι και η προεπιλογή. Επιλέγεται: **ZeroNodePressures**

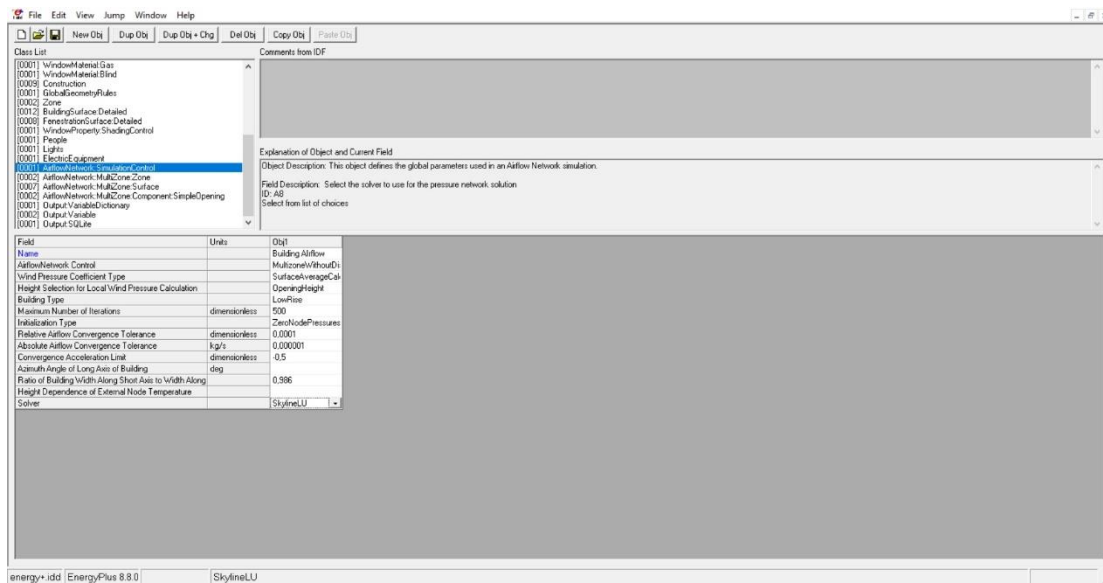
- **Relative Airflow Convergence Tolerance:** Η λύση θεωρείται ότι έχει συγκλίνει όταν η τιμή $\frac{|\sum m_i|}{\sum |m_i|}$ μικρότερη από την τιμή που έχει εισαχθεί στο πεδίο. Τα εν λόγω κριτήρια σύγκλισης είναι ισοδύναμα με την αναλογία της απόλυτης τιμής του αθροίσματος όλων των ροών του δικτύου προς το άθροισμα των απόλυτων τιμών όλων των ροών του δικτύου. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0.0001. Επιλέγεται: **0.0001**
- **Absolute Airflow Convergence Tolerance:** Ορίζει την μεγαλύτερη επιτρεπόμενη απόλυτη τιμή του αθροίσματος όλων των ροών του δικτύου αέρα ώστε να θεωρείται ότι η λύση έχει συγκλίνει. Η προεπιλεγμένη τιμή είναι 0.000001 kg/s. Επιλέγεται: **0.000001**
- **Convergence Acceleration Limit:** Ορίζει την μεγαλύτερη τιμή που θα είναι αποδεκτή ως λόγος διαδοχικών διορθώσεων πίεσης διαφορετικά χρησιμοποιείται αλγόριθμος επιτάχυνσης Steffensen. Το εύρος αποδεκτών τιμών εκτείνεται από -1 έως 1, έχοντας ως προεπιλεγμένη τιμή -0.5. Επιλέγεται: **-0.5**
- **Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along:** Ορίζει την αναλογία διαστάσεων ενός ορθογωνίου αποτυπώματος. Δίνεται από το πλάτος του αποτυπώματος κατά μήκος του βραχέος άξονα του διαιρούμενο με το πλάτος κατά μήκος του μακριού άξονα (βλ. Σχήμα 6.75). Εάν το αποτύπωμα είναι τετράγωνο η τιμή αυτού του πεδίου είναι 1.0. Χρησιμοποιείται μόνο στην περίπτωση που έχει επιλεγεί για το πεδίο Wind Pressure Coefficient Type το *SurfaceAverageCalculation*. Το εύρος για την είσοδο είναι από 0 έως 1. Επιλέγεται:
 - ▲ Για το σενάριο 1 η τιμή **1**
 - ▲ Για τα σενάρια 2,3 και 4 η τιμή $L/B=7/7.1=$ **0.9860**
- **Solver:** Προσδιορίζει το πρόγραμμα επίλυσης. Οι επιλογές είναι *SkylineLU* και *ConjugateGradient*.. Επιλέγεται: **SkylineLU**

– Σενάριο 1



Σχήμα 6.76: Οι επιλογές στην κατηγορία *AirflowNetwork:SimulationControl*.

– Σενάρια 2,3,4



Σχήμα 6.77: Οι επιλογές στην κατηγορία *AirflowNetwork:SimulationControl*.

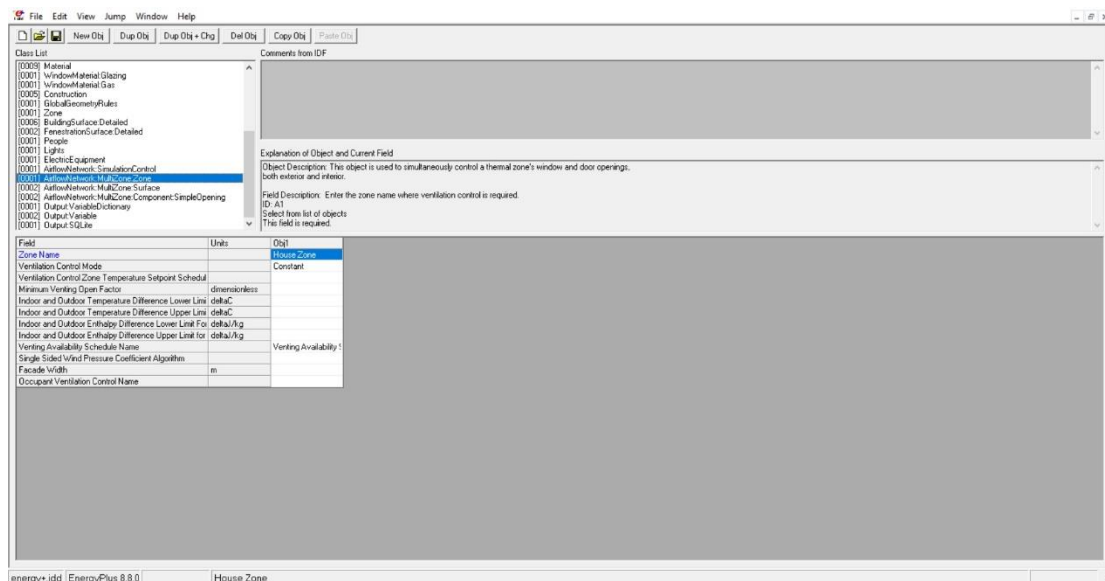
- **AirflowNetwork:MultiZone:Zone:** Επιτρέπει τον έλεγχο του φυσικού αερισμού μέσω εξωτερικών και εσωτερικών ανοιγμάτων σε μια ζώνη, όπου το «άνοιγμα» ορίζεται ως ένα παράθυρο ή πόρτα που μπορεί να ανοιχτεί.
 - **Zone Name:** Προσδιορίζει το όνομα της θερμικής ζώνης του κτιρίου που απαιτείται έλεγχος αερισμού.
 - **Ventilation Control Mode:** Καθορίζει τον τύπο ελέγχου του φυσικού αερισμού της εκάστοτε ζώνης. Οι επιλογές είναι:
 - *NoVent:* Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες που μπορούν να ανοίξουν στη ζώνη είναι κλειστά ανεξάρτητα από τις συνθήκες εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού αγνοείται σε αυτή την περίπτωση. Αυτή είναι η προεπιλεγμένη τιμή για αυτό το πεδίο.
 - *Temperature:* Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της ζώνης που μπορούν να ανοίξουν ανοίγουν εάν το $T_{zone} > T_{out}$ και $T_{zone} > T_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - *Enthalpy:* Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες της ζώνης που μπορούν να ανοίξουν ανοίγουν εάν το $H_{zone} > H_{out}$ και $H_{zone} > H_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - *Constant:* Όποτε το πρόγραμμα διαθεσιμότητας του αντικειμένου επιτρέπει τον εξαερισμό, όλα τα ανοίγματα και οι πόρτες της ζώνης είναι ανοιχτά, ανεξάρτητα από τις εσωτερικές ή τις εξωτερικές συνθήκες. Τονίζεται ότι «σταθερό» εδώ σημαίνει ότι το μέγεθος κάθε ανοίγματος είναι σταθερό κατά τον εξαερισμό. η ροή του αέρα μέσα από κάθε άνοιγμα μπορεί όμως να ποικίλει βάσει του χρονοδιαγράμματος .
 - *ASHRAE55Adaptive:* Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες που υπάρχουν στη ζώνη ανοίγουν αν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία άνεσης που υπολογίζεται από το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης ASHRAEStandard 55-2010 και το πρόγραμμα διάθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει την εξαερισμό.

- *CEN15251Adaptive*: Όλα τα παράθυρα και οι πόρτες που υπάρχουν στη ζώνη ανοίγουν αν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία άνεσης που υπολογίζεται από το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης CEN15251 και το πρόγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει την εξαερισμό.

- Venting Availability Schedule Name: Προσδιορίζει το όνομα του χρονοδιαγράμματος που καθορίζει πότε είναι διαθέσιμος ο εξαερισμός. Εάν δεν έχει καθοριστεί το όνομα του χρονοδιαγράμματος διαθεσιμότητας εξαερισμού, θεωρείται ότι ο εξαερισμός είναι πάντα διαθέσιμος.

Όσον αφορά και τα 4 σενάρια για την κύρια ζώνη (House Zone) ο φυσικός αερισμός καθορίζεται από το χρονοδιάγραμμα Venting Availability Schedule

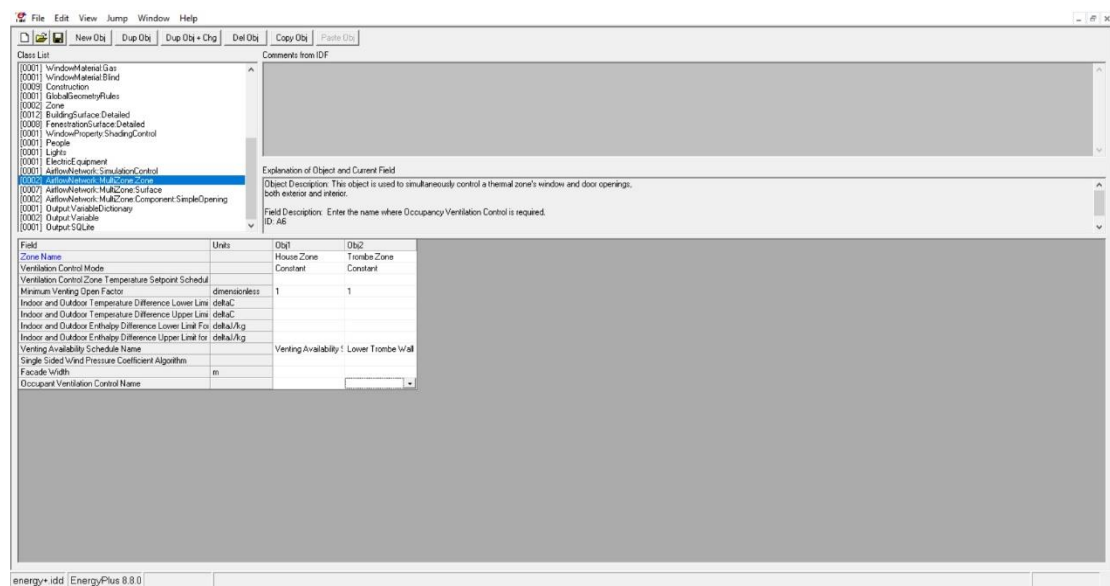
– Σενάριο 1



Σχήμα 6.78: Οι επιλογές στην κατηγορία *AirflowNetwork:MultiZone:Zone* για το Σενάριο 1.

Ενώ για τα σενάρια 2, 3 και 4 για την ζώνη του τοίχου Trombe (Trombe Zone) ο φυσικός αερισμός καθορίζεται από το χρονοδιάγραμμα Lower Trombe Wall Vent .

– Σενάρια 2,3,4



Σχήμα 6.79: Οι επιλογές της κατηγορίας *AirflowNetwork:MultiZone:Zone*: *AirflowNetwork:MultiZone:Zone* για τα Σενάρια 2,3,4.

- AirflowNetwork:Multizone:Surface:** Καθορίζει τις ιδιότητες της «σύνδεσης» μέσω της οποίας ρέει ο αέρας. Αυτή η σύνδεση μπορεί να γίνει είτε μέσω μιας επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας (τοίχο, οροφή, δάπεδο ή οροφή) ή μέσω μιας υποεπιφάνειας (πόρτα, γυάλινη πόρτα ή παράθυρο) με αμφότερες τις όψεις εκτεθειμένες στον αέρα. Η συγκεκριμένη επιφάνεια μπορεί να επιτρέπει την ροή αέρα μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και θερμικής ζώνης ή μεταξύ διαφορετικών θερμικών ζωνών.
 - Surface Name: Προσδιορίζει το όνομα της επιφάνειας ή υποεπιφάνειας μέσω της οποίας ρέει ο αέρας.
 - Leakage Component Name: Καθορίζει την συνιστώσα που λαμβάνεται υπόψη και δηλώνει τις ιδιότητες διαρροής της επιφάνειας. (Οι συνιστώσες πρέπει χρονικά να έχουν οριστεί πιο πριν σε μια απο τις εξής κατηγορίες: *AirflowNetwork:MultiZone:Surface:Crack*, *AirflowNetwork:MultiZone:Surface:EffectiveLeakageArea*, *AirflowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening*, *AirflowNetwork:MultiZone:Component:HorizontalOpening*, *AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening* και *AirflowNetwork:MultiZone:Component:ZoneExhaustFan*.)
 - Window/Door Opening Factor, or Crack Factor: Στην εξεταζόμενη περίπτωση που η σύνδεση γίνεται μέσω παραθύρου ή πόρτας δηλώνει

τον συντελεστή ανοίγματος παραθύρου ή πόρτας. Λαμβάνει τιμές από εώς 1.

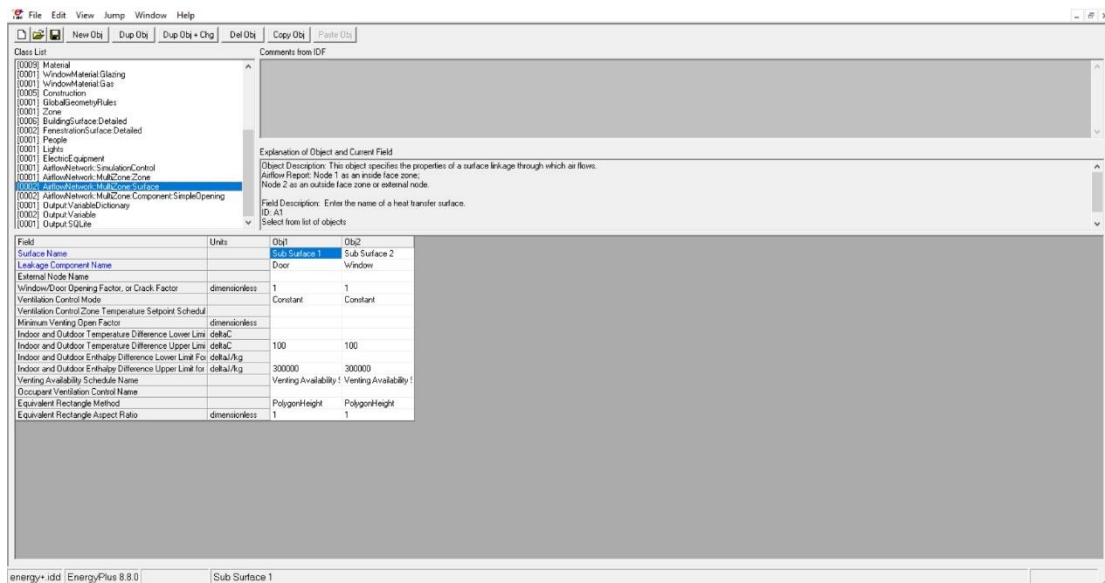
- Ventilation Control Mode: Καθορίζει τον τύπο ελέγχου του φυσικού αερισμού της εκάστοτε επιφανείας. Οι επιλογές είναι:
 - *NoVent*: Η συγκεκριμένη υποεπιφάνεια είναι κλειστή ανεξάρτητα από τις συνθήκες εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου. Το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού αγνοείται σε αυτή την περίπτωση..
 - *Temperature*: Το συγκεκριμένο παράθυρο ή πόρτα ανοίγει εάν το $T_{zone} > T_{out}$ και $T_{zone} > T_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - *Enthalpy*: Το συγκεκριμένο παράθυρο ή πόρτα ανοίγει εάν το $H_{zone} > H_{out}$ και $H_{zone} > H_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό.
 - *Constant*: Όποτε το πρόγραμμα διαθεσιμότητας του αντικειμένου επιτρέπει τον εξαερισμό, το άνοιγμα είναι ανοιχτό, ανεξάρτητα από τις εσωτερικές ή τις εξωτερικές συνθήκες. Τονίζεται ότι «σταθερό» εδώ σημαίνει ότι το μέγεθος κάθε ανοίγματος είναι σταθερό κατά τον εξαερισμό. Η ροή του αέρα μέσα από κάθε άνοιγμα μπορεί όμως να ποικίλει βάσει του χρονοδιαγράμματος .
 - *ASHRAE55Adaptive*: Το παράθυρο ή πόρτα ανοίγει αν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία άνεσης που υπολογίζεται από το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης ASHRAEStandard 55-2010 και το πρόγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει την εξαερισμό.
 - *CEN15251Adaptive*: Το παράθυρο ή πόρτα ανοίγει αν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία άνεσης που υπολογίζεται από το προσαρμοστικό μοντέλο άνεσης CEN15251 και το πρόγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει την εξαερισμό.
 - *ZoneLevel*: Ο εξαερισμός του παραθύρου ή της πόρτας δεν ελέγχεται ξεχωριστά, αλλά ελέγχεται αντ 'αυτού σε επίπεδο ζώνης.

Αυτό σημαίνει ότι ο εξαερισμός καθορίζεται από το χρονοδιάγραμμα εξαερισμού της εκάστοτε ζώνης.

- *AdjacentTemperature*: Αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται μόνο για εσωτερική επιφάνεια. Το συγκεκριμένο εσωτερικό παράθυρο ή η πόρτα ανοίγει εάν η περιοχή $T_{zone} > T_{adjacent\ zone}$ ($T_{adjacent\ zone}$ η παρακείμενη θερμοκρασία ζώνης), $T_{zone} > T_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό
- *AdjacentEnthalpy*: Αυτή η επιλογή χρησιμοποιείται μόνο για εσωτερική επιφάνεια. Το συγκεκριμένο εσωτερικό παράθυρο ή η πόρτα ανοίγει εάν η περιοχή $H_{zone} > H_{adjacent\ zone}$ ($T_{adjacent\ zone}$ η παρακείμενη ενθαλπία ζώνης), $H_{zone} > H_{set}$ και το χρονοδιάγραμμα διαθεσιμότητας εξαερισμού επιτρέπει τον εξαερισμό.

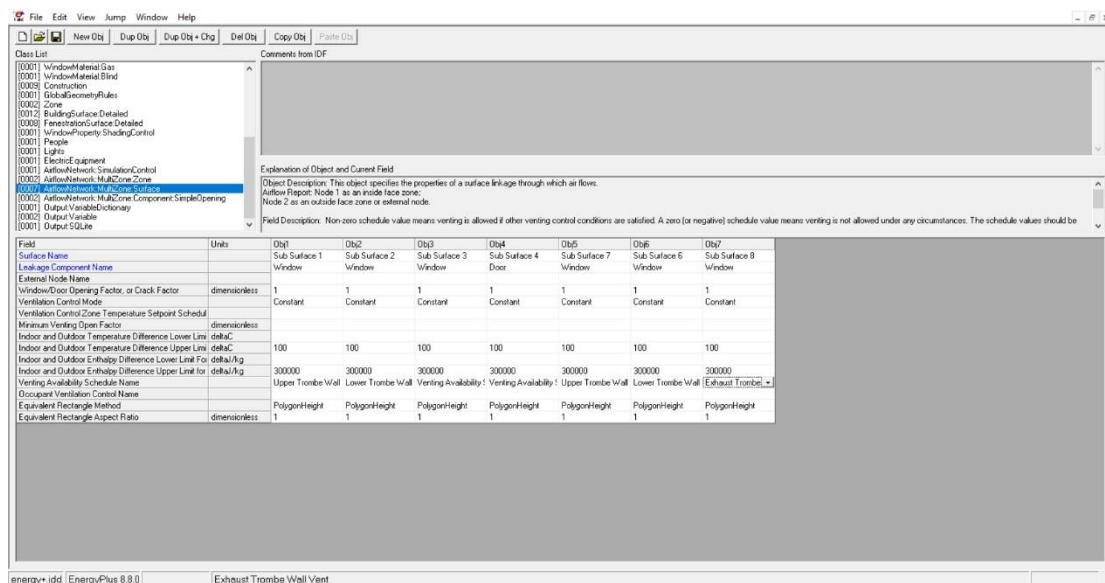
Θεωρείται ότι η ροή αέρα γίνεται μόνο μέσω των ανοιγμάτων, δηλαδή των υποεπιφανειών του κάθε κτιρίου και ότι η λειτουργία αυτών βασίζεται σε χρονοδιαγράμματα. Επομένως για κάθε σενάριο ισχύει:

– Σενάριο 1



Σχήμα 6.80: Οι επιλογές της κατηγορίας *AirflowNetwork:Multizone:Surface* για το Σενάριο 1.

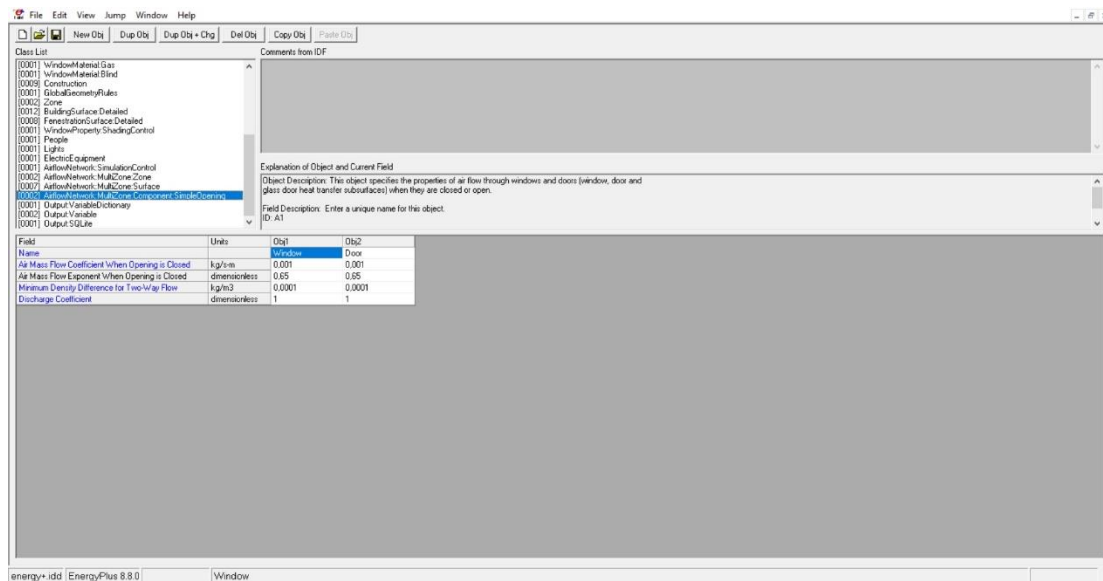
– Σενάρια 2,3,4



Σχήμα 6.81: Οι επιλογές της κατηγορίας *AirflowNetwork:MultiZone:Surface* για τα Σενάρια 2,3,4.

- AirflowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening:** Καθορίζει τις ιδιότητες της ροής του αέρα μέσω παραθύρων και θυρών όταν είναι κλειστές ή ανοιχτές.
 - Name: Προσδιορίζει το όνομα της συνιστώσας που έχει τις συγκεκριμένες ιδιότητες.
 - Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed: Καθορίζει την τιμή του συντελεστή ροής μάζας αέρα όταν το άνοιγμα είναι κλειστό. Η τιμή εισάγεται σε μονάδες kg/(sm). Επιλέγεται: **0.001**
 - Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed: Καθορίζει την τιμή του εκθέτη, n, στην εξίσωση ροής αέρα των ρωγμών. Η έγκυρη περιοχή τιμών είναι 0.5 έως 1.0, με την προεπιλεγμένη τιμή να είναι 0.65. $Mass\ Flow\ Rate = Air\ Mass\ Flow\ Coefficient\ (\Delta P)^n$. Επιλέγεται: **0.65**
 - Minimum Density Difference for Two-Way Flow: Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή της ελάχιστης διαφοράς πυκνότητας πάνω από την οποία μπορεί να προκύψει ροή δύο δρόμων. Επιλέγεται: **0.0001**
 - Discharge Coefficient: Χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του συντελεστή απόρριψης. Επιλέγεται: **1**

Εισάγονται δυο αντικείμενα, ένα για την πόρτα και ένα για τα παράθυρα με ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά.



Σχήμα 6.82: Οι επιλογές της κατηγορίας *AirflowNetwork:MultiZone:Component:SimpleOpening*.

6.5.2.8 Output Reporting

- **Output:Variable:** Χρησιμοποιείται για την υποβολή αιτήματος αναφοράς αποτελεσμάτων. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μεταβλητές εξόδου διαθέσιμες για την αναφορά αποτελεσμάτων από το EnergyPlus. Χρησιμοποιείται κυρίως για την αναφορά δεδομένων σε διαφορετικές χρονικές στιγμές με διάφορες συχνότητες.
 - **Variable Name:** Καθορίζει το όνομα της μεταβλητής που επιθυμείται να αναφερθούν οι τιμές της.
 - **Reporting Frequency:** Καθορίζει πόσο συχνά θα εμφανίζεται η μεταβλητή στο αρχείο εξόδου. Οι επιλογές είναι:
 - *Detailed:* θα εμφανίζονται οι τιμές της μεταβλητής για κάθε χρονικό βήμα(Zone ή HVAC)
 - *Timestep:* θα είναι το ίδιο με το «Detailed» για τις Zone μεταβλητές και οι τιμές θα εμφανίζονται στα Zone χρονικά βήματα για μεταβλητές HVAC.
 - *Hourly:* θα εμφανίζονται οι τιμές της μεταβλητής για κάθε ώρα
 - *Daily:* θα εμφανίζει τις μέσες ημερήσιες τιμές για κάθε μεταβλητή
 - *Monthly:* θα εμφανίζει τις μέσες μηνιαία τιμές για κάθε μεταβλητή

- *RunPeriod*: θα εμφανίζει την μέση τιμή για την περίοδο που έχει ορισθεί να γίνει η προσομοίωση

Η προεπιλογή για αυτό το πεδίο, αν παραμείνει κενή ή παραλειφθεί, είναι *Hourly*.

7 Αποτελέσματα Ενεργειακής Προσομοίωσης

Για να υπάρξει μια σχετικά λεπτομερής άποψη για την θερμική συμπεριφορά των κτιρίων και των τεσσάρων σεναρίων σε πρώτη φάση θα παρουσιαστούν οι ωριαίες μεταβολές θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης του κτιρίου για 4 ημέρες του χρόνου, οι οποίες αποτελούν ένα χαρακτηριστικό δείγμα κάθε εποχής. Οι ημέρες που επιλέχθηκαν είναι:

- Η 15^η Ιανουαρίου
- Η 15^η Απριλίου
- Η 15^η Ιουλίου
- Η 15^η Οκτώβρη

Οι συγκρίσεις που θα γίνουν, θα πραγματοποιηθούν μεταξύ:

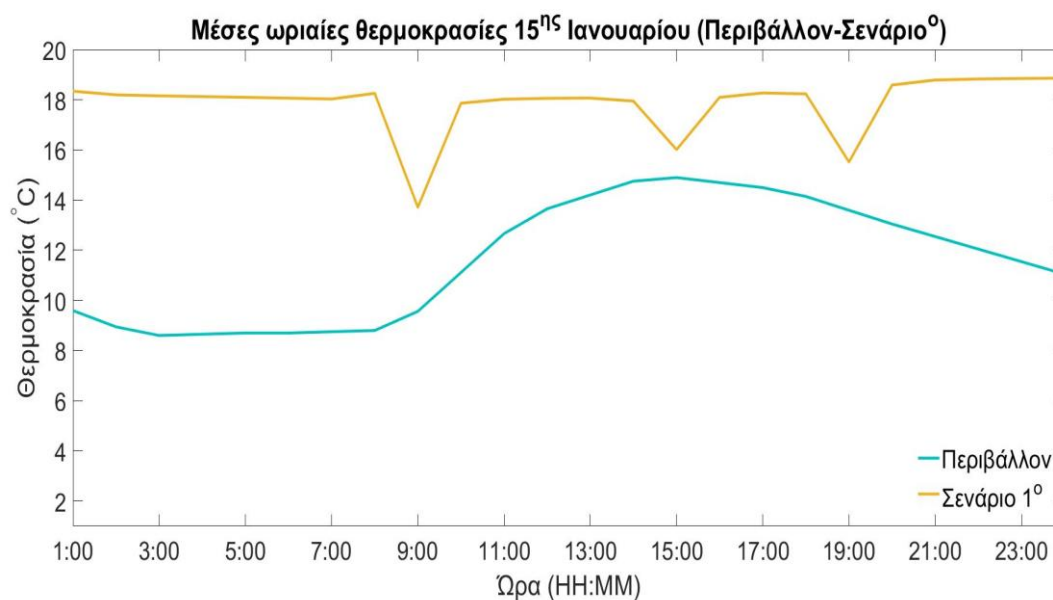
- του απλοποιημένου μοντέλου της κατοικίας (Σενάριο 1) και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ώστε να υπάρχει μια αίσθηση του πως το κέλυφος της απλοποιημένης κατοικίας ανταποκρίνεται στις θερμοκρασιακές μεταβολές.
- του απλοποιημένου μοντέλου της κατοικίας (Σενάριο 1) με κάθε ένα από τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάριο 2,3,4).
- Μεταξύ των κτιρίων που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe (Σενάριο 2,3,4) ώστε να διαπιστωθεί ποια είναι η πιο αποδοτική για κάθε εποχή.

Στη συνέχεια θα παρατεθούν οι τιμές των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του κάθε σεναρίου ώστε να υπάρξει μια πιο σφαιρική άποψη για την μελέτη και σύγκριση των αποδόσεων των κτιρίων των τεσσάρων σεναρίων. Επιπροσθέτως υποβάλλονται οι μέσες μηνιαίες τιμές αποθηκευμένης ενέργειας του τοίχου θερμικής μάζας των Σεναρίων 2,3 και 4 για την σύγκριση της αποθηκευτικής ικανότητας τους.

Τέλος παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες της κύριας θερμικής ζώνης των Σεναρίων 2,3 και 4 με και χωρίς την συσκευή σκίασης. Σκοπός είναι η μελέτη και η εξαγωγή συμπερασμάτων για το πως και κατά πόσο επηρεάζει η λειτουργία της την απόδοση των διατάξεων του τοίχου Trombe των κτιρίων που την περιλαμβάνουν.

7.1 Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15^{ης} Ιανουαρίου

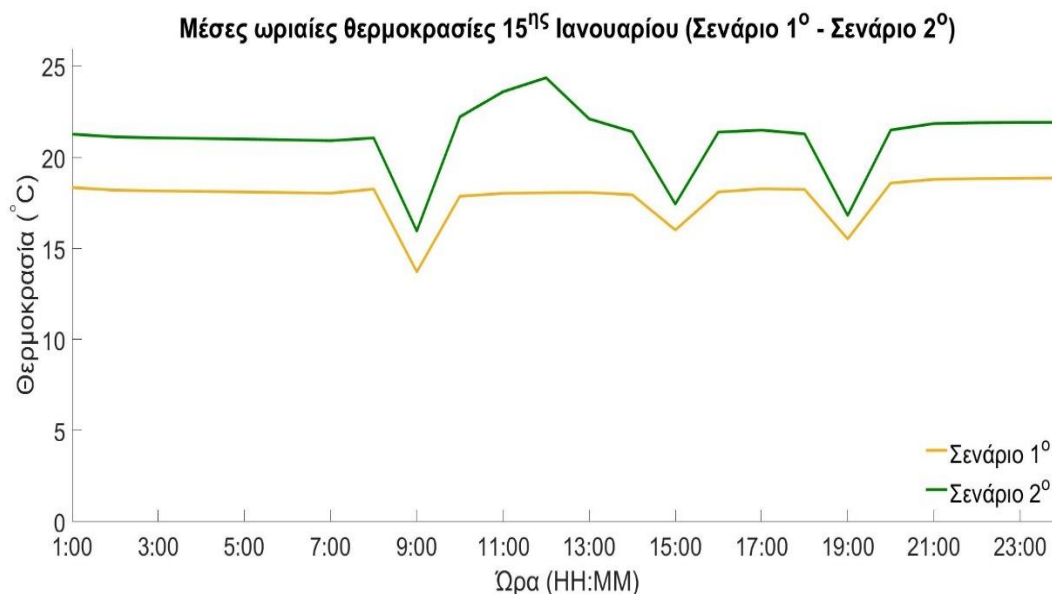
Για την τυπική χειμερινή μέρα που επιλέχθηκε ως η 15^η Ιανουαρίου προέκυψαν οι εξής θερμοκρασίες για τον εσωτερικό χώρο της κύριας θερμικής ζώνης όπως φαίνονται και στο Σχήμα 7.1.



Σχήμα 7.1: Κατανομές θερμοκρασίας περιβάλλοντος - κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 για την 15η Ιανουαρίου.

Όπου παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία μέσα στο εσωτερικό της κατοικίας δείχνει να μην επηρεάζεται πάρα πολύ από την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, όντας σχετικά ομαλή, παρουσιάζοντας όμως τρεις μεγάλες απότομες πτώσεις. Οι συγκεκριμένες πτώσεις της θερμοκρασίας δικαιολογούνται καθότι συνάδουν με το άνοιγμα των θυρών του σπιτιού αν αναλογιστεί κανείς το χρονοδιάγραμμα που έχει οριστεί στην προσομοίωση. Παρατηρείται ότι μέχρι το πρώτο άνοιγμα των παραθύρων για τον αερισμό του σπιτιού η θερμοκρασία είναι σχεδόν σταθερή χωρίς να επηρεάζεται από την πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας περιβάλλοντος. Επιπλέον είναι εμφανές ότι ενώ ο αερισμός διαρκεί την ίδια ώρα και στις 3 περιπτώσεις κατά την διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία της κύριας θερμικής ζώνης εμφανίζει την πιο απότομη πτώση καθότι η εξωτερική θερμοκρασία είναι χαμηλότερη.

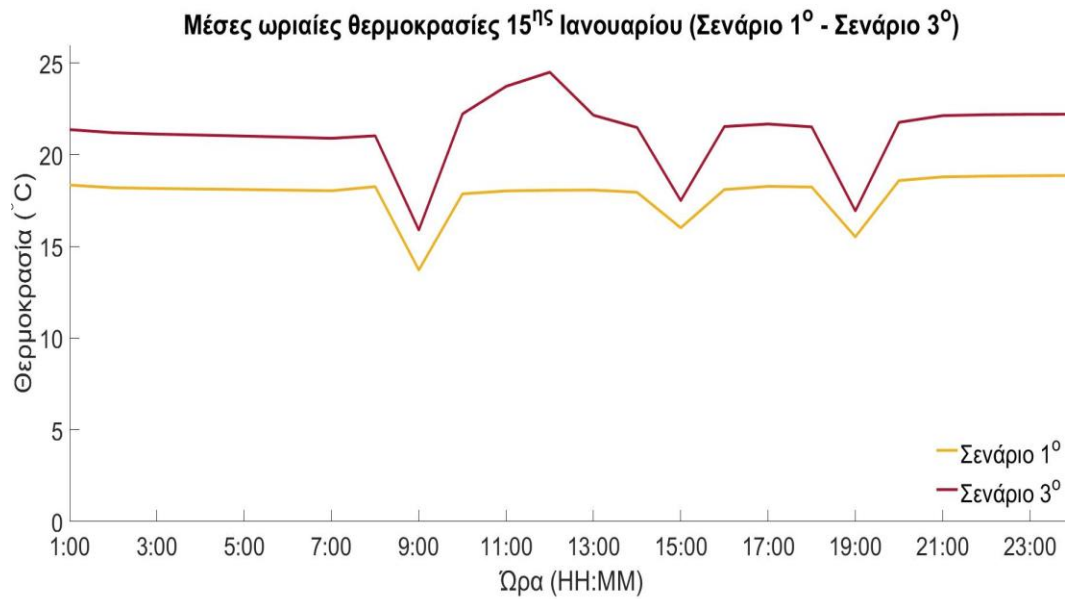
Στη συνέχεια, στο Σχήμα 7.2 παρουσιάζονται οι κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας συμβατικής κατασκευής (Σενάριο 2).



Σχήμα 7.2: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 2 για την 15η Ιανουαρίου.

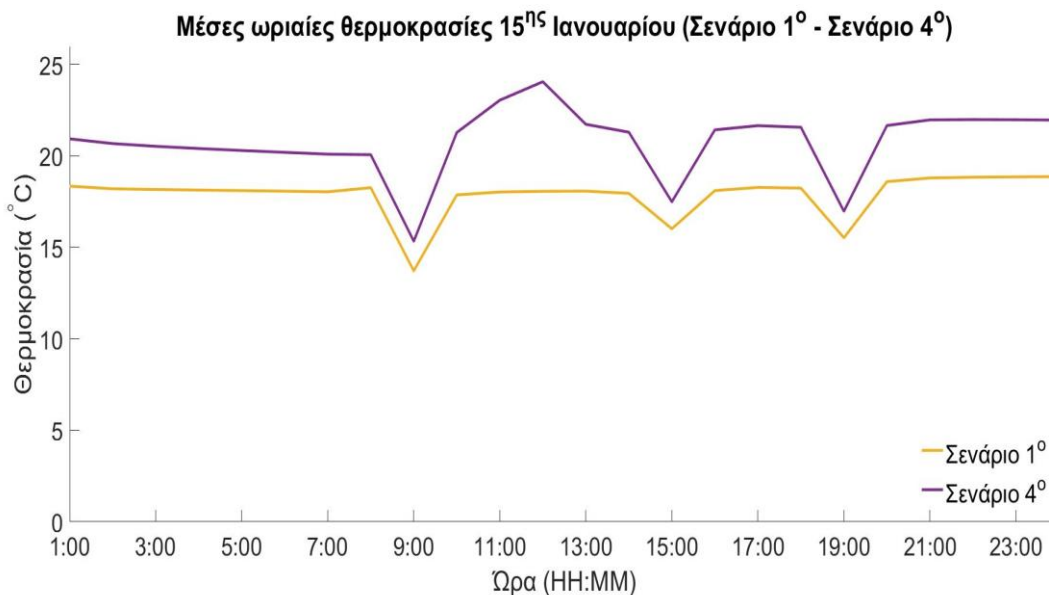
Παρατηρείται μια σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνάει και τους 5°C. Ομοίως παρατηρούνται ξαφνικές πτώσεις της θερμοκρασίας, οι οποίες οφείλονται στο χρονοδιάγραμμα αερισμού της κατοικίας το οποίο είναι το ίδιο και για τα δύο σενάρια. Επίσης κατά τις 12:00 όσον αφορά το Σενάριο 2 ενώ μέχρι εκείνη την ώρα παρατηρούνταν μια διηνεκής αύξηση της θερμοκρασίας, από εκεί και πέρα παρατηρείται μείωση. Λαμβάνοντας υπόψη τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των θυρίδων εξαερισμού του τοίχου Trombe κάτι τέτοιο είναι απολύτως λογικό καθώς από τις 12:00 και μετά οι θυρίδες εξαερισμού κλείνουν, έτσι δεν κυκλοφορεί αέρας μεταξύ του τοίχου θερμικής μάζας και του υαλοστασίου, συνεπώς δεν υπάρχει είσοδος θερμών ρευμάτων μέσω της άνω θυρίδας εξαερισμού.

Παρακάτω, στο Σχήμα 7.3, παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από σκυρόδεμα και BioPCM (Σενάριο 3)



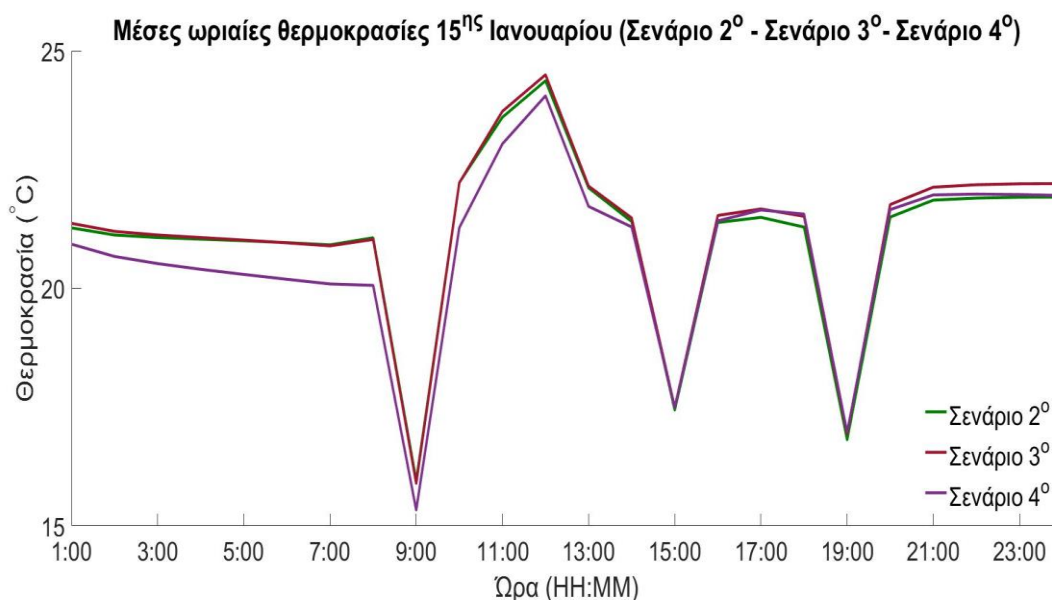
Σχήμα 7.3: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 3 για την 15η Ιανουαρίου.

αλλά και το διάγραμμα με τις κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από γυψοσανίδα και BioPCM (Σενάριο 4), στο Σχήμα 7.4.



Σχήμα 7.4: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 4 για την 15η Ιανουαρίου.

Με μια πρώτη ματιά παρατηρείται ότι η θερμική συμπεριφορά των κτιρίων των Σεναρίων 2, 3 και 4 είναι παρόμοια ειδικά σε σύγκριση με την κατανομή της θερμοκρασίας του κτιρίου του Σεναρίου 1. Για πιο λεπτομερή μελέτη και καλύτερη σύγκριση των 3 διαφορετικών εκδοχών του τοίχου Trombe παρατίθεται στο Σχήμα 7.5 το διάγραμμα με τις κατανομές θερμοκρασίας των Σεναρίων 2,3 και 4.



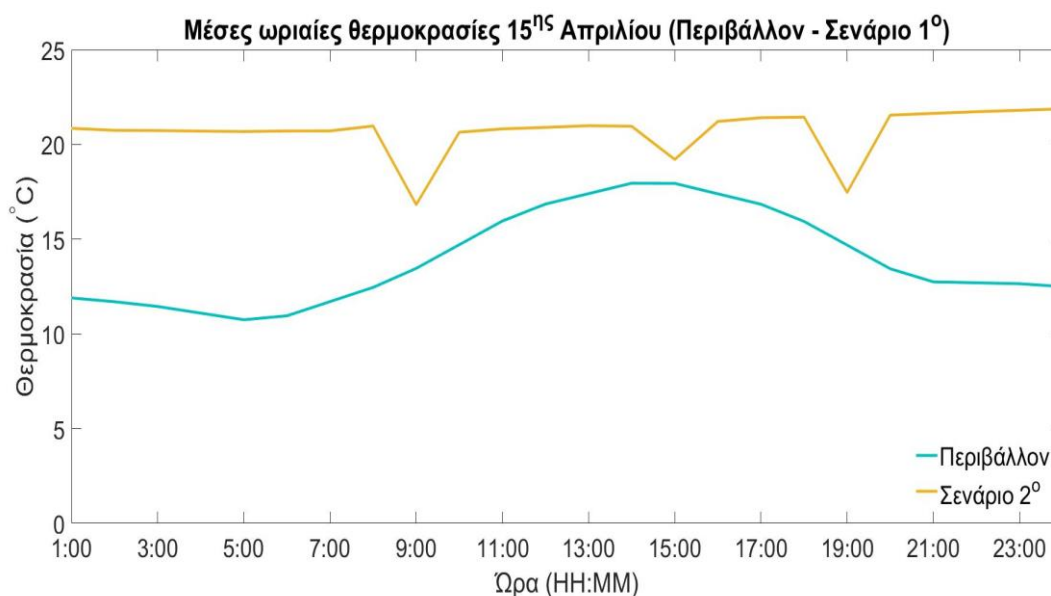
Σχήμα 7.5: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 2 , Σεναρίου 3 και Σεναρίου 4 για την 15η Ιανουαρίου.

Παρατηρείται ότι για τα Σενάρια 2 και 3 οι θερμοκρασίες της κύριας θερμικής ζώνης έχουν πολύ μικρή διαφορά, με το Σενάριο 3 να παρουσιάζει πιο υψηλές θερμοκρασίες άρα και καλύτερη θερμική συμπεριφορά σε σχέση με το Σενάριο 2. Όσον αφορά το Σενάριο 4 αυτό παρουσιάζει γενικώς πιο χαμηλές θερμοκρασίες συγκριτικά με τα άλλα δυο Σενάρια ειδικά μέχρι το μεσημέρι.

Από το μεσημέρι και μετά είναι εμφανές ότι τα Σενάρια 3 και 4 τα οποία περιέχουν το υλικό αλλαγής φάσης συμπεριφέρονται πολύ καλύτερα θερμικά σε σύγκριση με το Σενάριο 2. Το Σενάριο 4, το οποίο μέχρι πριν το μεσημέρι παρουσιαζόταν ως το πιο αδύναμο φαίνεται να παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες ακόμα και από το Σενάριο 2. Η εξήγηση αυτού του φαινομένου κρύβεται στην θερμότητα την οποία αποβάλλουν τα υλικά αλλαγής φάσης με το που πέσει η θερμοκρασία κάτω από το σημείο τήξης του υλικού αλλαγής φάσης.

7.2 Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15^{ης} Απριλίου

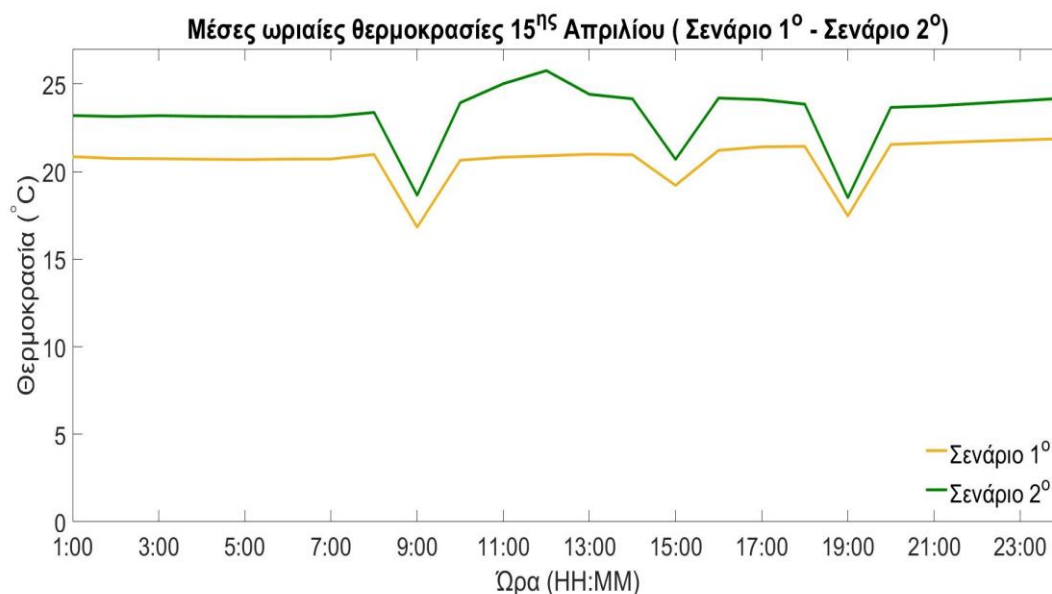
Για την τυπική ανοιξιότικη μέρα που επιλέχθηκε ως η 15^η Απριλίου προέκυψαν οι εξής θερμοκρασίες για τον εσωτερικό χώρο της κύριας θερμικής ζώνης, όπως φαίνονται και στο Σχήμα 7.6.



Σχήμα 7.6: Κατανομές θερμοκρασίας περιβάλλοντος - κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 για την 15η Απριλίου.

Παρατηρείται ότι η θερμοκρασία της κύριας θερμικής ζώνης δεν επηρεάζεται από τις μεταβολές τις θερμοκρασίας του εξωτερικού περιβάλλοντος. Είναι σχετικά σταθερή με εξαίρεση τα χρονικά διαστήματα που πραγματοποιείται ο φυσικός αερισμός του σπιτιού. Με την είσοδο του φρέσκου αέρα είναι εμφανείς οι πτώσεις της θερμοκρασίας οι οποίες όμως δεν συγκρίνονται με τις αντίστοιχες της ενεργειακής προσομοίωσης που διεξήχθη στις 15 Ιανουαρίου το οποίο είναι άκρως φυσιολογικό καθώς η θερμοκρασία του αέρα είναι πιο υψηλή. Επίσης ενώ από τις 19:00 μέχρι το τέλος της ημέρας παρατηρείται πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, παράλληλα στο εσωτερικό της κατοικίας παρατηρείται μια διαρκής, μικρή αύξηση της θερμοκρασίας από την τελευταία φορά που πραγματοποιείται ο αερισμός μέχρι το τέλος της ημέρας. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι απλοί τοίχοι του κελύφους της κατοικίας αποδίδουν με χρονική υστέρηση την θερμότητα που απορρόφησαν κατά την διάρκεια της ημέρας.

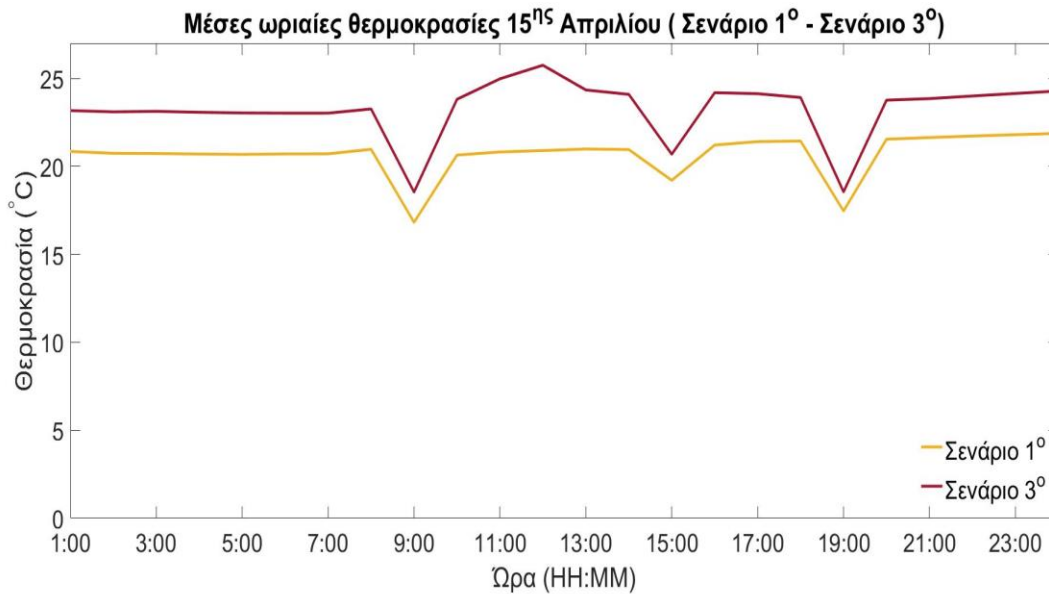
Στο Σχήμα 7.7 παρουσιάζονται οι κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας συμβατικής κατασκευής (Σενάριο 2).



Σχήμα 7.7: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 2 για την 15η Απριλίου

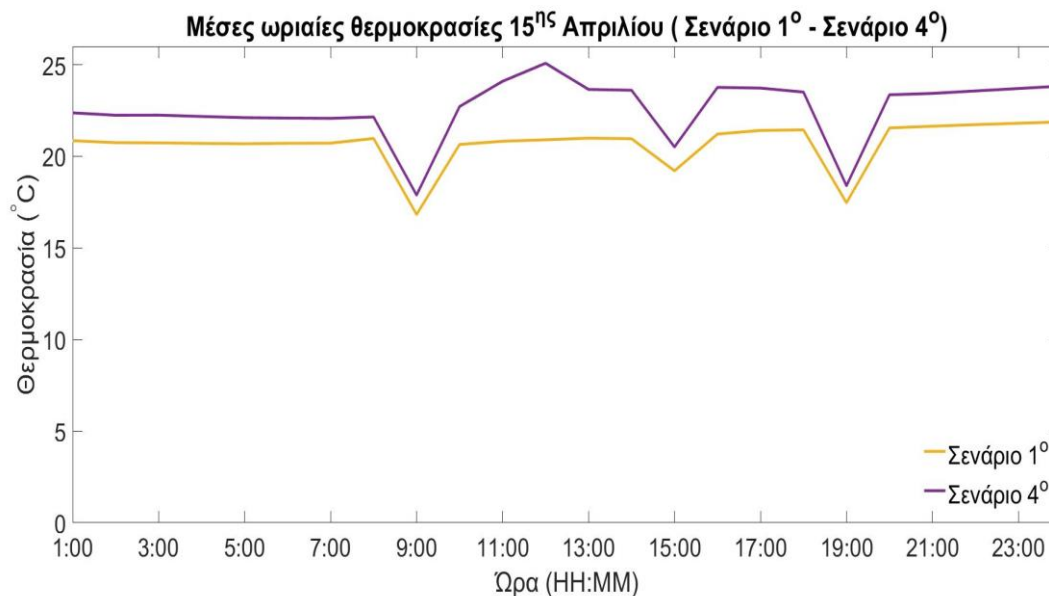
Είναι εμφανής η αύξηση της θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης. Οι απότομες πτώσεις της θερμοκρασίας λόγω του φυσικού αερισμού είναι αναπόφευκτες και στην συγκεκριμένη περίπτωση, όμως προφανώς η θερμοκρασία είναι υψηλότερη στο Σενάριο 2 σε σχέση με το Σενάριο 1. Από την ανατολή του ηλίου παρατηρείται μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τις 12:00 λόγω της θέρμανσης του αέρα από τον τοίχο Trombe ο οποίος εξέρχεται από την κύρια θερμική ζώνη μέσω της κάτω θυρίδας εξαερισμού και επιστρέφει με αυξημένη θερμοκρασία μέσω της άνω θυρίδας εξαερισμού. Η επιλογή κλεισίμου, από τις 12:00 και μετά, των θυρίδων εξυπηρετεί την συγκέντρωση της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας στον τοίχο θερμικής μάζας για απόδοση στον κύριο χώρο αργότερα πράγμα εμφανές και από το διάγραμμα.

Στο Σχήμα 7.8 παρουσιάζεται το διάγραμμα με τις κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας (Σενάριο 1) και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από σκυρόδεμα και BioPCM (Σενάριο 3).



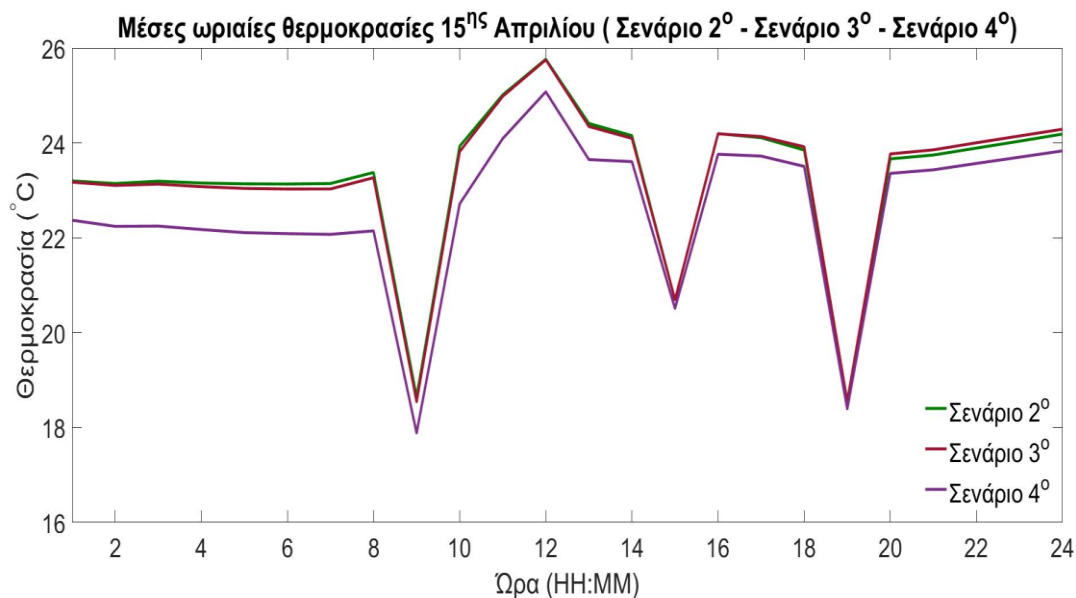
Σχήμα 7.8: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 3 για την 15η Απριλίου.

Ενώ το διάγραμμα με τις κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας (Σενάριο 1) και της ίδιας κατοικίας με διάταξη τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας από γυψοσανίδα και BioPCM (Σενάριο 4) έχει την εξής μορφή όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.9:



Σχήμα 7.9: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 4 για την 15η Απριλίου.

Συγκριτικά με την κατανομή θερμοκρασίας του Σεναρίου 1 οι κατανομές των Σεναρίων 2, 3 και 4 είναι παρόμοιες. Για καλύτερη εποπτεία των παραλλαγών του παθητικού ηλιακού συστήματος παρουσιάζονται στο Σχήμα 7.10 οι κατανομές της θερμοκρασίας τους.



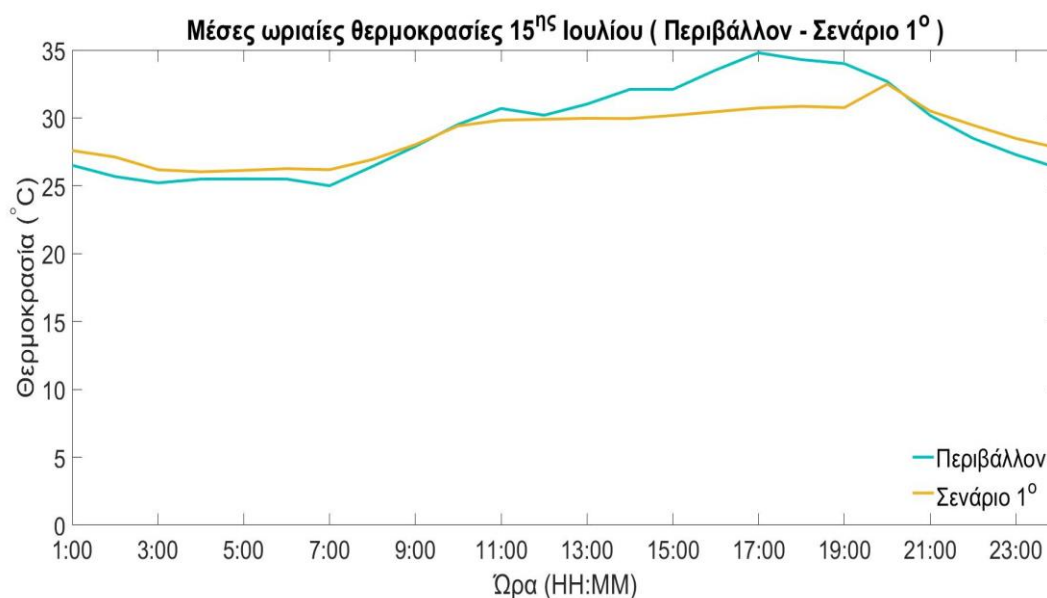
Σχήμα 7.10: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 2 ,Σεναρίου 3 και Σεναρίου 4 για την 15η Απριλίου.

Τα Σενάρια 2 και 3 παρουσιάζουν σχεδόν ίσες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια όλης της ημέρας. Τις πρώτες πρωινές ώρες το Σενάριο 2 παρουσιάζει ελάχιστα πιο υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με το Σενάριο 3 το οποίο αντιστοίχως έχει πιο υψηλές από την δύση του ηλίου και έπειτα.

Όσον αφορά το Σενάριο 4 έχει γενικώς πιο χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα άλλα δυο σενάρια. Παρατηρείται όμως ότι από το μεσημέρι και έπειτα η θερμοκρασία στο εσωτερικό της κατοικίας αυξάνεται με ταχύτερους ρυθμούς συγκριτικά με την αντίστοιχη θερμοκρασία των δυο άλλων παραλλαγών του τοίχου Trombe.

7.3 Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15^{ης} Ιουλίου

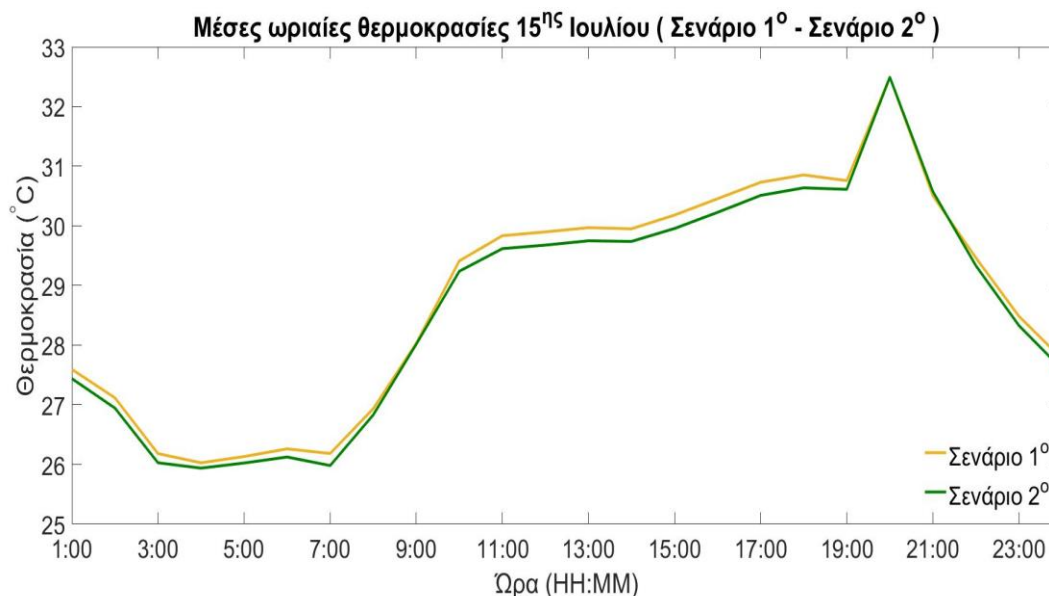
Η κατανομή της θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης του Σεναρίου 1 για την τυπική καλοκαιρινή μέρα, την 15^η Ιουλίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 7.11.



Σχήμα 7.11: Κατανομές θερμοκρασίας περιβάλλοντος - κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 για την 15η Ιουλίου.

Η θερμοκρασία της κύριας θερμικής ζώνης φαίνεται να είναι υψηλότερη από αυτή του περιβάλλοντος μέχρι τις 9:00. Το συγκεκριμένο φαινόμενο οφείλεται στην αποθήκευση της θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που είχε πραγματοποιηθεί κατά την διάρκεια της ημέρας από τα δομικά υλικά του κτιρίου, καθότι παρόλο που ο χώρος αερίζεται η θερμοκρασία δεν πέφτει σε τόσο χαμηλά επίπεδα όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Στη συνέχεια παρατηρείται ότι η θερμοκρασία στην κύρια θερμική ζώνη είναι χαμηλότερη της αντίστοιχης του περιβάλλοντος μέχρι τις 19:00 όπου φαίνεται μια απότομη αύξηση. Αυτή οφείλεται στην ύπαρξη του μεγάλου παραθύρου από την δυτική πλευρά του σπιτιού, το οποίο μην έχοντας κάποια συσκευή σκίασης επιτρέπει την είσοδο ηλιακής ακτινοβολίας την ώρα που ο ήλιος πλησιάζει στην δύση του. Στη συνέχεια τόσο η θερμοκρασία περιβάλλοντος όσο και η θερμοκρασία στο εσωτερικό του κτιρίου παρουσιάζουν πτώση, η πρώτη όμως με γρηγορότερο ρυθμό.

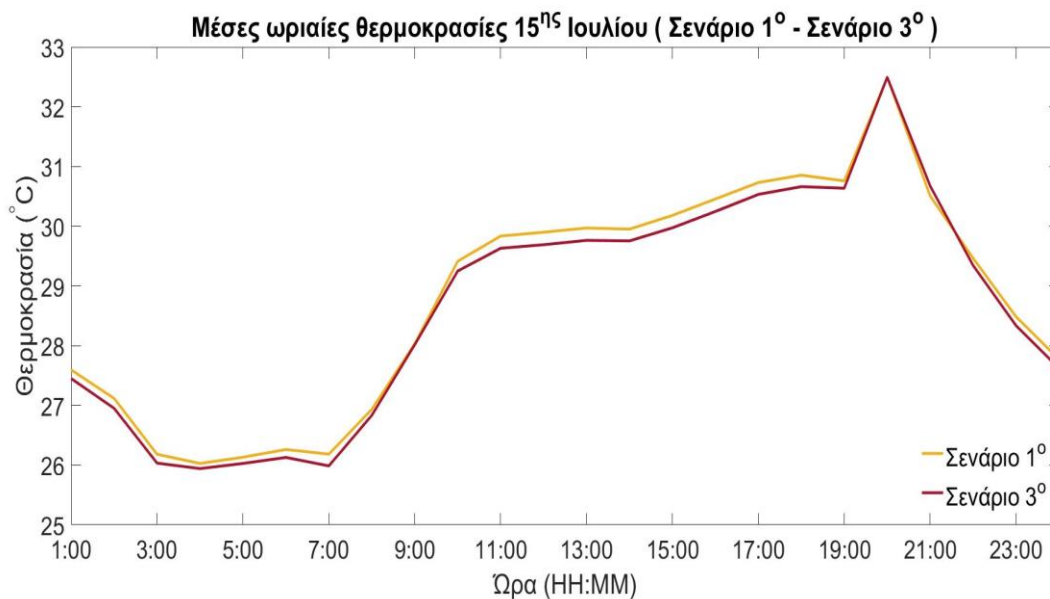
Γενικώς η διάταξη του τοίχου Trombe λειτουργεί επιβαρυντικά κατά την διάρκεια του καλοκαιριού αυξάνοντας την θερμοκρασία του κτιρίου. Στο Σχήμα 7.12 παρουσιάζονται οι κατανομές της θερμοκρασίας του εσωτερικού της κύριας θερμικής ζώνης της απλοποιημένης κατοικίας και της ίδιας κατοικίας μετά την τοποθέτηση της διάταξης του τοίχου Trombe με τοίχο θερμικής μάζας συμβατικής κατασκευής (Σενάριο 2)



Σχήμα 7.12: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 2 για την 15η Ιουλίου.

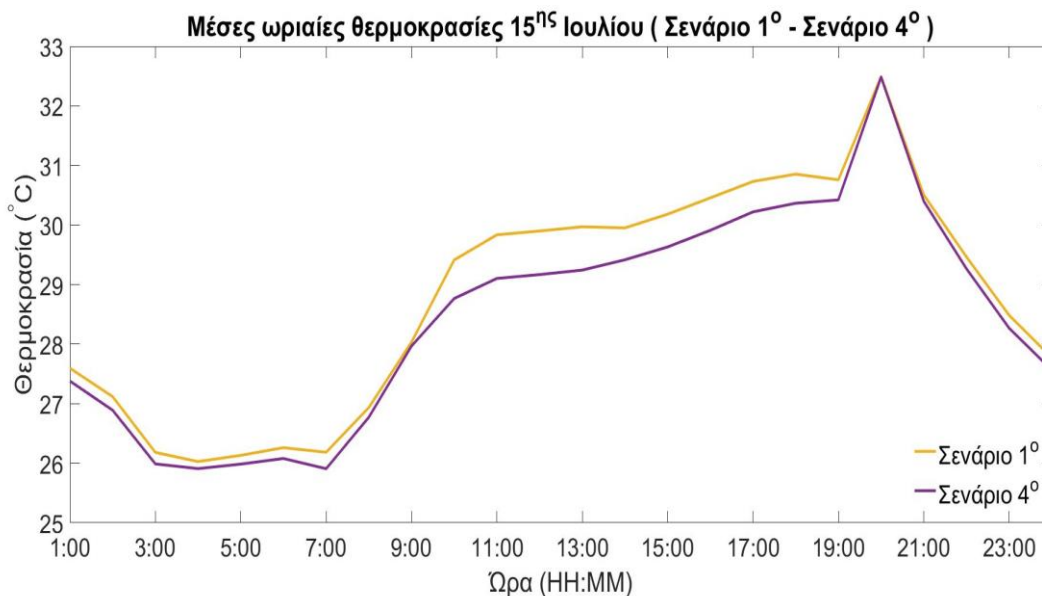
Παρατηρείται ότι το Σενάριο 2 δεν παρουσιάζει πιο υψηλές θερμοκρασίες από το Σενάριο 1 διαφεύδοντας τον παραπάνω ισχυρισμό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι έχει τοποθετηθεί συσκευή σκίασης για προστασία του τοίχου θερμικής μάζας από την ηλιακή ακτινοβολία. Αντιθέτως λοιπόν, είναι προφανές, ότι ο τοίχος Trombe συμβάλλει στην παθητική ψύξη του κτιρίου παρουσιάζοντας πιο χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η διάταξη του τοίχου Trombe συμβάλλει στην απομάκρυνση του θερμού αέρα από τον εσωτερικό χώρο, η οποία γίνεται μέσω της κάτω θυρίδας εξαερισμού και της θυρίδας αποφόρτισης, βασιζόμενη στο φαινόμενο του θερμοσιφωνισμού. Επιπλέον η κυκλοφορία του αέρα μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου θερμικής μάζας βοηθάει στην αποφόρτιση του τοίχου θερμικής μάζας συνεπώς και στην μείωση των εισερχόμενων θερμικών φορτίων αποθηκευμένης αισθητής θερμότητας κατά την διάρκεια της νύχτας.

Στο παρακάτω διάγραμμα, του Σχήματος 7.13, παρουσιάζονται οι κατανομές θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου του κτιρίου του Σεναρίου 3 σε σύγκριση με την αντίστοιχη κατανομή της θερμοκρασίας του Σεναρίου 1.



Σχήμα 7.13: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 3 για την 15η Ιουλίου.

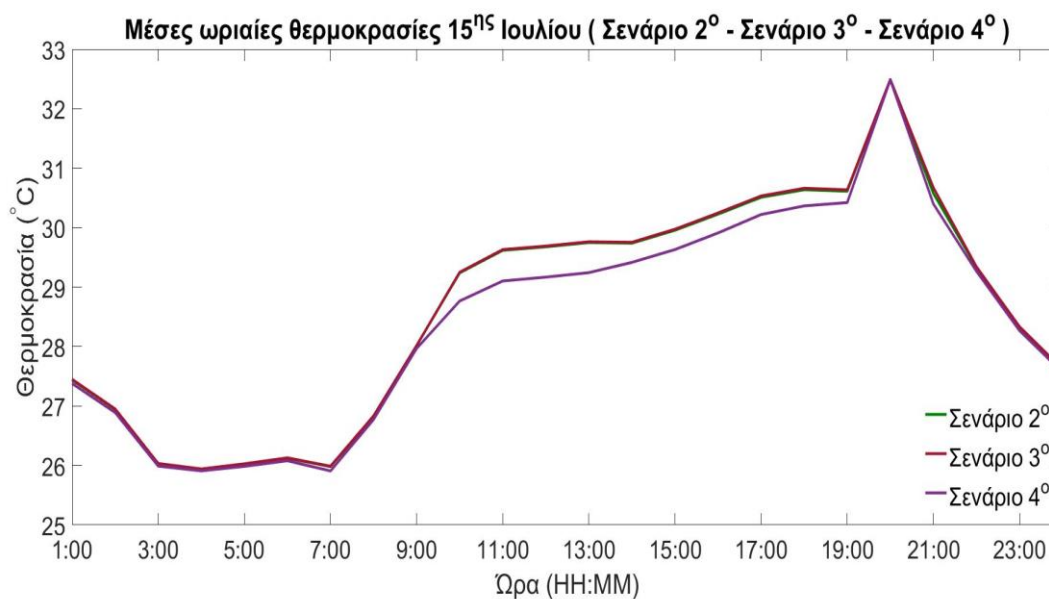
Ενώ στο Σχήμα 7.14 παρουσιάζονται οι κατανομές θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης των Σεναρίων 1 και 4.



Σχήμα 7.14: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 4 για την 15η Ιουλίου.

Με μια πρώτη ματιά φαίνεται ότι και αυτές οι δυο παραλλαγές του τοίχου Trombe έχουν παρόμοιες κατανομές σε σχέση με το Σενάριο 2. Αυτό που θα πρέπει να επισημανθεί όμως είναι ότι σε αντίθεση με τα Σενάρια 2 και 3, το Σενάριο 4 έχει πάντα πιο χαμηλές θερμοκρασίες συγκριτικά με το Σενάριο 1.

Μια πιο σωστή σύγκριση των παραλλαγών του τοίχου Trombe μπορεί να γίνει παρατηρώντας το διάγραμμα με τις κατανομές θερμοκρασίας των Σεναρίων 2, 3 και 4 του Σχήματος 7.15.

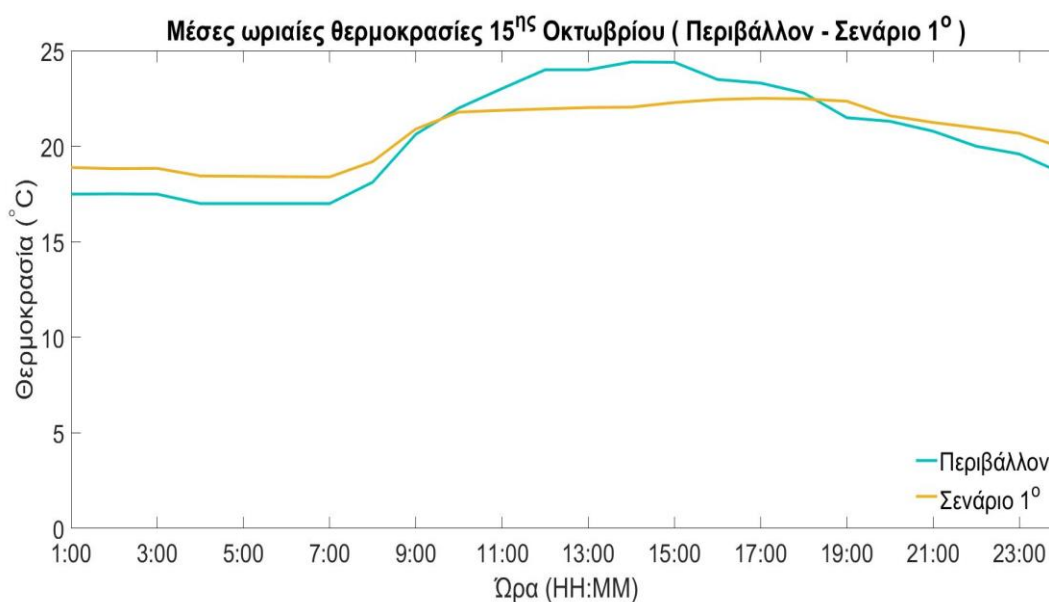


Σχήμα 7.15: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 2 ,Σεναρίου 3 και Σεναρίου 4 για την 15η Ιουλίου.

Φαίνεται λοιπόν ότι κατά την διάρκεια της τυπικής καλοκαιρινής ημέρας τα Σενάρια 2 και 3 να παρουσιάζουν τις ίδιες σχεδόν κατανομές θερμοκρασίας. Κάτι το οποίο δεν ισχύει και για το Σενάριο 4 το οποίο ενώ παρουσιάζει όμοια κατανομή, ειδικά κατά την διάρκεια της ημέρας παρουσιάζει αρκετά πιο χαμηλές θερμοκρασίες σε σχέση με τα υπόλοιπα 3 σενάρια, παρουσιάζοντας κατά την διάρκεια των πρώτων ωρών της ημέρας μικρότερο ρυθμό αύξησης ο οποίος σταδιακά μειώνεται. Οι όμοιες κατανομές θερμοκρασίας οφείλονται στο γεγονός ότι πρόκειται για τις παραλλαγές της ίδιας διάταξης η οποία και στα τρία σενάρια διαθέτει συσκευή σκίασης, πιο συγκεκριμένα περσίδες υψηλής ανακλαστικότητας.

7.4 Ενεργειακή Προσομοίωση κατά την διάρκεια της 15^{ης} Οκτωβρίου

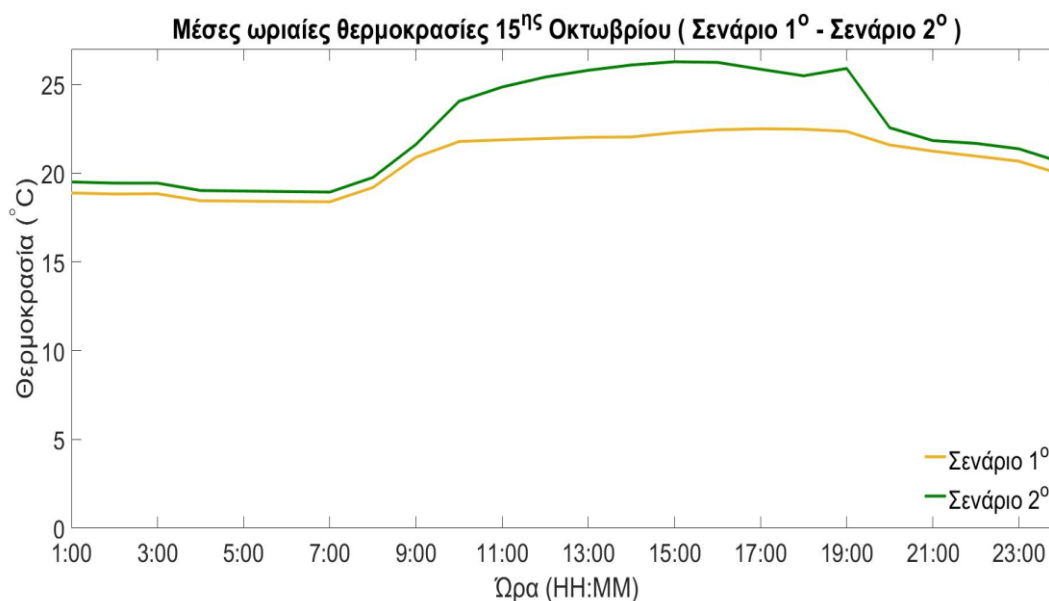
Για την τυπική φθινοπωρινή μέρα που επιλέχθηκε ως η 15η Οκτωβρίου προέκυψαν οι εξής θερμοκρασίες για τον εσωτερικό χώρο της κύριας θερμικής ζώνης όπως φαίνονται και στο Σχήμα 7.16.



Σχήμα 7.16: Κατανομές θερμοκρασίας περιβάλλοντος - κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 για την 15η Οκτωβρίου.

Παρατηρείται μια σχετικά ομαλή κατανομή της θερμοκρασίας στο εσωτερικού του κτιρίου. Να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη μέρα αποτελεί και την τελευταία μέρα που το σύστημα αερισμού του σπιτιού ακολουθεί το θερινό χρονοδιάγραμμα λειτουργίας έχοντας ανοιχτές τις θύρες από τις 24:00 ως τις 09:00. Επίσης παρατηρείται ότι κατά την διάρκεια της ημέρας η θερμοκρασία στο εσωτερικό του δεν αυξάνεται με τον ίδιο ρυθμό που αυξάνεται και η θερμοκρασία περιβάλλοντος καθότι δεν υπάρχει αερισμός στο κτίριο. Αυτός είναι και ο λόγος που η κατανομή της θερμοκρασίας είναι ομαλή καθώς το κέλυφος του κτιρίου απορροφά την θερμότητα κατά την διάρκεια της ημέρας αποδίδοντας την κατά την διάρκεια της νύχτας, δημιουργώντας ένα ομαλό προφίλ θερμοκρασιών.

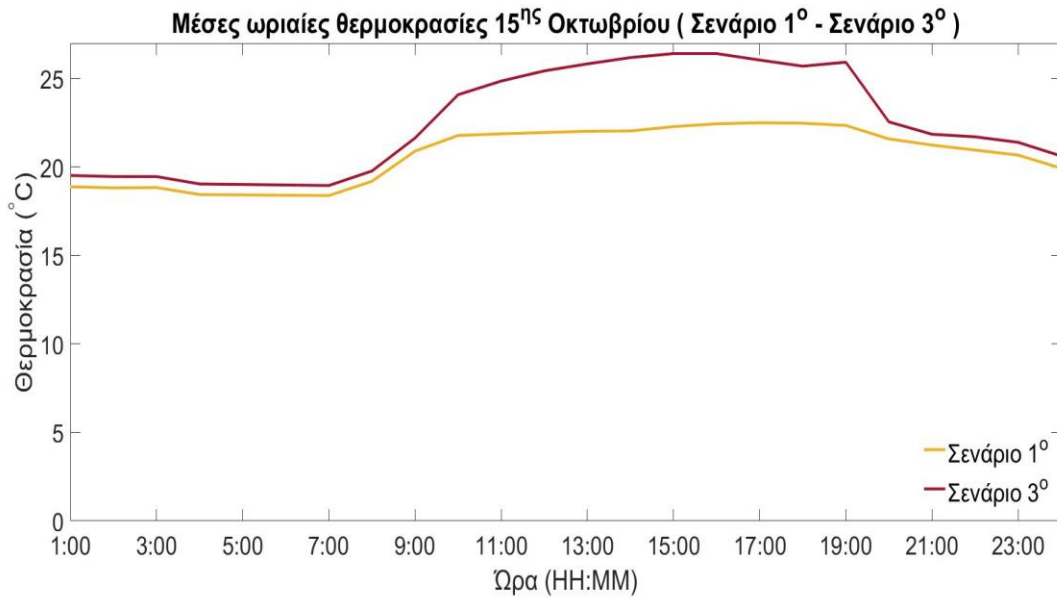
Για την μελέτη της επίδρασης της διάταξης του συμβατικού τοίχου Trombe στο κτίριο κατά την 15^η Οκτωβρίου παρατίθεται στο Σχήμα 7.17, το διάγραμμα με τις κατανομές της θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης των Σεναρίων 1 και 2.



Σχήμα 7.17: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 2 για την 15η Οκτωβρίου.

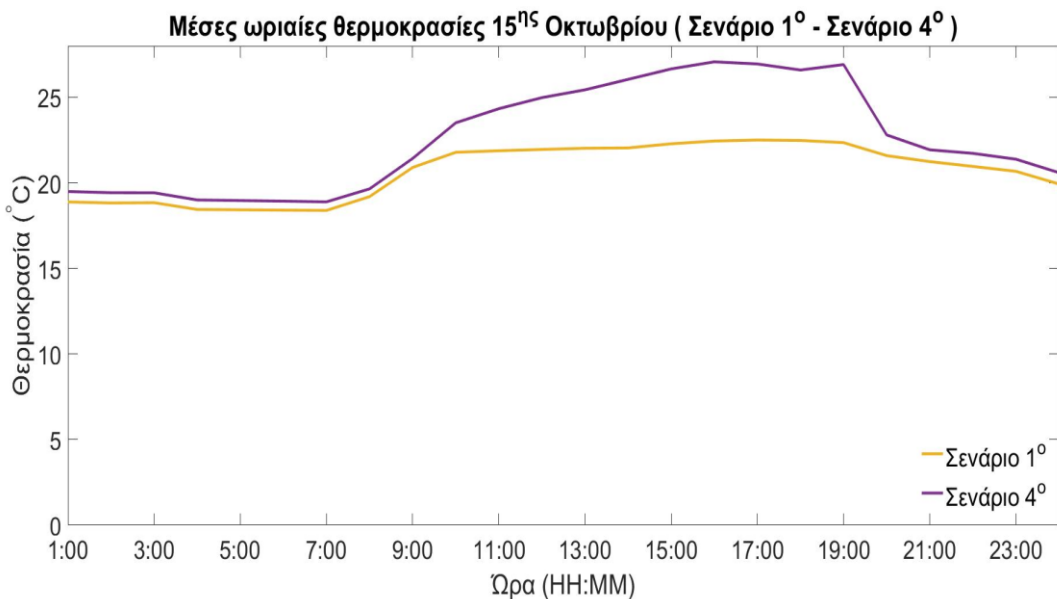
Παρατηρείται αρκετά μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του κτιρίου από την στιγμή που κλείνουν οι θύρες για τον αερισμό της κατοικίας. Ενώ η λειτουργία των θυρίδων ακολουθεί και αυτή για τελευταία μέρα το θερινό χρονοδιάγραμμα, το χρονοδιάγραμμα που ακολουθείται από την συσκευή σκίασης είναι χειμερινό δίνοντας την δυνατότητα στον τοίχο θερμικής μάζας να αποθηκεύσει την θερμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και να βοηθήσει στην αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας. Επίσης παρατηρείται ότι εκτός από τις διαφορετικές τιμές, τα μέγιστα παρουσιάζονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές για την κάθε περίπτωση. Τέλος παρατηρείται μία απότομη αύξηση της εσωτερικής θερμοκρασίας στις 19:00 στο Σενάριο 2 το οποίο δικαιολογείται από τη θέση του ηλίου σχετικά με την θέση του μεγάλου παραθύρου στην δυτική μεριά της κατοικίας.

Όσον αφορά την επίδραση της διάταξης του τοίχου Trombe του Σεναρίου 3 στην θερμοκρασία της κύριας θερμικής ζώνης αυτή μελετάται μέσω του διαγράμματος του Σχήματος 7.18 που παρουσιάζει την κατανομή θερμοκρασίας του συγκριτικά με την αντίστοιχη του Σεναρίου 1.



Σχήμα 7.18: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 3 για την 15η Οκτωβρίου.

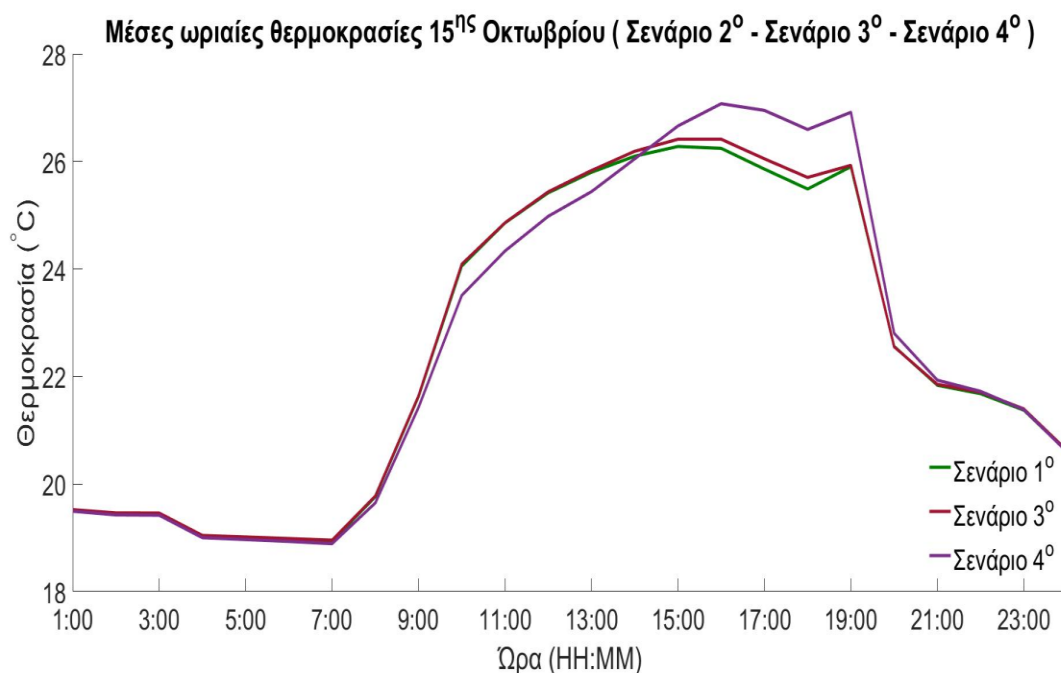
Αντίστοιχα στο Σχήμα 7.19 παρουσιάζεται το διάγραμμα κατανομών θερμοκρασίας της κύριας θερμικής ζώνης των Σεναρίων 1 και 4.



Σχήμα 7.19: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1 και Σεναρίου 4 για την 15η Οκτωβρίου.

Όπου όμοια με τις προηγούμενες προσομοιώσεις τα σενάρια που περιέχουν την διάταξη του τοίχου Trombe παρουσιάζουν παρόμοια μεταξύ τους θερμική συμπεριφορά.

Για πιο λεπτομερή μελέτη παρατίθεται στο Σχήμα 7.20 το διάγραμμα που περιέχει τις κατανομές θερμοκρασίας των Σεναρίων 2,3 και 4.



Σχήμα 7.20: Κατανομές θερμοκρασίας κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 2 , Σεναρίου 3 και Σεναρίου 4 για την 15η Οκτωβρίου.

Είναι εμφανές ότι και τα τρία σενάρια όσο τα παράθυρα είναι ανοιχτά παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες θερμοκρασίες στην κύρια θερμική ζώνη. Από την στιγμή που κλείνουν και έπειτα παρατηρείται ότι τα Σενάρια 2 και 3 εξακολουθούν να έχουν ίδιες κατανομές, με το Σενάριο 3 να παρουσιάζει αυξημένες θερμοκρασίες για ένα διάστημα 6 ωρών 13:00-19:00. Το Σενάριο 4 ενώ θερμοκρασιακά φαίνεται να υστερεί από την στιγμή που κλείνουν τα παράθυρα και έπειτα, από τις 14:00 έως τις 20:00 παρουσιάζει αρκετά υψηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τα άλλα δυο εξεταζόμενα σενάρια. Οι αυξημένες θερμοκρασίες των Σεναρίων 3 και 4 συνδέονται σίγουρα με την ύπαρξη του υλικού αλλαγής φάσης στις κατασκευές το οποίο κατά τις ώρες με υψηλή ηλιοφάνεια αποθήκευσε την θερμότητα της ηλιακή ακτινοβολίας με την μορφή της λανθάνουσας θερμότητας και στη συνέχεια την απέδωσε στο κτίριο. Από τις 20:00 και έπειτα και τα 3 σενάρια παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες θερμοκρασίες.

7.5 Ενεργειακή Προσομοίωση Κατά την Διάρκεια του Έτους

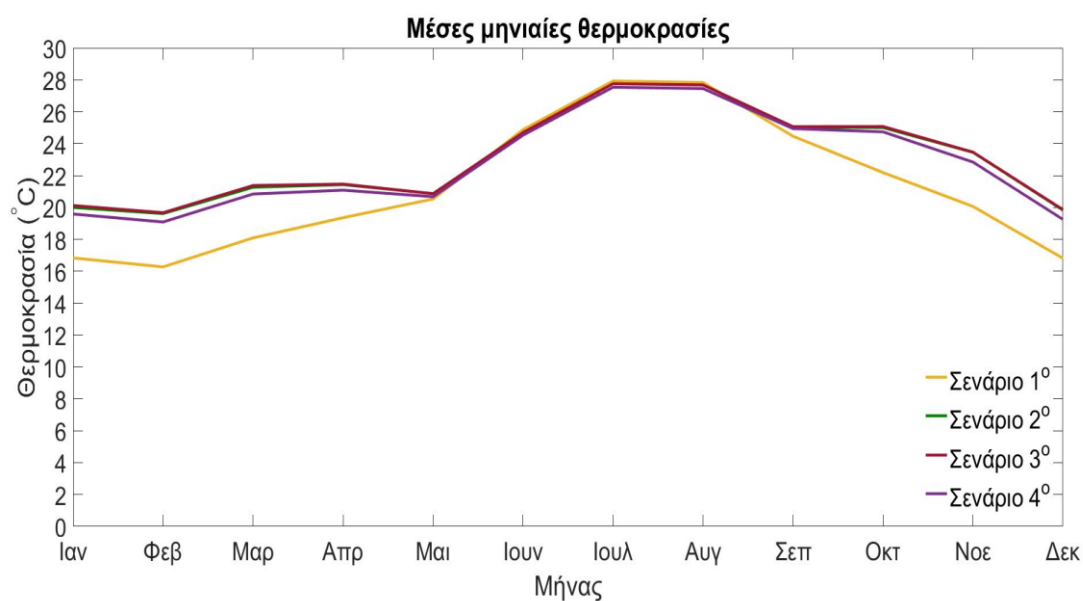
7.5.1 Μέση Μηνιαία Θερμοκρασία Κύριας Θερμικής Ζώνης

Στον Πίνακα 7.1 παρουσιάζεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία της Κύριας θερμικής Ζώνης των τεσσάρων σεναρίων.

Μήνας	Περιβάλλον (°C)	Σενάριο 1° (°C)	Σενάριο 2° (°C)	Σενάριο 3° (°C)	Σενάριο 4°
Ιαν	10.701	16.834	20.002	20.123	19.589
Φεβ	9.582	16.274	19.617	19.672	19.088
Μαρ	11.386	18.092	21.270	21.377	20.844
Απρ	15.056	19.358	21.432	21.466	21.085
Μαι	19.606	20.531	20.870	20.863	20.676
Ιουν	24.608	24.879	24.678	24.700	24.529
Ιουλ	27.297	27.930	27.761	27.760	27.538
Αυγ	27.590	27.833	27.685	27.679	27.455
Σεπ	23.880	24.470	25.037	25.068	24.944
Οκτ	19.153	22.188	25.011	25.077	24.741
Νοε	14.509	20.064	23.457	23.470	22.845
Δεκ	10.864	16.812	19.830	19.866	19.249

Πίνακας 7.1: Μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες κύριας θερμικής ζώνης.

Για την καλύτερη εποπτεία και την εξαγωγή συμπερασμάτων παρατίθεται στο Σχήμα 7.21 το διάγραμμα με τις κατανομές των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών και των τεσσάρων σεναρίων.



Σχήμα 10: Κατανομές μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών κύριας θερμικής ζώνης Σεναρίου 1, Σεναρίου 2, Σεναρίου 3 και Σεναρίου 4 για όλο το έτος.

Αρχικά παρατηρείται ότι και οι 3 εκδοχές της διάταξης του τοίχου Trombe βελτιώνουν την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου. Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια του χειμώνα παρατηρούνται αυξημένες θερμοκρασίες ενώ το καλοκαίρι υπάρχει αντίστοιχα μείωση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών.

Όσον αφορά τα Σενάρια 2, 3 και 4 οι πληροφορίες από τις κατανομές των θερμοκρασιών που ελήφθησαν στις παραπάνω ενεργειακές προσομοιώσεις συνάδουν με τις πληροφορίες που δίνει το παραπάνω διάγραμμα μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών. Τα Σενάρια 2 και 3 παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με το Σενάριο 4. Το Σενάριο 3 παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του χειμώνα και χαμηλότερες θερμοκρασίες το καλοκαίρι σε σχέση με το Σενάριο 2. Το Σενάριο 4 από την άλλη μπορεί να έχει χειρότερη θερμική συμπεριφορά τον χειμώνα συγκριτικά με τα Σενάρια 2 και 3 όμως το καλοκαίρι ψύχει πιο αποτελεσματικά την κατοικία παρουσιάζοντας πιο χαμηλές μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες.

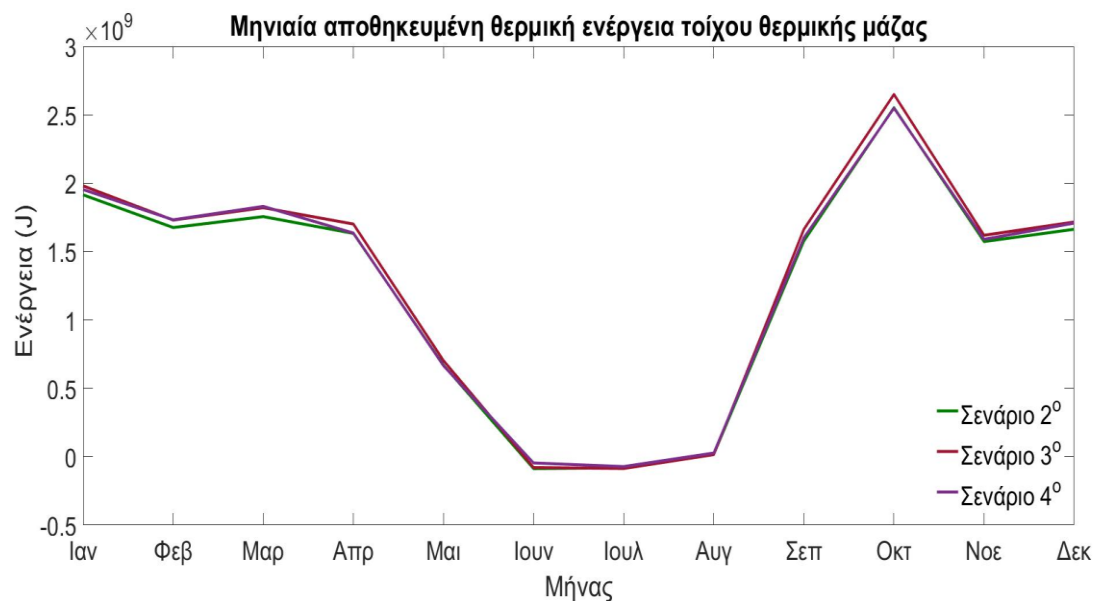
7.5.2 Μηνιαία Αποθηκευμένη Θερμική Ενέργεια Τοίχου Θερμικής Μάζας

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζεται η μηνιαία αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου θερμικής μάζας των σεναρίων που περιλαμβάνουν την διάταξη του τοίχου Trombe.

Μήνας	Σενάριο 2° (GJ)	Σενάριο 3° (GJ)	Σενάριο 4° (GJ)
Ιαν	1.91	1.98	1.95
Φεβ	1.68	1.73	1.73
Μαρ	1.76	1.82	1.83
Απρ	1.63	1.70	1.64
Μια	0.67	0.70	0.66
Ιουν	-0.09	-0.08	-0.05
Ιουλ	-0.08	-0.09	-0.07
Αυγ	0.02	0.01	0.03
Σεπ	1.58	1.66	1.60
Οκτ	2.55	2.65	2.55
Νοε	1.57	1.62	1.59
Δεκ	1.66	1.72	1.71

Πίνακας 7.2: Μηνιαία αποθηκευμένη ενέργεια.

Για καλύτερη εποπτεία της αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας των τοίχων θερμικής μάζας στο Σχήμα 7.22 παρουσιάζεται το διάγραμμα βάσει των τιμών του Πίνακα 7.2.



Σχήμα 7.22: Κατανομές μηνιαίας αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας τοίχου θερμικής μάζας Σεναρίων 2,3 και 4.

Είναι εμφανές ότι η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας επηρεάζεται από το πρόγραμμα λειτουργίας της συσκευής σκίασης. Όσο η συσκευή σκίασης επιτρέπει την είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας τα επίπεδα αποθήκευσης θερμότητας στους τοίχους θερμικής μάζας και των τριών σεναρίων κινούνται σε πολύ υψηλά επίπεδα της τάξεως των 1.5-2.5 GJ ενώ όσο η συσκευή σκίασης είναι σε λειτουργία κατά την διάρκεια της ημέρας αποθηκεύει πολύ μικρότερη ποσότητα θερμότητας.

Στον Πίνακα 7.2 παρουσιάζονται οι ποσοστιαίες διαφορές αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας των Σεναρίων 2-3 και Σεναρίων 2-4. Οι θετικές τιμές δηλώνουν αύξηση ενώ οι αρνητικές μείωση της αποθηκευμένης θερμότητας των Σεναρίων 3 και 4 σε σύγκριση με το Σενάριο 2.

Μήνας	Σενάριο 2° - Σενάριο 3° (%)	Σενάριο 2° – Σενάριο 4° (%)
Ιαν	3.44	2.02
Φεβ	3.25	3.38
Μαρ	3.71	4.27
Απρ	4.19	-0.16
Μαι	5.01	0.61
Ιουν	9.08	47.54
Ιουλ	-5.96	11.30
Αυγ	-4.97	68.15
Σεπ	5.49	1.57
Οκτ	3.77	-0.18
Νοε	2.93	1.04
Δεκ	3.19	2.71

Πίνακας 7.3: Ποσοστιαίες διαφορές αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας των Σεναρίων 3 και 4 σε σύγκριση με το Σενάριο 2.

Για τους μήνες Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο παρατηρείται αύξηση της αποθηκευμένης θερμότητας του τοίχου θερμικής μάζας στα Σενάρια 3 και 4 σε σχέση με το Σενάριο 2. Αυτή η αύξηση είναι μεγαλύτερη για το Σενάριο 3 κατά τον Δεκέμβριο και Ιανουάριο και μεγαλύτερη για το Σενάριο 4 τον Φεβρουάριο.

Για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Μάιο ο τοίχος θερμικής μάζας του Σεναρίου 3 συνεχίζει να έχει μεγαλύτερη ποσότητα αποθηκευμένης θερμικής ενέργειας σε σχέση με το Σενάριο 2. Όσον αφορά το Σενάριο 4 ενώ τον Μάρτιο έχει αυξημένα επίπεδα αποθηκευμένης θερμότητας σε σύγκριση και με τα δυο Σενάρια 2 και 3, τον Απρίλιο φαίνεται να αποθηκεύει λιγότερη θερμότητα από όλα ενώ τον Μάιο η αποθηκευμένη θερμότητα του είναι ελάχιστα μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν του Σεναρίου 2.

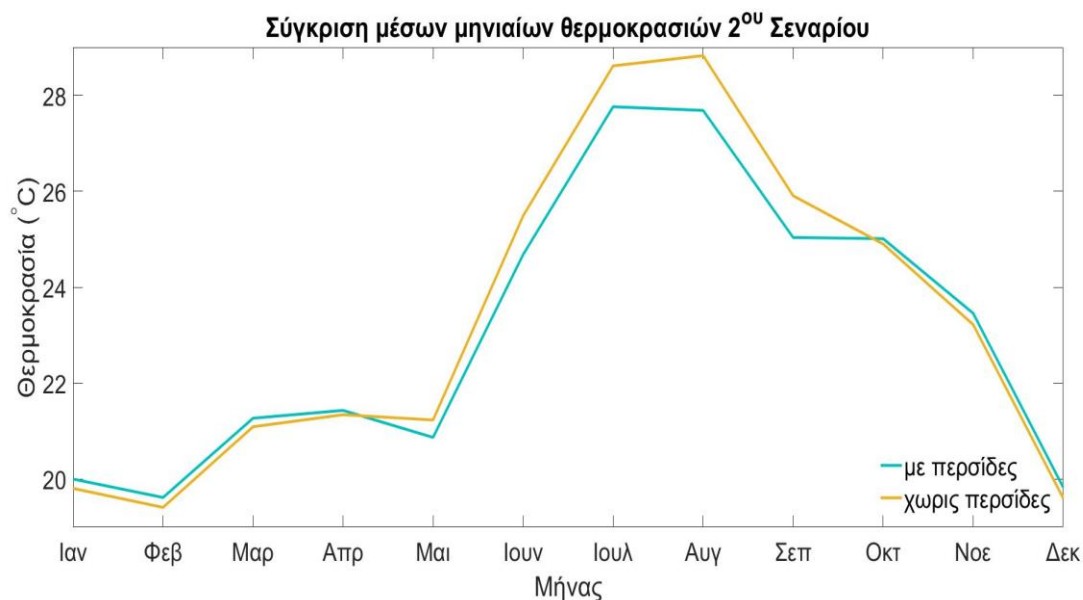
Για τον μήνα Ιούνιο οι τοίχοι θερμικής μάζας των Σεναρίων 3 και 4 έχουν αποθηκεύσει περισσότερη θερμότητα από τον αντίστοιχο του Σεναρίου 2, στο Σενάριο 4 η αύξηση πλησιάζει το 50% . Τον μήνα Ιούλιο το Σενάριο 4 συνεχίζει να έχει αυξημένη ποσότητα θερμικής ενέργειας σε σχέση με το Σενάριο 2 με την αύξηση να κινείται σε πολύ χαμηλότερα επίπεδα συγκριτικά με τον Ιούνιο ενώ στο Σενάριο 3 ο τοίχος αποθηκεύει λιγότερη θερμική ενέργεια σε σχέση με τον 2°. Τον Αύγουστο η αύξηση της αποθηκευμένης θερμότητας για το Σενάριο 4 φτάνει σχεδόν το 70% συγκριτικά με το Σενάριο 2 ενώ στο Σενάριο 3 η αποθηκευμένη θερμότητα είναι λιγότερη από αυτή του 2ου .

Για τους φθινοπωρινούς μήνες στο Σενάριο 3 ο τοίχος θερμικής μάζας αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα από του αντίστοιχους των Σεναρίων 2 και 4. Τέλος ο τοίχος του Σεναρίου 4 παρουσιάζει τους μήνες Σεπτέμβριο και Νοέμβρη ελάχιστη αύξηση στην αποθηκευμένη θερμότητα ενώ τον Οκτώβριο η θερμότητα μειώνεται κατά λίγο συγκριτικά με το Σενάριο 2.

Επομένως είναι εμφανές ότι η χρήση των υλικών αλλαγής φάσης βελτιώνει κατά πολύ την αποθηκευτική ικανότητα του τοίχου θερμικής μάζας. Τα αποτελέσματα του Σεναρίου 3 σε σχέση με το Σενάριο 4, των οποίων οι τοίχοι περιλαμβάνουν BioPCM ίδιου πάχους.

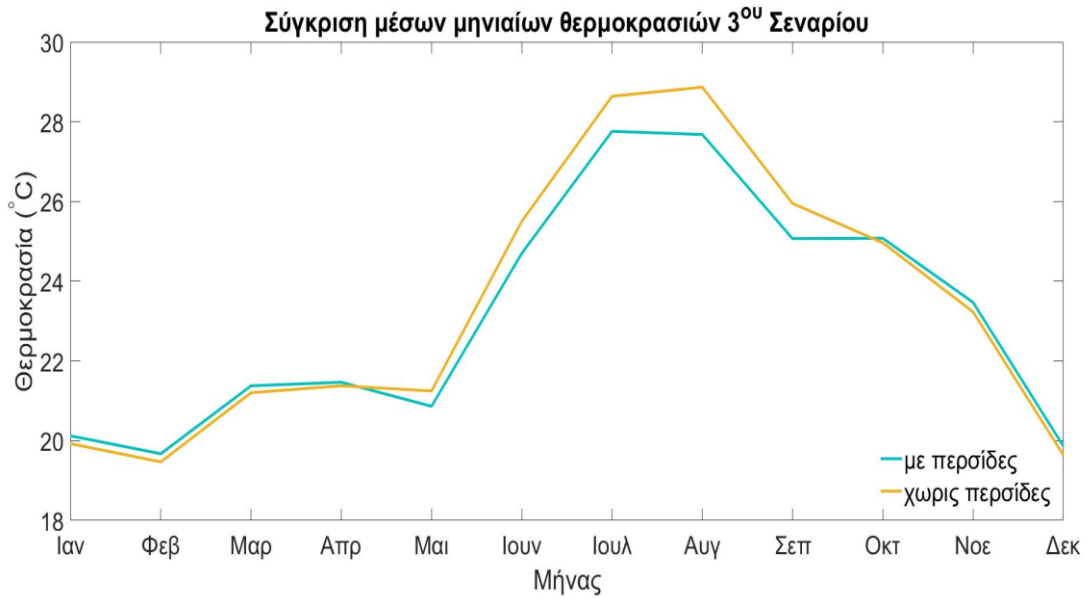
7.6 Μελέτη της Επίδρασης της Συσκευής Σκίασης στο Παθητικό Ηλιακό Σύστημα

Όπως έχει προαναφερθεί η τυπική διάταξη του τοίχου Trombe δεν διαθέτει συσκευή σκίασης. Παρόλα αυτά το γεγονός ότι η συγκεκριμένη διάταξη επιβαρύνει θερμικά το κτίριο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού οδήγησε στην απόφαση τοποθέτησης περσίδων υψηλής ανακλαστικότητας στο υαλοστάσιο του τοίχου Trombe. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα κατανομής μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με και χωρίς την συσκευή σκίασης για τα Σενάρια 2, 3 και 4

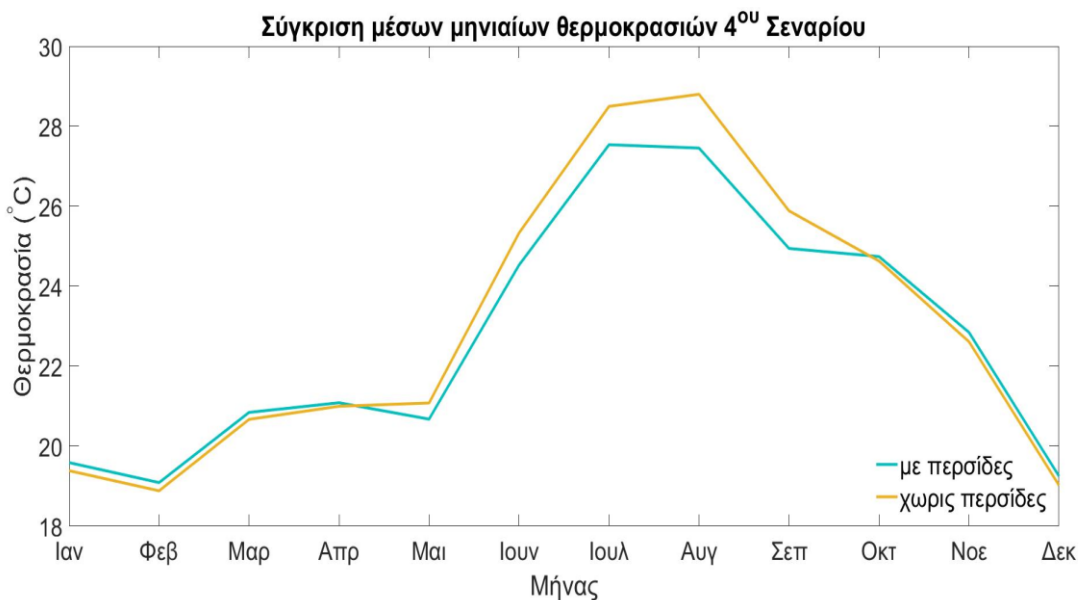


Σχήμα 7.23: Κατανομή μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με και χωρίς την συσκευή σκίασης για το Σενάριο 2.

Είναι εμφανές ότι η τοποθέτηση της συσκευής σκίασης λειτούργησε και επηρέασε με τον ίδιο τρόπο την απόδοση και των τριών διατάξεων τοίχου Trombe. Πρώτα απ' όλα παρατηρείται αρκετά μεγάλη μείωση της μέσης θερμοκρασίας των καλοκαιρινών μηνών. Ταυτόχρονα η ίδια διάταξη ακολουθώντας διαφορετικό χρονοδιάγραμμα κατά την διάρκεια του χειμώνα συμβάλει στην αύξηση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών.



Σχήμα 7.24: Κατανομή μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με και χωρίς την συσκευή σκίασης για το Σενάριο 3.



Σχήμα 7.25: Κατανομή μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών με και χωρίς την συσκευή σκίασης για το Σενάριο 4.

7.7 Συμπεράσματα- Προτάσεις για μελλοντική Μελέτη

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Πρώτα από όλα οι τρεις εκδοχές της διάταξης του τοίχου Trombe (Σενάρια 2,3,4) βελτιώνουν την θερμική συμπεριφορά του κτιρίου καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Παρατηρούνται υψηλότερες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του χειμώνα στην κύρια θερμική ζώνη και αντίστοιχα χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Όσον αφορά την καλύτερη εκδοχή του παθητικού ηλιακού συστήματος διαπιστώθηκε ότι η επίδραση των υλικών αλλαγής φάσης είναι ευεργετική. Το Σενάριο 3, του οποίου ο τοίχος θερμικής μάζας αποτελείται από υλικό αλλαγής φάσης και σκυρόδεμα, έχει καλύτερη θερμική συμπεριφορά από το Σενάριο 2, του οποίου ο αντίστοιχος τοίχος έχει ως κύριο υλικό το σκυρόδεμα, καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Επομένως το υλικό αλλαγής φάσης πάχους 1 cm ενδείκνυται για την αντικατάσταση των 20 cm σκυροδέματος καθώς όχι μόνο συμβάλει στην μείωση του πάχους του τοίχου θερμικής μάζας κατά 42.22% απελευθερώνοντας $1.33 m^2$ αλλά βελτιώνει και την θερμοκρασία της κύριας θερμικής ζώνης. Σύμφωνα μάλιστα και με τα αποτελέσματα που αναφέρονται στην αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου θερμικής μάζας, αυτή η καλύτερη θερμική συμπεριφορά συνάδει και με την δυνατότητα του τοίχου να αποθηκεύει περισσότερη θερμότητα. Ουσιαστικά το 1 cm υλικού αλλαγής φάσης είχε μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα από ότι τα 20 cm σκυρόδεμα για τις δεδομένες θερμοκρασίες.

Κατά το Σενάριο 4 ο τοίχος θερμικής μάζας έχει πάχος μειωμένο κατά 77.78%, το οποίο συνεπάγεται επιπλέον χώρο $2.45 m^2$ συγκριτικά με το Σενάριο 2. Διαπιστώθηκε ότι δεν παρουσιάζει τόσο καλά αποτελέσματα κατά την διάρκεια του χειμώνα. Όσον αφορά το καλοκαίρι όμως τα αποτελέσματα που προέκυψαν ήταν θετικά καθώς η διάταξη συμβάλλει με τον πιο αποδοτικό τρόπο στην παθητική ψύξη του κτιρίου. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την αποθηκευμένη θερμότητα του τοίχου θερμικής μάζας του Σεναρίου 4 διαπιστώνεται ότι η αποθηκευτική του ικανότητα είναι από πολύ μεγαλύτερη έως ελάχιστα μικρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη του Σεναρίου 2. Το συγκεκριμένο φαινόμενο όμως δεν συνάδει με αυξημένες θερμοκρασίες στο εσωτερικό της κύριας ζώνης. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η θερμική αγωγιμότητα της γυψοσανίδας είναι πολύ μικρότερη, δυσκολεύοντας την ροή θερμότητας στο εσωτερικό του κτιρίου. Τέλος ως επιπλέον πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης θα πρέπει να αναφερθεί ότι πρόκειται για την πιο ελαφριά κατασκευή απ' όλες με διαφορά.

Συνεπώς, από τις 3 εκδοχές του τοίχου Trombe ,το Σενάριο 3 είναι η καλύτερη επιλογή. Το Σενάριο 3 σε σχέση με το Σενάριο 2 βελτιώνει τις συνθήκες καθ' όλη την διάρκεια του έτους ενώ αποτελεί μια πιο ελαφριά κατασκευή και με μικρότερο όγκο, εξοικονομώντας χώρο. Από την άλλη, θα πρέπει να γίνει ειδική μνεία για το Σενάριο 4 καθώς εκτός από πολύ μικρότερο βάρος, και μεγάλη εξοικονόμηση χώρου το γεγονός ότι θερμικά συμπεριφέρεται πολύ καλύτερα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού συνεπάγεται και μείωση των απαραίτητων ψυκτικών φορτίων.

Τέλος, η τοποθέτηση συσκευής σκίασης στο υαλοστάσιο της διάταξης του τοίχου Trombe κρίνεται άκρως απαραίτητη. Καταφέρει να αποτρέψει την υπερθέρμανση του κτιρίου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, το οποίο αποτελεί σημαντικό μειονέκτημα της διάταξης. Παράλληλα, συμβάλλει και στην παθητική ψύξη του κτιρίου. Είναι σημαντικό να αναφερθεί και η συμβολή της στην βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς κατά την διάρκεια του χειμώνα λειτουργώντας ως μόνωση κατά την διάρκεια της νύχτας.

Βάσει της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας κάποιες από τις μελλοντικές μελέτες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι:

- Η επίδραση της προσθήκης φυσητήρων για την βελτίωση της κυκλοφορίας του αέρα μεταξύ του τοίχου θερμικής μάζας και του υαλοστασίου της διάταξης τοίχου Trombe.
- Η διερεύνηση συνδυασμού δομικών υλικών και υλικών αλλαγής φάσης για την κατασκευή του τοίχου θερμικής μάζας της διάταξης τοίχου Trombe.
- Η οικονομοτεχνική μελέτη μιας κατοικίας που περιλαμβάνει διάταξη τοίχου Trombe και η σύγκριση της με μια απλή.

Βιβλιογραφία

- [1] Κακαράς, Ε. & Καρέλλας Σ. (2013) *Αντιρρυπαντική Τεχνολογία Θερμικών Σταθμών*. Αθήνα: Εκδόσεις Τσότρας
- [2] Ζερβός, Α. (2014) *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [3] BP. (2018). *BP Statistical Review of World Energy*
- [4] BP. (2018). *BP Energy Outlook*
- [5] Dabaieh, M., & Elbably, A. (2015). *Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climates*. *Solar Energy*, 122, 820–833.
- [6] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/ktiria_intro.htm
- [7] LANDCO Ltd. BIOCLIMATIC ARCHITECTURE in association with Landscaping. Διαθέσιμο: landco.gr/en/services-2/environmental-applications/24-services/perivallontikes-efarmoges/95-bioclimatic-architecture-in-association-with-landscaping
- [8] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Βιοκλιματικός Σχεδιασμός*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/bioklimatikos_sxediasmos.htm#
- [9] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Ενεργητικά Ηλιακά*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_active_solar.htm
- [10] Αμανατίδης, Ε. (2015). *Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας*. Πάτρα : Πανεπιστήμιο Πατρών
- [11] www.daviddarling.info/encyclopedia/A/AE_active_solar_energy_system.html
- [12] sites.google.com/a/salinehornets.com/solar_energy/passive-and-active-solar-energy-usage
- [13] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata.htm
- [14] en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar_building_design
- [15] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Αμέσου Κέρδους*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_ameso_kerdos.htm#
- [16] Τζιβανίδης, Χ. (2017). *Θερμική Συμπεριφορά Κτιρίων*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

- [17] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Παθητικά Ηλιακά Συστήματα Έμμεσου Κέρδους*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/pathitika_iliaka_systimata_emmeso_kerdos_iliakoi_toixoi.htm
- [18] www.daviddarling.info/encyclopedia/P/AE_passive_solar_design.html
- [19] www.energy.gov/energysaver/energy-efficient-home-design/passive-solar-home-design
- [20] www.energy.gov/energysaver/sunrooms-and-sunspaces
- [21] www.motherearthnews.com/green-homes/home-design/attached-sunspaces-passive-solar-ze0z1404zhou
- [22] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Φυσικός Δροσισμός*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos.htm
- [23] Μαθιουλάκης, Δ., Αναγνωστόπουλος, Ι., & Τουζόπουλος, Δ. (2007) *Βιομηχανική Ρευστομηχανική*. Αθήνα: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- [24] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Φυσικός Αερισμός*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_fysikos_aerismos.htm
- [25] el.wikipedia.org/wiki/Βιοκλιματικός_σχεδιασμός_κτιρίων#Παθητικά_συστήματα_α_φυσικού_δροσισμού
- [26] www.yougen.co.uk/blog-entry/2846/Solar+Chimneys%273A+Passive+solar+ventilation+and+electricity+generation-%7C/
- [27] www.yourhome.gov.au/passive-design/shading
- [28] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Ψύξη μέσω Εδάφους*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_psixi_edafous.htm
- [29] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Εξατμιστικός Δροσισμός*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_drosismos_exatmistikos_drosismos.htm
- [30] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Αρχές, Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos.htm
- [31] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ). *Συστήματα και Τεχνικές Φυσικού Φωτισμού*. Διαθέσιμο: www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_bioclimatic_fotismos.htm
- [32] www.ktirio.gr/εφαρμογες/θερμανση/τοιχος-trombe

- [33] www.flickr.com/photos/mitopencourseware/3041280332
- [34] en.wikipedia.org/wiki/Trombe_wall
- [35] [www.nzcma.org.nz/document/279-32/IB96 Trombe Walls.pdf](http://www.nzcma.org.nz/document/279-32/IB96_Trombe_Walls.pdf)
- [36] Stazi, F., Mastrucci, A., & di Perna, C. (2012). *Trombe wall management in summer conditions: An experimental study*. *Solar Energy*, 86(9), 2839–2851
- [37] Zhou, G., & Pang, M. (2015). *Experimental investigations on thermal performance of phase change material – Trombe wall system enhanced by delta winglet vortex generators*. *Energy*, 93, 758–769.
- [38] Pielichowska, K., & Pielichowski, K. (2014). *Phase change materials for thermal energy storage*. *Progress in Materials Science*, 65, 67–123
- [39] Jayalath, A., Mendis, P., Gammampila, R., & Aye, L. (2013). *Applications of Phase Change Materials in Concrete for Sustainable Built Environment*
- [40] Mehling, H., & Cabeza, L. (2008). *Heat and cold storage with PCM: An up to date introduction into basics and applications*. Springer
- [41] en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material
- [42] Lane, G. (1983). *Solar Heat Storage: Latent Heat Materials, Volume I*. Florida: CRC Press, Inc.
- [43] en.wikipedia.org/wiki/Fatty_acid
- [44] phasechange.com/
- [45] www.buildinggreen.com/product-review/biopcm-finally-low-cost-practical-phase-change-material
- [46] www.pcmeurope.nrgsim.com/index.php/faq/33-q2
- [47] www.treehugger.com/green-architecture/bio-based-phase-changing-material-adds-instant-thermal-mass.html
- [48] Tyagi, V. V., & Buddhi, D. (2007). *PCM thermal storage in buildings: A state of art*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1146–1166
- [49] Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). *Review on thermal energy storage with phase change materials and applications*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(2), 318–345.
- [50] Hawes, D. W., & Banu, D., & Feldman, D. (1992). *The stability of phase change materials in concrete*. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 27(2), 103–118
- [51] Ghoneim, A.A., & Klein., S. (1991) *Phase Change Materials Analysis*, Solar Energy
- [52] Zhang, Y., Zhou, G., Lin, K., Zhang, Q., & Di, H. (2007). *Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook*. *Building and Environment*, 42(6), 2197–2209.

- [53] Kośny, J. (2015). *Short History of PCM Applications in Building Envelopes*. Engineering Materials and Processes (21–59). Springer International Publishing.
- [54] Feldman, D., Banu, D., Hawes, D., & Ghanbari, E. (1991). *Obtaining an energy storing building material by direct incorporation of an organic phase change material in gypsum wallboard*. Solar Energy Materials, 22(2–3), 231–242
- [55] Banu, D., Feldman, D., Haghghat, F., Paris, J., & Hawes, D. (1998). *Energy-Storing Wallboard: Flammability Tests*. Journal of Materials in Civil Engineering, 10(2), 98–105.
- [56] Kaasinen, H. (1992). *The absorption of phase change substances into commonly used building materials*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 27(2), 173–179
- [57] Hawes, D. W., & Feldman, D. (1992). *Absorption of phase change materials in concrete*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 27(2), 91–101.
- [58] Schossig, P., Henning, H., Gschwander, S., & Hausmann, T. (2005). *Microencapsulated phase-change materials integrated into construction materials*. Solar Energy Materials and Solar Cells 2005;89(2–3): 297–306.
- [59] Zhang, M., Medina, M. A., & King, J. B. (2005). *Development of a thermally enhanced frame wall with phase-change materials for on-peak air conditioning demand reduction and energy savings in residential buildings*. International Journal of Energy Research, 29(9), 795–809
- [60] Hawlader, M. N. A., Uddin, M. S., & Khin, M. M. (2003). *Microencapsulated PCM thermal-energy storage system*. Applied Energy, 74(1–2), 195–202.
- [61] Darkwa, K., & Kim, J. S. (2004). *Heat transfer in neuron composite laminated phase-change drywall*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 218(2), 83–87
- [62] Darkwa, K., & Kim, J.-S. (2005). *Dynamics of energy storage in phase change drywall systems*. International Journal of Energy Research, 29(4), 335–343
- [63] Zhang, Y., Zhou, G., Lin, K., Zhang, Q., & Di, H. (2007). *Application of latent heat thermal energy storage in buildings: State-of-the-art and outlook*. Building and Environment, 42(6), 2197–2209.
- [64] Scalat, S., Banu, D., Hawes, D., Parish, J., Haghghata, F., & Feldman, D. (1996). *Full scale thermal testing of latent heat storage in wallboard*. Solar Energy Materials and Solar Cells, 44(1), 49–61.
- [65] Cui, Y., Xie, J., Liu, J., Wang, J., & Chen, S. (2017). *A review on phase change material application in building*. Advances in Mechanical Engineering, 9(6), 168781401770082

- [66] Tyagi, V. V., & Buddhi, D. (2007). *PCM thermal storage in buildings: A state of art*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6), 1146–1166.
- [67] Weinläder, H., Beck, A., & Fricke, J. (2005). *PCM-facade-panel for daylighting and room heating*. *Solar Energy*, 78(2), 177–186.
- [68] Jurinak, J. J., & Abdel-Khalik, S. I. (1978). *Properties optimization for phase-change energy storage in air-based solar heating systems*. *Solar Energy*, 21(5), 377–383.
- [69] Jurinak, J. J., & Abdel-Khalik, S. I. (1979). *Sizing phase-change energy storage units for air-based solar heating systems*. *Solar Energy*, 22(4), 355–359.
- [70] Morrison, D. J., & Abdel-Khalik, S. I. (1978). *Effects of phase-change energy storage on the performance of air-based and liquid-based solar heating systems*. *Solar Energy*, 20(1), 57–67.
- [71] Guthertz, J. M., & Schiler, M. E. (1991). *A Passive Solar Heating System for the Perimeter Zone of Office Buildings*. *Energy Sources*, 13 (1), 39-54.
- [72] Kodo, T., & Ibamoto, T. (2002, October 1–2) *Research on using the PCM for ceiling board*, IEAECESIA, Annex 17, 3rd workshop, Tokyo, Japan.
- [73] en.wikipedia.org/wiki/SketchUp
- [74] www.openstudio.net/
- [75] *EnergyPlus Engineering Reference*
- [76] ASHRAE . (2005) .*Thermal Comfort chapter, Fundamentals volume of the ASHRAE Handbook*. Atlanta
- [77] phasechange.com/wp-content/uploads/2018/02/BioPCM-Data-Sheet-Q29.pdf
- [78] www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1222/xml